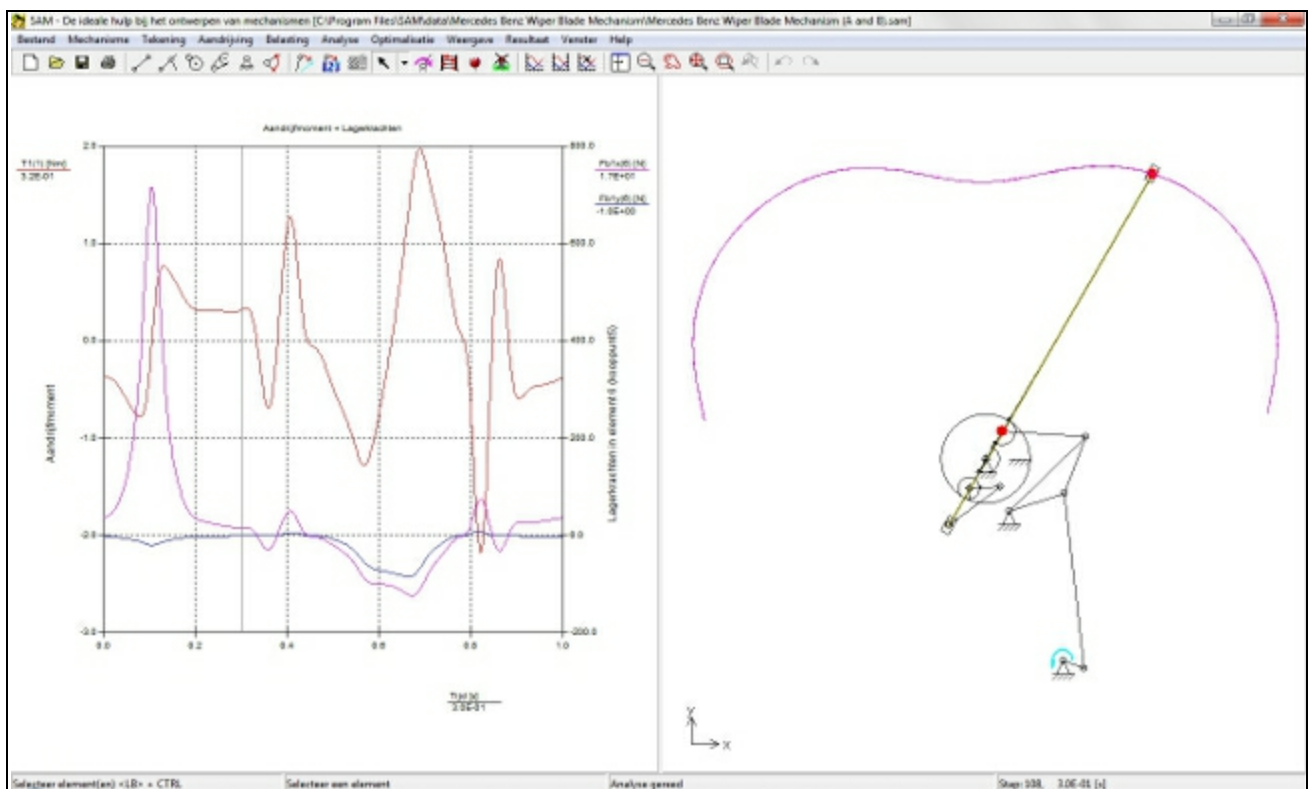


SAM 7.0

De ideale hulp bij het ontwerpen van mechanismen



Contents

1 Vooraf	8
1.1 Wat is SAM ?.....	8
1.2 Wat is nieuw in SAM 7.0 ?.....	9
1.3 Opbouw van deze handleiding.....	9
1.4 Koopovereenkomst.....	10
2 Inleiding	12
2.1 Het ontwerpproces.....	12
2.2 Mogelijkheden binnen SAM.....	12
Ontwerp	12
Modelvorming	13
Aandrijving	13
CAD koppeling	14
Resultaten	14
Postprocessing	14
Optimalisatie	15
Projectdocumentatie	15
2.3 Verleden en toekomst.....	15
2.4 European Academic Software Award.....	16
3 Systeemeisen & Installatie	18
3.1 Systeemeisen.....	18
3.2 Installatie.....	18
3.3 Compatibiliteit van SAM 3.x/4.x/5.x/6.x bestanden.....	19
4 Rondleiding	22
4.1 Een voorbeeld project.....	22
Een kort voorbeeld	22
4.2 Een mechanisme ontwerpen met de Design Wizard.....	32
4.3 Een nieuw mechanisme modelleren.....	37
Voorbeeld: 4-stangen mechanismse (bewegingsanalyse)	39
5 Design Wizards	52
5.1 4-Stangen Mechanisme.....	52
Algemeen (knooppunten)	52
Algemeen (gestelpunten, krukhoek, afmetingen)	53
(Hoek)functie Synthese	54
3-standen Synthese (I)	58
3-standen Synthese (II)	60
5.2 Exacte Rechtgeleiding.....	60

Symmetrisch kruk-schuif mechanisme	61
Dubbelkruk mechanisme met tandwielkoppeling	61
Hypocyclisch planetair tandwiel-mechanisme	62
Tweeslag met tandwielkoppeling	62
Tweeslag met riemoverbrenging	63
5.3 Benaderde Rechtgeleiding.....	63
Watt	64
Chebyshev	66
Roberts	67
Evans	68
Hoecken	68
6 Modelleringsstips	70
6.1 Eenheden.....	70
6.2 Getallenweergave	70
6.3 Exacte Knooppuntcoördinaten.....	70
6.4 Meervoudige aandrijving.....	71
6.5 Werken met bewegingsbestanden.....	72
Formaat	72
Importeren van een bewegingsbestand	73
Exporteren van een bewegingsbestand	73
6.6 Lineaire actuator.....	73
6.7 Schuine rechtgeleiding.....	73
6.8 Modellering van een koppelpunt.....	74
6.9 Modellering van een tandheugel.....	75
6.10 Lagerkrachten.....	77
6.11 Gebruik van tekeningen.....	80
6.12 Gebruiker-gedefinieerde resultaten.....	81
7 Optimalisatie	86
7.1 Introductie.....	86
7.2 Optimalisatie Doel.....	87
7.3 Optimalisatie Parameters.....	89
7.4 Constraints.....	91
7.5 Optimalisatie Opties.....	92
Instellingen Evolutionair Algoritme	93
Instellingen Simplex Methode	94
8 Voorbeelden	96
8.1 Bewegingsanalyse.....	96
Kruk-slinger mechanisme	96
Quick-Return mechanisme	96
Tandwielpaar aangedreven door kruk-sleuf mechanisme	98
Mechanisme met twee gekoppelde aandrijvingen	99
Planetair mechanisme (hypo-cycloïdaal)	99
8.2 Krachtenanalyse	101

Overzetmechanisme (incl. zwaartekracht)	101
Tandriemoverbrenging met externe kracht	102
8.3 Optimalisatie.....	104
Aandrijfkoppel minimaliseren	104
Baan optimaliseren	105
Constrained Optimalisatie	107
9 Elementen	118
9.1 Stang.....	118
9.2 Cilinder.....	120
9.3 Tandwielpaar.....	123
9.4 Riemoverbrenging.....	127
9.5 Sensor.....	130
9.6 Veer, Demper en Wrijving.....	131
9.7 Rotatie-veer, demper en wrijving.....	136
9.8 Veer met niet-lineaire karakteristiek.....	141
10 Geïntegreerde werkomgeving	146
10.1 Toetsenbord en muis.....	146
10.2 Werkbalk.....	148
10.3 Menu Commando's.....	149
Bestand menu	149
Mechanisme menu	150
Tekening menu	151
Aandrijving menu	153
Dialog: Aandrijving definiëren.....	154
Belasting menu	155
Dialog: Kracht/Koppel definiëren.....	156
Analyse menu	158
Optimalisatie menu	158
Weergave menu	158
Resultaat menu	159
Venster menu	160
Help menu	160
11 Literatuur	164
12 Appendix	166
12.1 Analyse Problemen.....	166
12.2 DXF-template	166
12.3 Wat was nieuw in SAM 6.1 ?.....	167
12.4 Wat was nieuw in SAM 6.0 ?.....	168
12.5 Wat was nieuw in SAM 5.1 ?.....	169
12.6 Wat was nieuw in SAM 5.0 ?.....	170
12.7 Wat was nieuw in SAM 4.2 ?.....	171

12.8	Wat was nieuw in SAM 4.1 ?.....	171
12.9	Wat was nieuw in SAM 4.0 ?.....	172
13	Begrippen	176
	Index	177

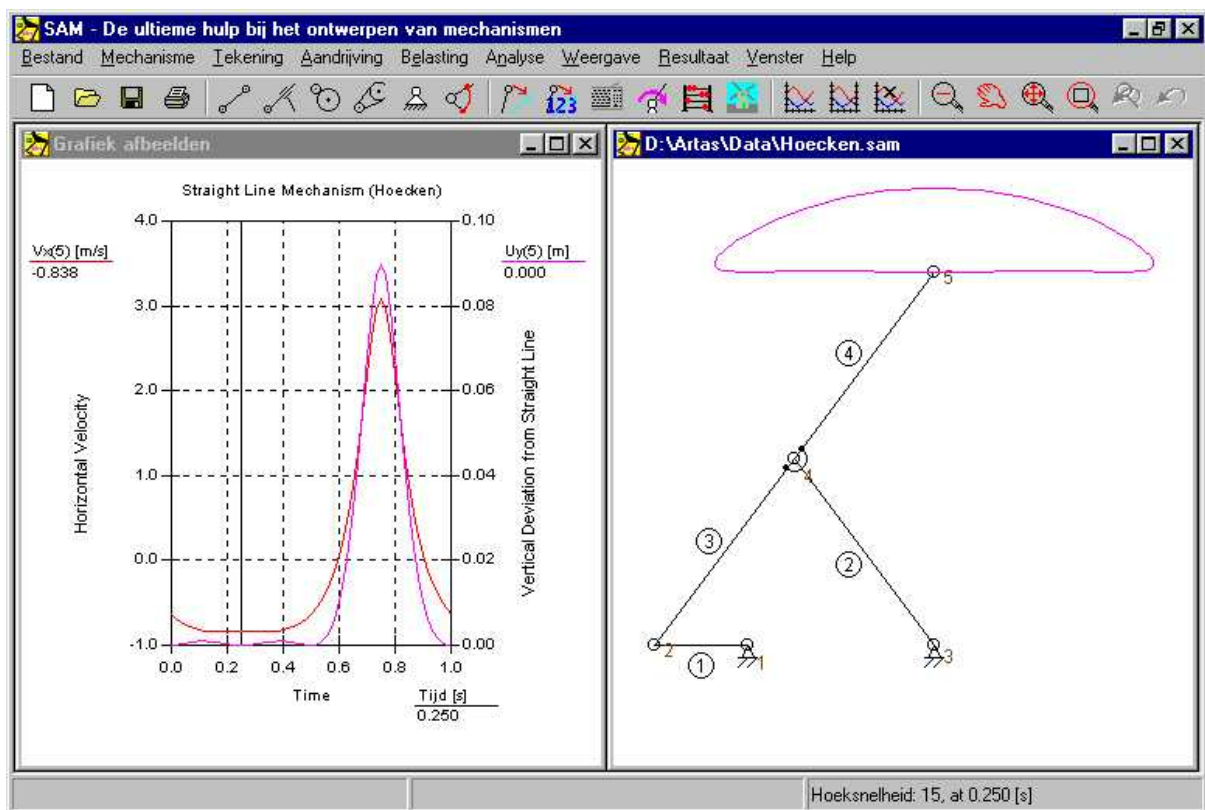
Chapter

1

1 Vooraf

1.1 Wat is SAM ?

SAM (Synthese en Analyse van Mechanismen) is een interactief programma voor het ontwerp, de bewegings- en krachtenanalyse en voor het optimaliseren van vlakke (stangen)-mechanismen. Een mechanisme kan worden ontworpen middels een van de Design Wizards of naar willekeur worden samengesteld uit stangen, rechtgeleidingen, tandwiel- en riemoverbrengingen. Voor de krachtsanalyse beschikt SAM ook nog over veren, dempers en wrijvingselementen, en de equivalente rotatieelementen. SAM vormt een geïntegreerde werkomgeving waarin de volgende acties mogelijk zijn: opbouw van het mechanisme (een CAD gebruikersinterface), integratie met externe CAD bouwstenen (tekeningen), numerieke analyse van de verplaatsingen en krachten, animatie en tot slot de weergave van de resultaten in grafieken en tabellen.



Typische screenshot van een mechanismen-analyse met "SAM"

De wiskundige grondslag van het programma is gebaseerd op de Eindige Elementen Methode, en levert daarmee grote ontwerprijheid zonder dat daarbij beperkingen optreden van een aantal traditionele methodieken. 'Open-loop', 'closed-loop', 'multiple-loop', en zelfs complexe planetaire (tandwiel-)stelsels kunnen eenvoudig met SAM geanalyseerd worden.

1.2 Wat is nieuw in SAM 7.0 ?

Gebruiker-gedefinieerde resultaten (*uitsluitend in SAM Professional*)

Middels een geavanceerde formule parser kan de gebruiker simulatie resultaten op verschillende wijze nabewerken en combineren tot nieuwe resultaten.

Optimalisatie met randvoorwaarden (*uitsluitend in SAM Professional*)

Middels de formule parser is het mogelijk om zogenaamde penalty functies te definiëren en deze op te tellen bij de oorspronkelijk cost functie. Hiermee kunnen randvoorwaarden verdisconteerd worden.

Eenvoudige berekening van lagerkrachten in bewegende knooppunten

De berekening van lagerkrachten in bewegende knooppunten is nu net zo makkelijk geworden als dat voor vaste gestelpunten al het geval was. Voorheen was hiervoor nog een handmatige stap nodig, die nu is komen te vervallen.

Nieuwe transformatie & groep commando's

Nieuwe transformaties (spiegelen, transleren, roteren, ...) en het eenvoudig groeperen zijn toegevoegd. Deze nieuwe mogelijkheden gelden zowel voor elementen van het mechanisme als voor grafische visualisatiecomponenten.

Nieuw licentiesysteem

Het nieuwe licentiesysteem ondersteunt zowel node-locked licenties als ook floating licenties. Het is een twee-traps aanpak, waarbij de klant eerst een activeringssleutel ontvangt. Tijdens de activering, die internettoegang vereist om informatie uit te wisselen met de centrale licentieserver, wordt de definitieve licentie gegenereerd.

Verskillende uitbreidingen

Afbeelding van assen in het weergave scherm, nieuwe opties bij het selecteren van export resultaten (o. a. herrangschikken van volgorde), mogelijkheid om de baan van knooppunten mee te exporteren tijdens het exporteren van het mechanisme als DXF bestand, ...

1.3 Opbouw van deze handleiding

Hoofdstuk 1: Vooraf geeft enige informatie over nieuwe functionaliteit, de opbouw van de handleiding en de verkoopvoorwaarden.

Hoofdstuk 2: Inleiding vertelt iets over de achtergrond van SAM, de huidige functionaliteit en de plannen voor de toekomst.

Hoofdstuk 3: Opstarten bevat informatie m.b.t. systeemeisen en installatieprocedures.

Hoofdstuk 4: Rondleiding laat aan de hand van een bestaand mechanismen project de verschillende mogelijkheden van SAM zien. Daarna wordt uitgelegd hoe een nieuw project aangemaakt wordt en de hele cyclus van modellering tot en met analyse, animatie en postprocessing van de resultaten doorlopen wordt.

Hoofdstuk 5: Design Wizard laat u kennis maken met de verschillende Design Wizards.

Hoofdstuk 6: Modelleringsaspecten bespreekt een aantal bijzondere aspecten waarop bij de modellering gelet dient te worden.

Hoofdstuk 7: Optimalisatie bevat alle details betreffende het opzetten en uitvoeren van een functie- of baanoptimalisatie.

Hoofdstuk 8: Voorbeelden toont de mogelijkheden van SAM aan de hand van representatieve voorbeelden.

Hoofdstuk 9: Elementen bevat alle informatie over de basis elementen waaruit een mechanisme wordt opgebouwd.

Hoofdstuk 10: Geïntegreerde Omgeving bespreekt de details van de geïntegreerde werkomgeving.

Hoofdstuk 11: Literatuur

Hoofdstuk 12: Appendix

Hoofdstuk 13: Begrippen

Hoofdstuk 14: Index

1.4 Koopovereenkomst

Dit programma en de bijbehorende documentatie is auteursrechtelijk beschermd.

Het is uitsluitend toegestaan om back-up kopieën te maken t.b.v. eigen gebruik. De software en bijbehorende documentatie mag op geen enkele wijze gekopieerd/gewijzigd en aan derden gedistribueerd worden.

Een enkelgebruiker-licentie geeft het recht de software te installeren op één computer en het gebruiksrecht voor één gelijktijdige gebruiker. De meergebruiker-licentie mag op een opbeperkt aantal systemen binnen het bedrijf of op een netwerk geïnstalleerd worden waarbij het aantal gelijktijdige gebruikers onbeperkt is.

ARTAS garandeert de correcte werking van de software, zoals beschreven in de documentatie. Er geldt een garantie periode van 30 dagen. Indien U binnen deze periode een bug vindt zullen wij deze trachten direct op te lossen. Lukt dit niet zullen wij (indien gewenst) het aankoopbedrag restitueren onder de voorwaarde dat wij de originele software en documentatie in onbeschadigde toestand teruggezonden krijgen.

ARTAS accepteert geen aansprakelijkheid voor het gebruik van SAM die verder gaat dan het originele aankoopbedrag. Onder geen enkel beding is ARTAS aansprakelijk voor additionele schade, incl. gemiste inkomsten, die ontstaat door het gebruik van de software.

Door het gebruik van de software verklaart de gebruiker zich akkoord met deze overeenkomst. Als U het oneens bent met deze overeenkomst dient U de software en documentatie onmiddellijk te retourneren, waarna wij het aankoopbedrag zullen restitueren.

Chapter



2

2 Inleiding

2.1 Het ontwerpproces

Het ontwerpen van een mechanisme kan fundamenteel opgesplitst worden in drie fasen, namelijk:

- Synthese
- Analyse
- Optimalisatie

Na het opstellen van het eisenpakket bestaat de eerste stap van de ontwerper uit het samenstellen van een mechanisme type met de bijbehorende afmetingen, zodanig dat zo goed mogelijk aan de gestelde eisen voldaan wordt. Dit is een creatief proces, waarbij de in SAM geïmplementeerde Design Wizards, ervaring, andere ontwerpen, handboeken, en een beperkt aantal computerprogramma's voor specifieke oplossingen (waaronder Burmester theorie) kunnen helpen.

Heeft men een mechanisme gekozen en opgebouwd, dan kan de analyse van verplaatsing (kinematica) en krachtenspel worden uitgevoerd. Typische vragen zoals "wat is de bruikbare slaglengte van een rechtgeleiding" of " wat zijn de lagerkrachten" kunnen nu gemakkelijk worden beantwoord met hulp van computer simulaties. Kijken we naar de klasse van mechanisme – onafhankelijke programma's –er zijn ook speciale programma's specifieke mechanismen (kruk-sleuf, 4-stangen ...) - dan zijn er een paar benaderingen mogelijk, namelijk:

- modulaire kinematica
- vector analyse
- kinematische randvoorwaarden
- eindige elementen methode (EEM)

SAM maakt gebruik van de laatste methode die vele voordelen biedt, en de problemen van de klassieke methoden niet kent.

De laatste stap in het ontwerp proces betreft de optimalisatie, waarbij bepaalde kenmerken van het ontwerp, zoals b.v. de aandrijfkrachten of de wijze waarop een koppelpunt een bepaalde gewenste baan doorloopt, verder geoptimaliseerd wordt.

2.2 Mogelijkheden binnen SAM

Hier volgt een korte beschrijving van de mogelijkheden van SAM. U kunt ook een snel overzicht verkrijgen door de bijgeleverde voorbeeldmechanismen met SAM te bekijken.

2.2.1 Ontwerp

SAM biedt een aantal Design Wizards waarmee het mogelijk is mechanismen te

synthetiseren voor specifieke taken. Deze taken zijn :

- (Hoek)functiegeneratie.
- 3-Standen-Synthese van het koppelvlak
- Quasi-rechtlijnige beweging van een punt
- Exact rechtlijnige beweging van een punt

Indien deze Design Wizards geen antwoord geven op een specifiek ontwerp-probleem zal de gebruiker op basis van zijn ervaring, eerdere ontwerpen of mechanismen handboeken of via trial&error een mechanisme moeten bedenken dat vervolgens in SAM gemodelleerd, geanalyseerd en geoptimaliseerd kan worden.

2.2.2 Modelvorming

SAM is toegerust met verscheidene basiselementen, te weten :

- stang en cilinder
- riemoverbrenging en tandwielpaar
- meetelement
- veer, demper, wrijving (lineair en roterend) en niet-lineaire veer

waarmee een grote variëteit aan mechanismen geanalyseerd kan worden. De unieke wiskundige onderbouwing van SAM biedt grootse mogelijkheden en heeft geen last van de beperkingen zoals die bij traditionele analyse methoden optreden. Open-lus, gesloten-lus, en zelfs meervoudige-lus mechanismen worden door SAM allemaal op dezelfde manier doorgerekend. Zelfs de meest complexe mechanismen waaronder planetaire tandwiel overbrengingen met daaraan gekoppelde stangenmechanismen kunnen in korte tijd worden opgebouwd en geanalyseerd.

2.2.3 Aandrijving

SAM kan mechanismen analyseren met max. tien aparte aandrijvingen. Een beweging (ook wel opgelegde beweging) kan bestaan uit een absolute positie, een (relatieve)hoek of zelfs een element-lengte. Met de laatste mogelijkheid kunnen hydraulisch- en luchtcilinders worden toegepast. Met de relatieve hoek kunnen bijv. (scara)robotarmen worden gemodelleerd. Enkele bekende functies zoals:

- constante snelheid
- scheve sinus
- 3-4-5 polynoom
- 5.orde polynoom
- 2.orde snelheidsprofiel

- Cubic Spline

kunnen naar willekeur achter elkaar worden geplaatst om zo een realistische simulatie uit te voeren. De bewegingsfunctie kan ook worden ingevoerd als tekstbestand, waarmee bijvoorbeeld willekeurige nokprofielen als aandrijving optreden.

2.2.4 CAD koppeling

Met het gestandaardiseerde DXF formaat biedt SAM de mogelijkheid het gerealiseerde mechanisme te exporteren naar andere CAD pakketten, en aldaar verder uit te werken. Ook kan met dit zelfde formaat een onbeperkt aantal CAD componenten (tekeningen) worden ingelezen en aan het mechanisme worden toegevoegd. Het bewegende mechanisme neemt hiermee realistische vormen aan.

2.2.5 Resultaten

SAM kan de volgende grootheden berekenen (relatief en absoluut):

- positie, verplaatsing, snelheid, versnelling
- hoek, hoeksnelheid, hoekversnelling

Verder berekent SAM de volgende krachtsgrootheden (quasi-statisch):

- lagerkrachten
- interne krachten/koppels in een element
- benodigd en/of doorgeleid vermogen
- Middels een geavanceerde formule parser kan de gebruiker simulatie resultaten op verschillende wijze nabewerken en combineren tot nieuwe resultaten.

2.2.6 Postprocessing

SAM kan na een succesvolle berekening de beweging van het mechanisme simuleren (animatie). Ook kan de baan, de snelheidshodograaf en de krommingsmiddelpuntsbaan van ieder willekeurig knooppunt worden weergegeven. Daarnaast kan de poolbaan van ieder schakel in het stilstaande dan wel meebewegende assenstelsel getekend worden.

Alle berekeningen kunnen als curven of als tekst worden afgebeeld, opgeslagen en afgedrukt. In één grafiek kan een onbeperkt aantal grootheden worden afgezet tegen de tijd, of een x-as naar keuze. Voor de verticale as bestaan twee onafhankelijke schalen, die op een handige manier automatisch worden ingesteld.

Middels een geavanceerde formule parser kan de gebruiker simulatie resultaten op verschillende wijze nabewerken en combineren tot nieuwe resultaten.

Tijdens de animatie beweegt de cursor in de grafiek mee overeenkomstig het tijdsverloop.

2.2.7 Optimalisatie

Uitsluitend beschikbaar in de PROFESSIONAL versie van SAM !

De optimalisatie module van SAM biedt "single-function multi-parameter" optimalisatie gebaseerd op een mix van evolutionaire algoritmen en Simplex methoden.

Uitgaande van het actuele ontwerp kan een mechanisme verder geoptimaliseerd worden v.w.b. de baan die een knooppunt beschrijft of v.w.b. het verloop van de functie van een geselecteerde bewegings- of krachtgrootte. Zo kan bij voorbeeld de RMS-waarde of de absolute maximale waarde van het aandrijfkoppel van een mechanisme met massa worden geminimaliseerd door het toepassen van één of meer balansmassa's, waarvan zowel plaats als massa binnen gedefinieerde grenzen wordt gevarieerd. Ook is het mogelijk om een bepaalde doelfunctie zo goed mogelijk te benaderen, b.v. het verloop van de kracht in een fitness apparaat als functie van de afgelegde hoek of verplaatsing.

Ook bij de optimalisatie kunnen naast de regulier beschikbare SAM grootheden tevens gebruiker-gedefinieerde grootheden worden gebruikt in de kostfunctie die geoptimaliseerd dient te worden..

2.2.8 Projectdocumentatie

Op elk moment (ook als er geen analyse is uitgevoerd) kan SAM een overzichtelijke lijst tonen met alle invoergegevens (coördinaten, structuur, aandrijving etc). De tekst is beschikbaar als ASCII bestand, en kan makkelijk als bijlage worden gebruikt.

2.3 Verleden en toekomst

De ontwikkeling van SAM is gestart in 1985 (op een Kaypro-X CP/M computer), het duurde echter nog tot 1991 vóór de eerste DOS versie commercieel verkrijgbaar was. Dankzij een snel groeiende klantenkring was het mogelijk bijna jaarlijks een vernieuwde versie vrij te geven waarin zoveel mogelijk de klanten wensen vervuld werden. Hier volgt de historie:

1985 : Start van de ontwikkeling

1989 : SAM 0.1, de eerste onofficiële DOS versie

1991 : SAM 1.0, de eerste officiële versie, alleen kinematica

1991 : SAM 1.1, + printer en plotter drivers

1992 : SAM 2.0, + kinetostatica van stangen mechanismen

1993 : SAM 2.1, + CAD invoer, lagers

1994 : SAM 2.2, + polaire- en relatieve coördinaten invoer, formuleparser

1995 : SAM 3.0 voor Windows, volledig interactief

1998 : SAM 4.0 CAD im/export, weergave opties, meer CAD-faciliteiten

1999 : SAM 4.1 project documentatie, eenheden, prikbord

2000 : SAM 4.1 Nederlandse versie

2001 : SAM 4.2 Krachtenanalyse van tandwiel/tandriem mechanismen

2003 : SAM 5.0 Design Wizards, Geoptimaliseerde Analyse-kernel,

2005 : SAM 5.1 Meer aandrijvingen, 5.orde polynoom, niet-lineaire veer,

2007 : SAM 6.0 Optimalisatie, Context-gevoelige muis, 3 licentie niveau's, ...

2010 : SAM 6.1 Verdere uitbouw van de optimalisatie, ...

2014 : SAM 7.0 Constraint Optimalisatie, eenvoudige lagerkrachtberekening, nieuw licentiesysteem, ...

De volgende onderwerpen zullen in de nabije toekomst aan de orde komen

- Nog meer nadruk op ontwerp en synthese van mechanismen
- Nieuwe elementen, zoals nokken en tandheugel

2.4 European Academic Software Award

SAM heeft twee keer meegedaan met de European Academic Software Award (EASA). Beide keren was SAM na grondige evaluatie door de diverse internationale experts geselecteerd voor de finale van deze prestigieuze wedstrijd. De EASA instelling wordt door een groot aantal Europese landen ondersteund en is in het leven geroepen om de ontwikkeling van kwaliteitssoftware bij onderwijs en onderzoeksinstellingen te stimuleren.

Chapter

3

3 Systeemeisen & Installatie

3.1 Systeemeisen

- Een PC met Microsoft Windows 95, 98, NT, XP, VISTA, Windows 7 of hoger
- 20 Mb vrije schijfruimte

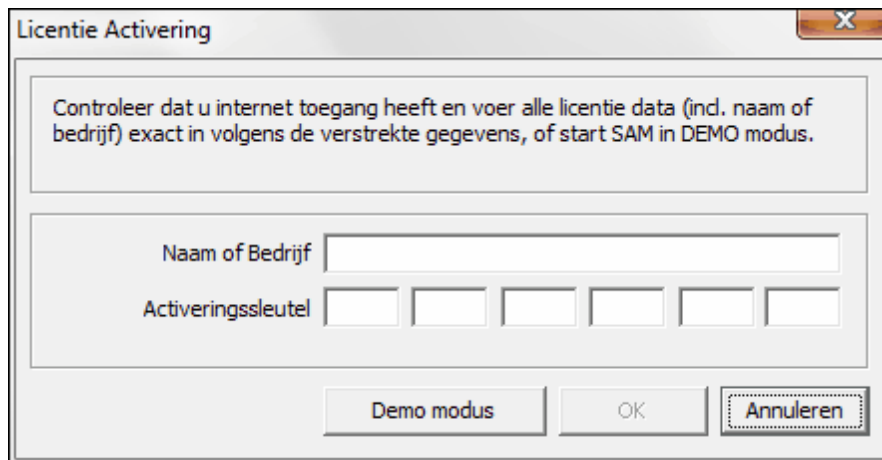
3.2 Installatie

SAM wordt gedistribueert in een gecomprimeerd bestand met de naam **sam70xx_setup.exe**, waarbij xx de taalversie aanduidt. Start dit programma en volg de instructies om een kopie van SAM op uw computer te installeren.

Zonder licentie gegevens kunt u de software in de DEMO mode gebruiken. Hieronder wordt beschreven wat u moet doen als u één van de twee licentie types heeft aangeschaft.

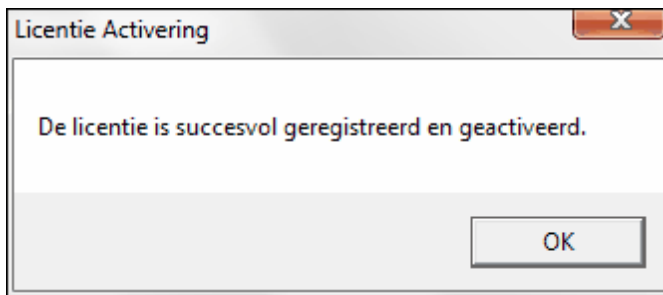
Node-Locked Licentie

Als SAM voor de eerste keer na de installatie opgestart wordt dient de activeringsleutel EN de bijbehorende (bedrijfs-)naam ingevoerd te worden. De sleutel en de (bedrijfs-)naam vormen samen één eenheid en dienen allebei correct ingetypt te worden. Tijdens de activering is internet toegang vereist om informatie uit te wisselen met de centrale licentie server. Zodra dit proces is afgerond is SAM gereed voor gebruik.



Dialogoog licentie activering

Na een geslaagde activering ontvangt u de volgende mededeling:



Bevestiging van de geslaagde licentie activering

Floating Licentie

Wilt u SAM gebruiken o.b.v. een floating licenties, dan kunt u het beste contact opnemen met uw IT-manager.

3.3 Compatibiliteit van SAM 3.x/4.x/5.x/6.x bestanden

De oude SAM 3.x/4.x/5.x/6.x bestanden kunnen gebruikt worden in SAM 7.0, maar worden bij het inlezen omgezet naar het nieuwe afwijkende 7.0-formaat. Dus eenmaal in SAM 7.0 bewerkt, kunnen deze bestanden niet meer in SAM 3.x/4.x/5.x/6.x worden ingelezen. Wilt u eventueel deze bestanden nog met SAM 3.x/4.x/5.x/6.x kunnen bewerken, dan moet u eerst een reserve kopie maken van de betreffende project files.

Chapter




4

4 Rondleiding


4.1 Een voorbeeld project

Om een voorbeeld te bekijken moet u de volgende stappen uitvoeren:


1. Open een bestaand mechanisme

Kies in het menu Bestand > Openen of klik op de knop  op de werkbalk en selecteer een *.sam bestand.

2. Start de analyse

Kies Analyse in het hoofdmenu of klik op de knop  op de werkbalk. Er verschijnt nu een dialoog waarmee de te berekenen grootheden kunnen worden ingesteld. Standaard worden de posities uitgerekend, voor deze rondleiding is dat toereikend. Klik op OK. De analyse start, een klein venster toont de voortgang.

3. Start de animatie

Kies in het menu Weergave > Animatie of klik op de knop  in de werkbalk. Het mechanisme begint te bewegen. Druk op de toets <Esc> of klik met de rechter muisknop om de animatie te stoppen.

4. Een grafiek maken

Kies in het menu Resultaten > Selecteer of klik op de knop  in de werkbalk. Selecteer nu bijvoorbeeld een knooppunt en klik. Markeer de x en y eigenschappen in de dialoog, en druk op de knop 'Grafiek'. Kies vervolgens in het menu Venster > Naast Elkaar, zodat de grafiek naast het mechanisme verschijnt. Beweeg met de muis over de grafiek.

Klik in de grafiek op het y-as label, om de betreffende grootheid op de tegenoverliggende as te schalen.

Kies in het menu Resultaten > Exporteren om de eerder geselecteerde grootheden als tekst weer te geven.

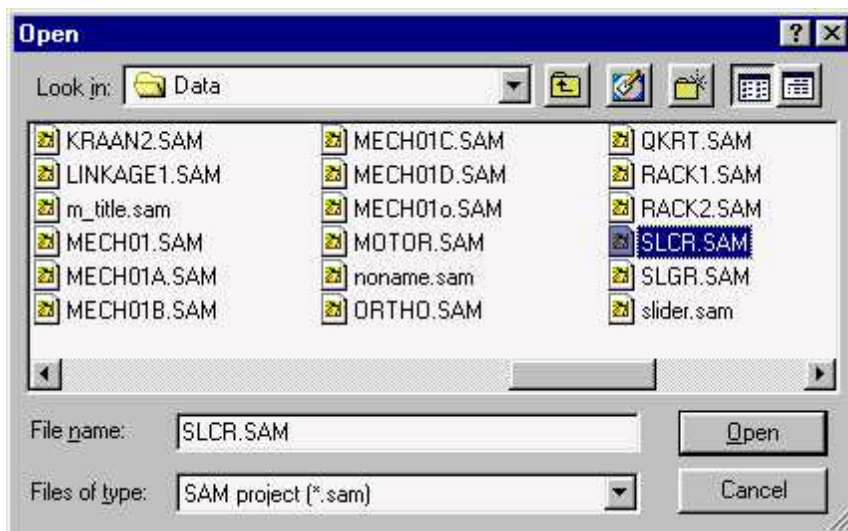
4.1.1 Een kort voorbeeld

Ter illustratie doorlopen we de belangrijkste stappen van het kruk-sleuf mechanisme, waarbij we zowel naar een bewegingsanalyse (Kinematica) als naar een krachtenanalyse (Kinetostatica) kijken.

Bewegingsanalyse

Kies in het menu Bestand > Openen of klik op de knop  op de werkbalk.

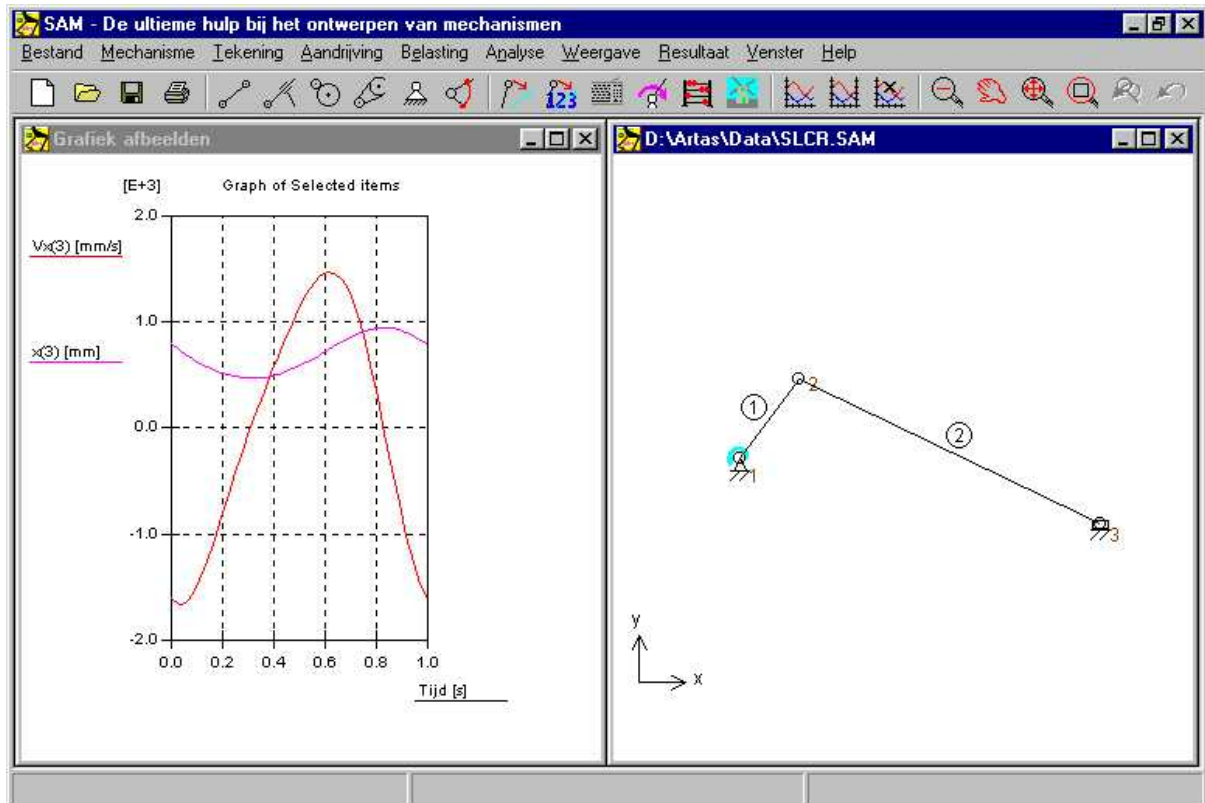
De dialoog Bestand Openen verschijnt:



Bestand openen dialogbox

Selecteer het "SLCR.SAM" bestand (let op dat u in de juiste directory zoekt SAMxx\DATA\...).

Na het inlezen van het project verschijnt in het rechter venster het mechanisme en in het linker venster een grafiek waarin de x-positie en x-snelheid van knoop 3 als functie van de tijd wordt weergegeven.



Screenshot na het openen van het bestand "SLCR.SAM"

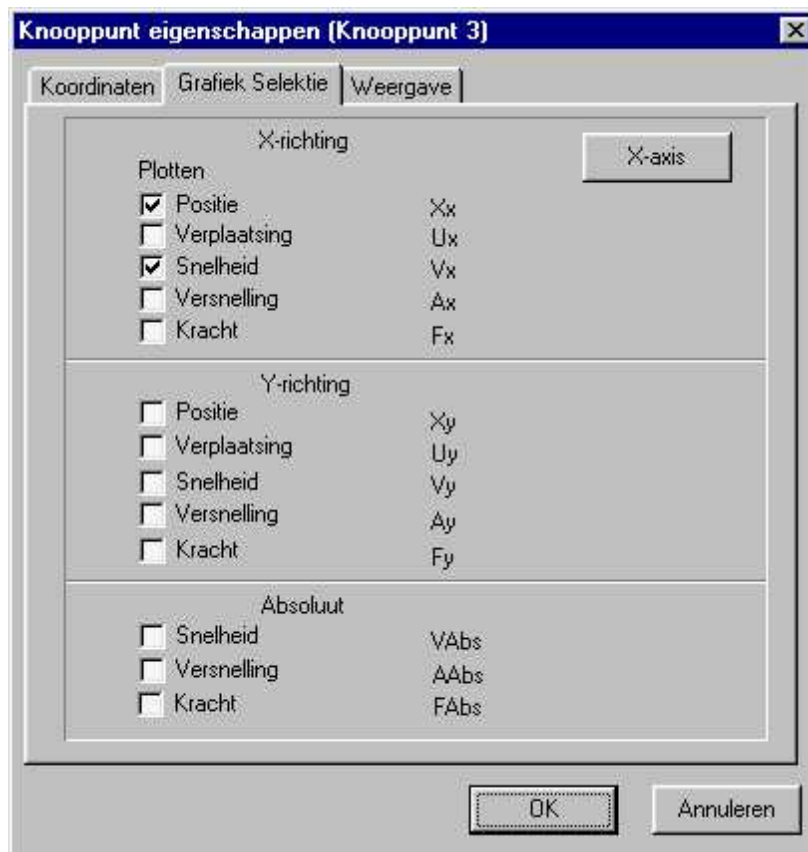
Kies Weergave/Animatie of klik op de knop  in de werkbalk.

Het mechanisme begint te bewegen.

Middels <Esc>, de rechter muis of herhaald klikken op het animatie-icoon kunt u de animatie stoppen.

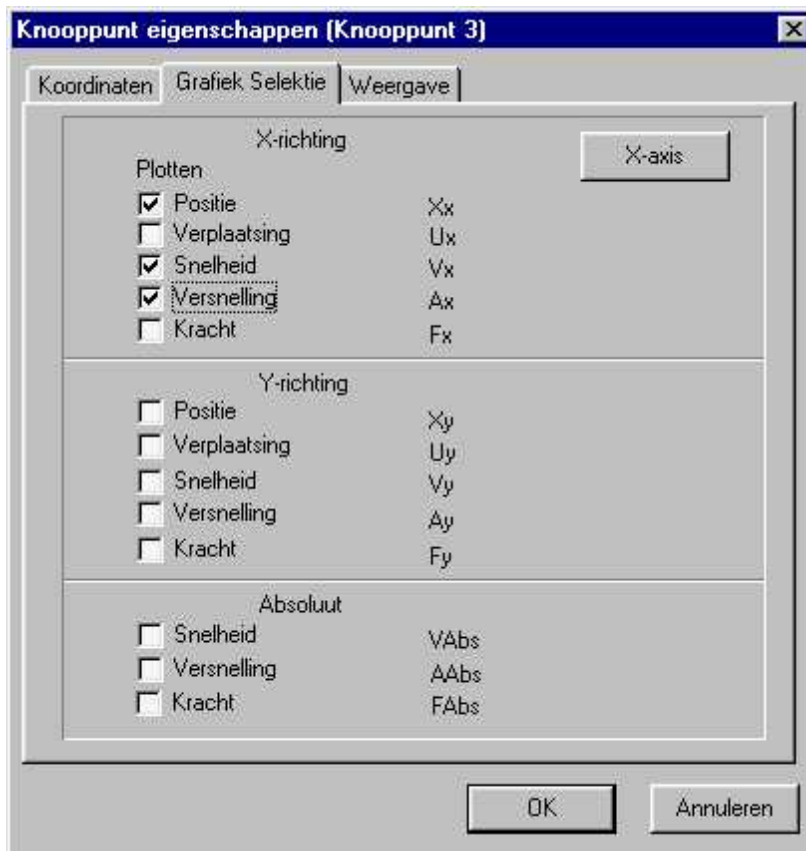
Kies Resultaat/Selecteren of klik op  en klik vervolgens het glijblok (Nr.3).

De dialoog 'Knooppunteigenschappen' verschijnt. De aangevinkte items zijn momenteel geselecteerd voor weergave in de grafiek.



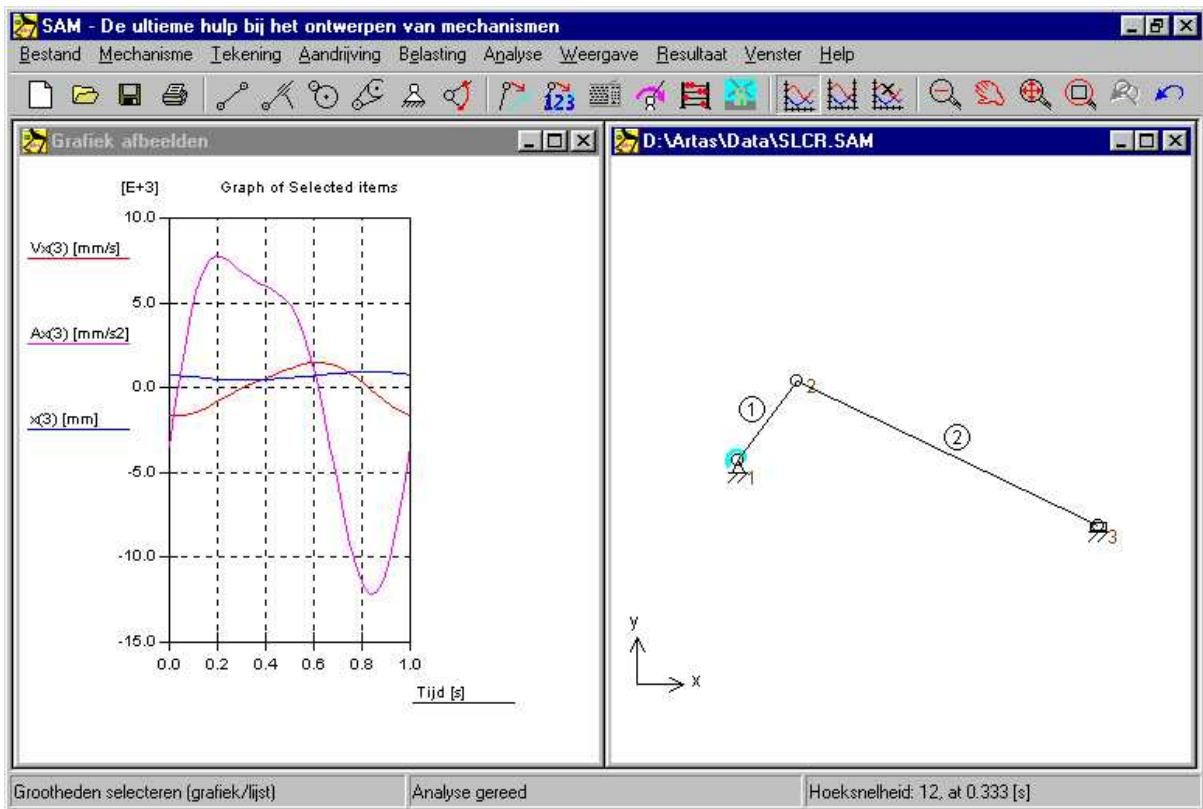
Knooppunt eigenschappen dialoog

Plaats een vinkje bij de X-versnelling A_x en druk op OK.



Eigenschappen Dialogoog nadat de x-versnelling Ax geselecteerd is.

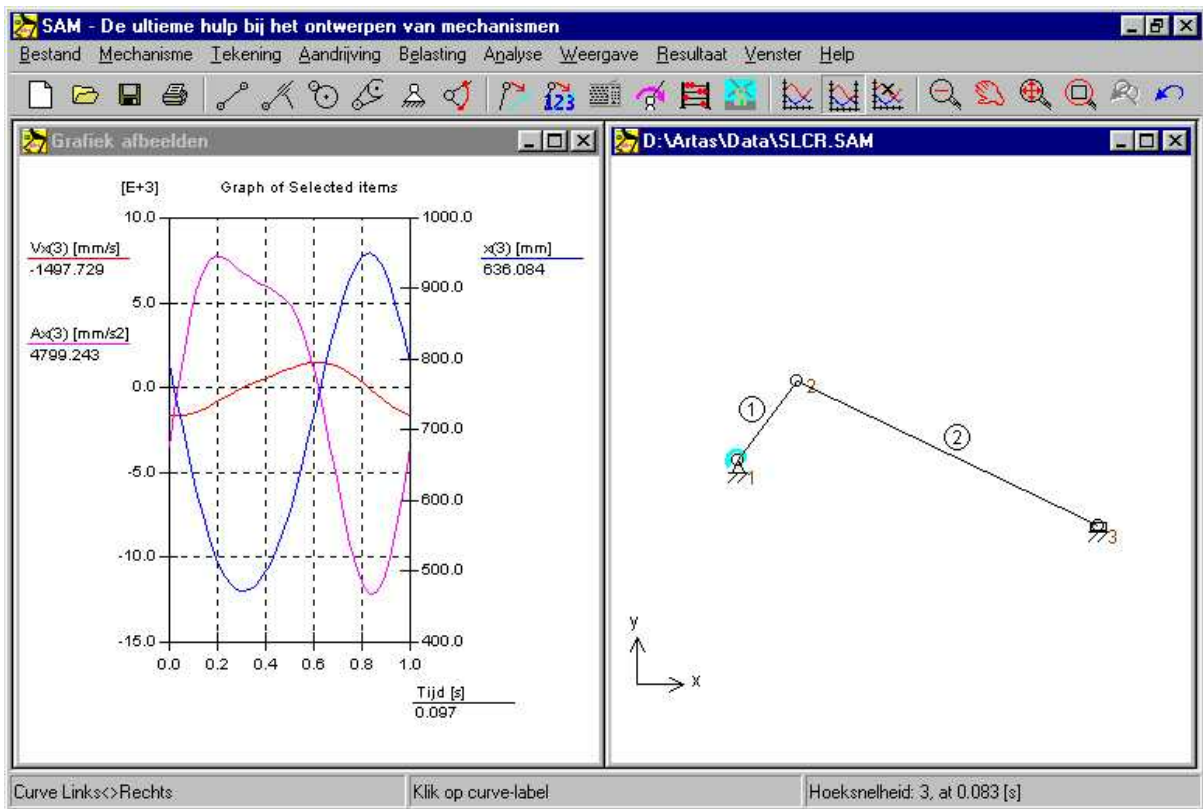
Automatisch wordt nu de grafiek bijwerkt en wordt ook de x-versnelling Ax weergegeven. Zoals ook in dit voorbeeld duidelijk wordt kan het bij selectie van meerdere grootheden gebeuren dat het min/max-bereik van de verschillende grootheden dusdanig verschillend is dat sommige curves nog maar weinig detail vertonen. In het vervolg zal worden uitgelegd hoe dit kan worden omzeild.



a. x-positie, x-snelheid en x-versnelling van het glijblok als functie van de tijd b. mechanisme

Kies Resultaat/Curve Links<>Rechts (of klik op ) en klik vervolgens op het label "X(3)" in de grafiek.

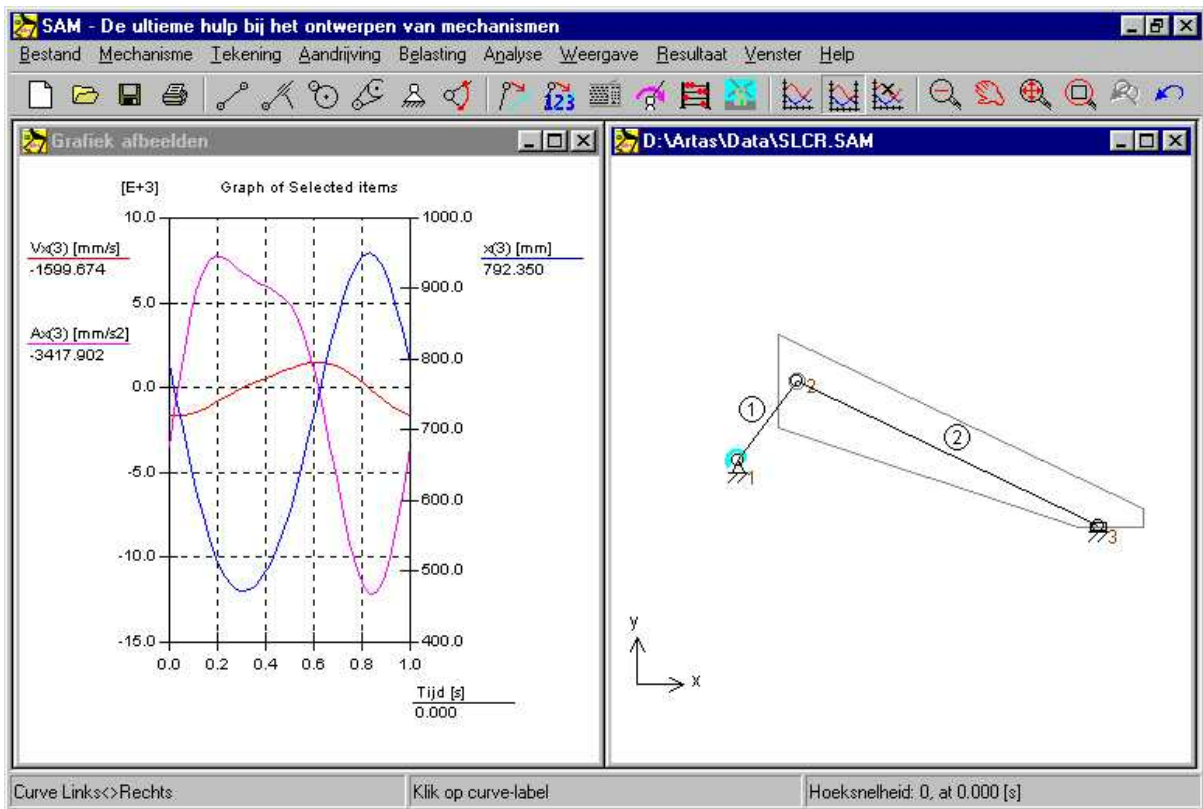
Het label "X(3)" verschuift naar de rechter zijde en er verschijnt nu een 2. y-as met een afwijkende schaling aan de rechter zijde van de grafiek. De x-positie wordt op basis hiervan geschaald, waardoor deze veel meer detail vertoont dan hiervoor.



a. x-positie, x-snelheid en x-versnelling van het glijblok als functie van de tijd b. mechanisme

Kies in het menu Bestand > Importeren DXF en selecteer het bestand "SL.DXF".

Het mechanisme wordt nu uitgebreid met een eenvoudige tekening. Alle tekenelementen van één bestand worden door SAM als een groep behandeld. U ziet nu het volgende op uw scherm:



Screenshot na het importeren van het DXF-bestand "SL.DXF"

Kies uit het menu Tekening > Groep koppelen aan element en volg de instructies.

Eerst selecteert u een component – deze wordt groen zodra de muiswijzer een lijnstuk dicht nadert, klik dan om te selecteren. Vervolgens selecteert u het element waaraan u de component wilt koppelen (hier: Nr 2).

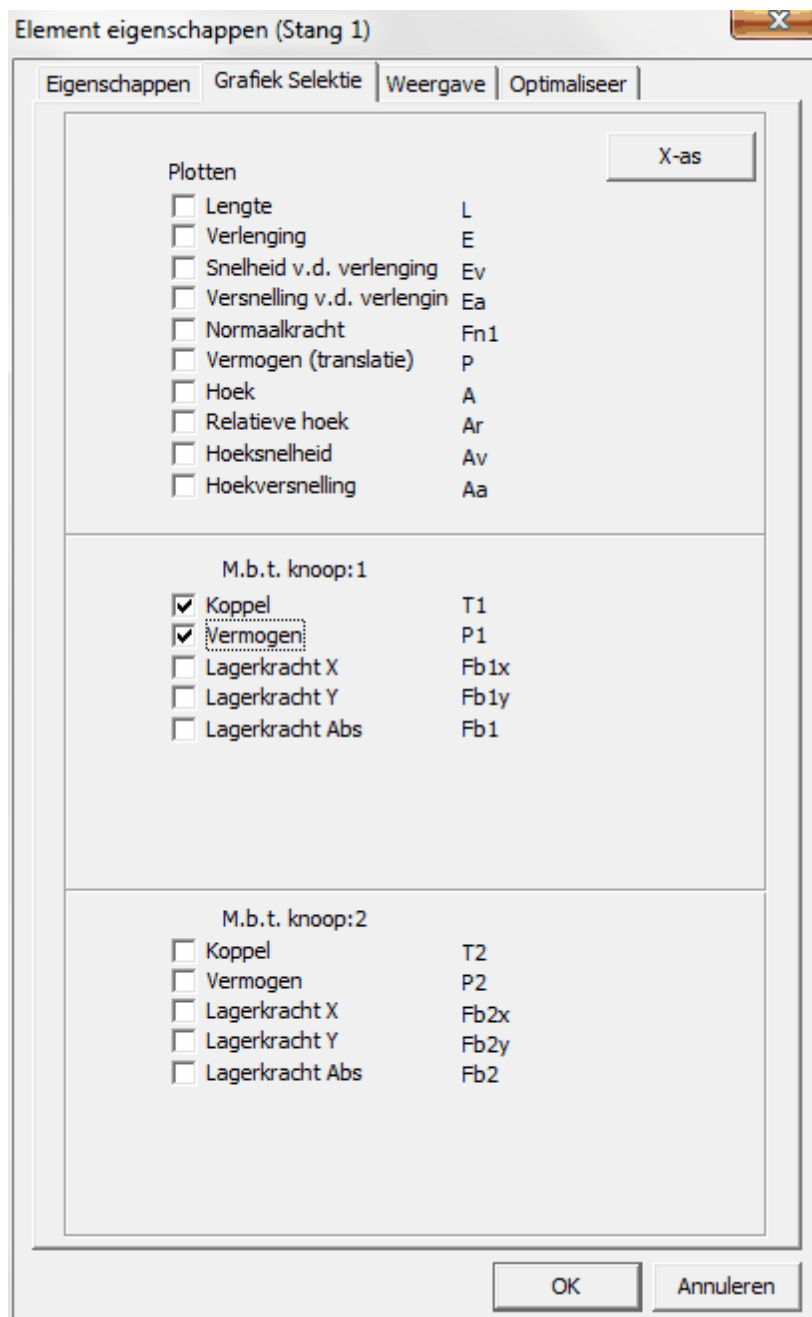
Kies in het menu Weergave > Animatie of klik op de knop in de werkbalk.

Het mechanisme beweegt nu, en de tekening-component beweegt mee met element Nr 2.

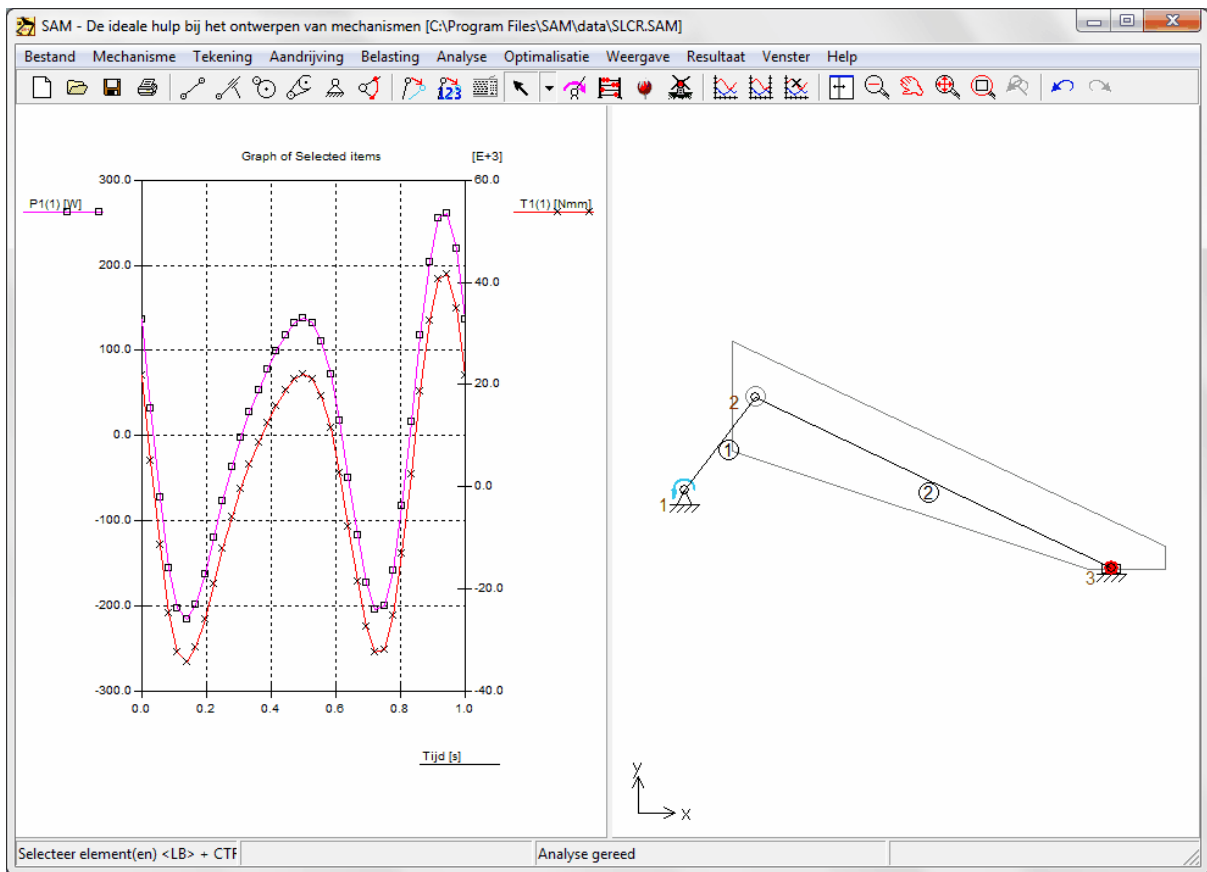
Krachtenanalyse (niet ondersteund in SAM Light)

We gaan uit van de voorgaande status, maar evt. kan de DXF-tekening ook verwijderd worden gezien deze geen invloed heeft op de krachtenanalyse. Allereerst verwijderen we de actueel getoonde resultaten uit de selectie om vervolgens naar het benodigde aandrijfkoppel en het benodigde aandrijfvermogen te kijken. Daarna worden de lagerkrachten van element 1 in de knooppunten 1 en 2 bekeken.

Resultaten>Selectie verwijderen, daarna gevolgd door de selectie van element 1

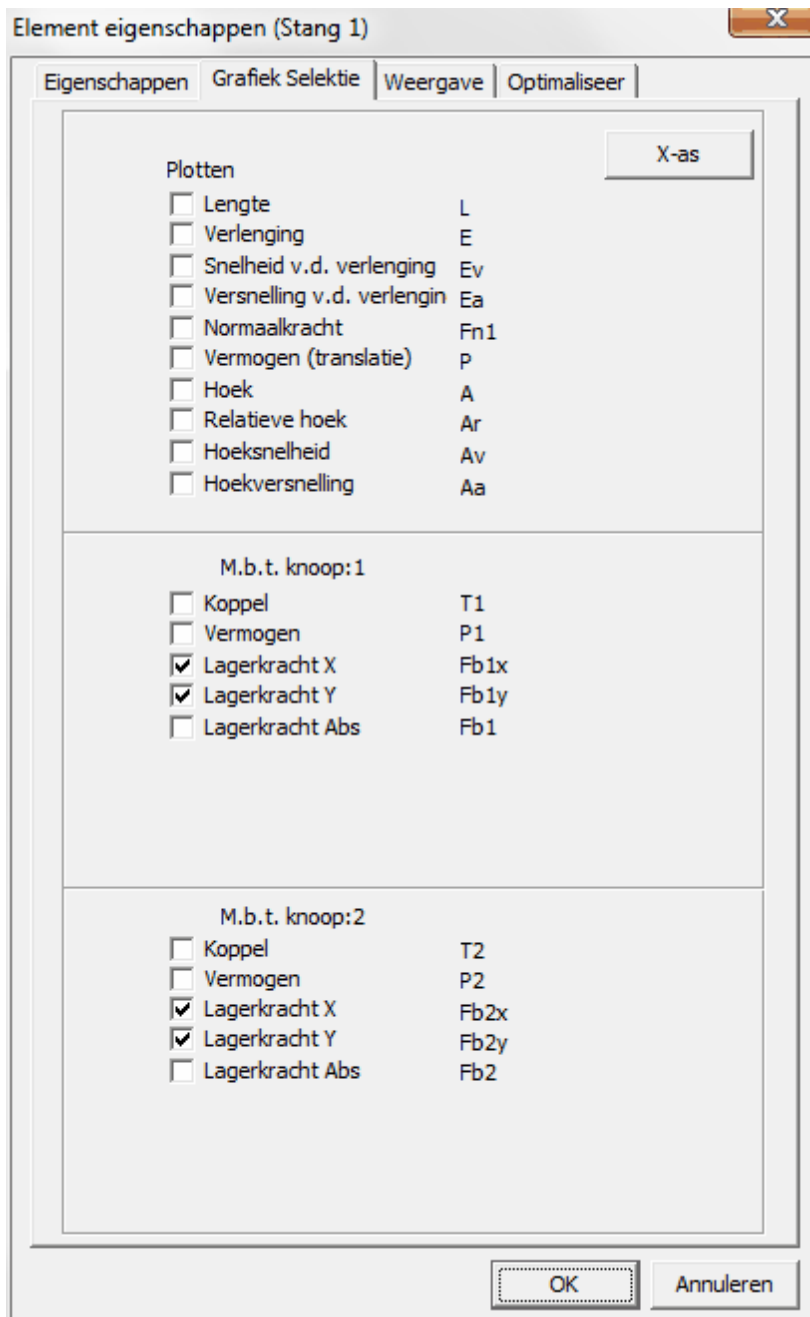
en het activeren van de onderstaand getoonde resultaten**Eigenschappen dialoog**

Hierna wordt de plot van het aandrijfmoment en het aandrijfvermogen getoond als functie van de tijd. Wederom is het met het oog op de verschillen in getalswaarden verstandig om bij de weergave twee verschillende schalen toe te passen.

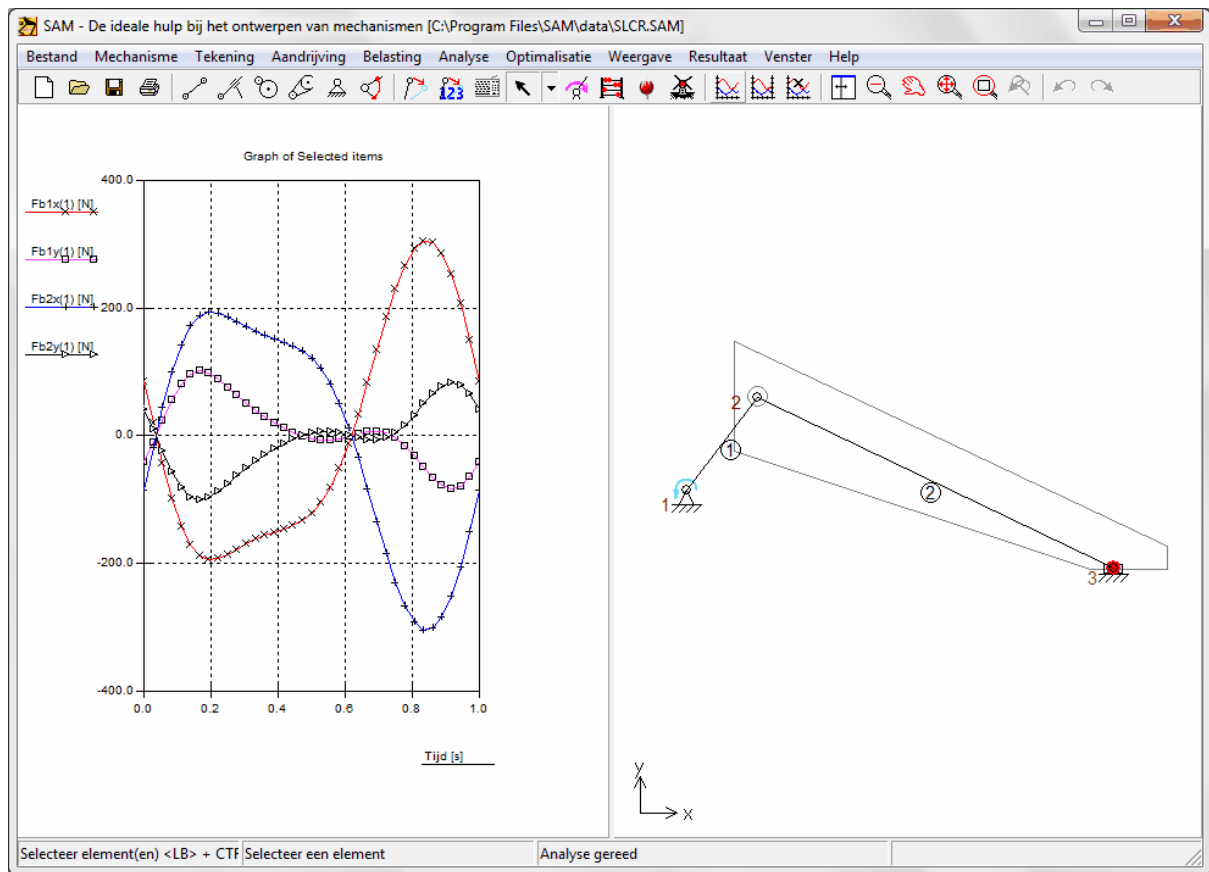


Screenshot van het mechanisme plus aandrijfmoment en aandrijfvermogen

Hierna bekijken wij de lagerkrachten in de uiteinden (knoop 1 & 2) van element 1, m.a.w. de krachten die door de omgeving dan wel het naburige element aan element 1 worden doorgegeven. Hiervoor wordt de volgende selectie gemaakt in de element dialog:



Eigenschappen dialog



Screenshot van het mechanisme plus de xy-lagerkrachten van element 1 in de knooppunten 1 en 2

Dit is het einde van de eerste kennismaking uitgaande van een bestaand mechanismen project. In de volgende hoofdstukken wordt getoond hoe een mechanisme ontworpen kan worden middels de Design Wizard en hoe dit "handmatig" gebeurt.

4.2 Een mechanisme ontwerpen met de Design Wizard

In SAM zijn een aantal Design Wizards geïmplementeerd waarmee mechanismen voor specifiek bewegingsvraagstukken gesynthetiseerd kunnen worden. Aan de hand van het voorbeeld van de 3-standen-synthese van een 4-stangenmechanisme zal het concept van de Design Wizards worden toegelicht.

Kies Bestand/Wizard/4-Stangenmechanisme

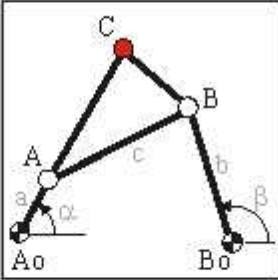
Er verschijnt nu een dialoog met 5 tabbladen voor een aantal ontwerptaken.

4-Stangen Mechanisme Wizard

Hoek Functie Synthese | 3-Standen-Synthese (I) | 3-Standen-Synthese (II)

Algemeen (knooppunten) | Algemeen (gestelpunten, hoeken, afmetingen)

	X	Y
C	600.000 [mm]	900.000 [mm]
A	300.000 [mm]	700.000 [mm]
B	800.000 [mm]	800.000 [mm]
A _o	200.000 [mm]	500.000 [mm]
B _o	800.000 [mm]	400.000 [mm]



Middels deze dialoog kan een 4-stangen mechanisme gedefinieerd worden uitgaande van de knooppunt coördinaten.

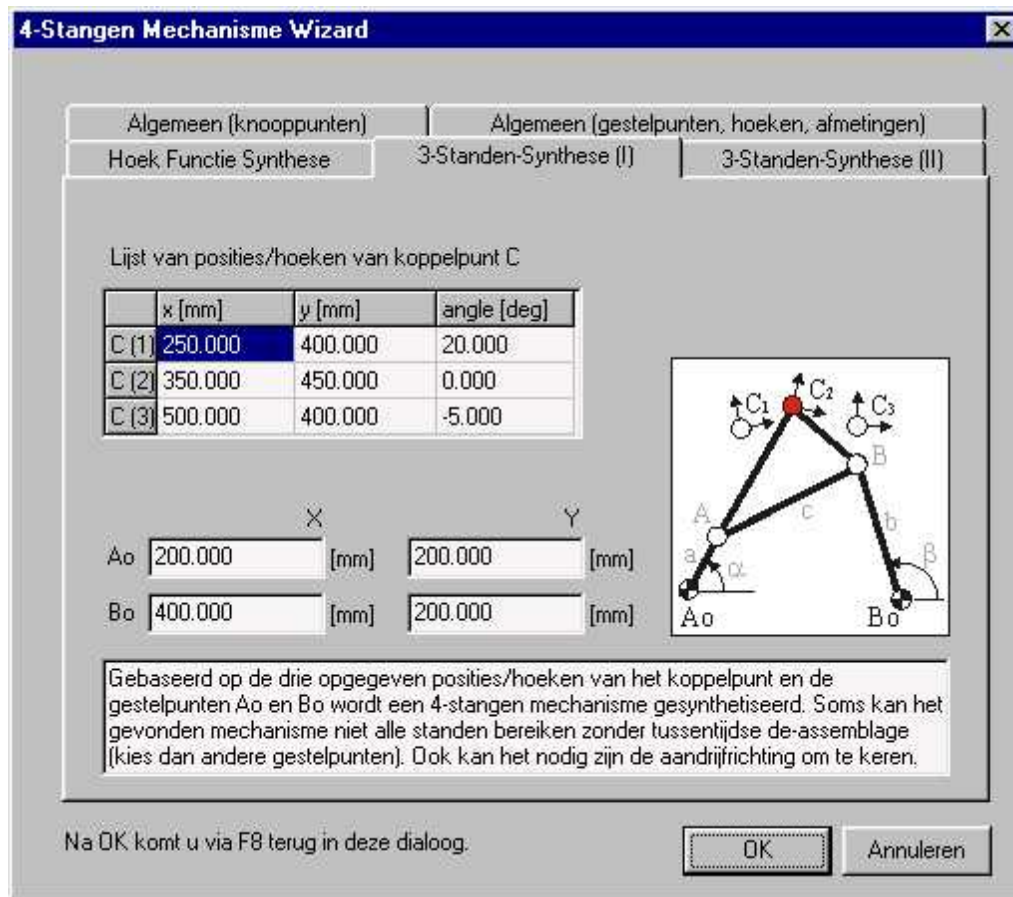
Na OK komt u via F8 terug in deze dialoog.

OK Annuleren

Design Wizards "4-stangenmechanisme"

Selekteer tabblad "3-Standen-Synthese (I)"

Het overeenkomstige tabblad verschijnt nu op de voorgrond. In dit formulier kunnen 3 doelstanden van het koppelvlak (positie/hoek van het koppelpunt C) en de gestelpunten A_o en B_o worden gespecificeerd op basis waarvan een 4-stangenmechanisme dient te worden gesynthetiseerd.

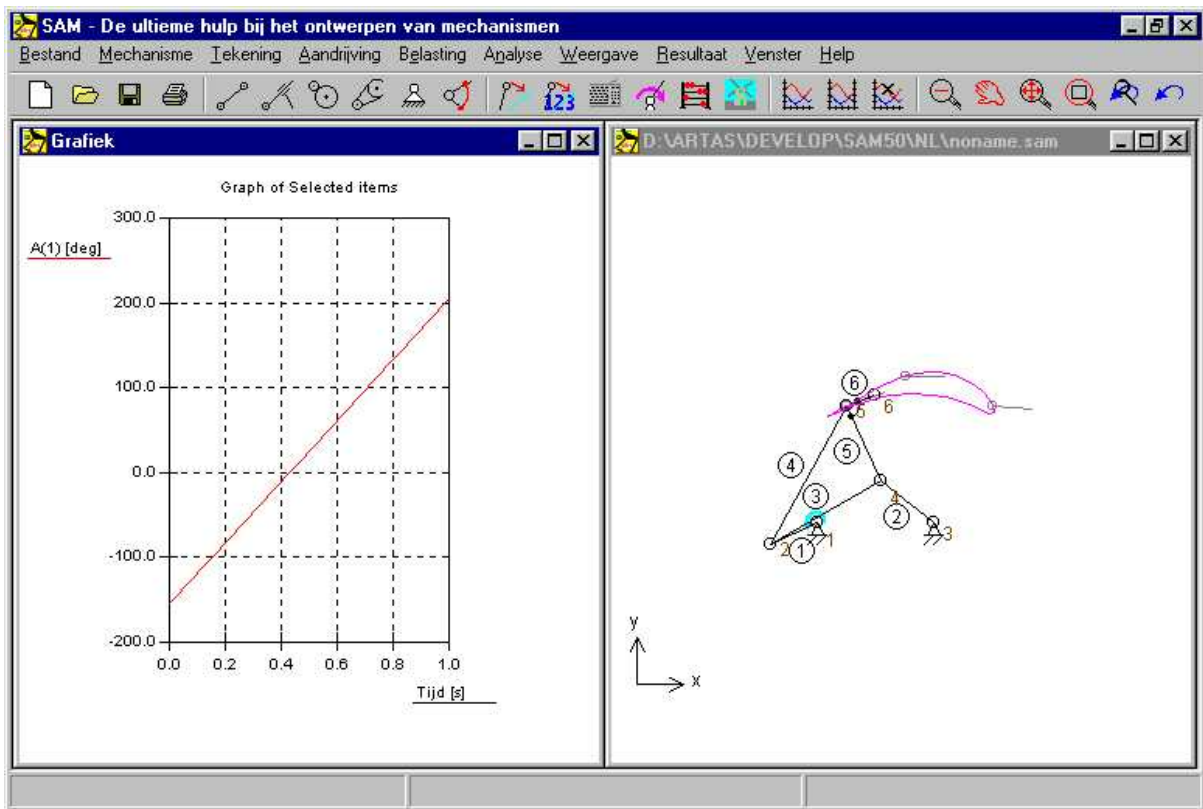


Design Wizard "4-stangenmechanisme / 3-standen-Synthese (I)"

Kies OK om de huidige waarden te accepteren

Het 4-stangenmechanisme wordt nu berekend en uitgaande van een volledige omwenteling van de kruk wordt de beweging van het koppelvlak weergegeven (+ de drie gespecificeerde doelstanden).

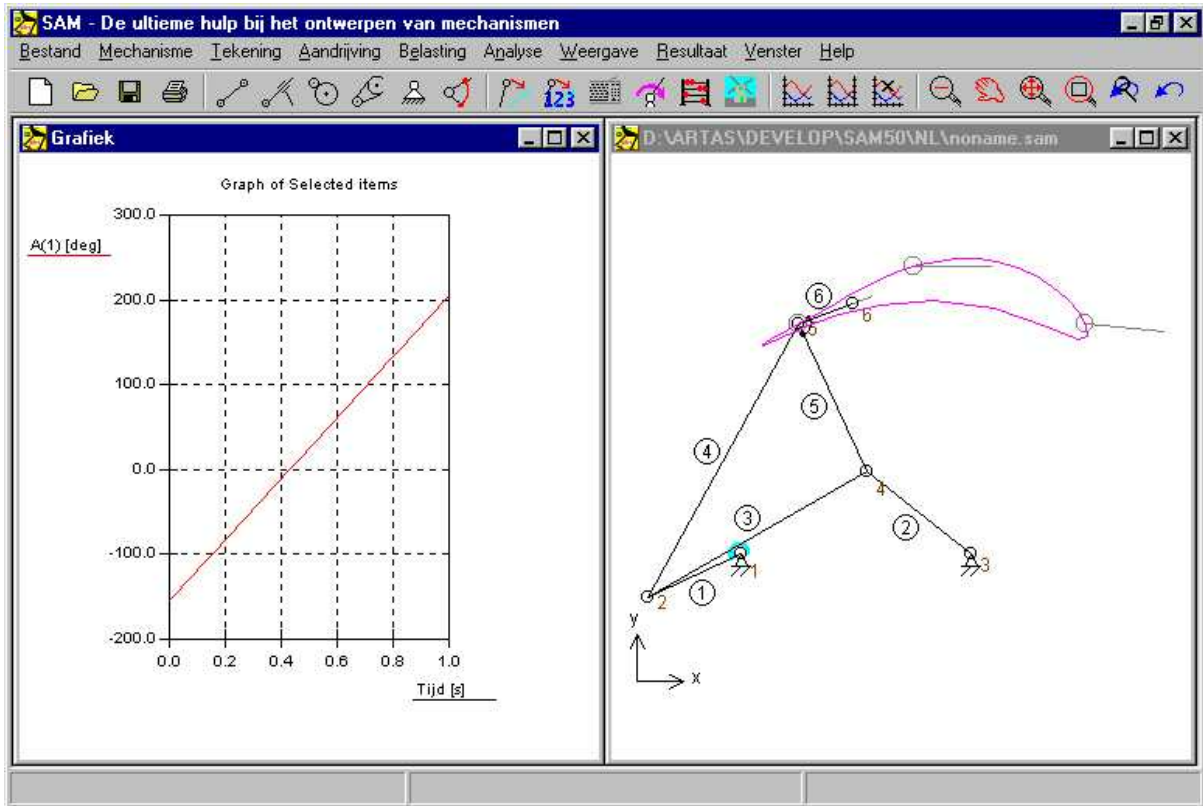
De grafiek toont het verloop van de krukhoek als functie van de tijd.



Resultaat van de Design Wizard "4-stangenmechanisme / 3-standen-Synthese (I)"

Klik op  (Zoom Max) voor een betere weergave van het mechanisme

Het mechanisme wordt nu maximaal vergroot (rekening houdend met het gehele animatiebereik).



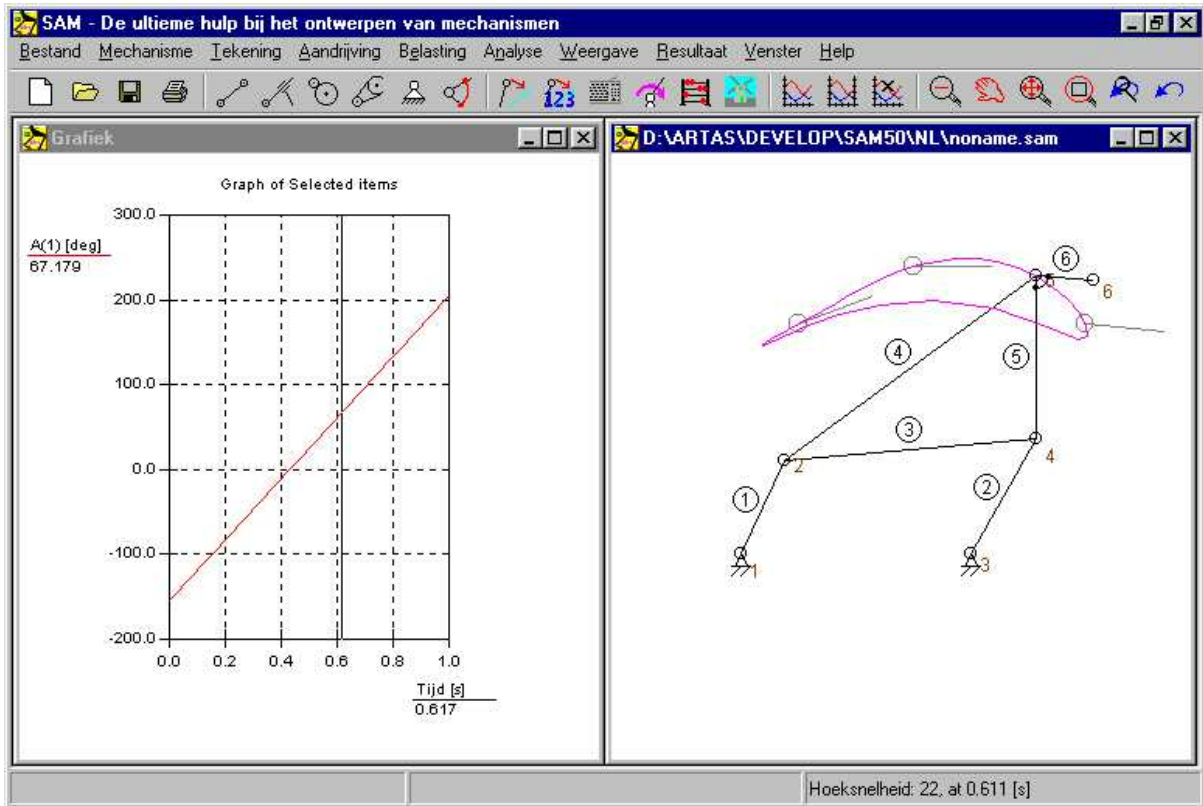
Resultaat van de Design Wizard "4-stangenmechanisme / 3-Standen-Synthese (I)" (na ZOOM MAX)

Met  (Animatie) kan de animatie gestart/gestopt worden

Stop de animatie en beweeg de muis horizontaal over de grafiek

Zodra de muis over de grafiek beweegt gebeuren een aantal dingen, t.w. 1. er verschijnt een verticale cursor in de grafiek, 2. de x- en y-waarden van de curve worden onder het betreffende label weergegeven, 3. het mechanisme wordt weergegeven in de stand die overeenkomt met de cursorpositie. Op deze manier is het mogelijk om de beweging van een mechanisme in detail te bestuderen.

Indien er geen verticale cursor verschijnt kunt u deze aanzetten via de dialoog Resultaat/Grafiek Opties. Indien er wel een vertical cursor verschijnt maar het mechanisme niet mee-beweegt moet u deze aanzetten in de dialoog Bestand/Voorkeursinstellingen/Weergave door een vinkje te zetten voor Cursor/Grafiek-Koppeling.



Voorbeeld van de koppeling van de verticale cursor in de grafiek en de stand van het mechanisme.


Druk op <F8> om terug te keren naar de Design Wizard

Indien de uitkomst van de synthese niet bevalt kan de gebruiker met <F8> terugkeren in de desbetreffende Design Wizard en door aanpassing van de specificaties pogen een betere oplossing te vinden. In het geval van de 3-standen-synthese zou het heel goed mogelijk kunnen zijn dat de gestelpunten A_0 en B_0 op een andere locatie gekozen mogen worden. Daarnaast is de middelste stand van het koppelvlak in de 3-standen-synthese veelal minder kritisch dan de eindstanden en er kan dus onderzocht worden in hoeverre een geringe aanpassingen van de middelste doelstand tot een betere oplossing leidt.

4.3 Een nieuw mechanisme modelleren



Hierna worden in korte bewoordingen de stappen beschreven die nodig zijn om een mechanisme te bouwen en te analyseren:

1. Start een nieuw project

Kies uit het menu Bestand > Nieuw of klik op de knop  in de werkbalk. Er komt een dialoog waarin u eventueel de afmetingen kunt opgeven van het werkgebied. Deze kunnen later onbeperkt worden gewijzigd met de zoom-knoppen.

2. Stel een mechanisme samen uit de basiselementen ...

Het hoofdmenu Mechanisme bevat de basiselementen. SAM koppelt elementen

automatisch in de draaipunten wanneer de muis het betreffende punt dicht genoeg nadert (de cursor verandert dan van gedaante om aan te geven dat de 'vang'functie actief is. Door op een element te dubbelklikken kunt u de eigenschappen aanpassen. Met <Delete> of het menu Mechanisme > Element verwijderen kunt u een element verwijderen. Met de knoppen  en  kunt u een knooppunt verplaatsen of de coördinaten exact invoeren.

3. Steunpunten definiëren

Kies in het menu Mechanisme > Knooppunt vastzetten of klik op de knop iii in de werkbalk om één of meer knooppunten aan de vaste wereld te koppelen (als draaipunt of als geleiding). Let op de instructies in de statusbalk. Selecteer een knooppunt, en beweeg met de muis rond de knooppunt. Er komen nu achtereenvolgens drie verschillende symbolen voorbij, waarmee u een keuze kunt maken uit de gewenste oplegging. U kunt deze handelingen herhalen om het type oplegging te wijzigen.

4. Definieer massa, traagheidsmoment, uitwendige krachten, koppels, zwaartekracht

Zie toelichting bij "Belastingen" in hoofdstuk 8. Voor zuiver kinematische analyses is dit niet nodig.

5. Specificeer de aandrijving(en)

Kies in het menu Aandrijving > Hoek of klik op de knop iii in de werkbalk om bijvoorbeeld een ronddraaiende kruk te maken. U kunt ook één van de andere menukeuzes doen: translatie in x- of y-richting, interne verlenging of relatieve hoek. Zodra u een knooppunt of element gekozen heeft komt een dialoog op waarmee de ingangsfunctie wordt opgebouwd. De functie wordt opgebouwd uit één of meer stukken lineair of kromme. De grafiek toont het verloop in de tijd. Klik op een regel om de inhoud te bewerken, druk vervolgens op de knop Wijzigen om de aanpassingen door te voeren. Wilt u meer dan één aandrijving toepassen, lees dan eerst in hoofdstuk 5 verder.

6. Start de analyse

Afhankelijk van de instelling van AUTOMATISCHE ANALYSE (zie Bestand/ Voorkeursinstellingen/ Analyse) wordt er automatisch een analyse op de achtergrond uitgevoerd of dient deze door de gebruiker te worden gestart middels het item ANALYSE in het hoofdmenu of het Abacus icoon  in de werkbalk.

7. Start de animatie

Kies in het menu Weergave > Animatie of klik op de knop  in de werkbalk. Het mechanisme begint te bewegen. Druk op de toets <Esc> of klik met de rechter muisknop om de animatie te stoppen.

8. Bekijk de resultaten

Kies in het menu Resultaten > Selecteer of klik op de knop  in de werkbalk. Selecteer van één of meer knooppunten en/of elementen de eigenschappen die u in grafiek wilt

afbeelden. Bij elke selectie van een knooppunt of element komt de bijbehorende dialoog op waarna u kunt kiezen: ofwel toon de grafiek, ofwel doe meer selecties. Op ieder moment kan ook via het menu Resultaten > Grafiek de grafiek getoond worden. Er moet dan wel op z'n minst één grootte geselecteerd zijn.

Wilt u de berekende grootheden getalsmatig bestuderen, dan kiest u het menu Resultaten > Exporteren. Er volgt dan een dialoog met diverse instellingen die later beschreven worden. Als de optie Direct opstarten aangevinkt is, komt u na OK in een tekstverwerker waarin de resultaten van de selectie als tabel worden afgebeeld. Mogelijk vraagt SAM eerst een standaard tekstverwerker te kiezen (dit is eenmalig, de instelling hiervan staat in SAM41.INI).

9. Sla het project op

Kies in het menu Bestand > Opslaan of klik op de knop  in de werkbalk. Als u dit vergeet vraagt SAM er zelf om wanneer u het programma of Windows afsluit.

4.3.1 Voorbeeld: 4-stangen mechanismse (bewegingsanalyse)

Kies het menu Bestand > Nieuw.

Een dialoog komt op met de instellingen van het werkgebied.



Werkgebied dialoog

Klik op OK om de vooringestelde waarden te accepteren.

Deze werkruimte kan op elk moment met de zoomknoppen worden aangepast.

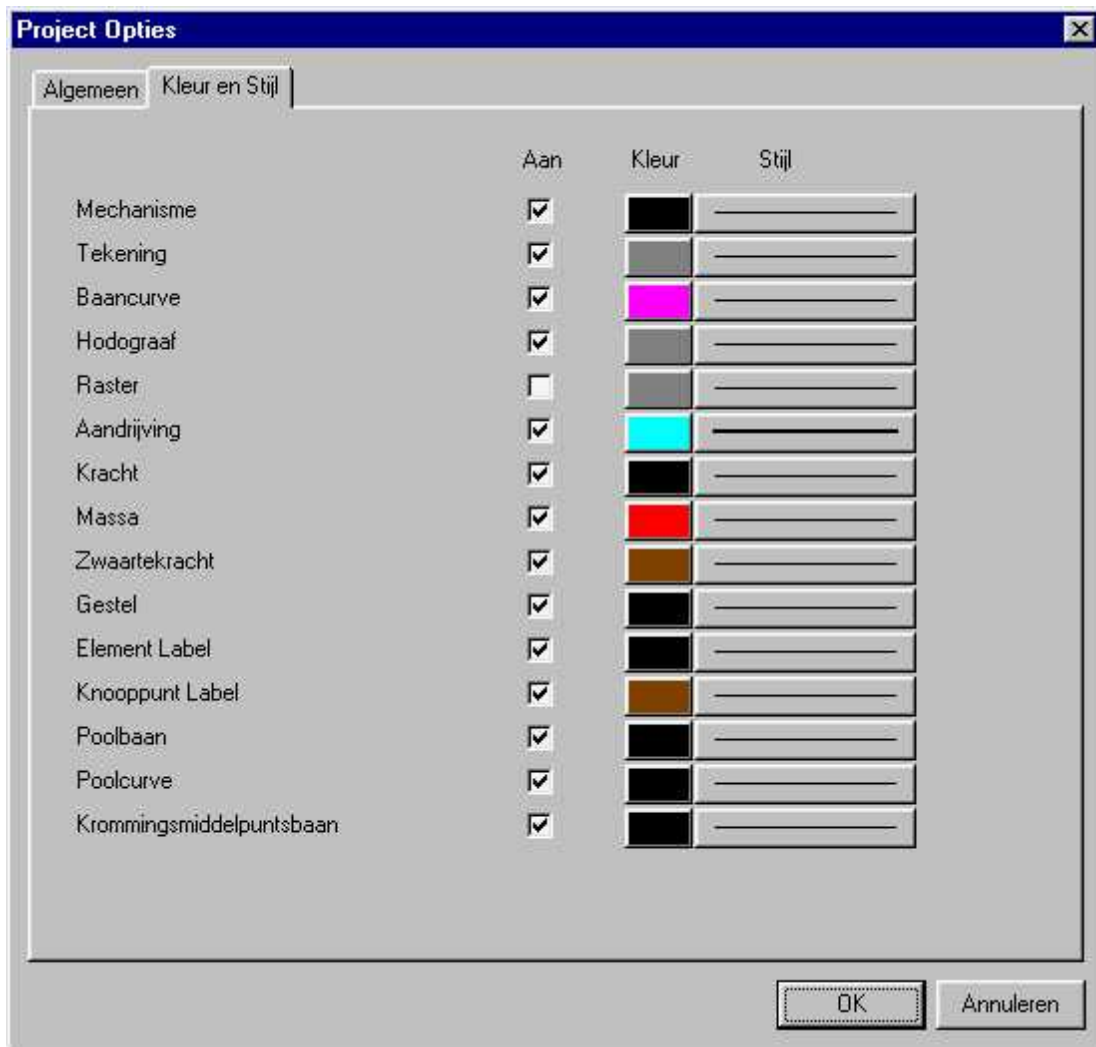
Er verschijnt een leeg werkblad

Maak het mechanismen venster maximaal.

Op de normale Windows-wijze kan het mechanismervenster gemaximaliseerd worden hetgeen erg praktisch is bij het aanmaken van het mechanismen model (er kan ook standaard voor een enkel venster gekozen worden via Bestand/ Voorkeursinstellingen/ Venster).

Kies het menu Weergave/Opties en vervolgens het tabblad Kleur & Stijl.

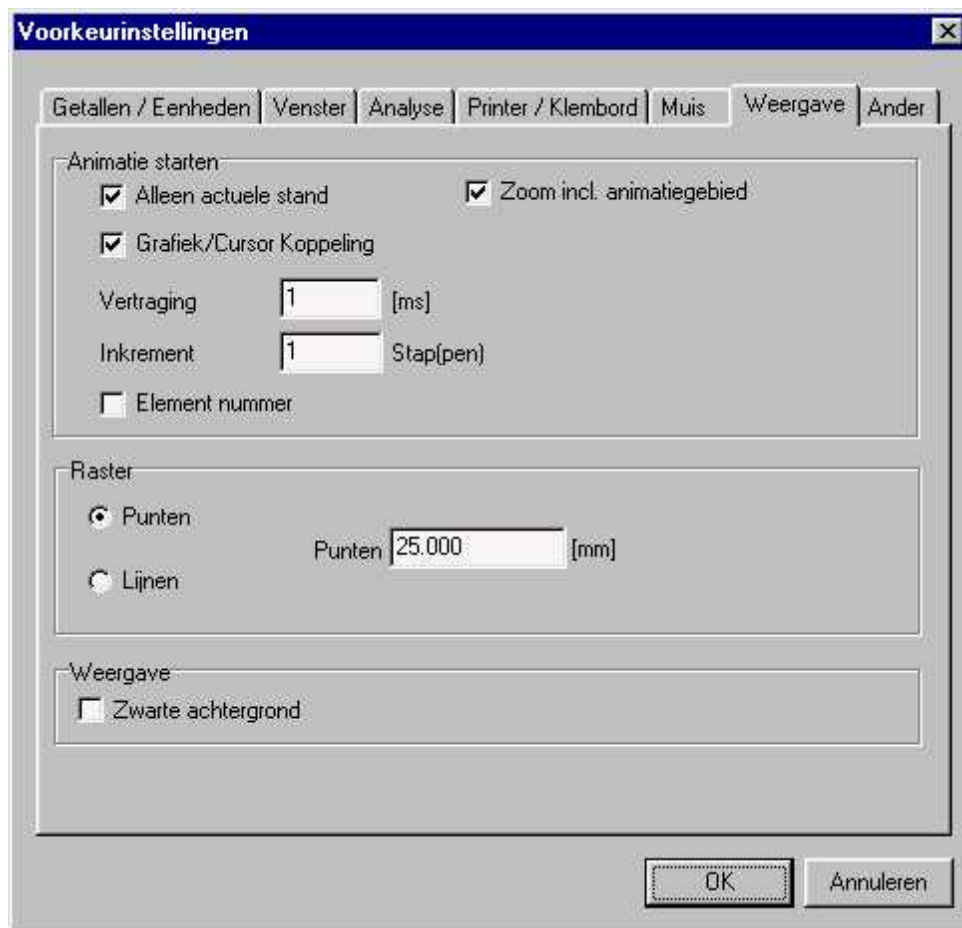
In de nu verschijnende dialoog kunnen de kleur- en stijl-instellingen van een aantal items worden gedaan. Zoals te zien is de weergave van het raster momenteel uitgezet.



Weergave opties dialoog

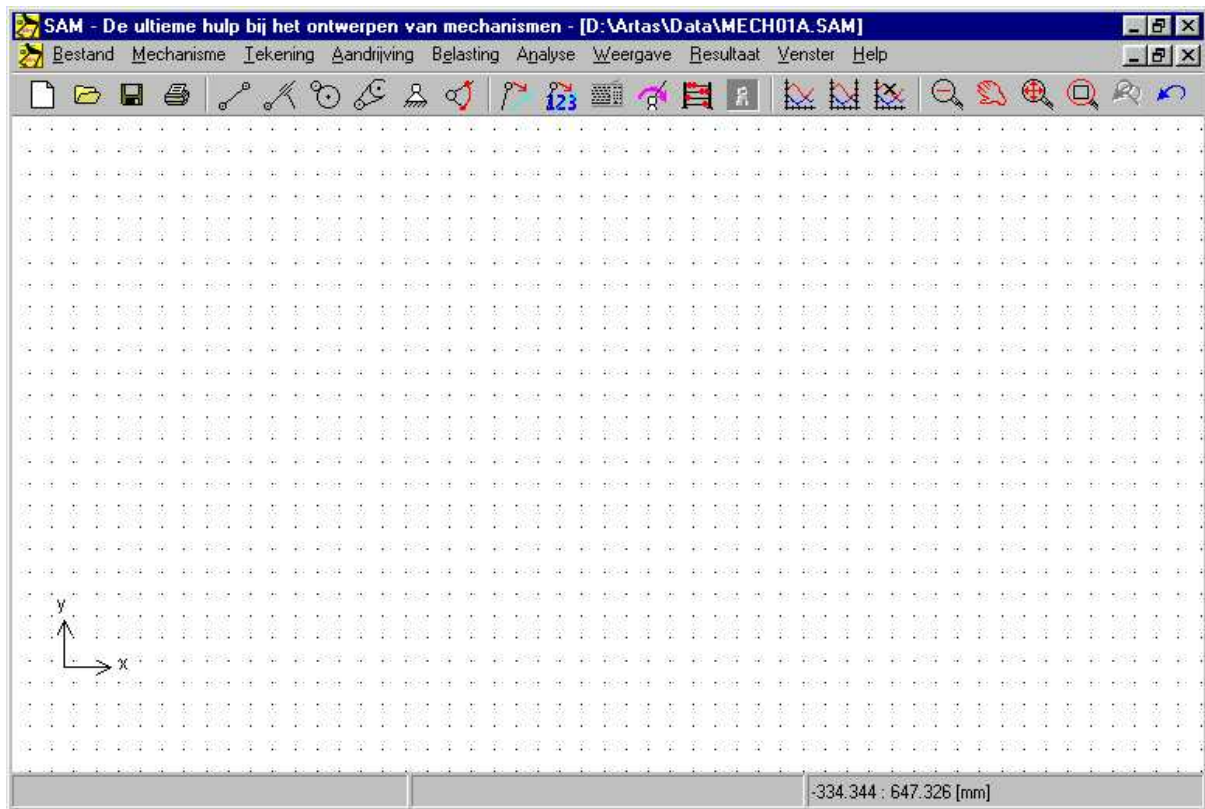
Zet de weergave van het raster AAN en klik vervolgens op OK.

Afhankelijk van de voorkeursinstellingen m.b.t. de afmetingen en het type raster (zie Bestand/Voorkeursinstellingen/Weergave) verschijnt er nu een fijn/grof raster bestaande uit punten of lijnen. In het voorbeeld worden van de volgende instellingen uitgegaan.



Voorkeursinstellingen

In het beeldscherm wordt nu een raster weergegeven conform de gekozen instellingen in de Weergave>Opties dialoog. Het beeldscherm zou er nu als volgt uit moeten zien :



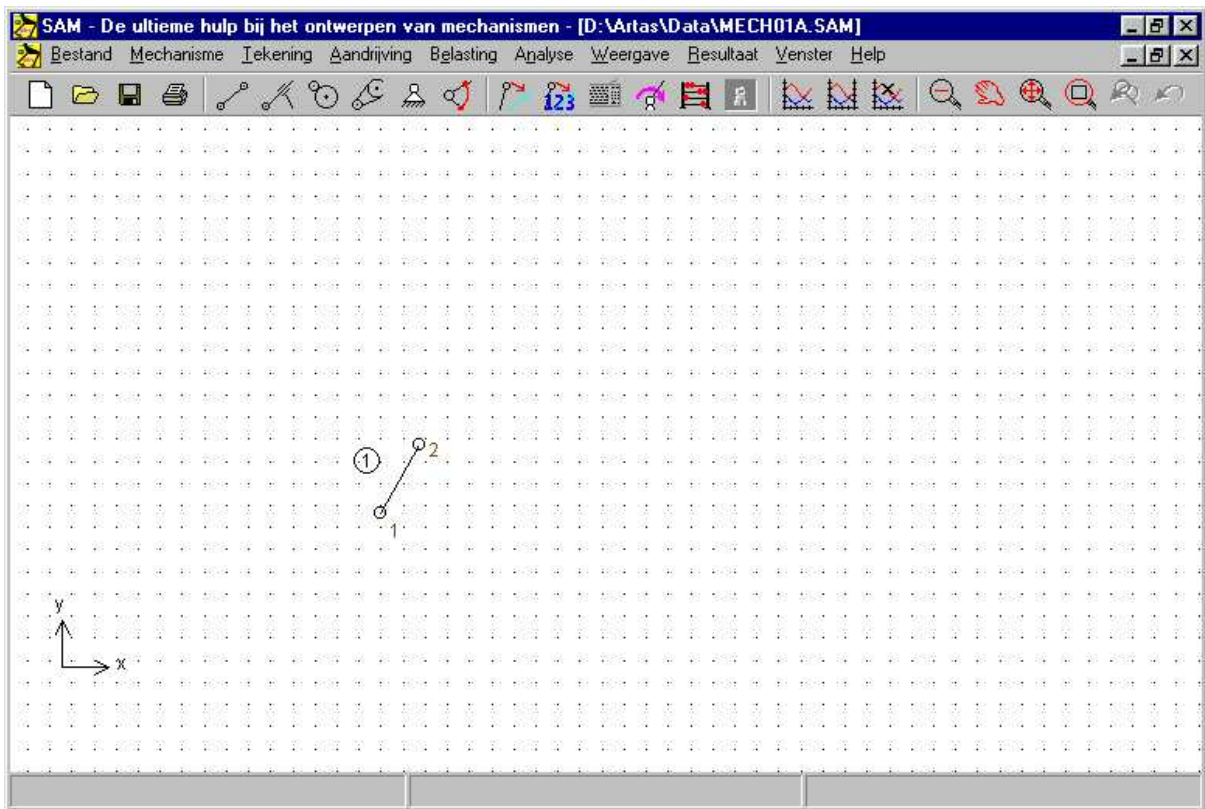
Werkgebied met raster

Kies in menu **Mechanisme > Stang** of klik op 

U kunt nu beginnen met een stang element te plaatsen. Let op de instructies onderin het venster.

Klik met de linker muistoets op twee plaatsen op het scherm en uw eerste stang is klaar.

Terwijl U de muis beweegt ziet U rechts onderin de actuele coördinaten. Het beeldscherm zou er nu als volgt uit kunnen zien :



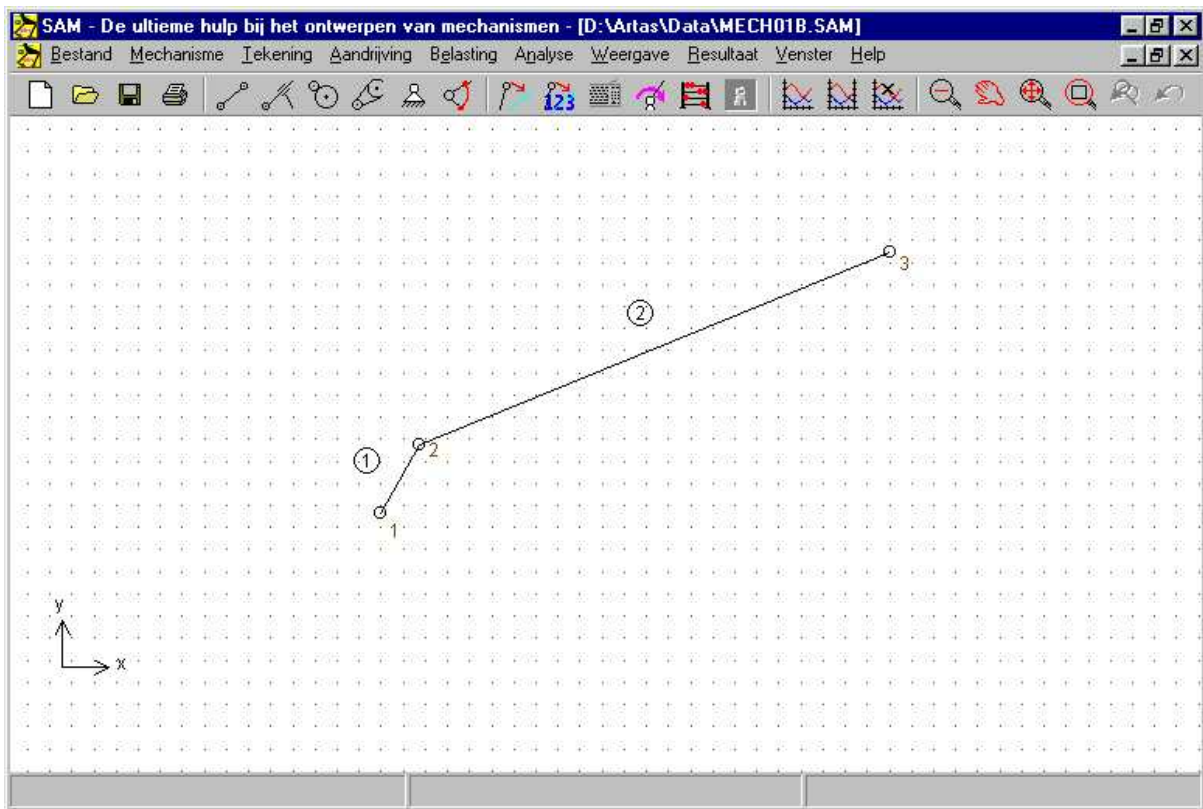
Werkgebied nadat de eerste stang is aangemaakt.

Creëer de tweede koppelstang

SAM verkeert na de vorige actie nog steeds in de modus 'stang creëren', U kunt dus zonder tussenkomst van het menu nog een stang aanmaken.

Selecteer knooppunt 2 en klik (merk op dat de muiscursor verandert zodra deze dichtbij een bestaande knooppunt komt: hiermee wordt aangegeven dat SAM deze knooppunt als koppeling zal gebruiken). Beweeg de muis naar rechts boven (zie voorbeeld) en klik weer om het 3. knooppunt aan te maken.

SAM heeft automatisch een koppeling tussen de twee stangen aangebracht in knooppunt 2. In feite bestaat er op die plek maar één knooppunt, die door beide elementen gebruikt wordt.

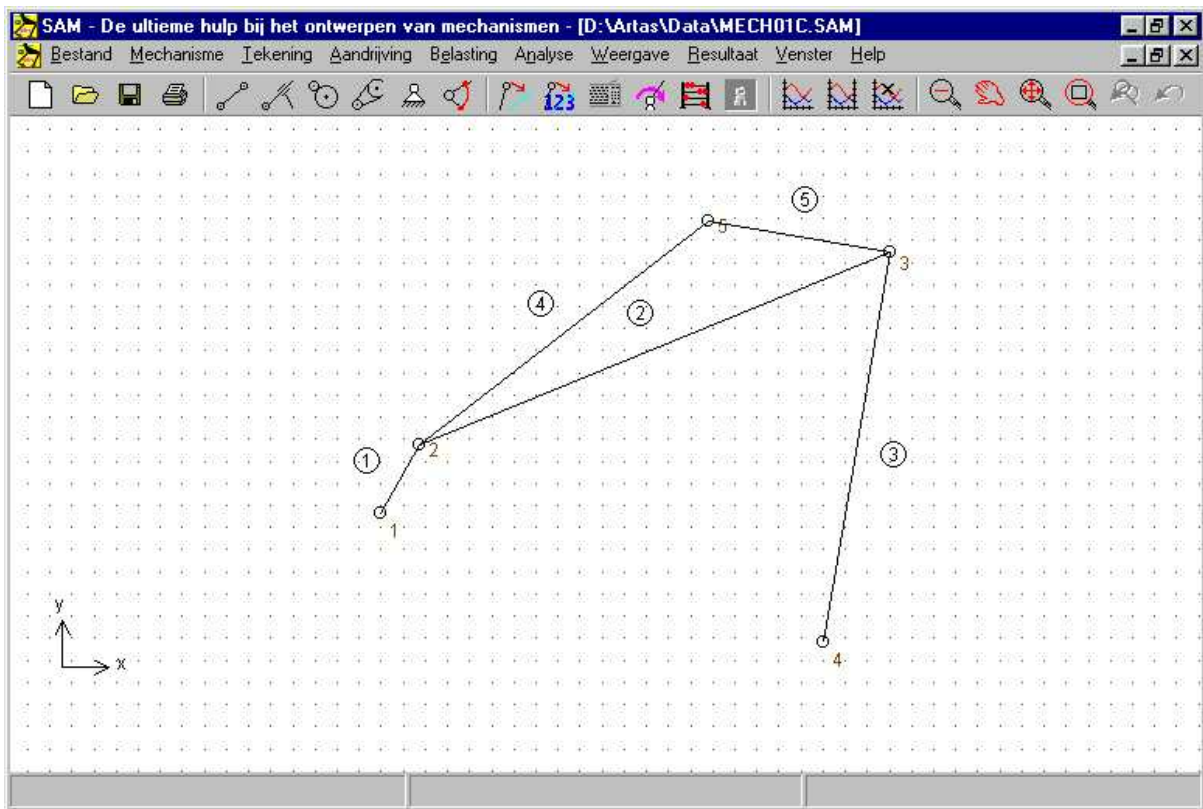


Werkgebied nadat de tweede stang is aangemaakt

Creër alle overige elementen overeenkomstig het voorbeeld.

Let op de volgorde, zodat de volgende instructies geen verwarring opleveren: eerst van knooppunt 3 naar 4 de derde stang, vervolgens van 2 naar 5 de vierde stang, en tot slot van 5 naar 3 de laatste stang.

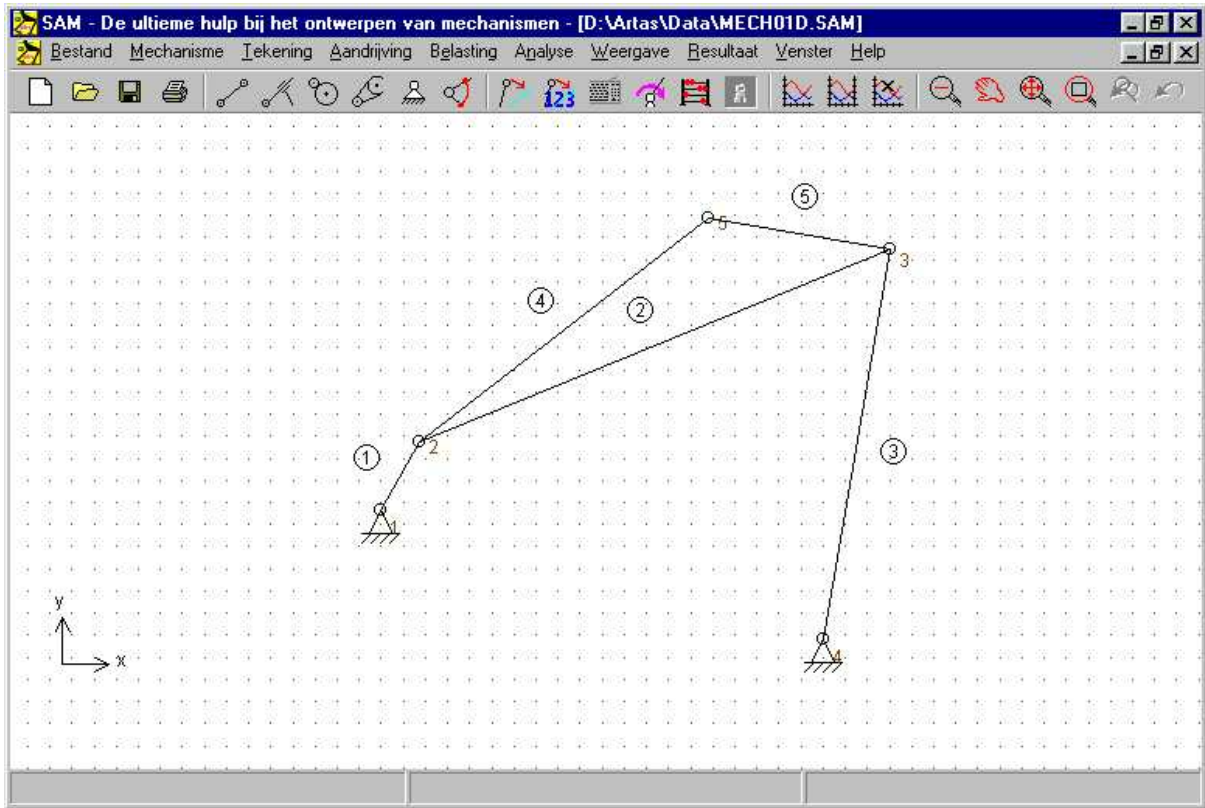
Het eindresultaat zou er ongeveer als volgt uit moeten zien :



Werkgebied nadat alle stangen van het 4-stangen mechanisme gedefinieerd zijn

Kies het menu **Mechanisme > Knooppunt vastzetten (x- en/of y)** of klik op . Selecteer knooppunt 1 en beweeg de muis met ingedrukte linker toets rondom het knooppunt totdat het juiste symbool verschijnt. Doe hetzelfde bij knooppunt 4.

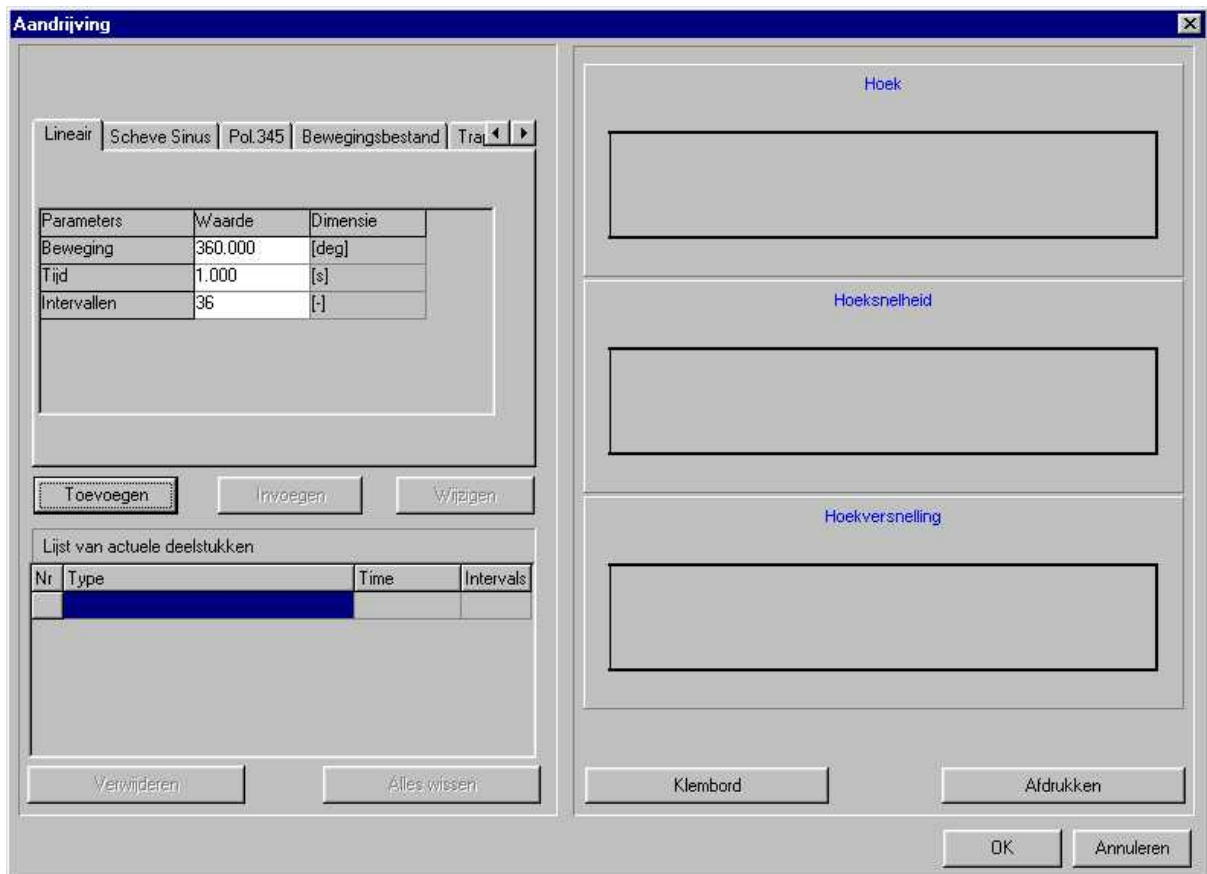
Uw mechanisme ziet er nu ongeveer zó uit :



4-stangen mechanisme met steunpunten aan de vaste wereld.

Kies het menu **Aandrijving > Hoek** of klik op  en selecteer knooppunt **1**.

De dialoog 'Aandrijving Definiëren' verschijnt. Alles draait om de lijst met functie segmenten. Initieel is deze lijst leeg. De lijst kan op diverse manieren worden bewerkt (toevoegen, verwijderen, aanpassen, alles verwijderen. De bijbehorende grafiek toont de huidige status van de lijst, de grafiek kan naar het prikbord of de printer gestuurd worden).



Dialogo Aandrijving Definiëren

Klik op de knop 'Toevoegen'

U ziet nu dat er een regel aan de lijst is toegevoegd overeenkomstig de gegevens van de invoervelden resp. Beweging, tijdsduur en aantal stappen. U bent vrij om een aantal van deze definities achter elkaar te plaatsen.

Een bestaande regel wijzigt u door er op te klikken, de invoervelden aan te passen en tenslotte op de knop 'Wijzigen' te klikken.

De aandrijving dialoog nadat een standaard beweging is toegevoegd aan het bewegingsprofiel

Sluit de dialoog af met OK om de huidige instellingen te accepteren.

Kies in het menu Weergave/Animatie of klik op de knop  in de werkbalk.

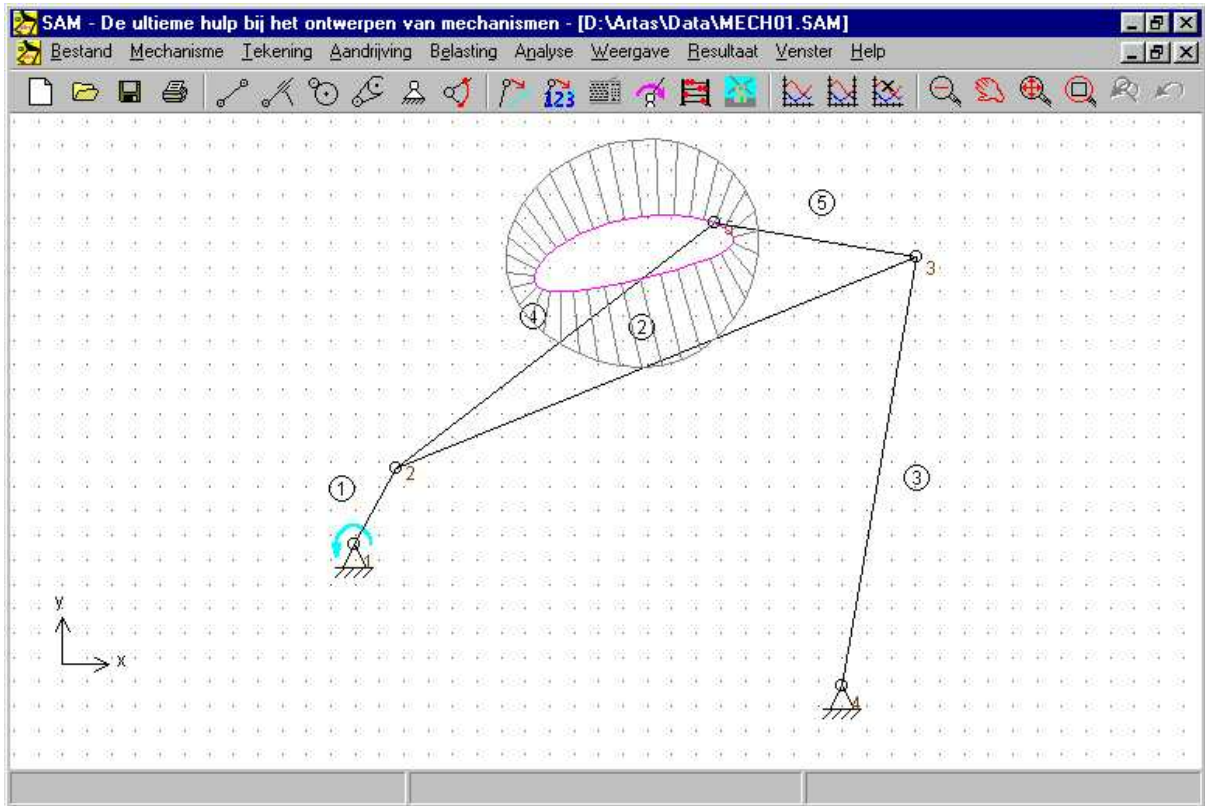
Het mechanisme begint te bewegen. Druk op de toets <Esc> of klik opnieuw op het windmolen icoon in de werkbalk..

Kies het menu Weergave/Knooppuntsbaan en selecteer knooppunt Nr 5.

De baan van knooppunt 5 wordt nu getekend.

Kies het menu Weergave/Hodograaf en selecteer weer knooppunt Nr 5.

De snelheidshodograaf van knooppunt 5 wordt nu ook getekend.



Baan en snelheidshodograaf van knooppunt 5.

Chapter

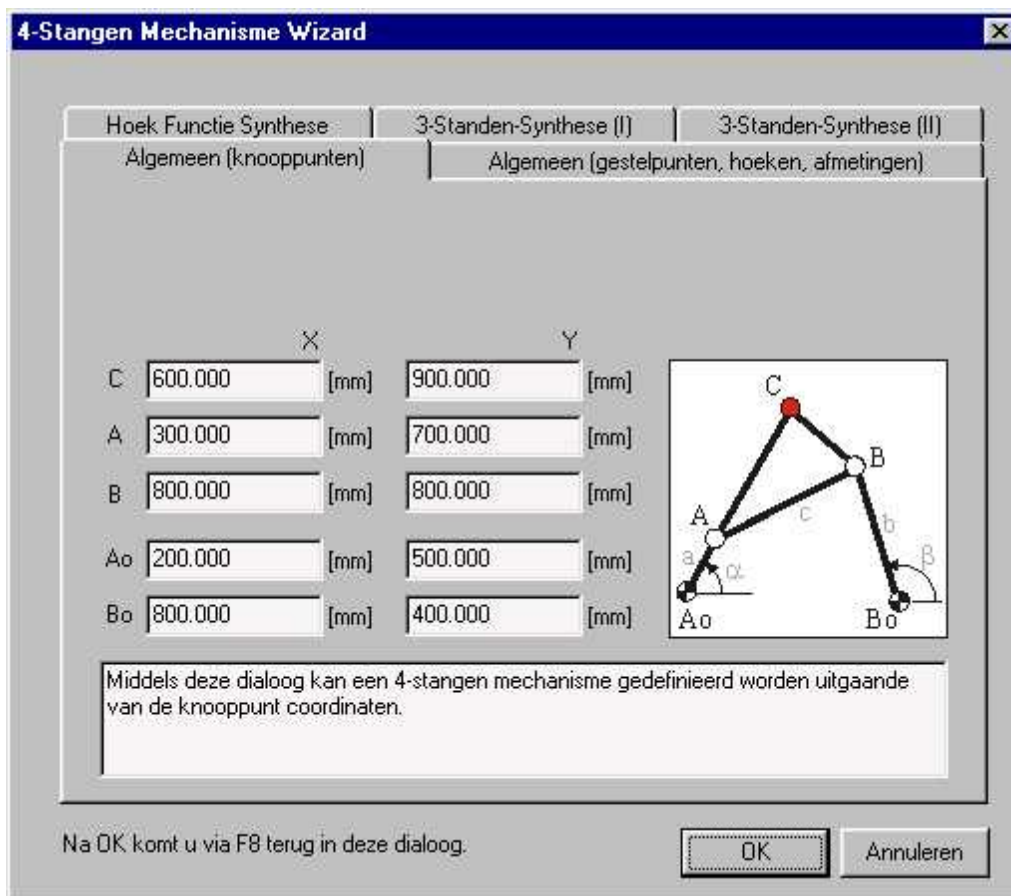
5

5 Design Wizards

5.1 4-Stangen Mechanisme

Middels het menu Bestand/Design Wizard/4-Stangen Mechanisme komt de gebruiker in een speciale wizard waarmee op eenvoudige wijze 4-stangen mechanismen gegenereerd kunnen worden, o.a. voor de 3-standen-synthese en voor de (hoek)functiegeneratie.

5.1.1 Algemeen (knooppunten)



4-Stangen Mechanismen Wizard: Algemeen (Knooppunten)

Middels deze dialoog kan de gebruiker een algemeen 4-stangen mechanisme incl. koppelpunt definiëren door alle knooppunt coördinaten op te geven.

5.1.2 Algemeen (gestelpunten, krukhoek, afmetingen)

4-Stangen Mechanisme Wizard

Hoek Functie Synthese | 3-Standen-Synthese (I) | 3-Standen-Synthese (II)

Algemeen (knooppunten) | Algemeen (gestelpunten, hoeken, afmetingen)

Alfa [deg]

a [mm] B ligt links van lijn ABo

b [mm]

c [mm]

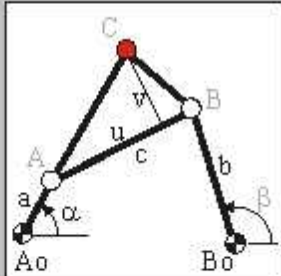
u [mm]

v [mm]

X Y

Ao [mm] [mm]

Bo [mm] [mm]



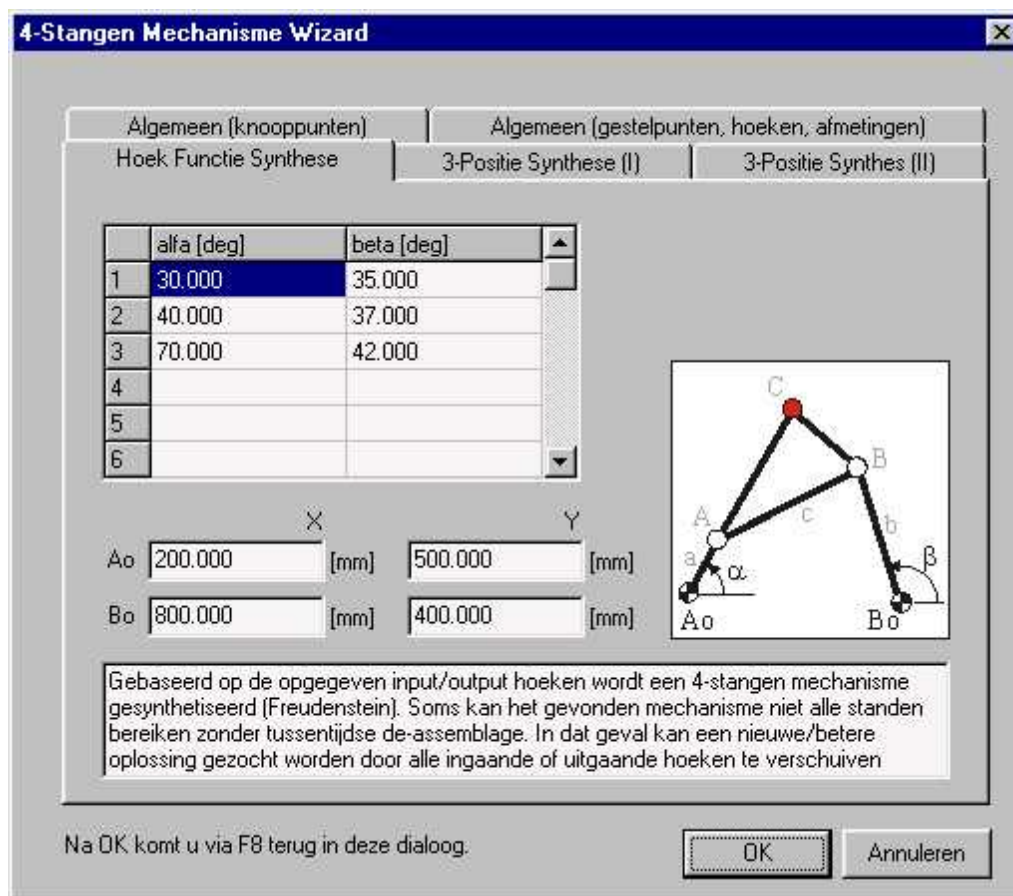
Middels deze dialoog kan een 4-stangen mechanisme gedefinieerd worden uitgaande van de gestelpunten Ao, Bo, de krukhoek alfa en de afmetingen a, b, c, u, en v.

Na OK komt u via F8 terug in deze dialoog.

4-Stangen Mechanismen Wizard: Algemeen (gestelpunten, krukhoek, afmetingen)

Middels deze dialoog kan de gebruiker een algemeen 4-stangen mechanisme incl. koppelpunt definiëren door het opgeven van de gestelpunt coördinaten, de krukhoek en de overige afmetingen van het mechanisme.

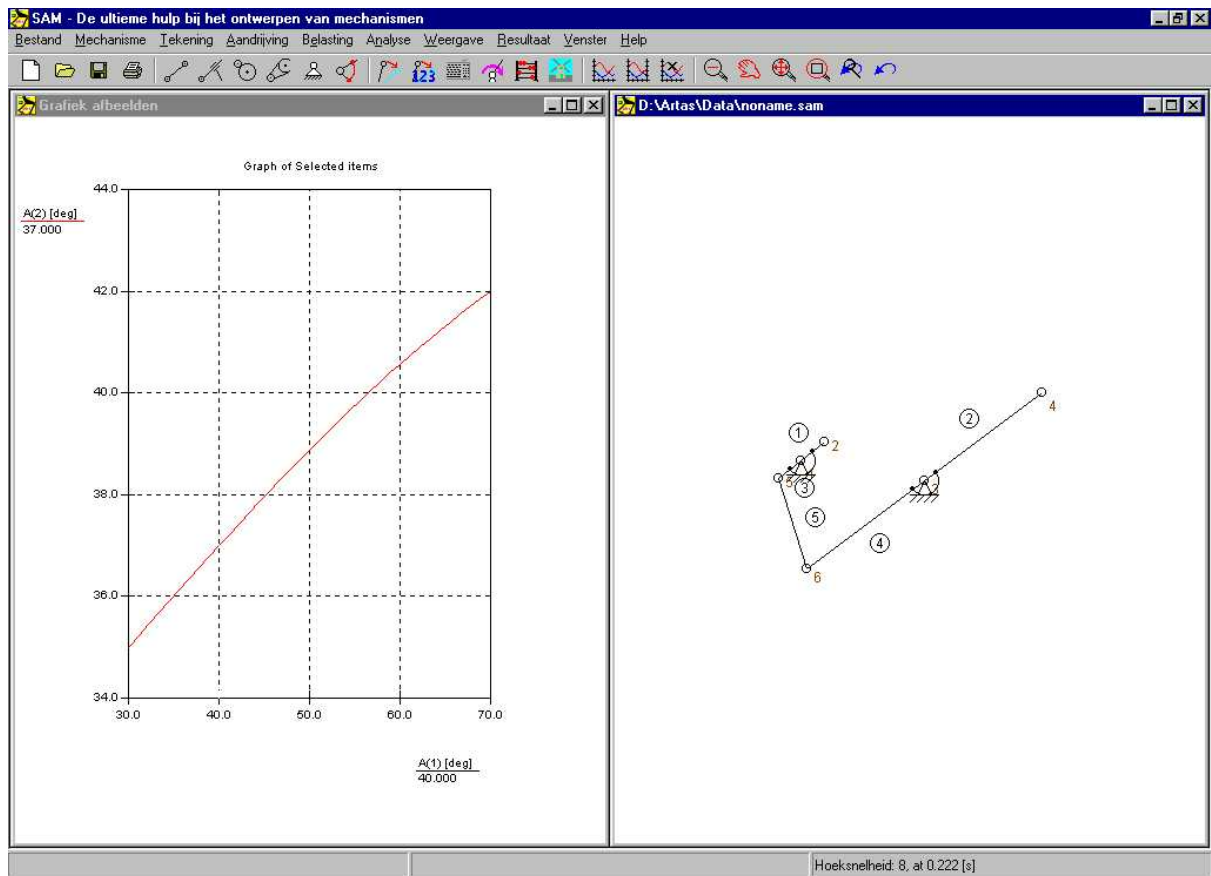
5.1.3 (Hoek)functie Synthese



4-Stangen Mechanismen Wizard: (Hoek)functie Synthese

Gebaseerd op een aantal paren van kruk/slinger-hoek kan een 4-stangen mechanisme gesynthetiseerd worden volgens de aanpak van Freudenstein. Bij het minimum aantal hoekparen (= 3) wordt - indien mogelijk - een exacte oplossing bepaald. De gebruiker kan echter ook meer dan 3 hoekparen opgeven waarna een benaderde oplossing via de kleinste kwadraten methode wordt gezocht.

Soms kan het gevonden mechanisme niet alle standen bereiken zonder tussentijdse de-assemblage. In een dergelijk geval kan de gebruiker pogen een alternatieve oplossing te vinden door alle ingaande (kruk) of uitgaande (slinger) hoeken te verschuiven (montage offset) en deze verschuiving vervolgens weer te compenseren door een extra element aan de kruk of slinger te bevestigen dat precies deze montage offset verdraaid is.



Resultaat van de (hoek)functiegeneratie (uitgaande van de default-waarden)

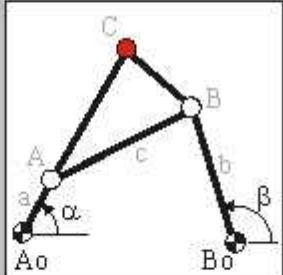
4-Stangen Mechanisme Wizard [X]

Algemeen (knooppunten) | Algemeen (gestelpunten, hoeken, afmetingen)

Hoek Functie Synthese | 3-Standen-Synthese (I) | 3-Standen-Synthese (II)

	alfa [deg]	beta [deg]
1	30.000	35.000
2	40.000	37.000
3	70.000	42.000
4		
5		
6		

X Y
 A_o [mm] [mm]
 B_o [mm] [mm]

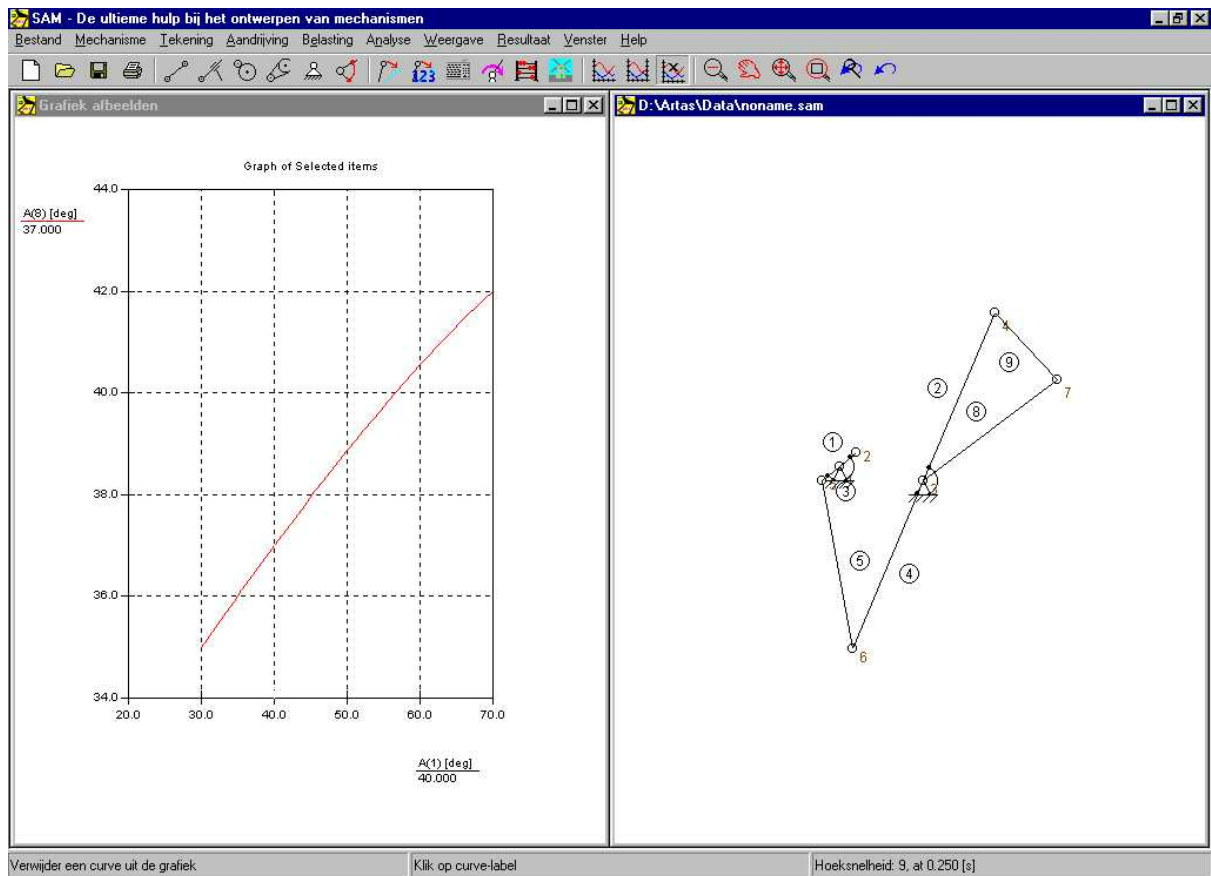


Gebaseerd op de opgegeven input/output hoeken wordt een 4-stangen mechanisme gesynthetiseerd (Freudenstein). Soms kan het gevonden mechanisme niet alle standen bereiken zonder tussentijdse de-assemblage. In dat geval kan een nieuwe/betere oplossing gezocht worden door alle ingaande of uitgaande hoeken te verschuiven

Na OK komt u via F8 terug in deze dialoog.

OK Annuleren

Alternatieve oplossing middels 30 graden hoekoffset van de slinger



Resultaat van de (hoek)functiegeneratie (30 graden montagehoek van de slinger)

5.1.4 3-Standen Synthese (I)

4-Stangen Mechanisme Wizard

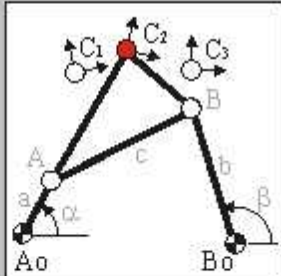
Algemeen (knooppunten) | Algemeen (gestelpunten, hoeken, afmetingen)

Hoek Functie Synthese | **3-Standen-Synthese (I)** | 3-Standen-Synthese (II)

Lijst van posities/hoeken van koppelvlak C

	x [mm]	y [mm]	angle [deg]
C (1)	250.000	400.000	20.000
C (2)	350.000	450.000	0.000
C (3)	500.000	400.000	-5.000

Ao [mm] [mm]
 Bo [mm] [mm]



Gebaseerd op de drie opgegeven posities/hoeken van het koppelvlak en de gestelpunten Ao en Bo wordt een 4-stangen mechanisme gesynthetiseerd. Soms kan het gevonden mechanisme niet alle standen bereiken zonder tussentijdse de-assemblage (kies dan andere gestelpunten). Ook kan het nodig zijn de aandrijfrichting om te keren.

Na OK komt u via F8 terug in deze dialoog.

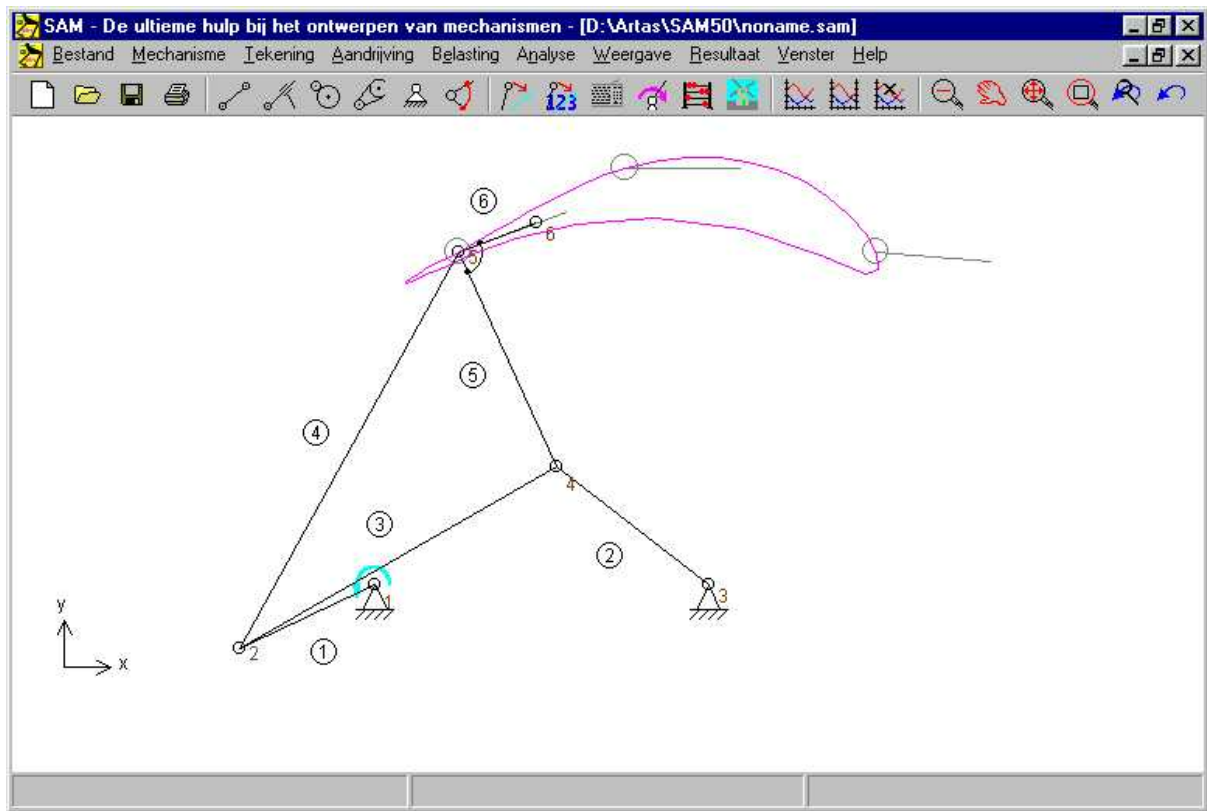
4-Stangen Mechanismen Wizard: 3-Standen Synthese (I)

Gebaseerd op een drietal standen van het koppelvlak (gedefinieerd door de positie van een koppelvlak en bijbehorende orientatie) en de positie van de twee gestelpunten Ao en Bo wordt een 4-stangen mechanisme bepaald dat exact de gewenste beweging genereert.

Soms kan het gevonden mechanisme niet alle standen bereiken zonder tussentijdse de-assemblage. In een dergelijk geval kan de gebruiker pogen een alternatieve oplossing te vinden door de gestelpunten te verschuiven of b.v. een andere keuze te doen voor de middelste stand van het koppelvlak, waarvan veelal minder strakke eisen worden gesteld dan aan de extreme standen.

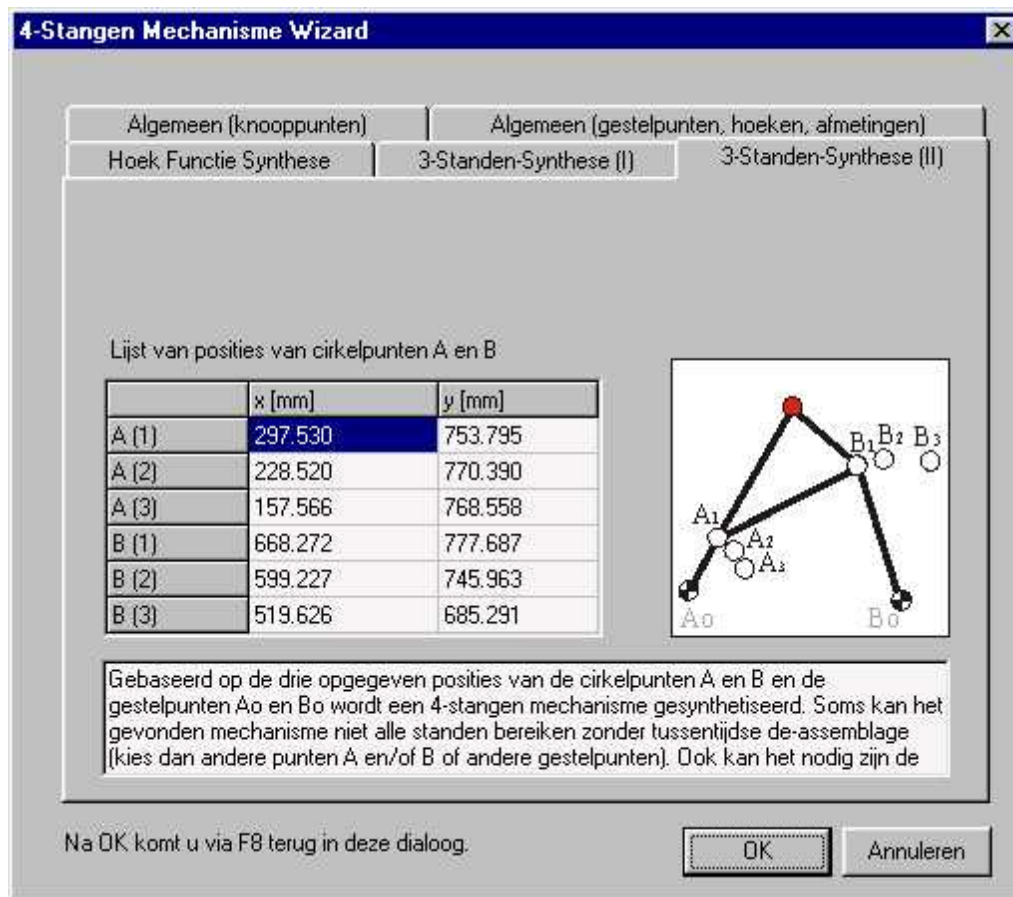
Indien de opgegeven posities van het koppelvlak in de verkeerde volgorde worden doorlopen, dient de gebruiker de aandrijfrichting te inverteren.

Nadat op OK gedrukt is, wordt het mechanisme automatisch gesynthetiseerd en wordt de beweging tezamen met de gedefinieerde doelstanden weergegeven.



Gesynthetiseerd 4-stangen mechanisme incl. de opgegeven positie en orientatie van het koppelpunt

5.1.5 3-Standen Synthese (II)



4-Stangen Mechanismen Wizard: 3-Standen Synthese (II)

Gebaseerd op een drietal posities van elk van de twee cirkelpunten A en B wordt een 4-stangen mechanisme bepaald dat exact de gewenste beweging genereert.

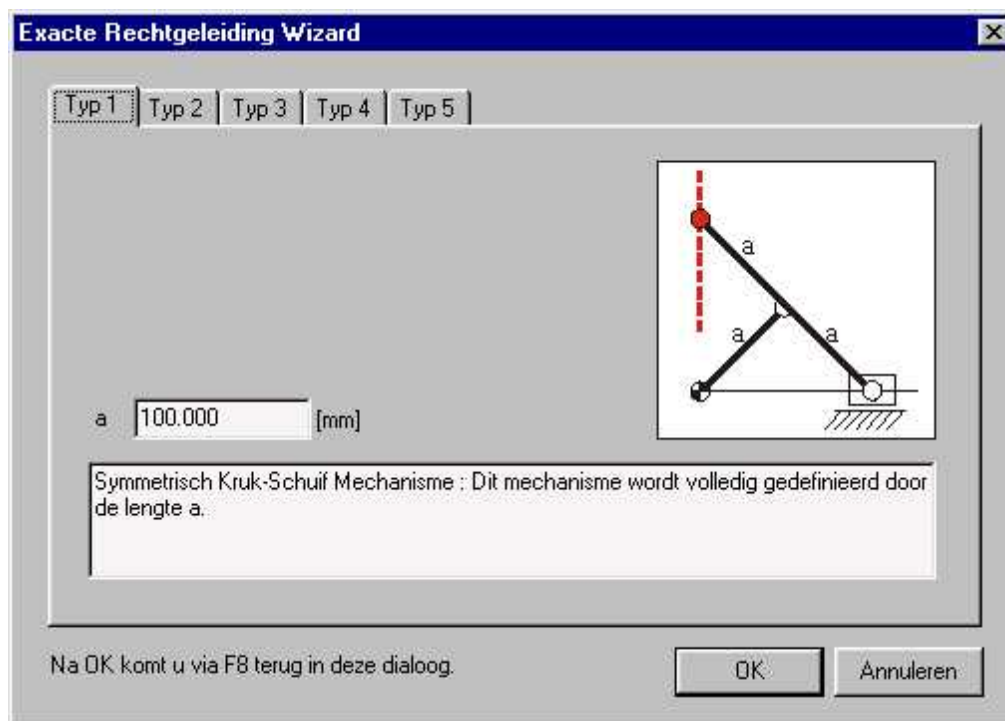
Soms kan het gevonden mechanisme niet alle standen bereiken zonder tussentijdse de-assemblage. In een dergelijk geval kan de gebruiker pogen een alternatieve oplossing te vinden door de gespecificeerde posities te veranderen. Veelal worden met name aan de middelste positie minder strakke eisen gesteld, zodat met name deze posities gevarieerd kunnen worden.

Indien de opgegeven posities van het koppelpunt in de verkeerde volgorde worden doorlopen, dient de gebruiker de aandrijfrichting te inverteren.

5.2 Exacte Rechtgeleiding

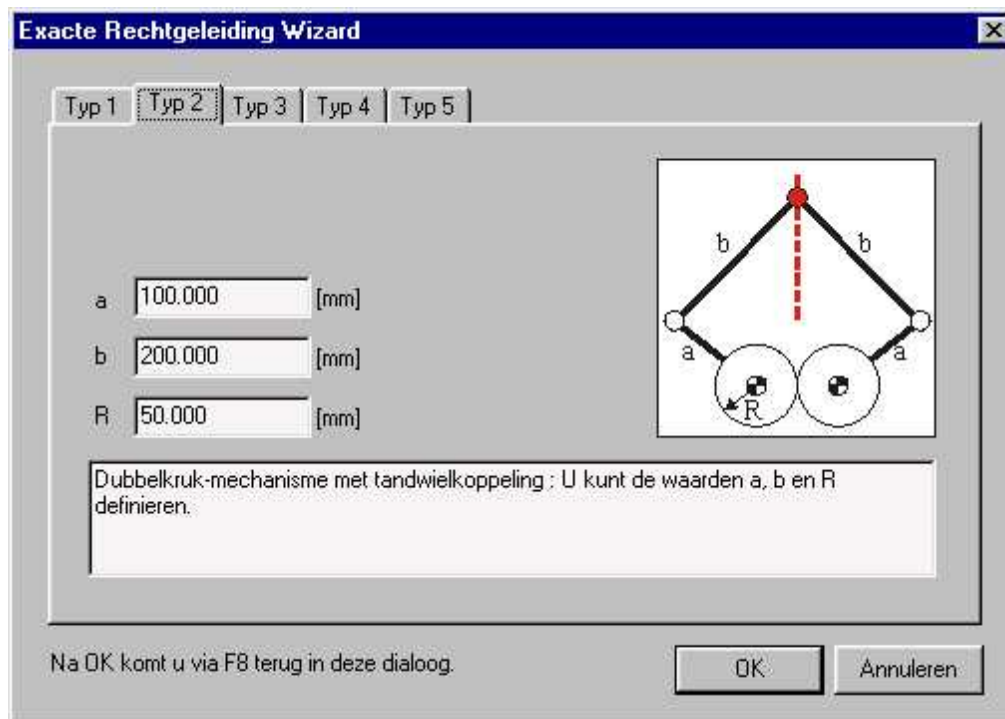
Via "Bestand/Design Wizard/Exacte Rechtgeleiding" wordt een speciale wizard geopend die een aantal geparameteriseerde mechanismen bevat waarmee een exact rechtlijnige beweging kan worden gegenereerd.

5.2.1 Symmetrisch kruk-schuif mechanisme



Exacte Rechtgeleiding : Symmetrisch kruk-schuif mechanisme

5.2.2 Dubbelkruk mechanisme met tandwielkoppeling



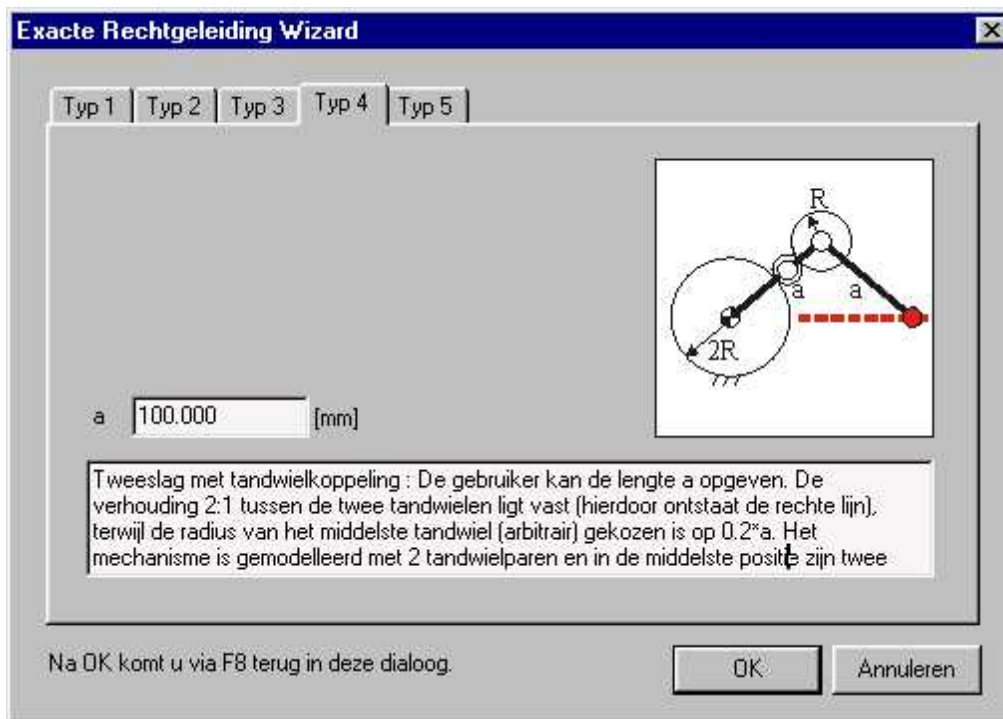
Exacte Rechtgeleiding : Dubbelkruk mechanisme met tandwielkoppeling

5.2.3 Hypocyclisch planetair tandwiel-mechanisme



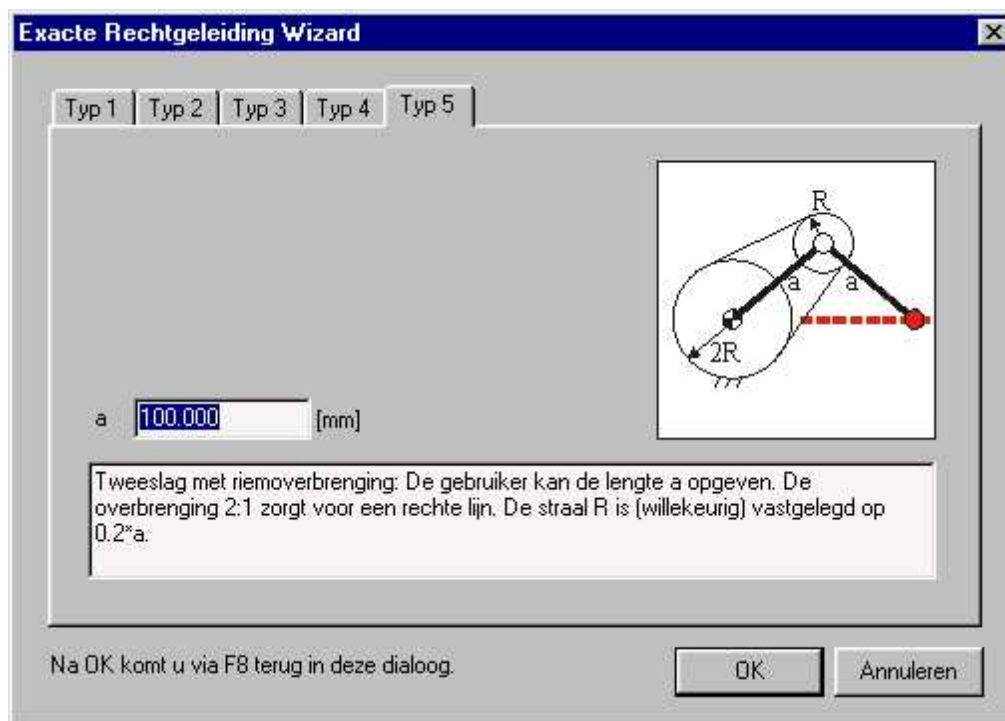
Exacte Rechtgeleiding : Hypocyclisch planetair tandwielmechanisme

5.2.4 Tweeslag met tandwielkoppeling



Exacte Rechtgeleiding : Tweeslag met tandwielkoppeling

5.2.5 Tweeslag met riemoverbrenging



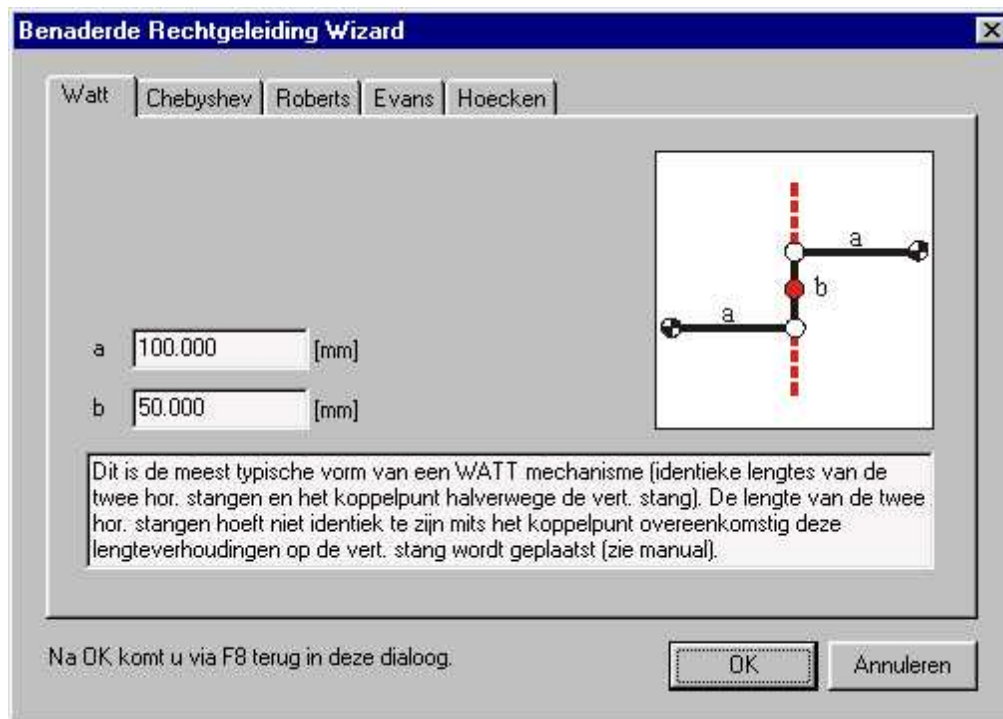
Exacte Rechtgeleiding : Tweeslag met riemoverbrenging

5.3 Benaderde Rechtgeleiding

Via "Bestand/Design Wizard/Benaderde Rechtgeleiding" wordt een speciale wizard geopend die een vijftal geparameteriseerde 4-stangen mechanismen bevat waarmee een bij benadering rechtlijnige beweging kan worden gegenereerd. De vijf mechanismen zijn genoemd naar hun desbetreffende uitvinder :

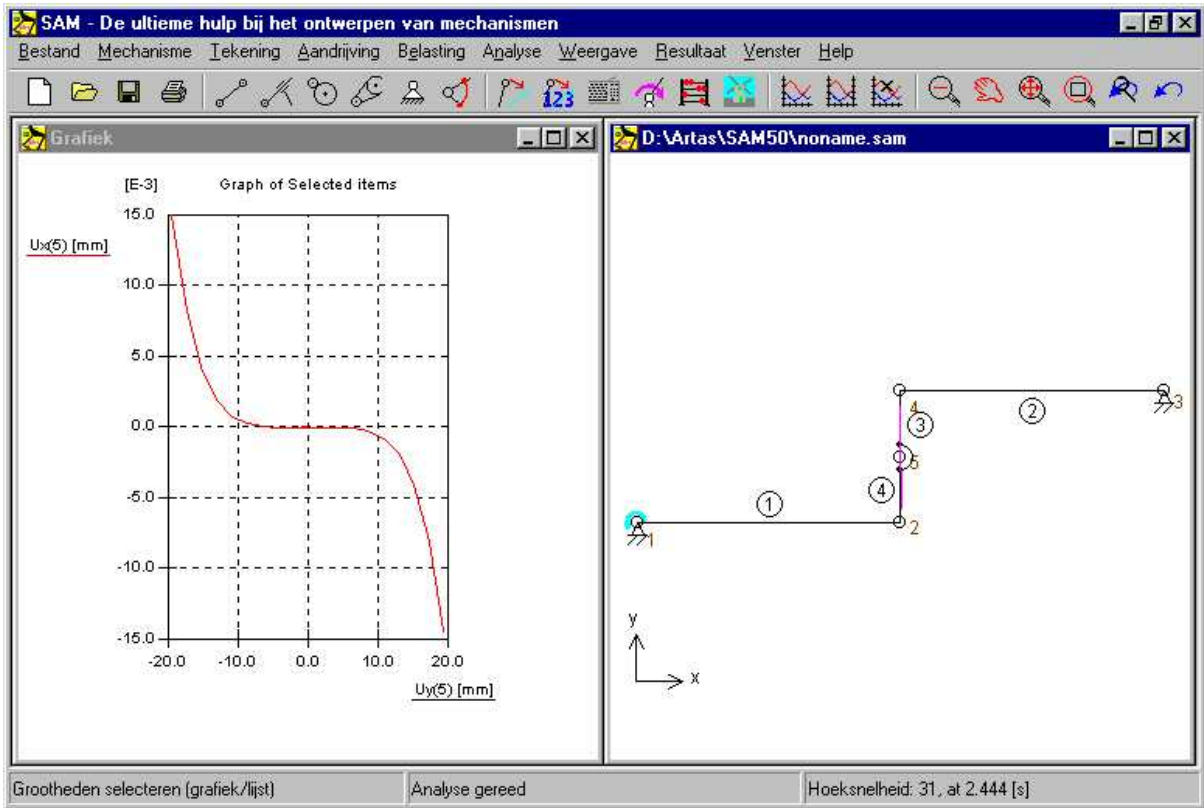
- Watt
- Chebyshev
- Roberts
- Evans
- Hoecken

5.3.1 Watt



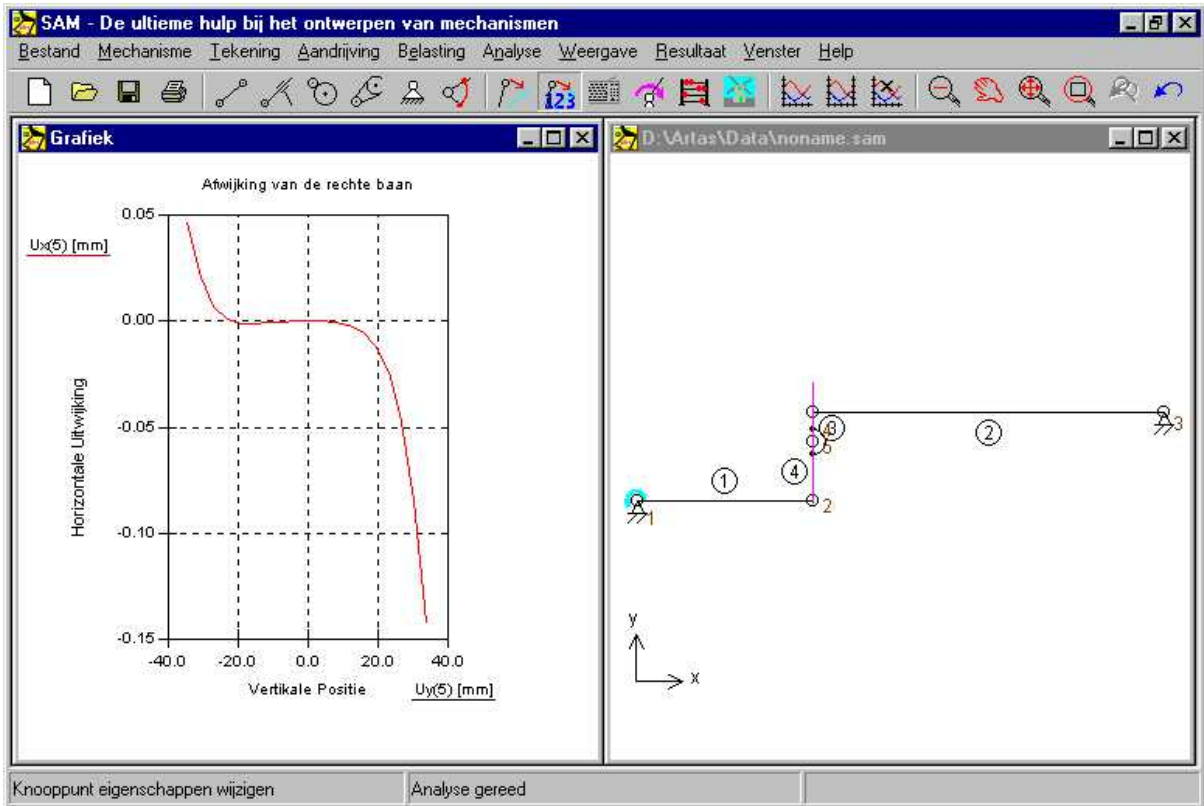
Benaderde Rechtgeleiding : Watt

Bij acceptatie van de standaard waarden uit bovenstaande dialog wordt een symmetrisch mechanisme aangemaakt. In onderstaand figuur is naast het mechanisme tevens de horizontale afwijking van de verticale rechtlijnige beweging uitgezet.



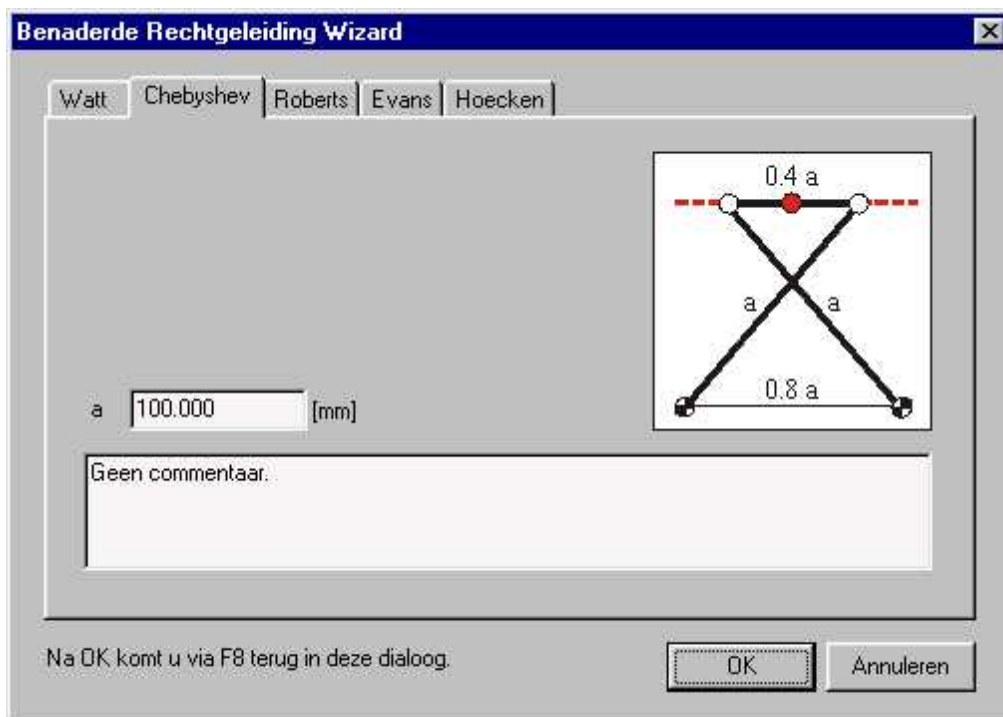
Symmetrisch Watt mechanisme (a. x-uitwijking als functie van y-verplaatsing b. mechanisme)

De Design Wizard kiest standaard voor een symmetrisch Watt mechanisme. De symmetrie is echter niet noodzakelijk voor de rechtlijnige beweging. Er kan ook gekozen worden voor ongelijke afmetingen van de horizontale stangen mits de ligging van het punt dat de rechtlijnige beweging moet genereren dien-overeenkomstig is aangepast (verhouding van de horizontale stangen moet gelijk zijn aan de verhouding van het bovenste en onderste deel van de verticale stang). Dit wordt in onderstaand voorbeeld getoond, dat tot stand is gekomen middels aanpassing van het symmetrische Watt mechanisme.



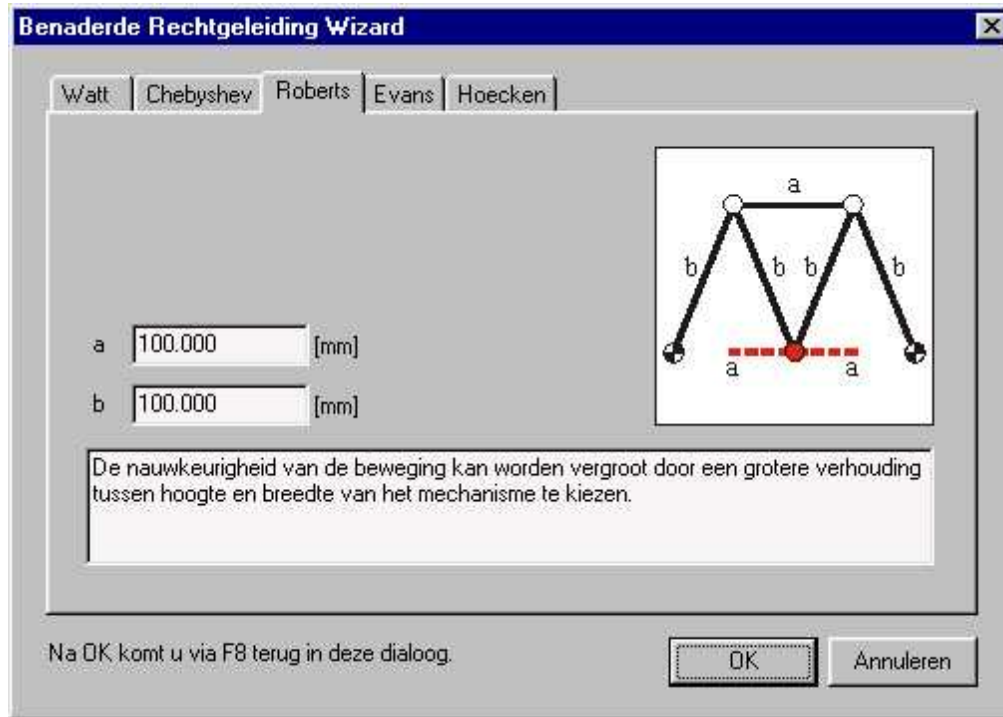
A-symmetrisch Watt mechanisme (a. x-uitwijking als functie van y-verplaatsing b. mechanisme)

5.3.2 Chebyshev



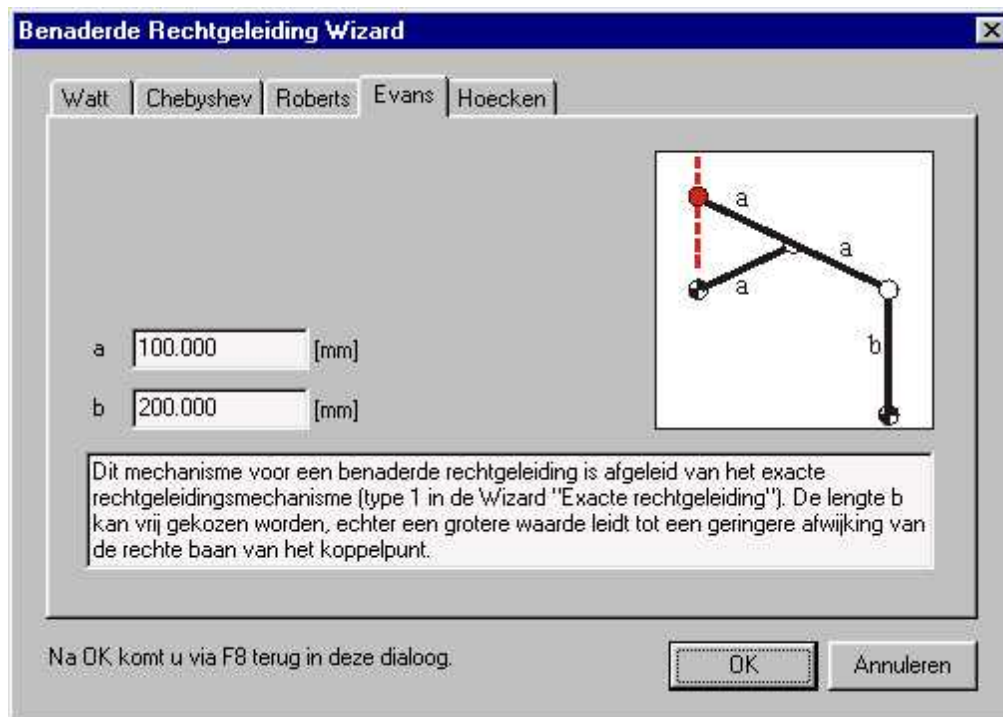
Benaderde Rechtgeleiding : Chebyshev

5.3.3 Roberts



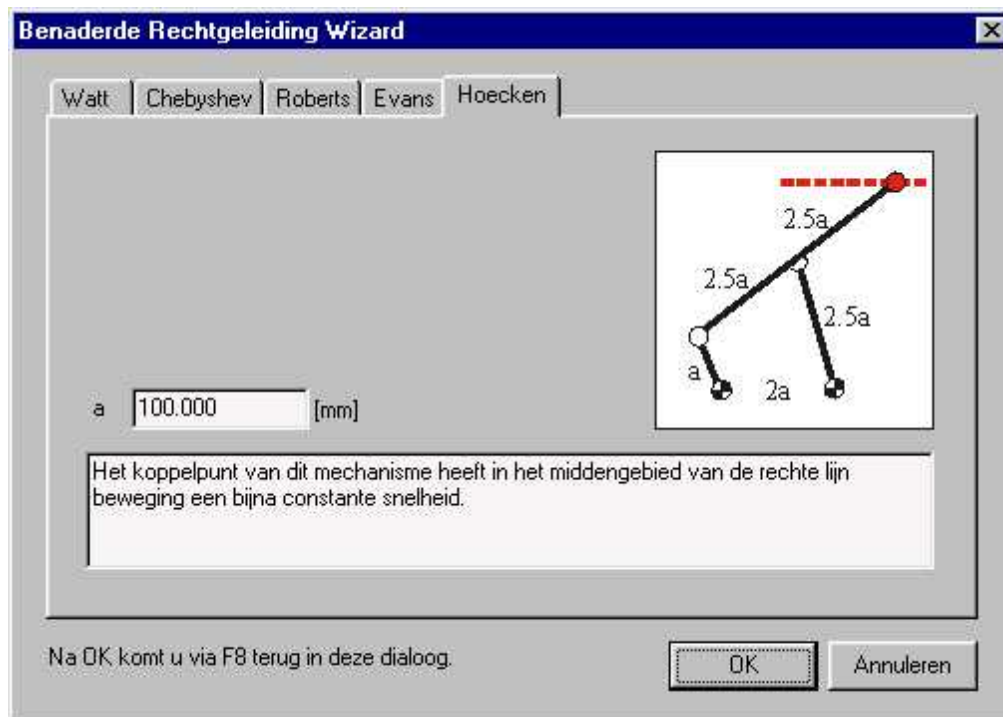
Benaderde Rechtgeleiding : Roberts

5.3.4 Evans



Benaderde Rechtgeleiding : Evans

5.3.5 Hoecken



Benaderde Rechtgeleiding : Hoecken

Chapter



6

6 Modelleringsstips

6.1 Eenheden

Met menu Bestand > Voorkeurstellingen > Eenheden kunt u een keuze maken uit de eenheden waarmee u wilt werken. U kunt kiezen uit een standaard systeem (SI, ENGLISH), maar u bent ook vrij een combinatie naar eigen voorkeur in te stellen. U kunt de instellingen te allen tijde wijzigen.

Bij het exporteren van resultaten (Resultaat > Exporteren) geldt altijd het actieve eenhedenstelsel (de eenheden hiervan staan tevens vermeldt in de kop van het export bestand). Indien de resultaten in een ander eenhedenstelsel geëxporteerd moeten worden, dient de gebruiker tijdelijk een andere instelling van de eenheden te kiezen.

Bij het importeren/exporteren van DXF-data geldt ook altijd het actieve eenhedenstelsel. Als bijvoorbeeld een DXF tekening vanuit een ander pakket geïmporteerd wordt, waarbij in [m] gewerkt is, terwijl u een project in [mm] bewerkt, dan moet u voorafgaand aan de inleesactie de instellingen –tijdelijk- op [m] zetten. Na het inlezen zet u de eenheden weer terug op uw voorkeur.

Het eenhedenstelsel dat van toepassing is voor een bewegingsbestand (motionfile) of een optimalisatie referentiebestand is **ALTIJD** het stelsel SI(rad). Bij het importeren van een bewegingsbestand worden de getallen ervan geïnterpreteerd conform het SI(rad) stelsel en tijdens het importeren omgezet naar het actuele eenhedenstelsel. Bij het exporteren geldt dat de actuele waarden in het actuele eenhedenstelsel tijdens het exporteren worden omgezet naar het SI (rad) stelsel.



6.2 Getallenweergave


Met menu Bestand > Voorkeurstellingen > Getallen kunt u aangeven hoe getallen worden afgebeeld. Deze instellingen gelden niet voor het 'exporteren' van rekenresultaten: bij die actie wordt een aparte instelling gebruikt.

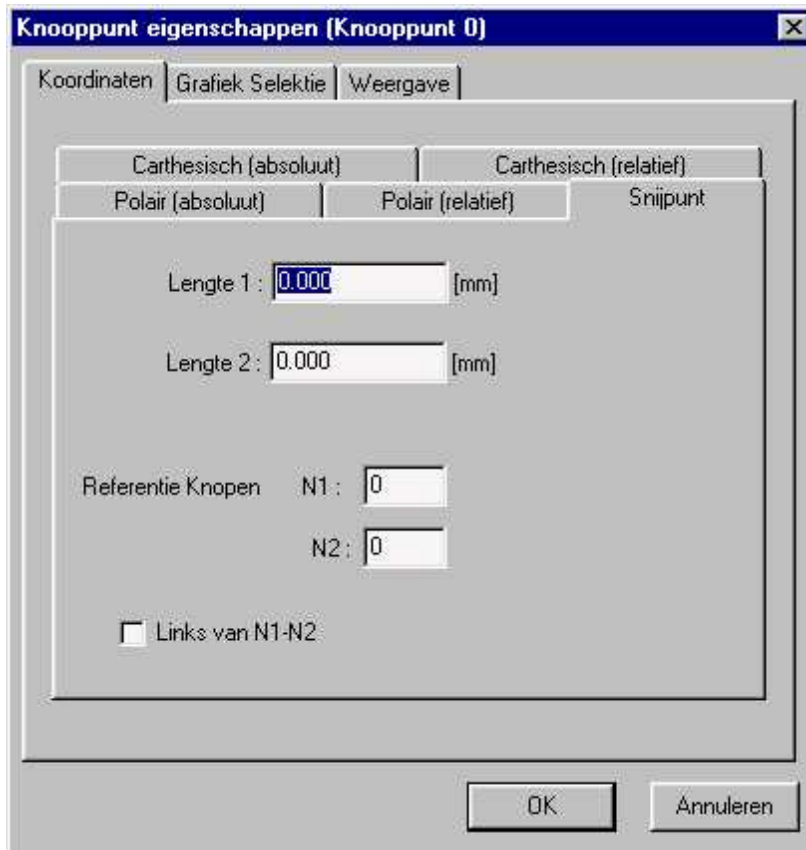
Opmerking: het aantal decimalen dat u kiest beïnvloedt alleen de weergave van getallen, er wordt dus nooit afgerond. De interne precisie komt overeen met die van de processor in de PC, dus door u ingevoerde getallen blijven met grote precisie behouden.

6.3 Exacte Knooppuntcoördinaten

Bij het opbouwen van een mechanisme gebruikt u vaak de muis bij het plaatsen van een knooppunt. U kunt echter ook de precieze coördinaten invoeren door op de spatiebalk te drukken wanneer SAM verwacht dat u met de muis een knooppunt gaat plaatsen. Hetzelfde geldt bijvoorbeeld als u de diameter van een riemschijf invoert (door met de muis te bewegen), druk dan de spatiebalk in om de exacte waarde in te typen.

Met de knop  kunt u bestaande posities aanpassen. En met de knop  kunt u een knooppunt 'oppakken' en vervolgens met de spatiebalk van numerieke invoer voorzien.

Opmerking: de knop  doet hetzelfde, echter zonder tussenkomst van de muis. Deze aanpak is bijvoorbeeld handig als u eerst met de muis ongeveer een locatie wilt kiezen, na indrukken van de spatiebalk wordt de actuele muispositie in de dialoog overgenomen.



Dialogo om exacte coördinaten in te geven

De (relatieve) carthesische en polaire coördinaten spreken voor zich. De laatste optie in de 'exacte coördinaten' dialoog - Snijpunt – bepaalt het snijpunt van twee cirkels met resp. middelpunten N1 en N2, en resp. stralen L1 en L2.

Een alternatieve manier om exacte coördinaten te definiëren is het gebruik van een DXF bestand. U construeert in uw eigen vertrouwde CAD omgeving, exporteert het ontwerp als DXF bestand, en vervolgens importeert (Bestand > Importeren DXF) u deze tekening in SAM. De coördinaten in de tekening (eindpunten van lijnen, middelpunten van cirkels, 'eindpunten' van bogen , en punten zelf) kunnen nu met de muis 'gevangen' worden bij het bouwen van een mechanisme. Let op dat dan bij Weergave > Opties de 'muis vangt knooppunten' aan staat.

6.4 Meervoudige aandrijving

In SAM kunnen meerdere simultane aandrijvingen gedefinieerd worden. Daarbij geldt de volgende dwingende eis:

De berekeningen in SAM hebben betrekking op discrete tijdstippen. De gebruikte

profielen mogen ingewikkelde samenstellingen zijn van diverse functieblokken inclusief ingelezen bestanden, als de discrete tijdstippen van de verschillende aandrijvingen maar samenvallen.

6.5 Werken met bewegingsbestanden

Wanneer de standaardfuncties in de dialoog voor de aandrijving niet toereikend zijn, kunt de functie definiëren in een standaard ASCII tekstbestand. Het bestand kan naar wens met een ander pakket (b.v. spreadsheet) gegenereerd worden. Ook kan zo een bestand door SAM zelf gemaakt worden – als resultaat van een berekening.

Belangrijk bij het werken met bewegingsbestanden zijn het juiste gebruik van de eenheden. In het geval van een bewegingsbestand is dit altijd het SI(rad) stelsel. Zie verder ook het hoofdstuk "Modellerings tips / Eenheden".

6.5.1 Formaat

De gegevens in een ASCII text file definiëren de bewegingstoestand in de opgegeven tijdstippen (er wordt dus NIET de duur van een bewegingsstap maar het tijdstip opgegeven). De gegevens dienen in het SI(rad) eenheden stelsel te worden gedefinieerd waar bij het volgende formaat wordt gebruikt:

0	0	vo	ao	<i>Indien deze regel ontbreekt wordt automatisch uitgegaan van vo=ao=0.</i>
t1	u1	v1	a1	
:	:	:	:	
ti	ui	vi	ai	
:	:	:	:	
tn	un	vn	an	

Hierbij is ti het tijdstip en ui de verplaatsing/verdraaiing relatief t.o.v. de uitgangssituatie van het mechanisme, terwijl vi en ai de snelheid en versnelling zijn op het tijdstip ti. In de uitgangssituatie bij t=0 kan er geen relatieve verplaatsing/verdraaiing zijn dus geldt altijd uo=0.

Het eenheden stelsel dat van toepassing is op een bewegingsbestand is ALTIJD SI(rad). Tijdens het importeren van de data worden deze dus geïnterpreteerd als conform het SI(rad) stelsel en automatisch omgerekend naar het actuele eenheden stelsel dat in het project van toepassing is. Tijdens het exporteren worden de actuele gegevens omgerekend naar het SI (rad) stelsel en daarna opgeslagen in een bewegingsbestand.

Voorbeeld: Ervan uitgaande dat het om een translatie gaat, definieert de volgende data set een verschuiving van 0.5 m in 2.0 s. De snelheid is constant en bedraagt 0.25 m/s, terwijl de versnelling gelijk is aan nul.

```
0.0 0.00 0.25 0
0.2 0.05 0.25 0
0.4 0.10 0.25 0
0.6 0.15 0.25 0
0.8 0.20 0.25 0
1.0 0.25 0.25 0
1.2 0.30 0.25 0
1.4 0.35 0.25 0
```


1.6 0.40 0.25 0
1.8 0.45 0.25 0
2.0 0.50 0.25 0

6.5.2 Importeren van een bewegingsbestand

De dialoog "Aandrijving definiëren" bevat een knop voor het selecteren van het gewenste bestand. Vanuit dezelfde dialoog is het ook nog mogelijk de gegevens van het bestand te wijzigen

Let op dat de getallen van het bestand ALTIJD conform SI(rad) geïnterpreteerd worden bij het inlezen en vervolgens automatisch worden omgezet naar het actuele eenhedenstelsel. M.a.w. de getallen in het te importeren bestand moeten altijd consistent zijn met m , m/s , m/s^2 en rad . Is dit niet het geval dan dient het bestand eerst gecorrigeerd te worden. Er is geen andere manier om dit probleem te omzeilen.

6.5.3 Exporteren van een bewegingsbestand

Analyse resultaten kunnen worden opgeslagen in een ASCII bestand, waarbij de tabel-opmaak overeenkomt met het eerder beschreven formaat van een ingangsbewegingsbestand. Menu Resultaten > Exporteren.

Om een correct bestand te laten maken door SAM moeten de geselecteerde resultaten wel van het juiste soort zijn. Bij verplaatsing is dit bijvoorbeeld U_x , V_x , A_x ofwel verplaatsing, snelheid en versnelling (en wel van een en hetzelfde knooppunt). Andere combinaties zijn: A , V_a , A_a (hoek) en E , EV , EA (verlenging van een cilinder). Let op dat er niet ook nog andere grootheden geselecteerd zijn.

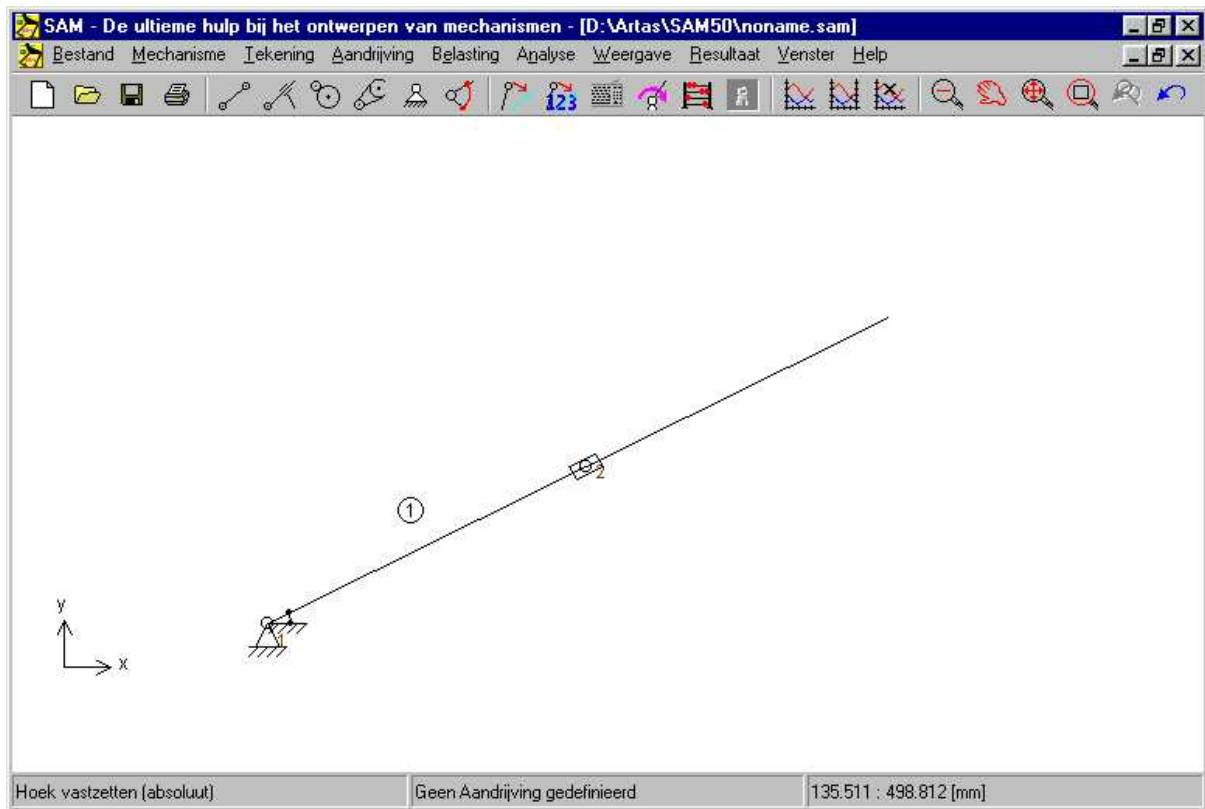
Bij het exporteren geldt dat de actuele waarden in het actuele eenhedenstelsel tijdens het exporteren worden omgezet naar het SI(rad) stelsel.

6.6 Lineaire actuator

Een hydraulische- of luchtcilinder of een elektrische lineaire actuator wordt als volgt gemodelleerd. Eerst wordt een normaal stangelement gemodelleerd, waarvan vervolgens via het menu Aandrijving >Verlenging de verlenging wordt gedefinieerd.

6.7 Schuine rechtgeleiding

Middels het menu Mechanisme>Knoop vastzetten kunt u een horizontale of verticale rechtgeleiding definiëren. Om een geleiding onder een willekeurige hoek te maken kiest u het Cilinder element, waarvan u vervolgens één knooppunt aan de vaste wereld zet en de hoek in één van de twee knooppunten vastlegt.

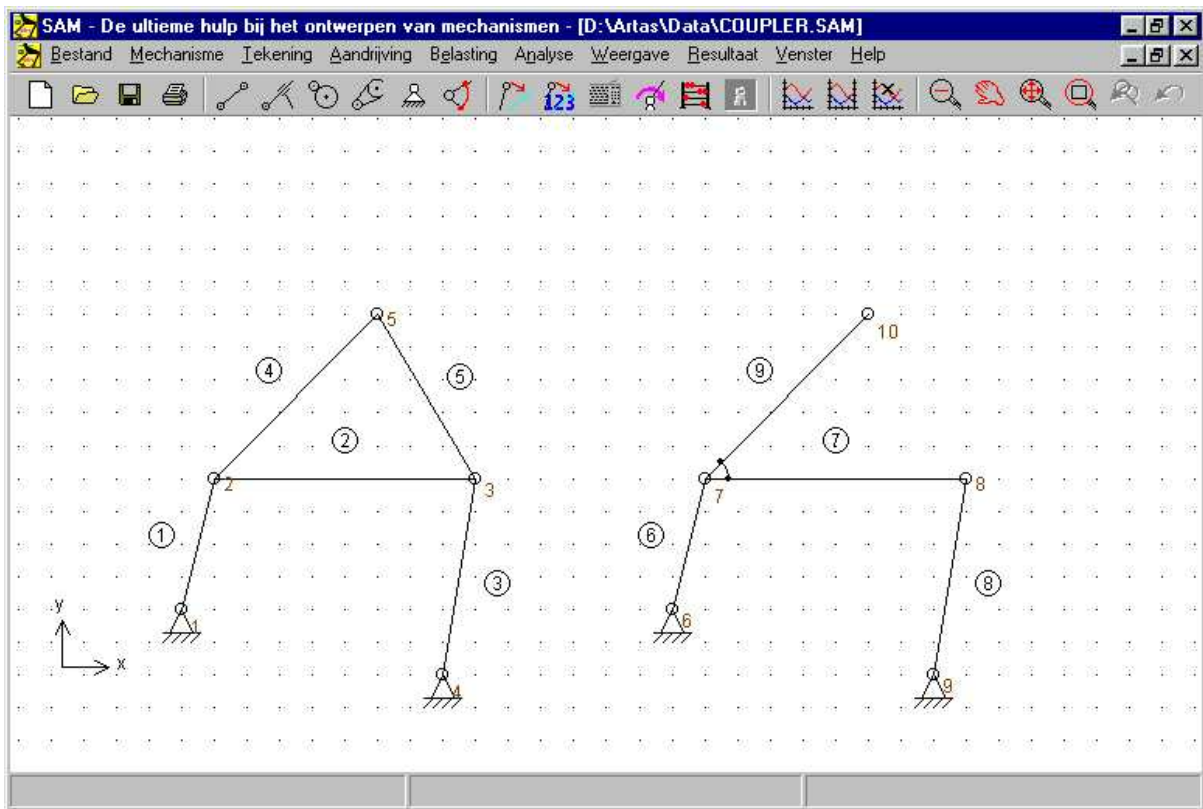


Gebruik van het Cilinder element om een schuine rechtgeleiding te modelleren.

6.8 Modelling van een koppelpunt

Als u een koppelpunt wilt definiëren dat onderdeel uitmaakt van een koppelstang bestaan er twee mogelijkheden:

1. Koppeling van twee stangen in een knooppunt op de normale manier, vervolgens de relatieve hoek tussen beide elementen vastzetten (menu Mechanisme > Relatieve hoek vastzetten),
2. Een derde stang aanbrengen, zodat een driehoek ontstaat. (Dit gaat niet als de drie knooppunten in elkaars verlengde liggen). Deze aanpak kan bij gecompliceerde mechanismen verwarring scheppen omtrent het aantal vrijheidsgraden, en daardoor zoms tot analyse problemen leiden. Visueel spreekt ze echter meer tot de verbeelding. Problemen kunnen ontstaan als in de driehoeksconstructie ook nog hoekverbindingen zijn aangelegd. Deze laatste zijn overbodig, en moeten worden verwijderd.



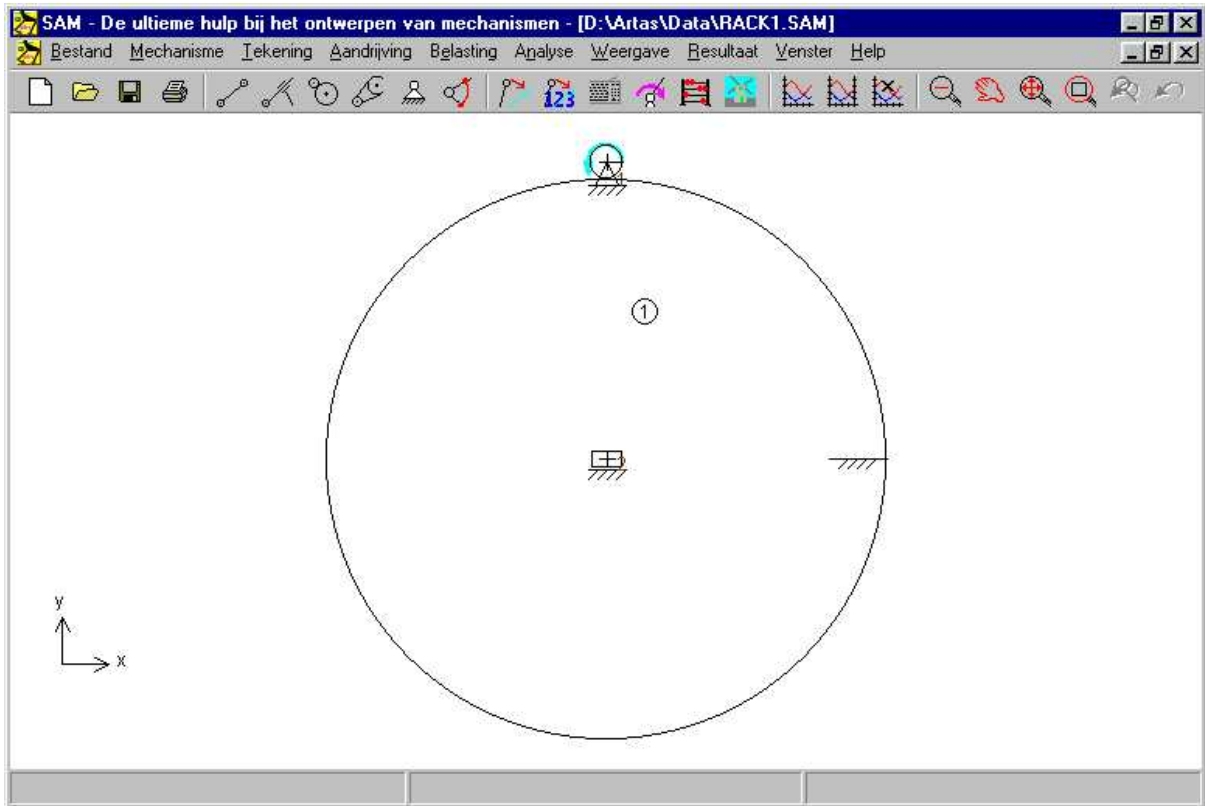
Twee manieren om een koppelpunt te construeren

6.9 Modelling van een tandheugel

SAM kent geen apart tandheugel-element, echter het is wel degelijk mogelijk om een tandheugel in SAM te simuleren. Daarbij kunnen twee verschillende methoden gehanteerd worden, die nu aan de hand van een horizontale tandheugel geïllustreerd zullen worden:

a. Tandwiel-element (zie rack1.sam)

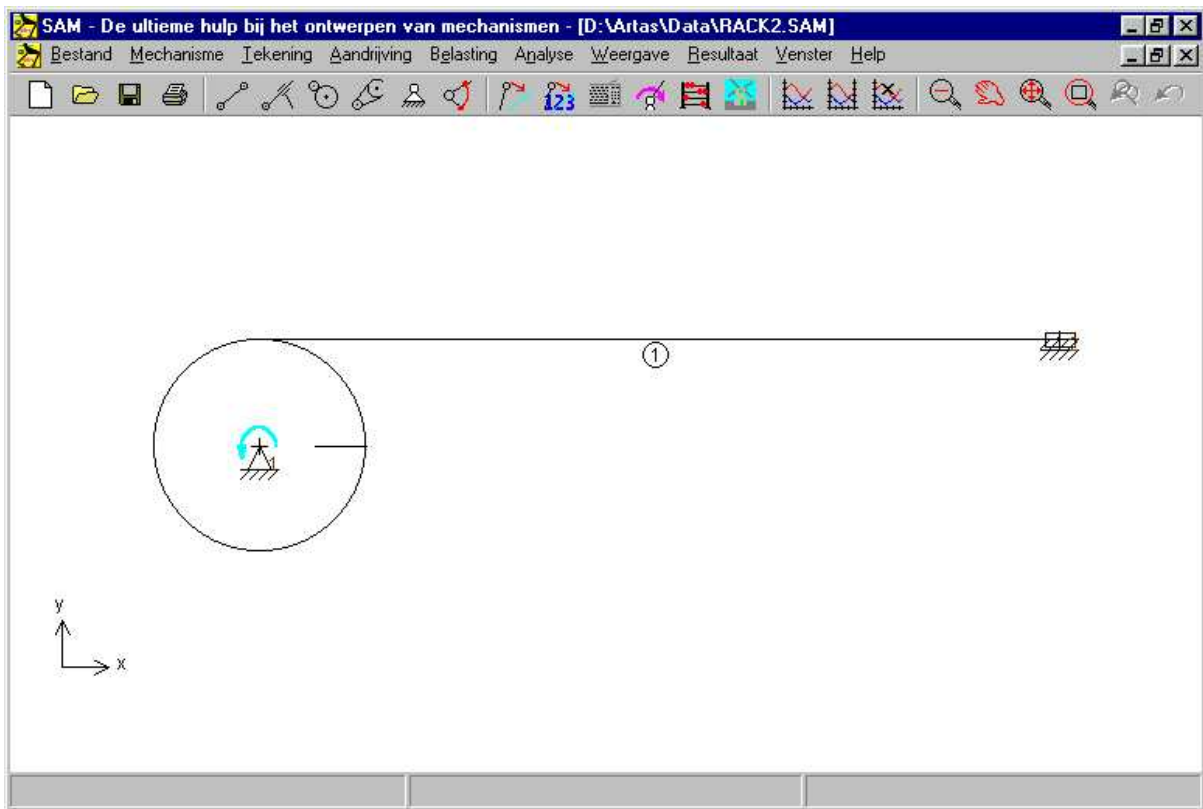
- Het tandwiel A wordt normaal gemodeleerd, terwijl de tandheugel als groot tandwiel B gemodeleerd wordt. Beiden hebben dezelfde x-coördinaat.
- Tandwiel A wordt regulier in x- en y-richting gefixeerd.
- Tandwiel B (tandheugel) wordt in y-richting gefixeerd en tevens wordt de hoek vastgelegd zodat het tandwiel niet meer kan roteren.
- Tandwiel A wordt aangedreven.



Simulatie van een tandheugel op basis van het tandwiel-element (RACK1.SAM)

b. Tandriem-element (zie rack2.sam)

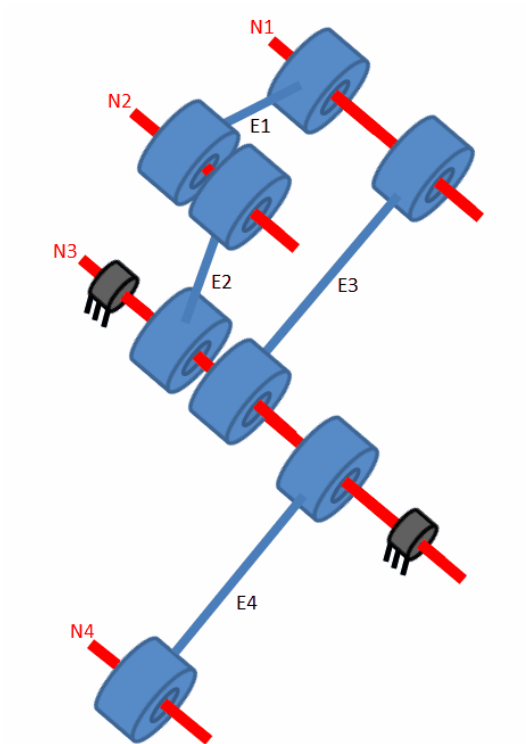
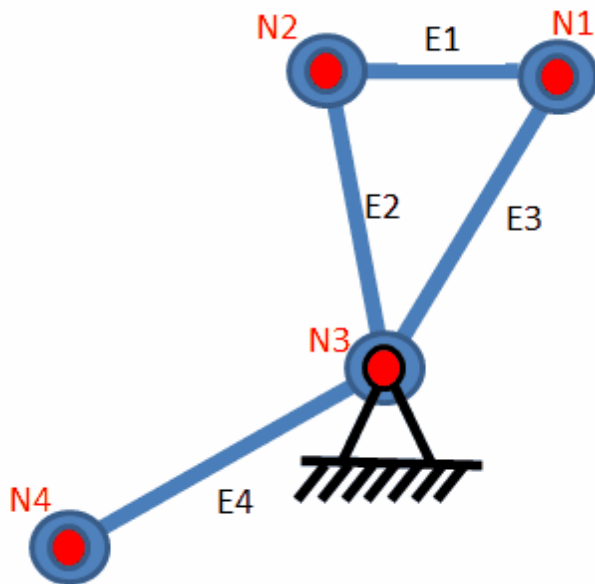
- Het tandwiel A wordt gemodelleerd door een tandschijf met radius R_A (zelfde als tandwiel A). De radius van de tweede tandschijf B wordt vrijwel gelijk aan nul (om numerieke problemen te voorkomen kan deze niet precies gelijk zijn aan nul).
- Het middelpunt van de kleine tandschijf B ligt op een y-coördinaat $y_B = y_A + R_A$
- Schijf A wordt normaal in x- en y-richting gefixeerd.
- Schijf B wordt in y-richting gefixeerd en tevens wordt de hoek gefixeerd.
- Schijf A wordt aangedreven.



Simulatie van een tandheugel op basis van het tandriem-element (RACK2.SAM)

6.10 Lagerkrachten

Naast aandrijfkracht of -koppel en aandrijfvermogen is het ook essentieel de reactiekrachten en lagerkrachten te kunnen berekenen. Om beter te begrijpen hoe dit gebeurt helpt het om het mechanisme te zien als een verzameling element (blauw) die knooppunten (rood) met elkaar delen. Dit kan men visualiseren door de knooppunten als het ware te vervangen door verbindingssassen, zoals aangegeven in het rechter deel van onderstaande figuur.

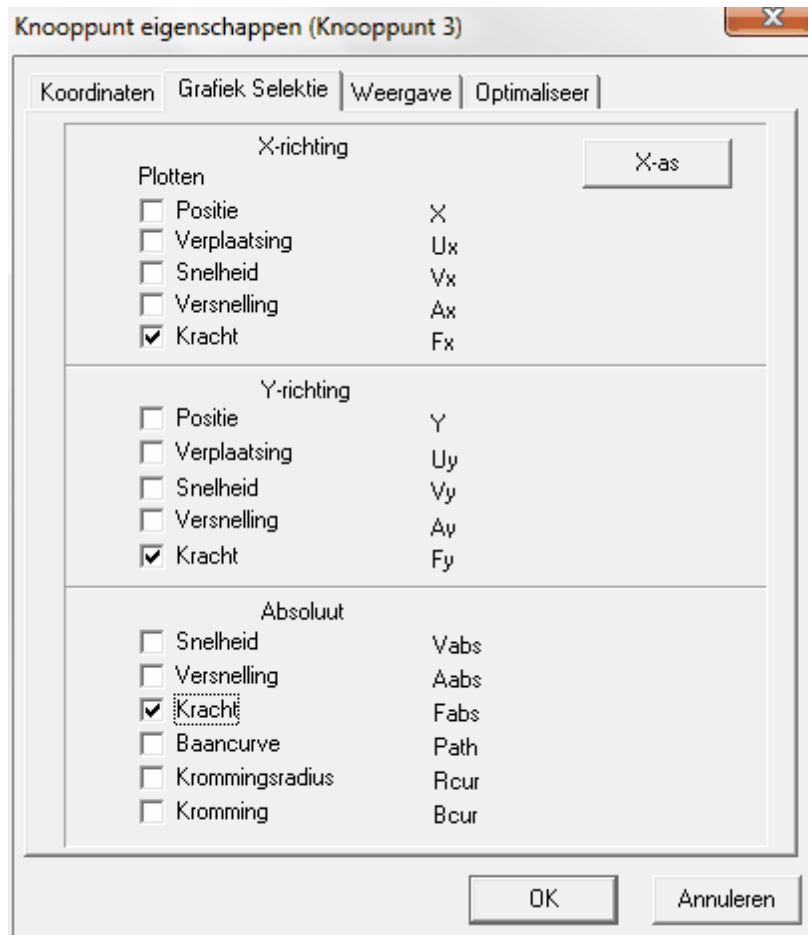


Schematische weergave van (een deel van) een mechanisme als een verzameling van elementen, die via een as (= knooppunt) met elkaar verbonden zijn.

Reactiekrachten in gestelpunten

Indien men geïnteresseerd is in de gecombineerde reactiekrachten die via knoop/as 3 naar het

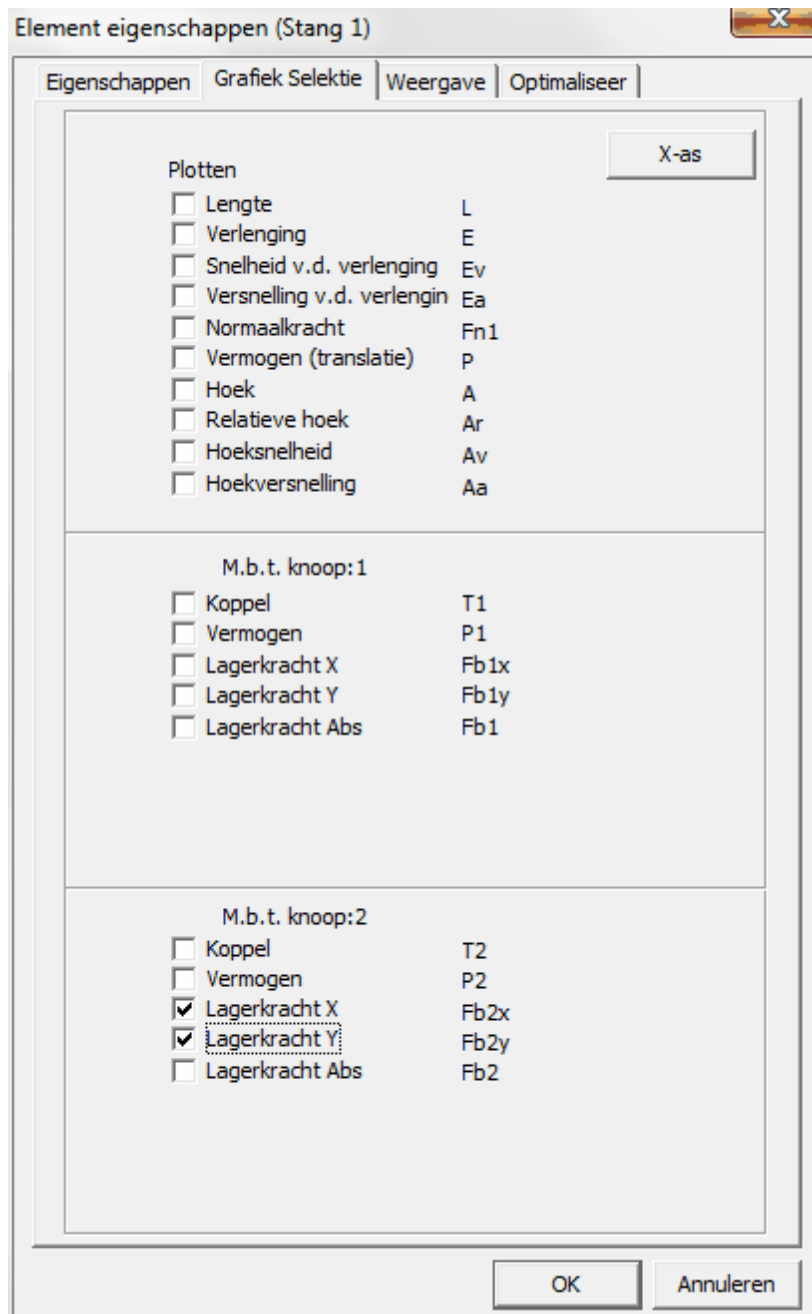
stationaire deel van de machine doorgeleid worden dient men de krachten F_x , F_y of F_{abs} dienen te selecteren van **knooppunt 3**, zoals aangegeven in onderstaande knooppunt dialoog.



Gecombineerde reactiekrachten in een gestelpunt worden geselecteerd via de **knooppunt** resultaten dialoog (voorbeeld: reactiekracht in knooppunt 3)

Lagerkrachten in een element

Indien men wil weten welke krachten door een lager van een element naar de verbindingsas (knooppunt) wordt doorgeleid - en evt. van daar uit naar de rest van het mechanisme of naar het gestelpunt - dient met bij **element** eigenschappen/resultaten de lagerkrachten F_{bx} , F_{by} of F_b te selecteren.



Lagerkrachten worden geselecteerd via element eigenschappen (voorbeeld: lagerkrachten in knoop 2 van element 1)

6.11 Gebruik van tekeningen

Er worden twee manieren voor een geïntegreerde SAM/CAD werkwijze ondersteund:

a. Een schematisch ontwerp van het mechanisme wordt in SAM ontwikkeld, getest en daarna in de vorm van een DXF bestand geëxporteerd naar uw gebruikelijke CAD omgeving

voor verdere uitwerking. Zijn de losse bouwstenen in het CAD systeem voldoende gedetailleerd, dan worden deze met aparte DXF bestanden weer geïmporteerd in SAM en toegevoegd aan het bestaande concept. De losse delen kunnen nog getransleerd en geroteerd worden in SAM. Vervolgens kan het totaal in SAM geanimeerd worden.

b. Een compleet mechanisme wordt in uw CAD omgeving ontworpen en wordt als DXF bestand in SAM geïmporteerd. Op basis van de tekening wordt het mechanisme in SAM opgebouwd. Daarbij kan de muis bestaande punten in de tekening 'vangen' zodat met exacte coördinaten gewerkt wordt. Vervolgens kunnen delen van de tekening opnieuw worden gegroepeerd en naar wens aan bewegende delen van het mechanisme worden gekoppeld.

Bij het importeren/exporteren van DXF-data geldt altijd het actieve eenhedenstelsel. Als dus bijvoorbeeld een DXF tekening vanuit een ander pakket geïmporteerd wordt, waarbij in [m] gewerkt is, terwijl u een project in [mm] bewerkt, dan moet u voorafgaand aan de inleesactie de instellingen –tijdelijk- op [m] zetten. Na het inlezen zet u de eenheden weer terug op uw voorkeur.

Eenmaal geïmporteerde DXF componenten worden onderdeel van het SAM bestand. Er is dus geen dynamisch koppeling met uw CAD systeem.

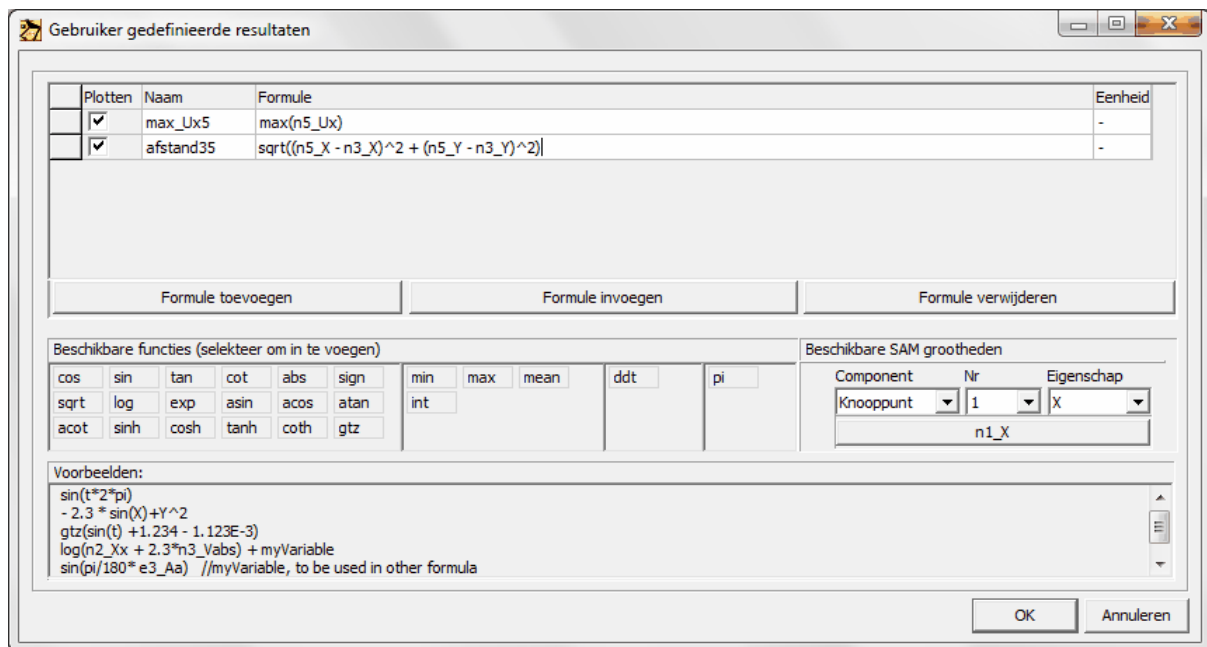
Initieel vormt elke geïmporteerde tekening een eigen groep (groepen kunnen naar wens in SAM worden uitgebreid of ontbonden).

SAM ondersteunt de volgende standaard DXF-elementen: POINT, LINE, CIRCLE, ARC en TEXT

Zie ook de paragraaf 'Rondleiding: Een voorbeeldproject' waarin o.a. een DXF onderdeel aan het mechanisme wordt toegevoegd.

6.12 Gebruiker-gedefinieerde resultaten

De geavanceerde formule parser biedt de mogelijkheid simulatieresultaten te combineren om zodoende eigen resultaten af te leiden. Een gebruiker gedefinieerd resultaat kan één enkel getal zijn (b.v. de maximale horizontale verplaatsing van een knooppunt) of een vector als functie van de tijd (afstand tussen twee bewegende knooppunten als functie van tijd). Een resultaat dat slechts uit één getalswaarde bestaat wordt overigens ook opgeslagen als een vector (alleen met identieke waarden) en kan derhalve in een grafiek worden geploteerd (resultierend in een rechte lijn).



Plotten: met dit vinkje wordt de weergave in de XY-plot AAN/UIT gezet

Naam: hier kan een willekeurige naam gekozen worden waarbij onderstaande regels gelden:

- namen zijn hoofdletter gevoelig
- toelaatbare tekens: a..z, A..Z, 1..9, _ (underscore),
- namen mogen niet met een getal beginnen
- spaties zijn niet toegestaan (aanwezige spaties aan het begin of eind worden automatisch verwijderd)
- bestaande SAM namen (incl. de aanduiding "t" voor tijd) mogen niet worden gebruikt

Formule: deze kan volledig handmatig worden ingetypt of men kan functies selecteren uit de lijst van beschikbare functies in combinatie met de automatisch gegenereerde variabelen aanduidingen.

- binnen iedere formule gelden de gangbare wiskundige prioriteitsregels
- eigen gedefinieerde variabelen kunnen in andere formules worden gebruikt en de volgorde van formules is willekeurig, zoals te zien in onderstaand voorbeeld:

```
var1 | sqrt(var2)
var2 | a^2+b^2
```

Eenheid: een door de gebruiker in te vullen tekst die de engineering units van de nieuwe variabele representeert.

- SAM voert geen automatische eenheden bepaling van de nieuwe variabele uit en verricht uitsluitend de wiskundige manipulaties op de getalswaarden.
- De gebruiker is zelf verantwoordelijk voor de eenheden aanduiding van de eigen variabelen.

Voorbeelden:

- $1+(2-5)*3+8/(5+3)^2 \text{ sqrt}(2)$
- $(a+b)*(a-b) x^2+3*x+1$
- $256.33*\exp(-t/12) (1+(2-5)*3+8/(5+3)^2)/\text{sqrt}(5^2+3^2)$

- $2+3x+2x^2$ $0.25x + 3.5y + 1$
- $(12.3)/(856.6) (-1)^{(2n+1)}x^n/n!$
- $\sqrt{(n5_X-n3_X)^2 + (n5_Y-n3_Y)^2}$ // afstand tussen de knooppunten 3 en 5
- $e2_A - e3_A$ // relatieve hoek tussen de elementen 2 en 3

SAM variabele zijn gereserveerde namen en mogen niet gebruikt worden voor eigen definities. De lijst van SAM variabelen bestaat uit:

- t (tijd)
- ni_xxx (eigenschap xxx van knooppunt i)
- ej_yyy (eigenschapp yyy van element j)
- voorbeelden: n1_Vabs (absolute snelheid van knooppunt 1), e3_Ar (hoek van element 3 relatief t.o.v. de beginstand van het mechanisme)

Constante getallen zijn gehele getallen of decimale getallen (al dan niet in exponentiële notatie)

- voorbeelden: 2; -3234; 1.3333; -0.00025; 1.2345E-12

Functies worden middels hun naam aangeropen met tussen haakjes de argumenten, die kunnen bestaan uit: getallen, variabelen, uitdrukkingen of zelfs andere functies (uitzondering hierop zijn de functies min, max, mean, int and ddt, die niet als argumenten gebruikt kunnen worden)

- trigonometrische functies: cos, sin, tan, atan, ... (de trigonometrische functies sin(x), cos(x), ... vereisen een argument x in RADIALEN en de inverse functies geven een resultaat in RADIALEN)
- sqrt, log, exp, sign
- gtz(x): als (x>0) dan is resultaat 1.0, anders resultaat gelijk aan 0.0 (Greater Than Zero of Heaviside functie)
- min, max, mean, int (integratie van de vector over de tijd vanaf 0 tot eindtijd)
- ddt (differentiatie)
- voorbeeld: sin(x); cos(2*pi*t+phi); atan(4*sin(x))

De prioriteitsvolgorde van wiskundige bewerkingen zoals gebruikelijk in wiskunde, wetenschap, technologie en de meeste programmeertalen is ook van toepassing in SAM's formule parser. Deze is:

- exponenten en worteltrekken
- vermenigvuldigen en delen
- optellen en aftrekken

Nesting van formules is toegestaan waarbij de volgorde van de definities arbitrair is, zoals in onderstaand voorbeeld:

```
var1 | sqrt(var2)
var2 | a^2+b^2
```

Impliciete vermenigvuldiging is niet ondersteund omdat dit de éénuidigheid belemmert. Derhalve wordt "xy" geïnterpreteerd als een naam voor een eigen variabele en niet als "x*y" (vermenigvuldiging van x met y). In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat het vermenigvuldigingssymbool "*" niet kan worden weggelaten.

Min teken

- De formule parser herkent het min-teken behorende bij een negatieve waarde van een constante, variabele of functie.

- De parser hanteert daarbij de volgende regel: indien het symbool vooraf gegaan is door een operator dan wordt het symbool gezien als een min-teken behorende bij de daarna volgende term en anders als subtractie operator.
- voorbeelden: x^{-n} ; 10^{-2} ; $x^{\sin(a)}$; -5^{-2}

Interne precisie

Zoals vele andere Windows applicatie hanteert SAM 15 digits interne precisie.

Chapter

7

7 Optimalisatie

7.1 Introductie

De optimalisatie module van SAM biedt constrained "single-function multi-parameter" optimalisatie gebaseerd op een mix van evolutionaire algoritmen en Simplex methoden. Constraints (randvoorwaarden) worden verdiskonteerd door iedere overtreding van een randvoorwaarde op een gewogen penalty (straf) op te tellen bij de oorspronkelijk kostfunctie. Via de formule parser, die ook gebruikt wordt om de simulatie resultaten na te bewerken of eigen resultaten te berekenen, worden deze penalties berekend.

Uitgaande van het actuele ontwerp kan een mechanisme verder geoptimaliseerd worden v.w.b. de baan die een knooppunt beschrijft of v.w.b. het verloop van de functie van een geselecteerde bewegings- of krachtgrootte. Zo kan bij voorbeeld de RMS-waarde of de absolute maximale waarde van het aandrijfkoppel van een mechanisme met massa worden geminimaliseerd door het toepassen van één of meer balansmassa's, waarvan zowel plaats als massa binnen gedefinieerde grenzen wordt gevarieerd. Ook is het mogelijk om een bepaalde doelfunctie zo goed mogelijk te benaderen, b.v. het verloop van de kracht in een fitness apparaat als functie van de afgelegde hoek of verplaatsing.

Het doel van de optimalisatie is het minimaliseren (of eventueel maximaliseren) van een bepaalde eigenschap (b.v. maximum, gemiddelde, RMS-waarde,) die het verschil tussen het actuele gedrag en het gewenste gedrag kenmerkt. Het kan daarbij gaan om :

- de baan van een knooppunt (met of zonder tijd/krukstand)
- het verloop van een bewegings- of kracht grootte (als functie van de tijd of als functie van een andere grootte)

SAM zoekt het optimum door afhankelijk van de gebruikerinstellingen de volgende parameters te variëren binnen gedefinieerde grenzen:

- geometrie van het mechanisme
- elementeigenschappen, zoals massa, veerstijfheid, voorspanning, overbrengingsverhouding, ...

De optimalisatie is gebaseerd op een twee-traps-aanpak bestaande uit:

- Globale exploratie van de gehele parameter ruimte
- Lokale optimalisatie van een specifieke oplossing

In de eerste stap wordt binnen de gestelde grenzen de parameter ruimte globaal verkend middels een combinatie van een pure Monte-Carlo techniek en een zogenaamd evolutionair algoritme (een optimalisatie techniek die is afgeleid van de genetische algoritmen). De beste oplossingen worden op volgorde gesorteerd in een lijst weergegeven.

De gebruiker kan vervolgens uit deze lijst een oplossing selecteren en op het beeldscherm bekijken inclusief alle bijbehorende grafieken. De oplossing, die het beste aansluit bij de wensen van de ontwerpen kan vervolgens lokaal verder geoptimaliseerd worden, waarbij de gebruiker nog kan kiezen tussen een Simplex methode en de eerder genoemde

evolutionaire methode met een nauwer zoekgebied.

De combinatie van globale verkenning en lokale optimalisatie geeft het beste compromis tussen snelheid aan de ene kant en de zoektocht naar het globale optimum aan de andere kant.

Naast de beschreven modus, waarbij de gebruiker *in-the-loop* zit, bestaat er ook een compleet geautomatiseerde modus, waarbij eerst een globale verkenning plaats vindt en vervolgens de beste oplossing van deze verkenning middels een lokale optimalisatie automatisch verder verbeterd wordt totdat het afbreekcriterium bereikt is.

7.2 Optimalisatie Doel

Het optimalisatie proces begint met de definitie van het optimalisatie doel. Hiervoor dient onderstaande dialoog, die middels Optimalisatie/Doel opgeroepen wordt, en die uit 6 stappen bestaat.

Optimalisatie opzetten

Stap 1
Optimalisatie Klasse: Functie

Stap 2
Details: Invoeren/Wijzigen...

Stap 3
Referentie (optioneel): Invoeren/Wijzigen...

Stap 4
Eigenschap (verschil)functie: RMS

Stap 5
Penalty (optioneel):

Stap 6
Optimalisatie Doel: Minimaliseren

OK Annuleren

Dialog voor het stapsgewijs definiëren van het optimalisatiedoel

De volgende keuzes of invoergegevens zijn hiervoor nodig:

Stap 1: Kies de Optimalisatieklasse

Het betreft hier een keuze uit:

- *Functie*: indien een bewegings- of krachtgrootte geoptimaliseerd wordt

- *Baan*: indien de baan van een punt geoptimaliseerd wordt
- *Baan met incl. timing*: idem als bovenstaande echter incl. timing

Stap 2: Details

Afhankelijk van de onder Stap 1 gemaakte keuze dienen nu aanvullende gegevens verstrekt te worden, zoals b.v. element of knooppunt nummer e.d.. In het geval van een functie optimalisatie dient tevens aangegeven te worden welke grootte als argument (=x-as) gebruikt wordt. Standaard is dit de tijd, echter in sommige applicatie kan dit ook een andere grootte zijn, b.v. als het verloop van de aandrijfkracht als functie van de afgelegde weg aan bepaalde eisen dient te voldoen.

Step 3: Definieer Referentie

Abhankelijk van het optimalisatievraagstuk, kan het nodig zijn om een bepaalde doel- of referentiefunctie dan wel doelbeweging te definiëren.. Voor het optimaliseren van de het maximale aandrijfkoppel van een 4-stangen-mechanisme met massa is geen doelfunctie nodig. Wil men echter een koppelpunt zo goed mogelijk een bepaalde baan laten doorlopen, zal men deze baan moeten definiëren. Een dergelijke doelfunctie of doelbeweging wordt middels een eenvoudig ASCII-bestand vastgelegd en maakt daarbij gebruik van het volgende formaat:

Formaat bij een functieoptimalisatie:

```
argument_1  functiewaarde_1
argument_2  functiewaarde_2
:           :
argument_n  functiewaarde_n
```

Formaat bij een baanoptimalisatie

```
x_1  y_1
x_2  y_2
:    :
x_n  y_n
```

Format bij een baanoptimalisatie incl. timing

```
tijdstip_1  x_1  y_1
tijdstip_2  x_2  y_2
:           :    :
tijdstip_n  x_n  y_n
```

1. Alle gegevens in het referentiebestand worden geïnterpreteerd volgens het SI(rad) eenheden-systeem en geconverteerd naar het actuele eenheden-stelsel.

2. Een referentiebaan wordt van het eerste tot het laatste punt doorlopen, echter ZONDER de baan te sluiten, zodat de gebruiker maximale flexibiliteit heeft bij de definitie van de doelbeweging. Om een gesloten baan te definiëren moet het eerste punt aan het eind van de lijst derhalve herhaald worden.

Step 4: Eigenschap (verschil-)functie

Op basis van de vorige drie stappen kan nu na iedere analyse uitgaande van het gewenste gedrag en het actuele gedrag een verschilfunctie bepaald worden (ook het verschil tussen

een gewenst baan van een koppelpunt en een actuele baan vertaald zich uiteindelijk in een verschilfunctie). Indien een referentiefunctie niet van toepassing is (=nul-functie) wordt verdergewerkt met de actuele functie.

In deze vierde stap wordt vastgelegd welke eigenschap van de (verschil-)functie geoptimaliseerd dient te worden. Dit kan b.v. de maximale waarde zijn (al dan niet in absolute zin), de gemiddelde waarde of de RMS afwijking ... Wat maatgevend is hangt volledig af van het optimalisatievraagstuk

Stap 5: Penalty (optioneel)

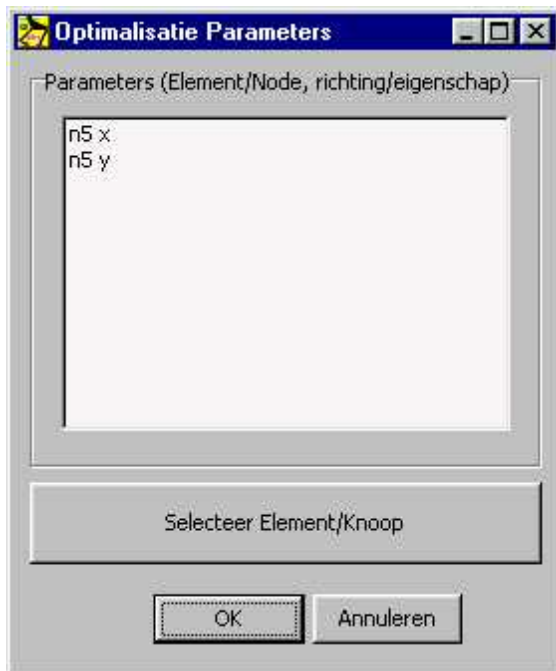
Indien men een constraint optimalisatie wil uitvoeren dient men het schenden van de constraint (nevenvoorwaarde) te vertalen in een penalty functie (of eigenlijk een getal) waarna deze wordt opgeteld bij de kostfunctie. Voor dit doel kan in stap 5 een gebruikers-gedefinieerde variabele gekozen worden, die daarvoor in de dialoog RESULTATEN > GEBRUIKER GEDEFINIEERD gedefinieerd dient te worden.

Stap 6: Minimalisatie/Maximalisatie

Tot slot dient de gebruiker aan te geven of er geminimaliseerd of gemaximaliseerd dient te worden. In de meeste gevallen zal het gaan om een minimalisatie, maar er bestaan soms ook vraagstukken waarbij het erom gaat om gegeven de randvoorwaarden een zo groot mogelijke waarde, b.v. een zo groot mogelijke slag, te bereiken.

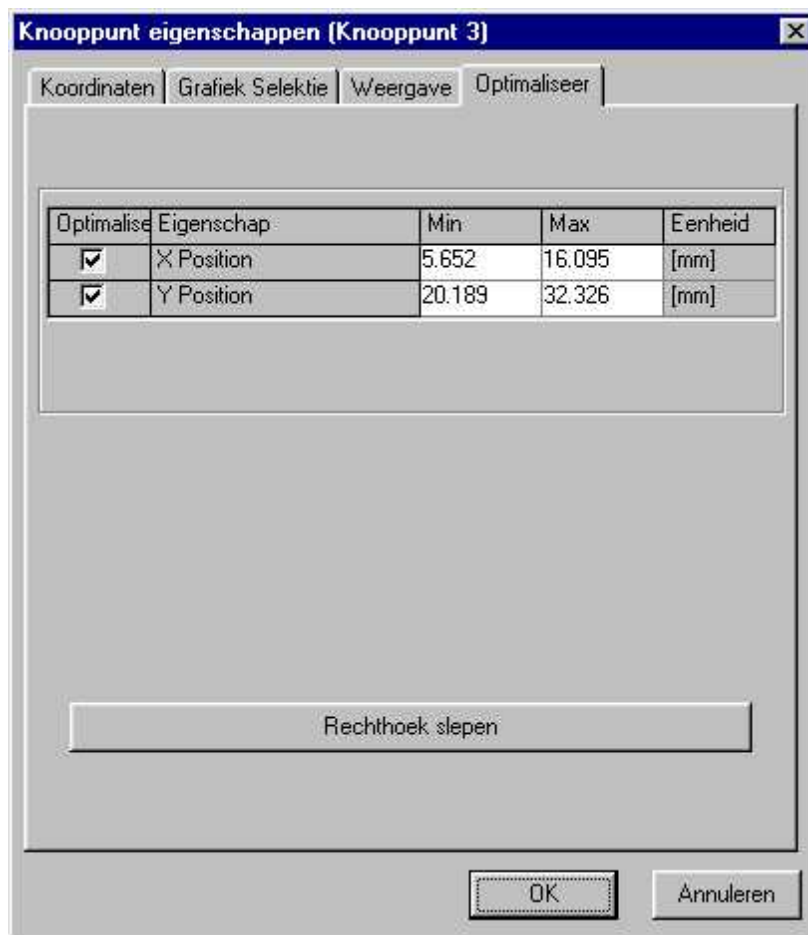
7.3 Optimalisatie Parameters

Nadat het optimalisatiedoel is vastgelegd dient de gebruiker aan te geven welke parameters kunnen worden gevarieerd tijdens de optimalisatie en binnen welke grenzen. Via Optimalisatie/Parameters wordt onderstaande dialoog geopend waarin de actuele lijst van parameters wordt weergegeven en bestaat de mogelijkheid om parameters toe te voegen.



Dialogoog toont de actuele lijst van geselecteerde parameters en biedt mogelijkheid deze aan te vullen

Nadat de "Selecteer" toets is ingedrukt kan men b.v. een knooppunt selecteren en aangeven dat beide vrijheidsgraden van deze knoop gevarieerd mogen worden binnen de opgegeven grenzen. Naast de handmatige invoer van deze grenzen bestaat er ook de mogelijkheid om via "Rechthoek slepen" het gebied waarbinnen een knooppunt gevarieerd mag worden met de muis aan te geven.



Optimalisatie tabblad van een knooppunt

7.4 Constraints

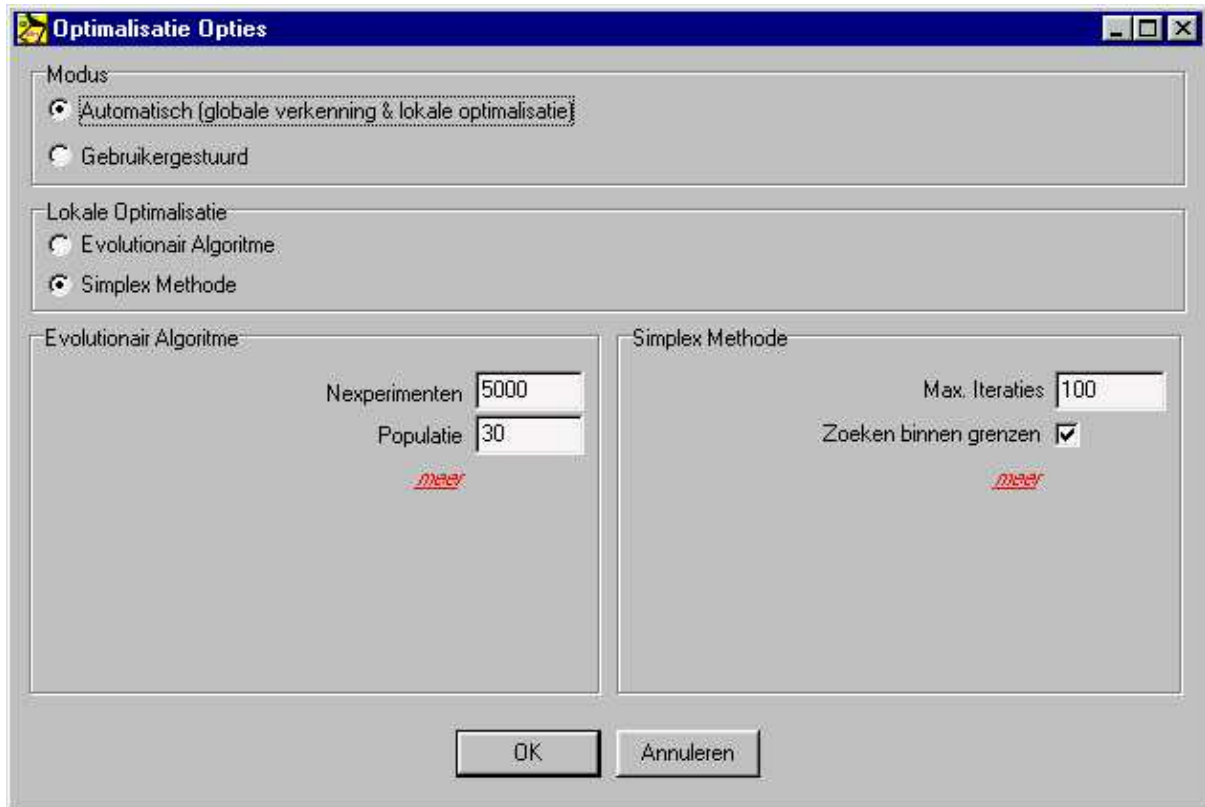
Constraints zijn ongelijkheden die de oplossingsruimte direct of indirect beperken. Typische constraints zijn:

- Directe grenzen (boven- en/of ondergrenzen) van een design parameter, zoals b.v. het toelaatbare xy-coördinaten bereik van een knooppunt. Kenmerk van deze directe grenzen is het feit dat deze zonder simulatie al kunnen worden gecontroleerd omdat ze betrekking hebben op design parameters en niet op samengestelde simulatie resultaten.
- De grenzen van een beweging grootheid, zoals b.v.: de baan van het koppelpunt P van het koppelMak die in zijn geheel in een bepaald XY-gebied dient te liggen.
- De algehele uitvoerbaarheid van de kinematische parameter ruimte, b.v. om ervoor te zorgen dat een mechanisme hoe dan ook kan bewegen zonder vast te lopen.

Zogenaamde constraint optimalisatie kan worden omgezet naar een unconstrained optimalisatie door de constraints toe te voegen aan de oorspronkelijk kost functie via penalty functies of penalty getallen, die een maat zijn voor de mate waarin de constraint wordt geschonden..

7.5 Optimalisatie Opties

Via het menu Optimalisatie/Opties komt men in de volgende dialoog:



Dialoog met de standaard optimalisatie opties

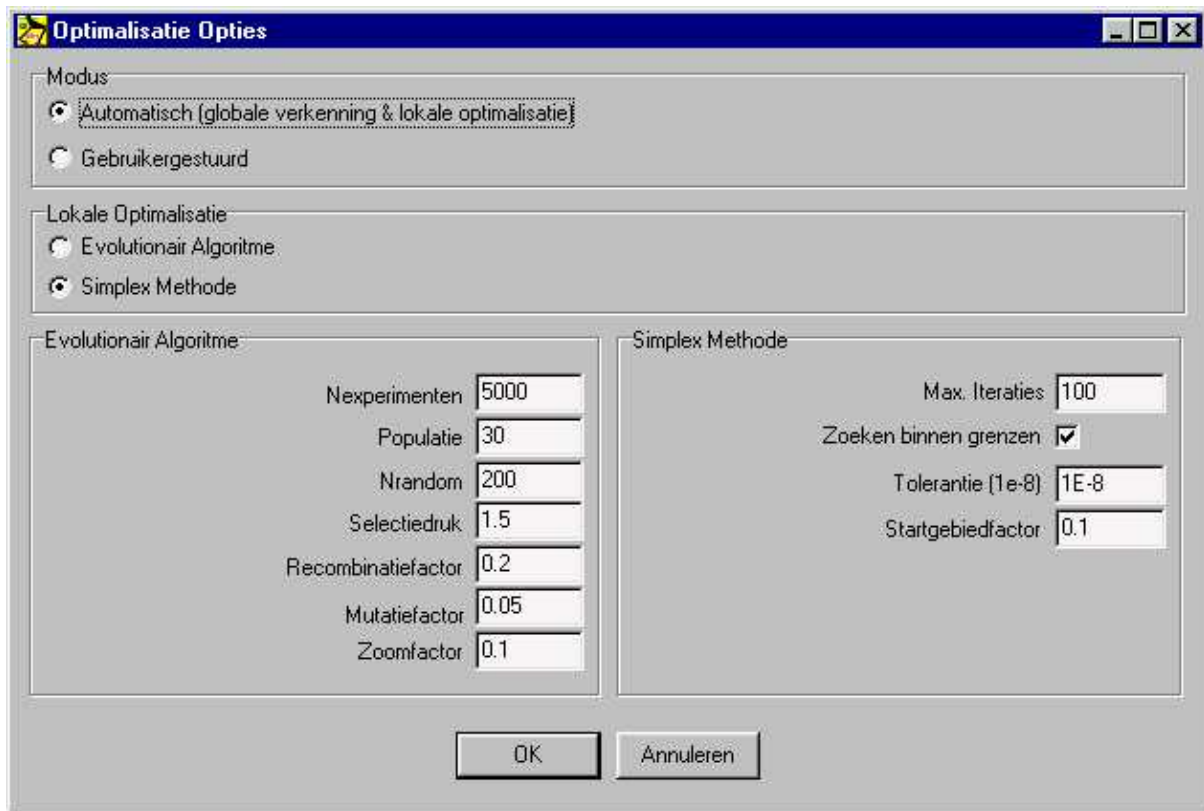
De gebruiker kan kiezen tussen een gebruiker-gestuurde modus en een automatische modus.

In de gebruiker-gestuurde modus wordt eerst een globale exploratie van de oplossingsruimte uitgevoerd middels het evolutionaire algoritme en ontstaat een lijst met oplossingen. De gebruiker kan vervolgens uit deze lijst een oplossing kiezen en deze verder verfijnen middels een lokale optimalisatie, waarbij wederom een evolutionair algoritme gebruikt kan worden of de Simplex Methode.

Bij de automatische modus wordt ook gestart met een globale exploratie, echter daarna wordt automatisch de beste oplossing verder verfijnd middels een lokale optimalisatie (o.b. v. het evolutionaire algoritme of de Simplex methode).

Welke methode gehanteerd wordt bij de lokale optimalisatie wordt bepaald door de instelling onder het kopje "Lokale Optimalisatie".

In het volgende blok kan de gebruiker de instellingen van de beide aanpakken vastleggen, waarbij in eerste instantie alleen de meest gangbare instellingen zichtbaar zijn. Het volledige arsenaal aan instellingen wordt zichtbaar middels *meer*, echter het aanpassen van deze extra instellingen vereist ook meer achtergrond kennis van de gebruikte methode. Ieder van de instellingen wordt kort besproken in het volgende hoofdstuk



Dialog met alle optimalisatie opties

De niet-standaard instellingen kunnen worden aangepast, echter de default waarden geven normaliter goede resultaten. Het verdient aanbeveling om eerst enige ervaring op te bouwen alvorens de niet-standaard instellingen te wijzigen.

7.5.1 Instellingen Evolutionair Algoritme

Nexperimenten: Totaal aantal individuele oplossingen die tijdens het evolutionaire zoekproces gegenereerd worden.

Nrandom: In de gekozen implementatie van het evolutionaire algoritme wordt uitgaande van een lege startpopulatie eerst een aantal random gekozen oplossingen gegenereerd.

Populatie: Grootte van de populatie. Uitgaande van een lege startpopulatie wordt eerste een aantal random gekozen individuen gegenereerd, waarna de populatie wordt aangevuld met evolutionair gegenereerde nakomelingen. Vervolgens blijft de populatie qua afmeting gelijk en worden telkens bestaande individuen vervangen door nakomelingen zodra deze betere eigenschappen vertonen.

Selectiedruk: De huidige implementatie maakt gebruik van een lineair rang-gebaseerde fitness toekenning. Dit houdt in dat de voortplantingskans van een individue gekoppeld is aan de rang in de op fitness gesorteerde populatie en niet aan de individuele fitness zelf. De selectiedruk voegt een extra weegfactor hieraan toe, die tussen 1.0 (alle individuen in de populatie hebben dezelfde voortplantingskans) en 2.0 (de kans op voortplanting neemt lineair af met de rang en is vrijwel nul voor het slechtste individue in de populatie).

Recombinatiefactor: In de pure vorm, worden uitgaande van de twee gekozen ouders de parameters van de nakomeling op een random wijze gekozen ergens tussen de parameters van de twee ouders. Het kan worden aangetoond dat bij een dergelijke implementatie de bestreken parameterruimte steeds kleiner wordt hetgeen nadelig is voor het optimalisatieproces. Dit effect kan worden tegengegaan door het gebied waaruit middels een random selectie de nakomeling bepaald wordt aan beide zijden van de ouders uit te breiden met een zekere toeslag factor. Een waarde van 25% blijkt in de praktijk een goede keuze te zijn.

Mutatiefactor: Na de recombinitie van de parameters van de ouders ondergaat een nakomeling een mutatie. De parameters ondergaan daarom met een kleine kans een kleine perturbatie, waardoor voorkomen wordt dat een populatie vastloopt in een doodlopend pad, hetgeen in optimalisatieterminologie overeenkomt met een lokaal optimum. De mutatiefactor bepaald de kans dat een parameter gepermuteerd wordt, waarbij als vuistregel een waarde gehanteerd wordt die overeenkomt met $1/n$ (n : aantal parameters).

Zoomfactor: Indien het evolutionaire algoritme wordt toegepast bij het verfijnen van een oplossing (lokale optimalisatie) wil men in het algemeen het zoekgebied t.o.v. de oorspronkelijke parameterruimte verkleinen en centreren rondom de te verfijnen oplossing. Alle parameter ranges worden daartoe tijdens de lokale optimalisatie vermenigvuldigd met de opgegeven zoomfactor, die typisch tussen 0.01 en 0.1 ligt.

7.5.2 Instellingen Simplex Methode

Max. Iteraties: De Simplex methode stopt zodra het maximum aantal iteratie is bereikt of indien eerder de relatieve verbetering van de oplossing t.o.v. de voorgaande iteratie onder een tolerantie waarde zakt.

Tolerantie: De Simplex methode stopt zodra de relatieve verbetering van de actuele oplossing t.o.v. de voorgaande iteratie onder de tolerantie waarde zakt of indien eerder het maximum aantal iteratie is bereikt.

Startgebiedfactor: De eerste simplex wordt automatisch gegenereerd door achtereenvolgend kleine perturbaties toe te passen op elk van de parameters van de start oplossing. Die kleine perturbatie ontstaat door de desbetreffende parameter range te vermenigvuldigen met de opgegeven factor, die typisch tussen 0.01 en 0.5 ligt.

Zoeken binnen grenzen: Waar het evolutionaire algoritme per definitie alleen oplossingen genereert binnen de geldige parameter ruimte moet de Simplex Methode tijdens bewust beperkt worden tot de geldige oplossingen. Omdat het echter soms handig is om te zien welke oplossingen er buiten de opgegeven parameter ruimte liggen, bestaat de mogelijkheid om de Simplex Methode bewust buiten de grenzen te laten zoeken.

Chapter

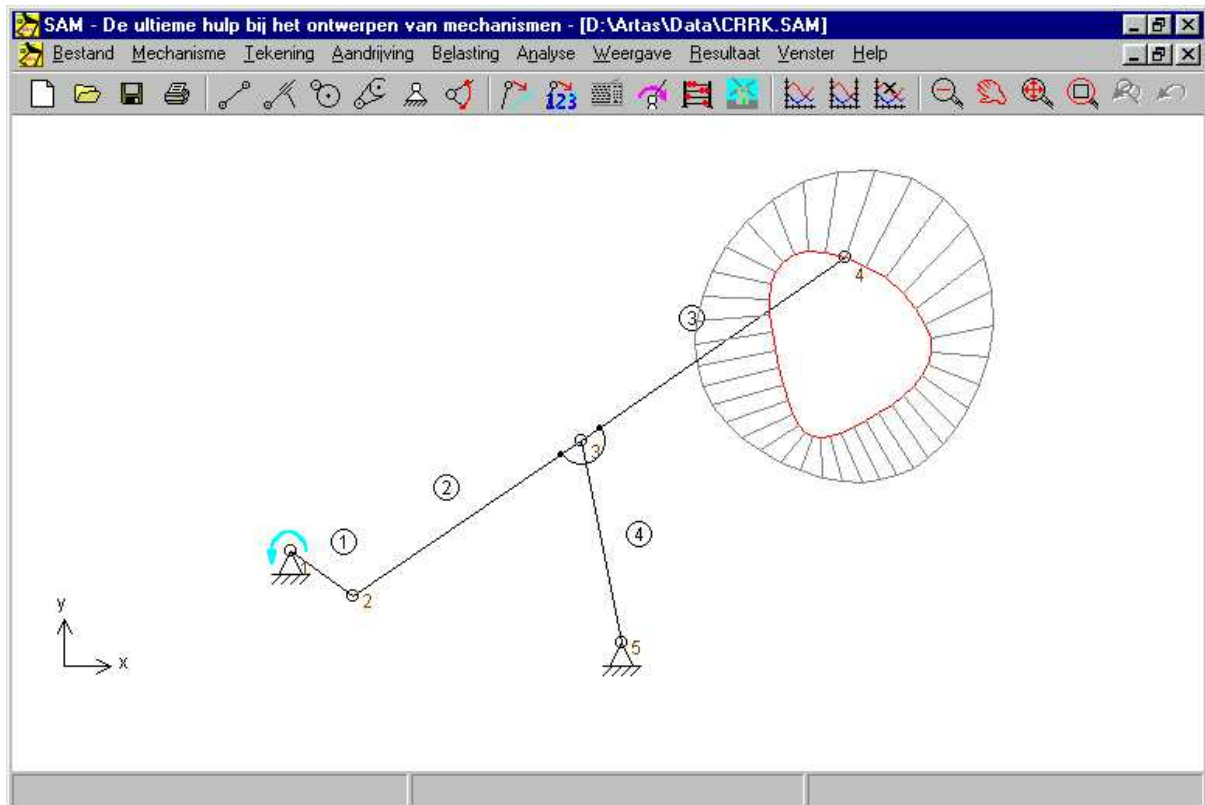
8

8 Voorbeelden

8.1 Bewegingsanalyse

8.1.1 Kruk-slinger mechanisme

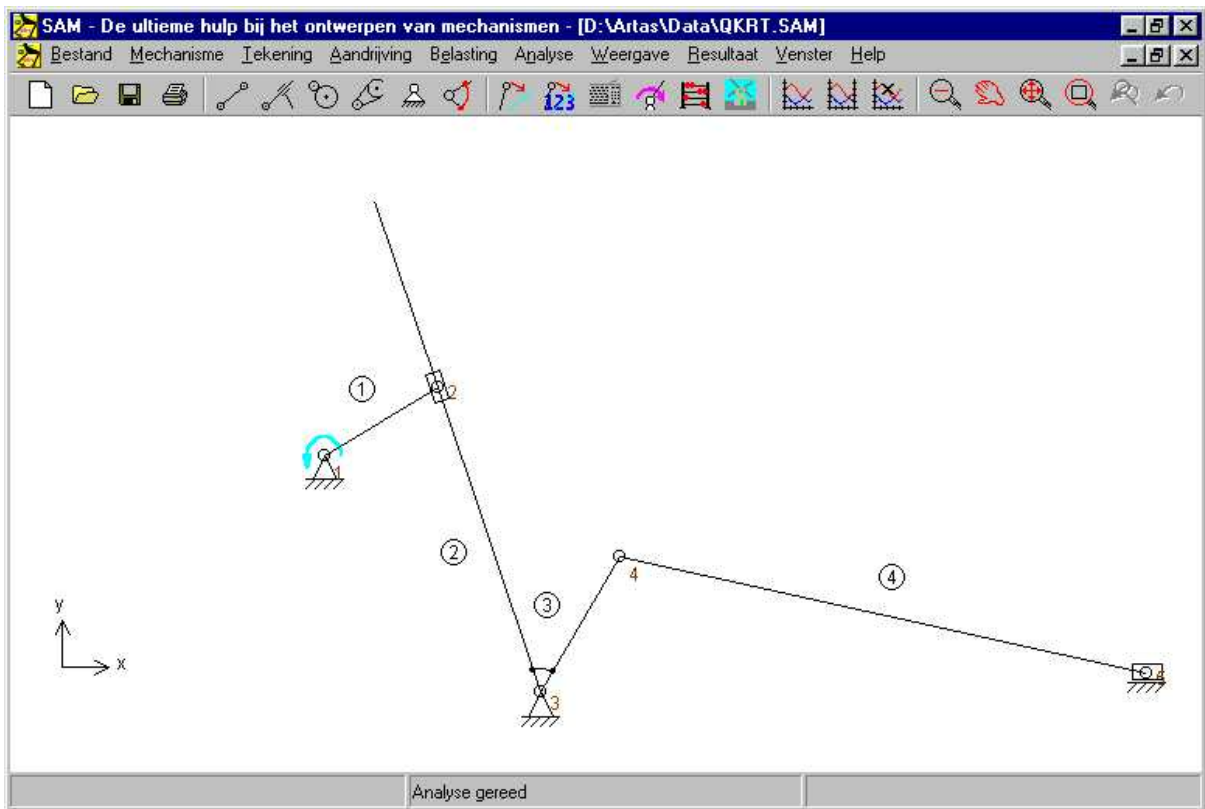
Voorbeeldbestand CRRK.SAM definieert een kruk-slinger mechanisme, waarin de kruk met constante hoeksnelheid wordt aangedreven. De baan en snelheidshodograaf van knooppunt 4 is geanalyseerd.



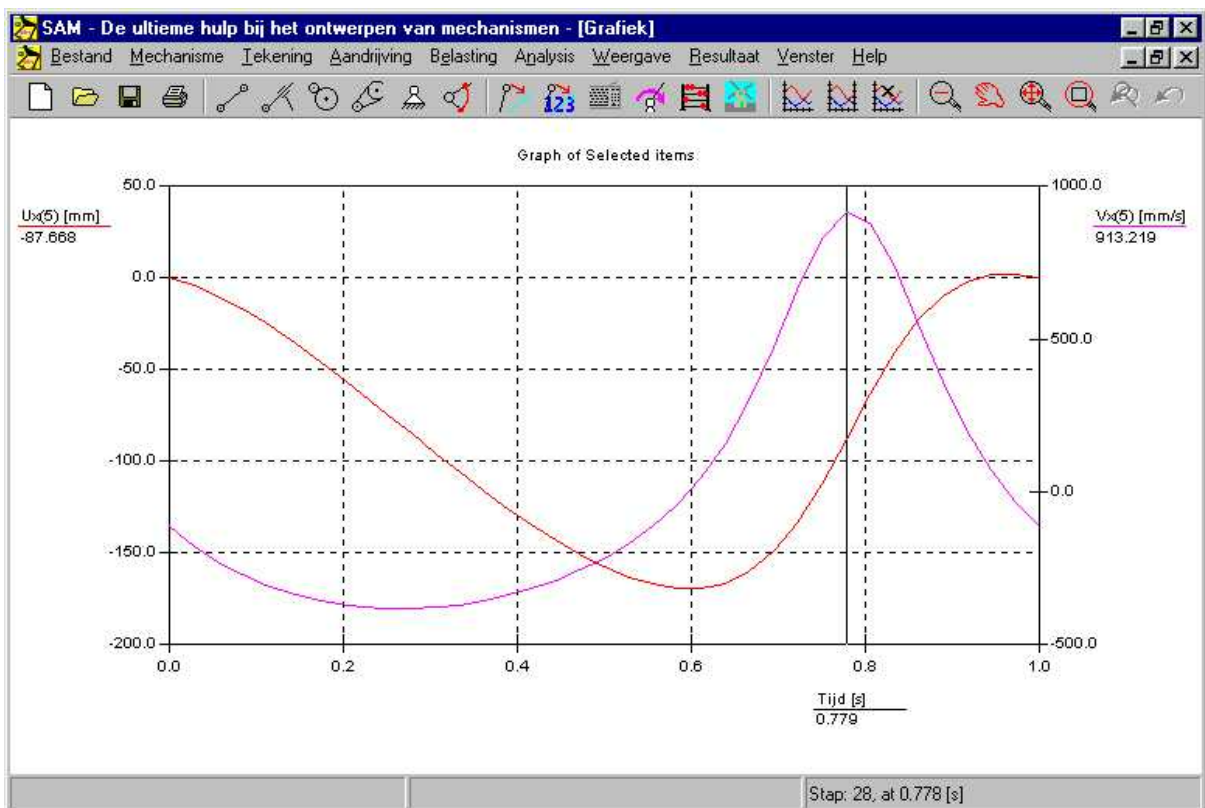
Kruk-slinger mechanisme (CRRK.SAM)

8.1.2 Quick-Return mechanisme

Voor opzet-units wordt veelal een zogenaamde "quick return mechanisme" ingezet, waarbij de teruggaande slag van de schuif met een veel hogere snelheid plaatsvindt dan de heengaande slag. Dit blijkt overduidelijk in het snelheidsdiagram.

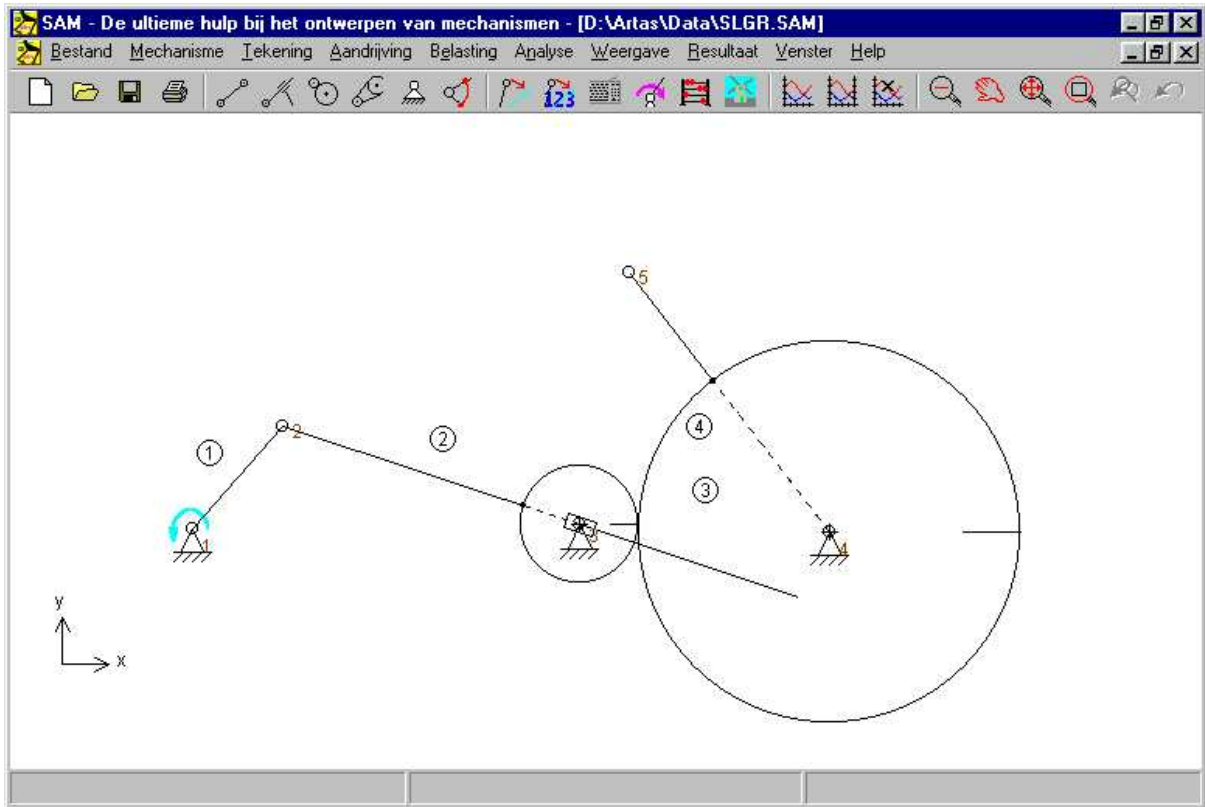


"Quick-return mechanism" (QKRT.SAM)



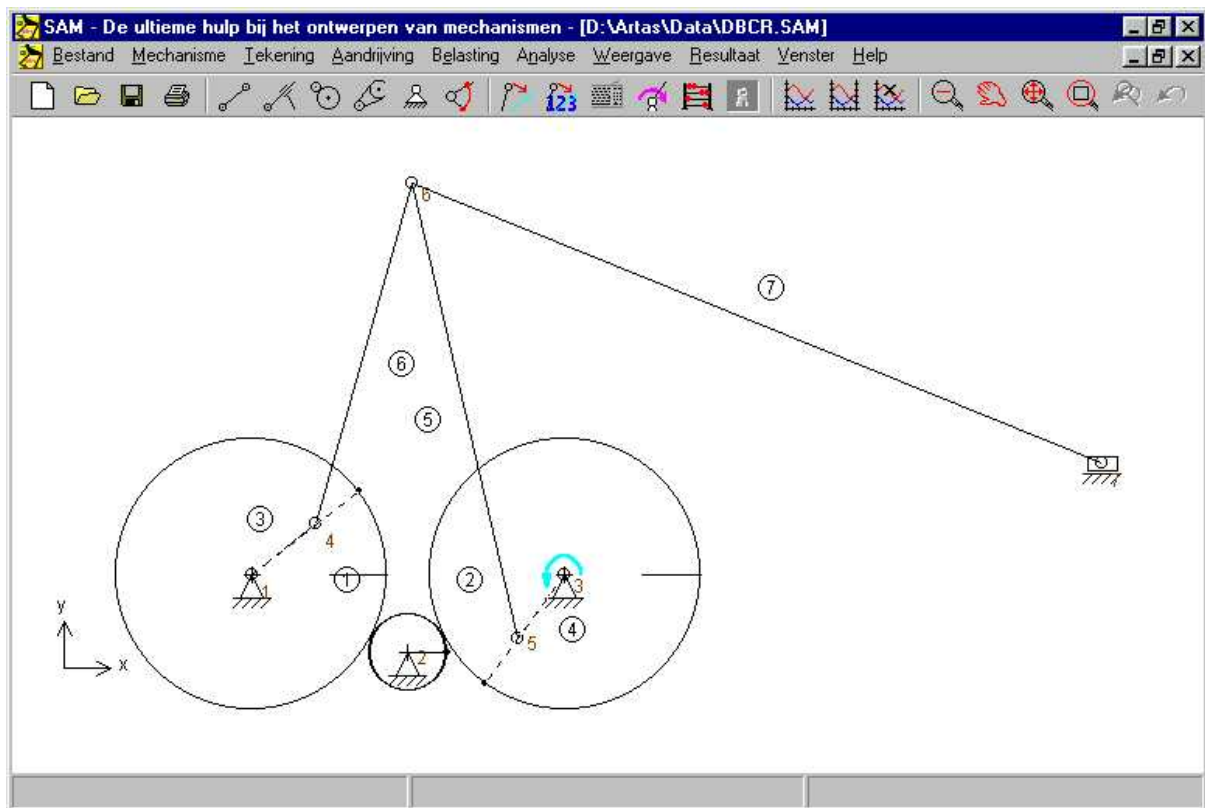
Verplaatsing en snelheid van knooppunt 5 als functie van de tijd

8.1.3 Tandwielpaar aangedreven door kruk-sleuf mechanisme



Tandwielpaar aangedreven door kruk-sleuf mechanisme (SLGR.SAM)

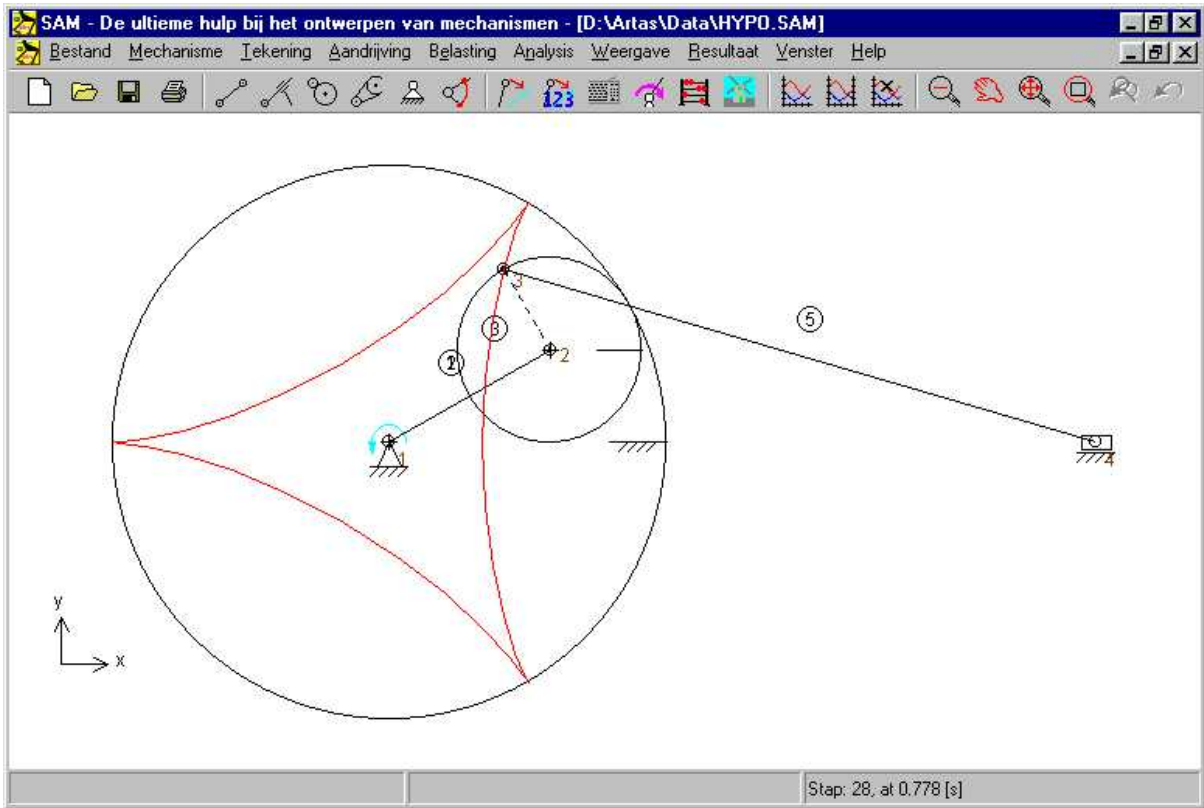
8.1.4 Mechanisme met twee gekoppelde aandrijvingen



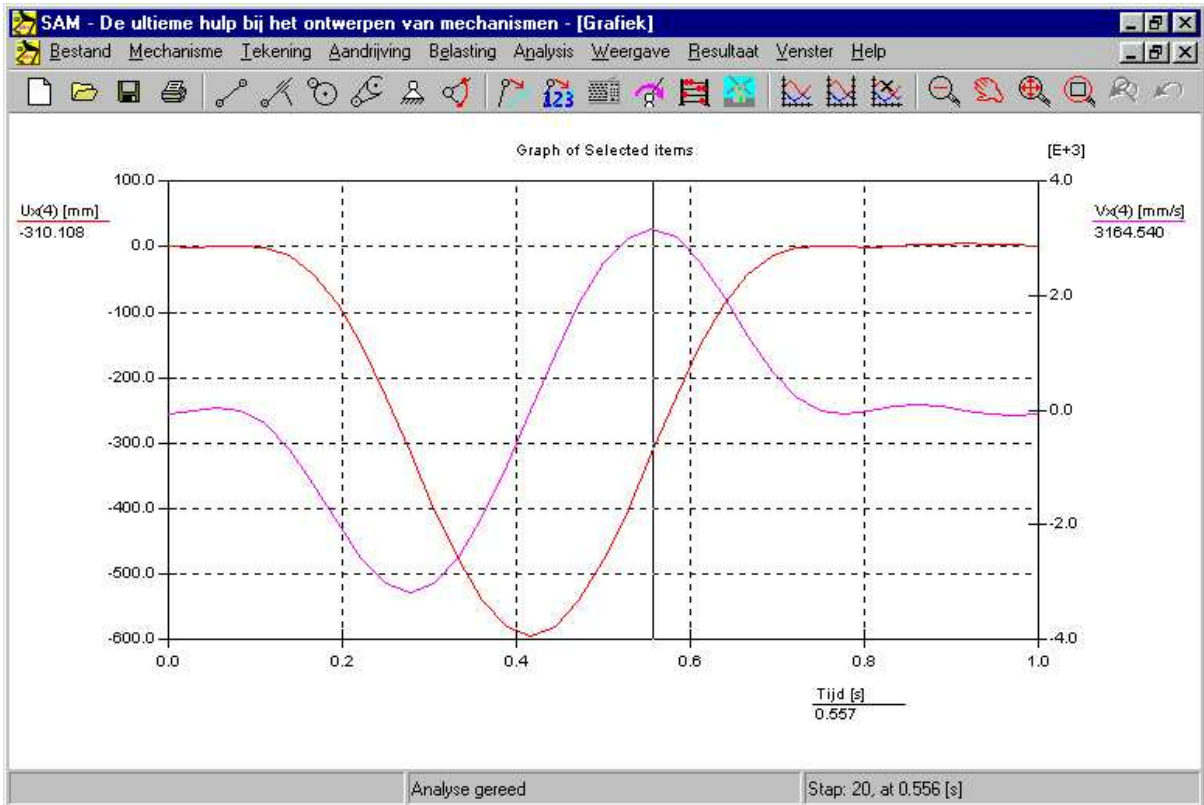
Mechanisme met twee gekoppelde aandrijvingen (DBC.R.SAM)

8.1.5 Planetair mechanisme (hypo-cycloïdaal)

Een hypo-cycloïdaal planetair mechanisme kan gebruikt worden om een genaderde rust te genereren. Dit wordt bereikt door een stang te bevestigen aan een verbindingpunt op het tandwiel en de lengte van de stang dusdanig te kiezen dat deze overeenkomt met de krommingsradius van de beweging van het verbindingpunt.



Hypo-cycloidaal mechanisme (HYPO.SAM)

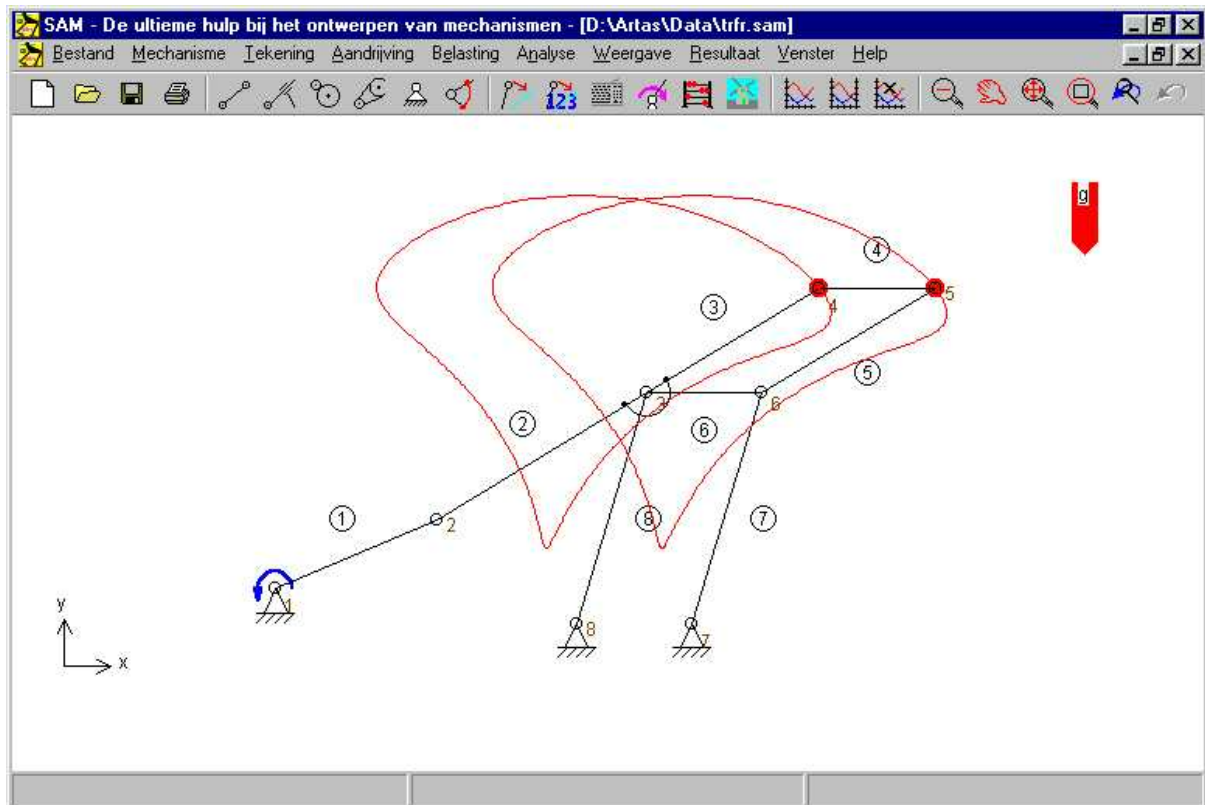


Uitgangsverplaatsing van het hypo-cycloidaal mechanisme

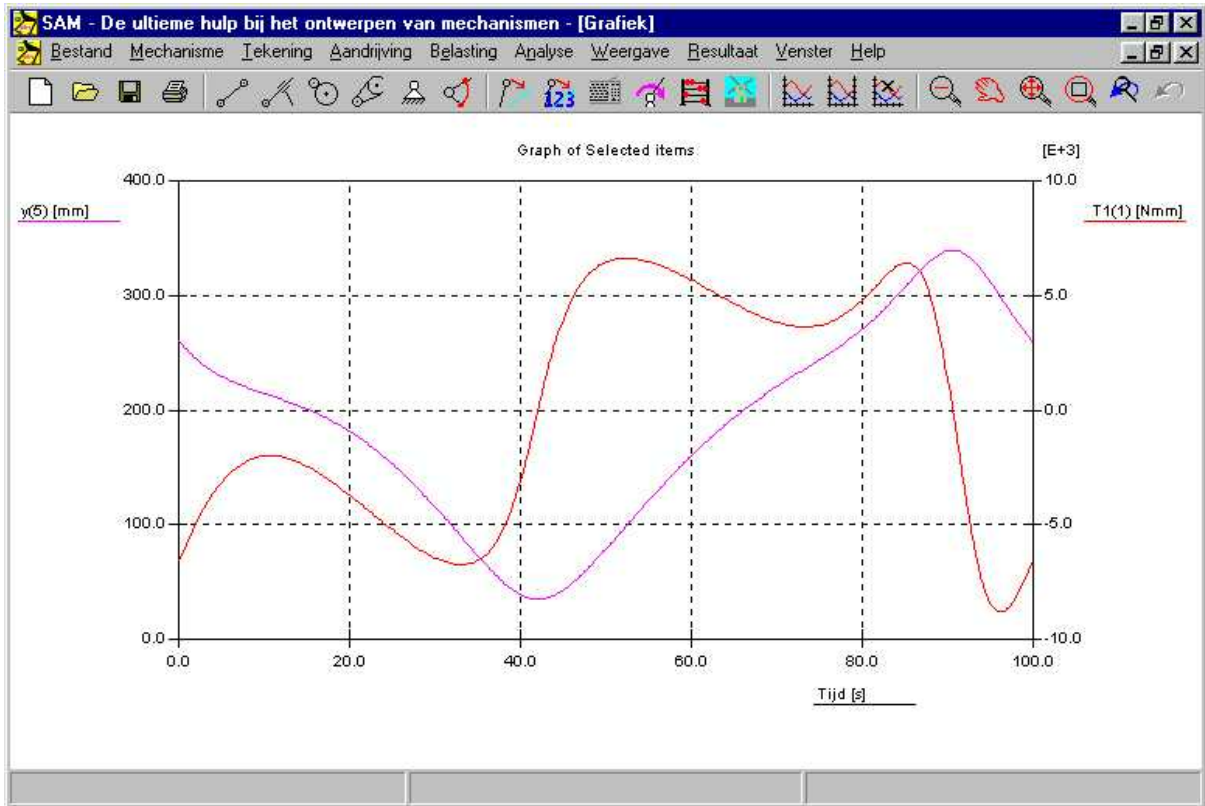
8.2 Krachtenanalyse

8.2.1 Overzetmechanisme (incl. zwaartekracht)

Dit mechanisme wordt toegepast om producten te verplaatsen zonder dat deze een rotatie ondergaan. Bij deze analyse wordt het aandrieffkoppel berekend dat nodig is om de massa's in knooppunt 4 en 5 te verplaatsen.



Overzetmechanisme incl. knooppuntsbanen (TRFR.SAM)

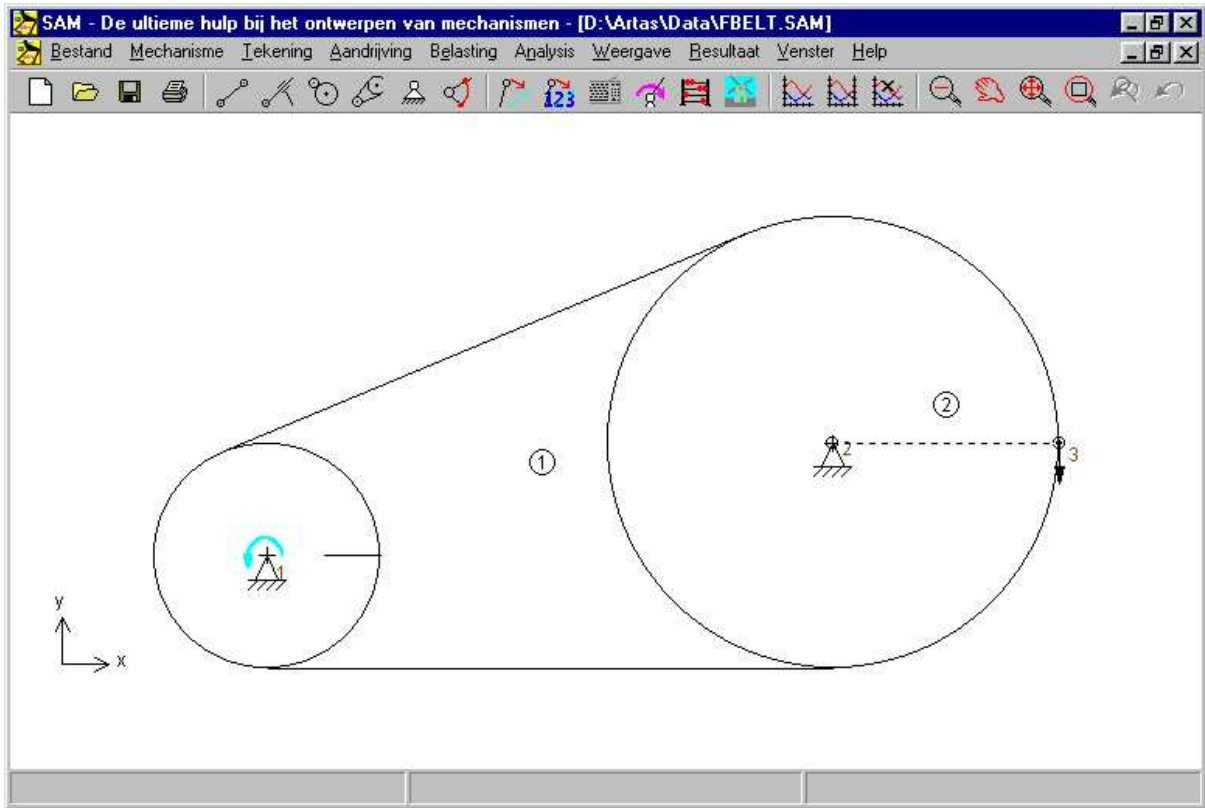


Verticale positie en statisch aandrijfmoment als functie van de tijd

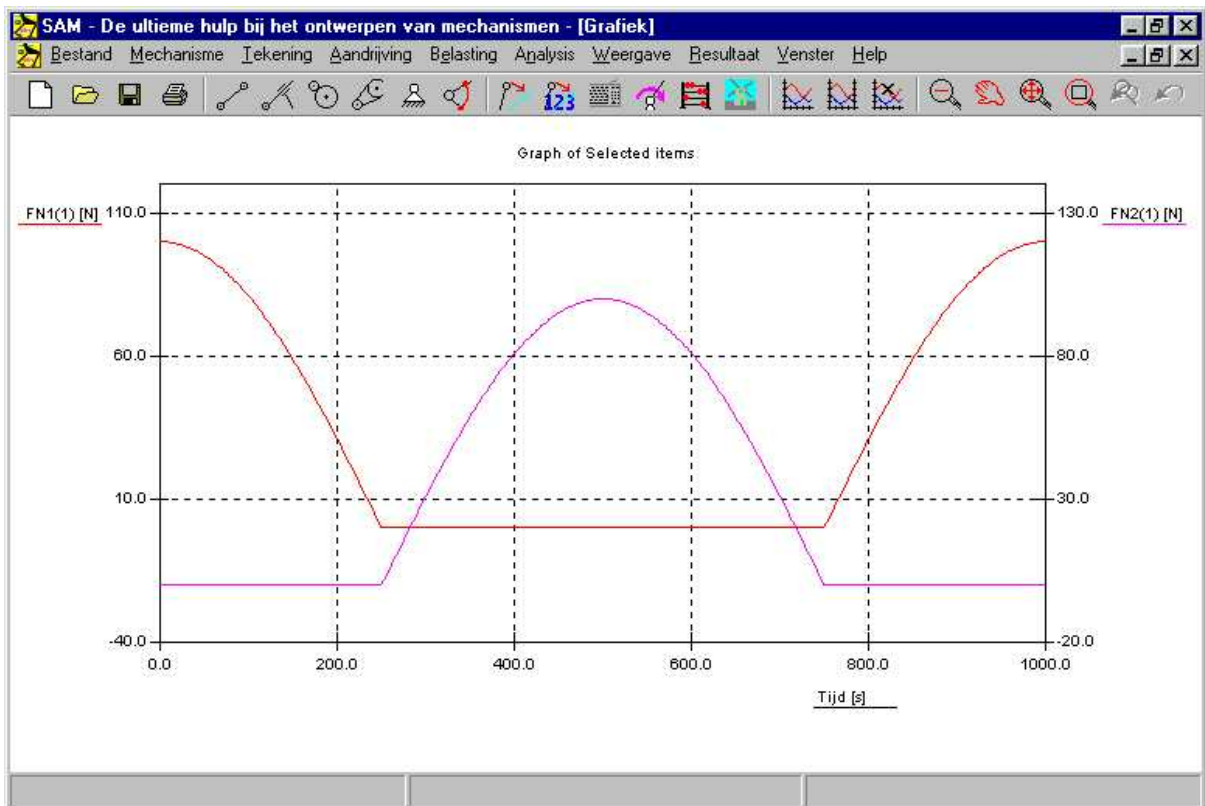
8.2.2 Tandriemoverbrenging met externe kracht

Het volgende voorbeeld illustreert de krachtanalyse van een voorspanningsloze riemoverbrenging. De belasting bestaat uit een verticale kracht in punt 3, die afhankelijk van de hoekverdraaiing tot een positief dan wel negatief koppel op schijf 2 leidt.

Gezien alleen trekkrachten kunnen worden doorgeleid door elk van de riemparten wordt het koppel afhankelijk van de hoekverdraaiing door het bovenste riempart dan wel door het onderste riempart doorgeleid (de kracht in het andere part is telkens nul).



Tandriemoverbrenging (FBELT.SAM)



Trekkraft FN1 in bovenste riempart en FN2 in onderste riempart (Pas op: verschoven y-assen)

8.3 Optimalisatie

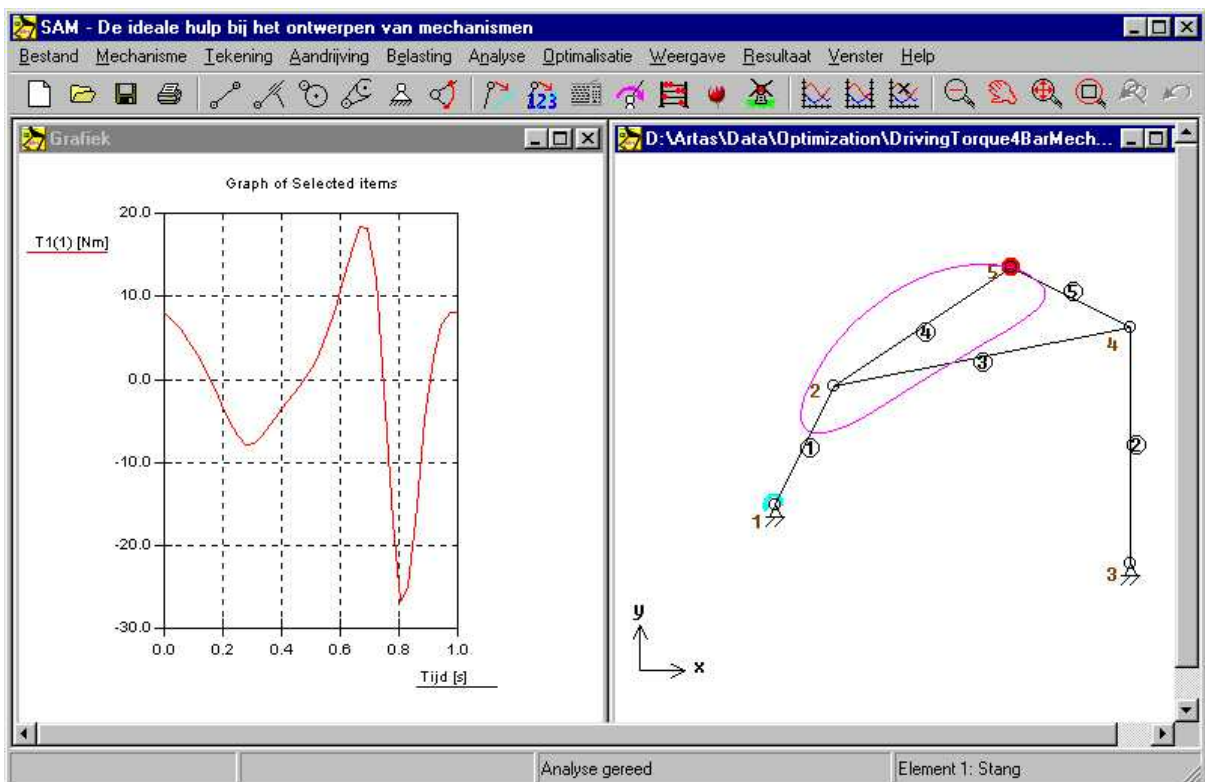
8.3.1 Aandrijfkoppel minimaliseren

Als eerste voorbeeld wordt gekeken een 4-stangenmechanisme met een massa in het koppelvlak, waarvan het aandrijfkoppel gereduceerd dient te worden d.m.v. een compensatiemassa in het koppelvlak. De grootte van de compensatiemassa en de ligging ervan dient bepaald te worden. Het mechanisme wordt met constante hoeksnelheid aangedreven en de zwaartekracht wordt verwaarloosd.

Het voorbeeld is gebaseerd op het standaard 4-stangenmechanisme, dat middels de Design Wizard gegenereerd kan worden, en waarbij aansluitend een massa van 10kg is toegevoegd aan het koppelvlak. De kruk wordt aangedreven met een hoeksnelheid van 360 graden in 1 seconde, onderverdeeld in 36 stappen.

Uitgangssituatie

Het verloop van het aandrijfkoppel in de uitgangssituatie is weergegeven in onderstaande screenshot. De maximale absolute waarde van het aandrijfkoppel bedraagt 26.6 Nm.



Uitgangssituatie (a. aandrijfkoppel b. Mechanisme en baan van het koppelpunt Nr.5)

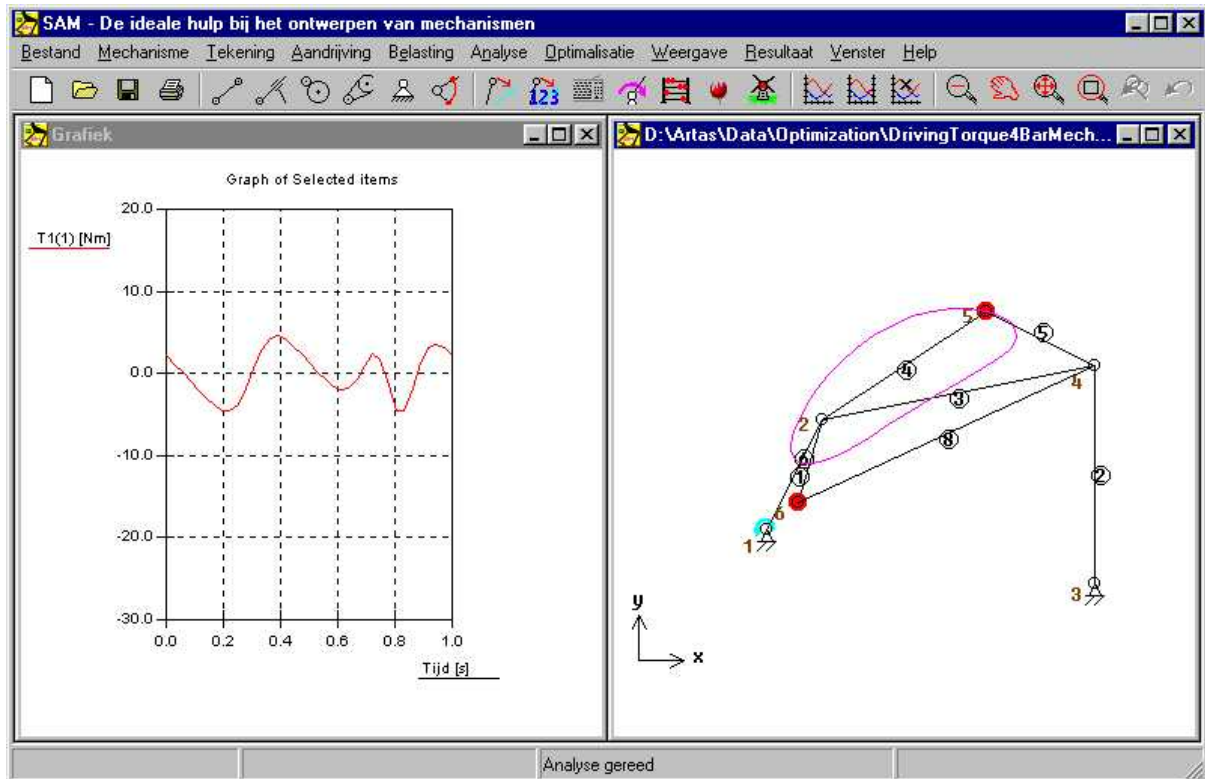
Parameterbereik

De maximale absolute waarde van het aandrijfkoppel dient gereduceerd te worden door een compensatiemassa in het koppelvlak, waarvan de waarde tussen 0 en 20kg mag liggen. De coördinaten van deze massa kunnen in beide richtingen gekozen worden tussen

-1.0m en +1.0m.

Geoptimaliseerde Mechanisme

Bij de optimalisatie zijn de volgende waarden voor de compensatiemassa gevonden: $m=16.5$ kg, x-coördinaat=0.257m en y-coördinaat =0.531m. Het verloop van het aandrijfkoppel is in onderstaande screenshot weergegeven en is duidelijk veel gelijkmatiger dan voorheen. De maximale absolute waarde bedraagt nu slechts 4.76 Nm.

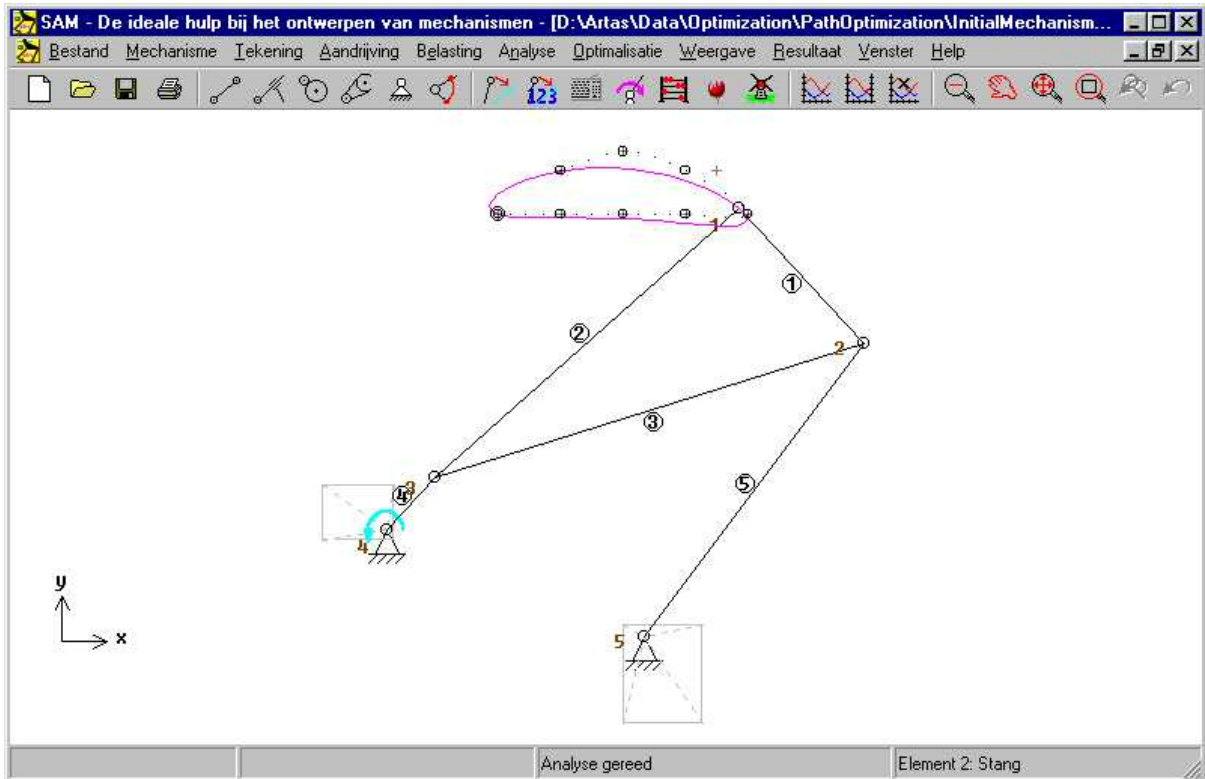


Geoptimaliseerde mechanisme (a.aandrijfkoppel b. mechanisme + compensatiemassa (knooppunt 6))

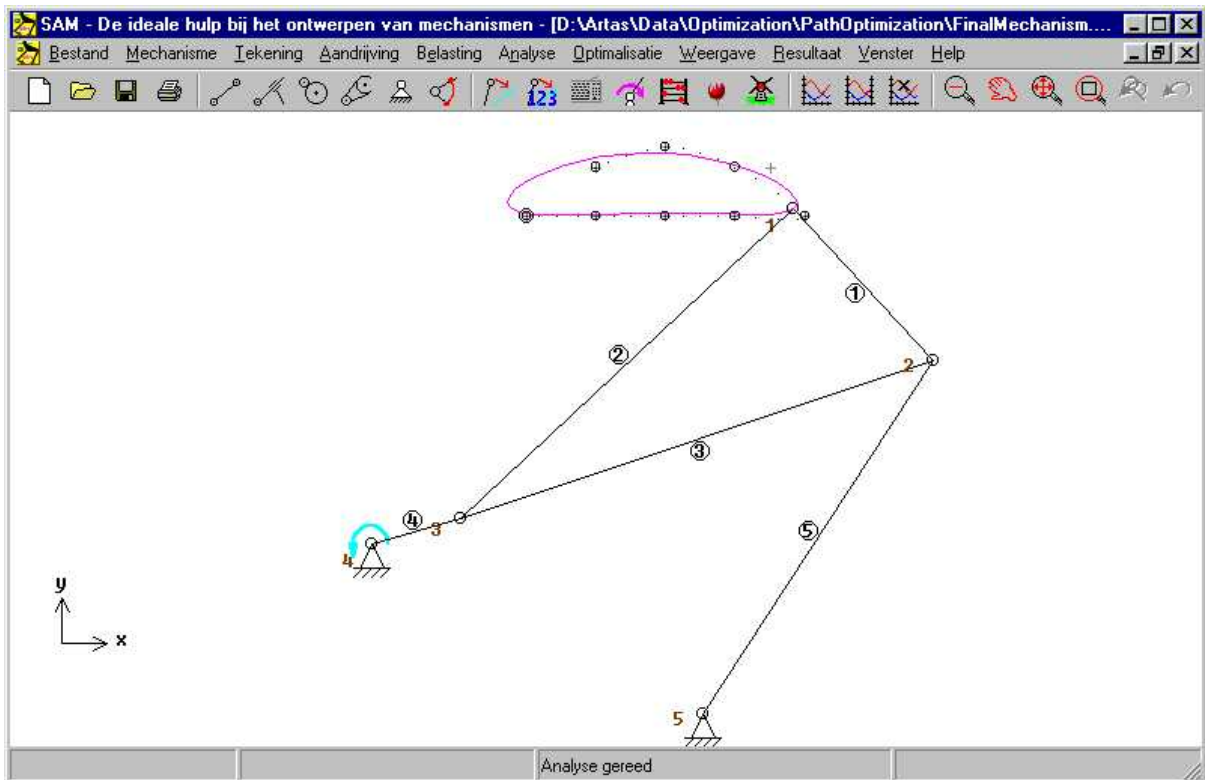
8.3.2 Baan optimaliseren

SAM is ook in staat de parameters van een mechanisme dusdanig te bepalen dat een koppelpunt zo goed mogelijk een gewenste baan doorloopt. Onderstaande eerste screenshot toont een eerste handmatige trial&error poging om een 4-stangen-mechanisme te bepalen waarvan de koppelpuntbaan zo goed mogelijk overeenkomt met de Bezier-curve door de 8 steunpunten.

Dit mechanisme is als startpunt gebruikt bij een optimalisatie waarbij de RMS-waarde van de verschilfunctie tussen de actuele baan en de referentiebaan geminimaliseerd is en waarbij de coördinaten van de gestelpunten als optimalisatieparameters (met bepaalde grenzen) gekozen zijn. Het resultaat van de optimalisatie is weergegeven in de tweede screenshot en vertoont duidelijk een betere overeenstemming tussen doelbaan en actuele baan.



Handmatige trial&error oplossing + optimalisatiegebied van de gestelpunten



Geoptimaliseerd mechanisme

8.3.3 Constrained Optimisatie

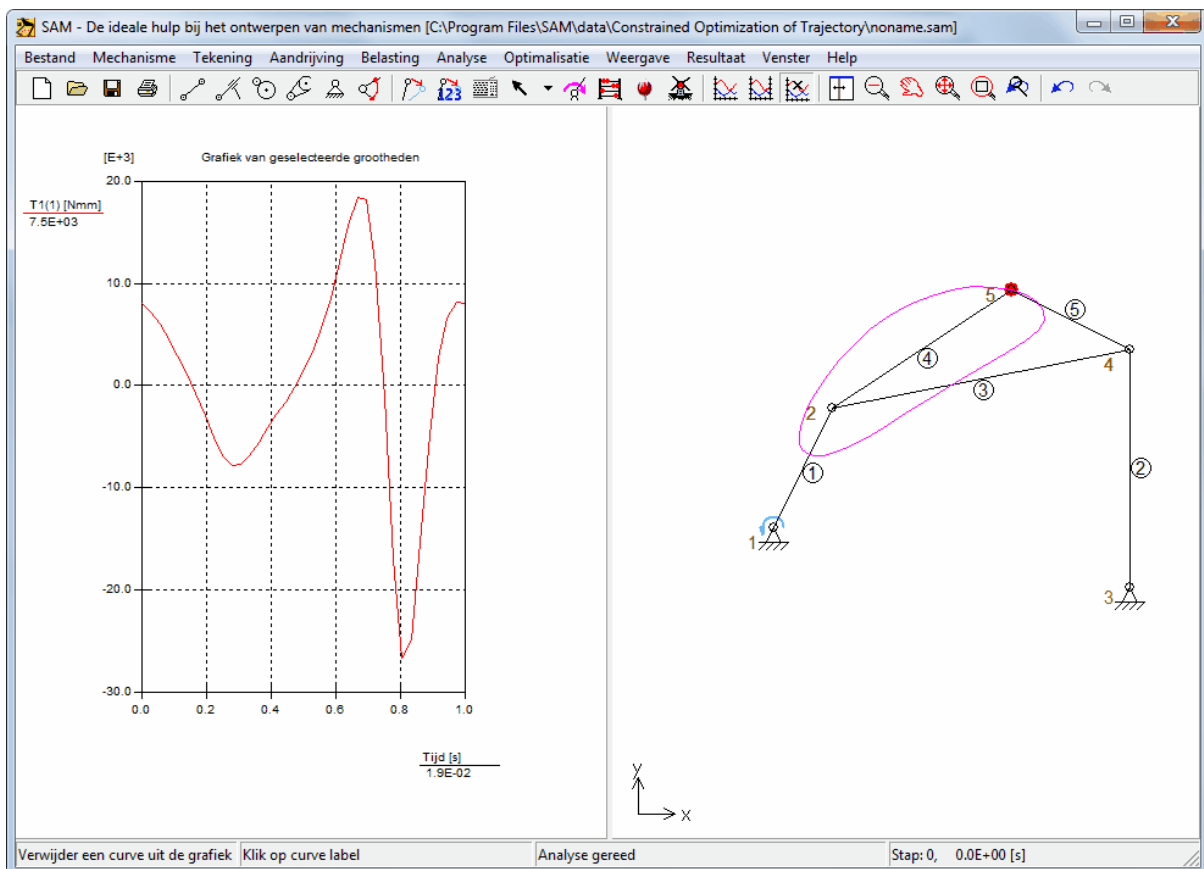
In dit voorbeeld laten we zien hoe men een constrained optimalisatie kan uitvoeren door een penalty functie aan de oorspronkelijke kost functie toe te voegen.

Dit voorbeeld sluit aan bij het eerdere optimalisatie voorbeeld "Aandrijfkoppel minimaliseren" en start wederom met het default 4-stangen mechanisme dat door de commando reeks `BESTAND > WIZARD > 4 STANGEN MECHANISME` en het accepteren van de default waarden wordt gegenereerd. Het mechanisme wordt aangedreven met een constante hoeksnelheid van de kruk (360 graden in 1 seconde, onderverdeeld in 36 intervallen) en zwaartekracht effecten worden buiten beschouwing gelaten. Ter plaatse van knooppunt 5 is een massa van 10kg aangenomen.

Het optimalisatie algoritme dient de optimale waarde en plaats van een compensatie massa te bepalen om zodoende de maximale waarde van het aandrijfkoppelverloop te minimaliseren. In dit voorbeeld stellen we tevens de randvoorwaarde dat de lengte van het extra element, dat de compensatie massa bevat, niet meer dan 0.05m mag bedragen.

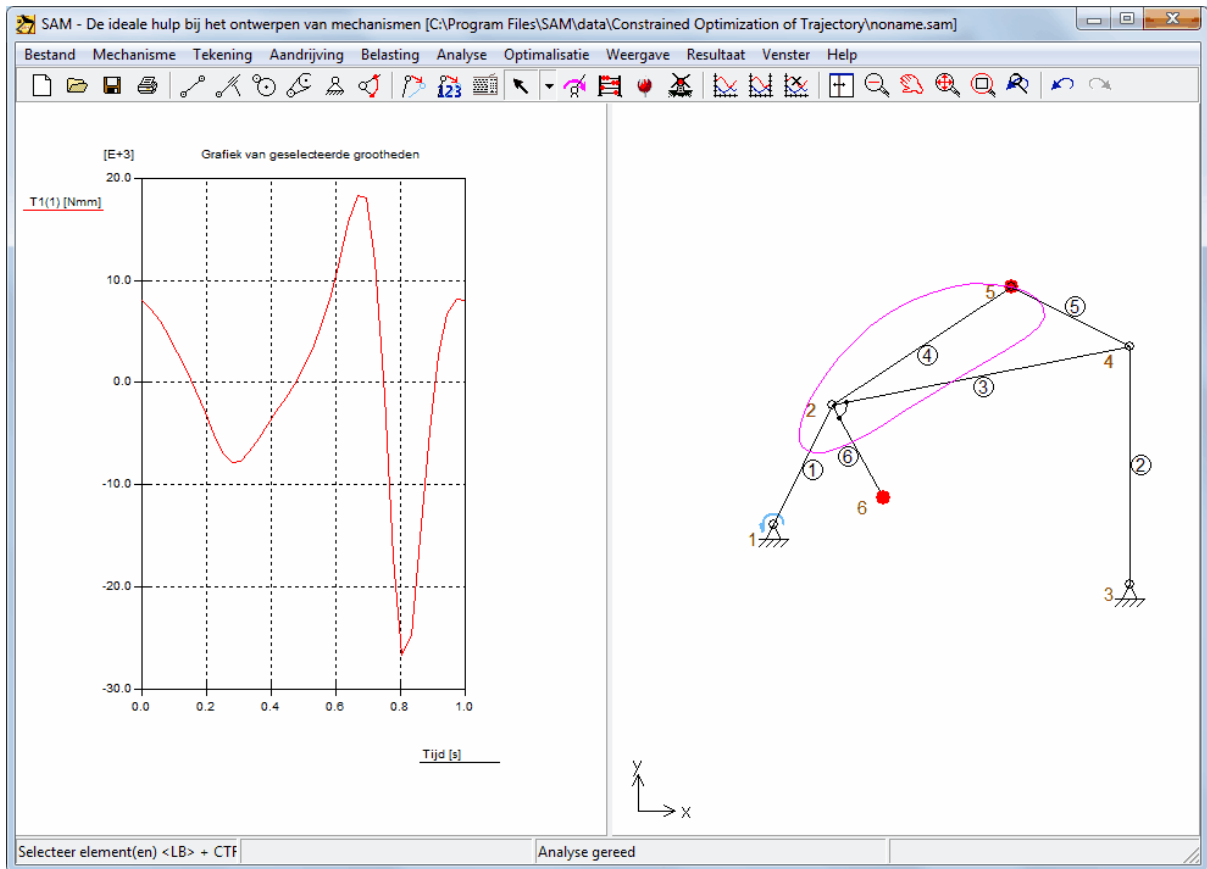
Uitgangssituatie

Het verloop van het aandrijfkoppel in de uitgangssituatie is weergegeven in onderstaande screenshot. De maximale absolute waarde van het aandrijfkoppel bedraagt 26.6 Nm.



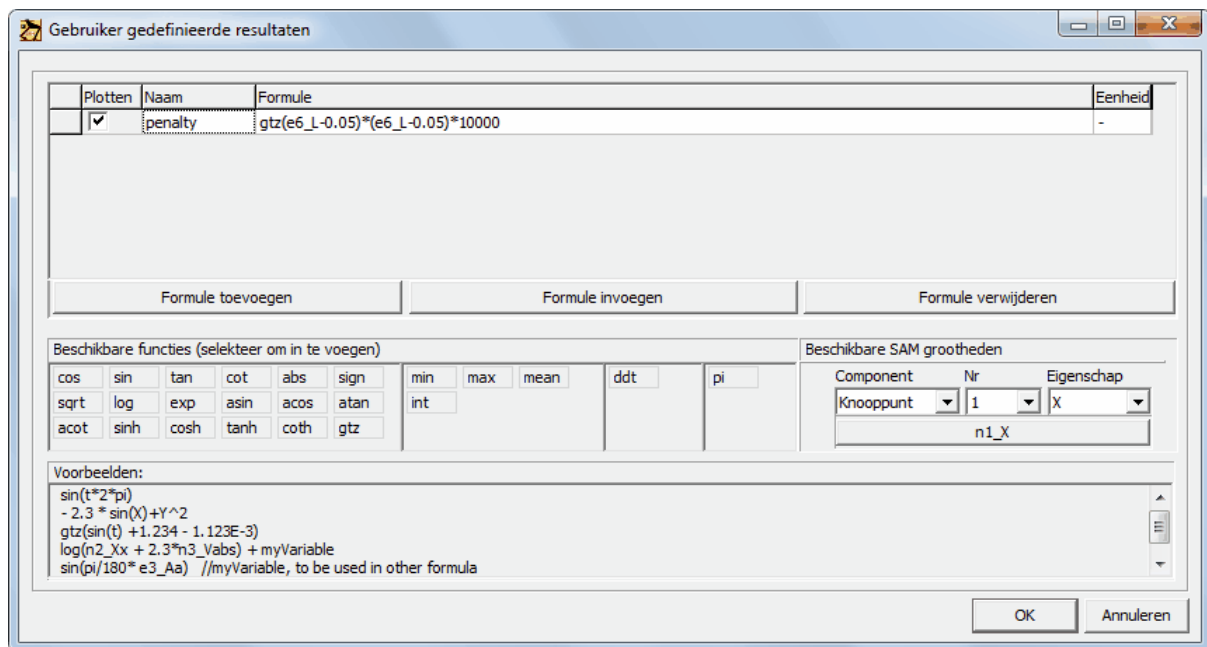
De volgende stap is het toevoegen van een extra element (Nr. 6) dat aan het uiteinde de compensatie

massa is toegevoegd (die is gedaan via de element eigenschappen, zodat de optimalisatie module deze kan meenemen in de zoektocht naar het optimum).



Optimalisatie

De penalty functie wordt gedefinieerd via RESULTATEN > GEBRUIKER GEDEFINIEERD ...



Er wordt een penalty waarde gegenereerd indien de lengte van element 6 (SAM variabele: e6_L) groter is dan 0.05m. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Heavyside of Greater Than Zero functie GTZ(x), die een output waarde 1 teruggeeft indien $x \geq 0$ is en anders een output waarde 0. Om een penalty te genereren die groter is naarmate de schending van de randvoorwaarde groter is wordt het resultaat ook nog vermenigvuldigd met de actuele overschrijding. Tot slot wordt ook nog vermenigvuldigd met een schaalfactor die gebaseerd is op "engineering judgement", zodat de waarde van de penalty een voldoende significante bijdrage levert indien deze wordt opgeteld bij de cost functie maar ook weer niet te groot om allerlei numerieke problemen te veroorzaken.

Optimalisatie Instellingen

De instellingen voor de optimalisatie staan weergegeven in onderstaande screenshot. De maximale absolute waarde van moment T1 van element 1 is gekozen als te optimaliseren grootheid. Als penalty is de eerder zelf gedefinieerde gebruiker variabele met de naam penalty gekozen. In iedere run wordt de actuele waarde van de penalty opgeteld bij de actuele waarde van de kost functie.

Optimalisatie opzetten

Stap 1
Optimalisatie Klasse: Functie

Stap 2
Details: Invoeren/Wijzigen...

Stap 3
Referentie (optioneel): Invoeren/Wijzigen...

Stap 4
Eigenschap (verschil)functie: Maximum abs.

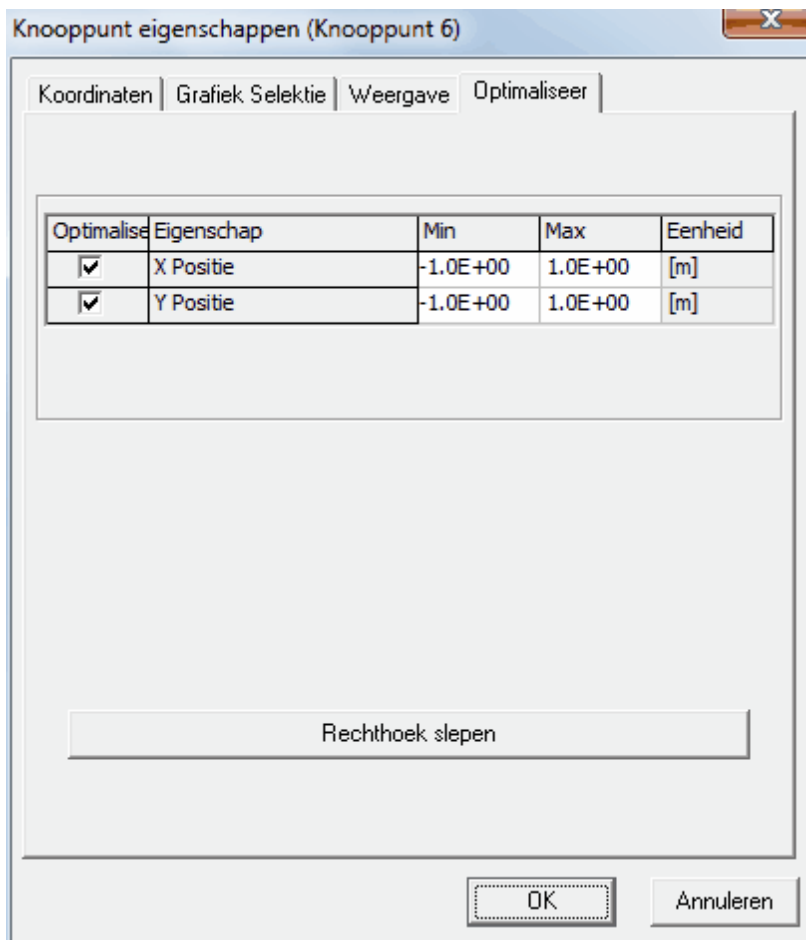
Stap 5
Penalty (optioneel): penalty

Stap 6
Optimalisatie Doel: Minimaliseren

OK Annuleren

Optimalisatie Parameter Range

Het is de bedoeling om de maximale absolute waarde van het aandrijfkoppel te reduceren door een compensatie massa toe te passen die in het gebied van (-1,-1) tot (1,1) ligt, uiteraard rekening houdend met de extra randvoorwaarde. Deze range wordt bij knooppunt 6 ingevoerd.



De grootte van de compensatie massa ligt tussen 0-40kg en deze wordt als element massa ingevoerd. Element 6 is gedefinieerd van knoop 2 naar knoop 6, derhalve dient de relatieve locatie van de massa op de lijn van 2 tot 6 op 1.0 gezet te worden om aan te duiden dat de massa in knoop 6 ligt.

Element eigenschappen (Stang 6)

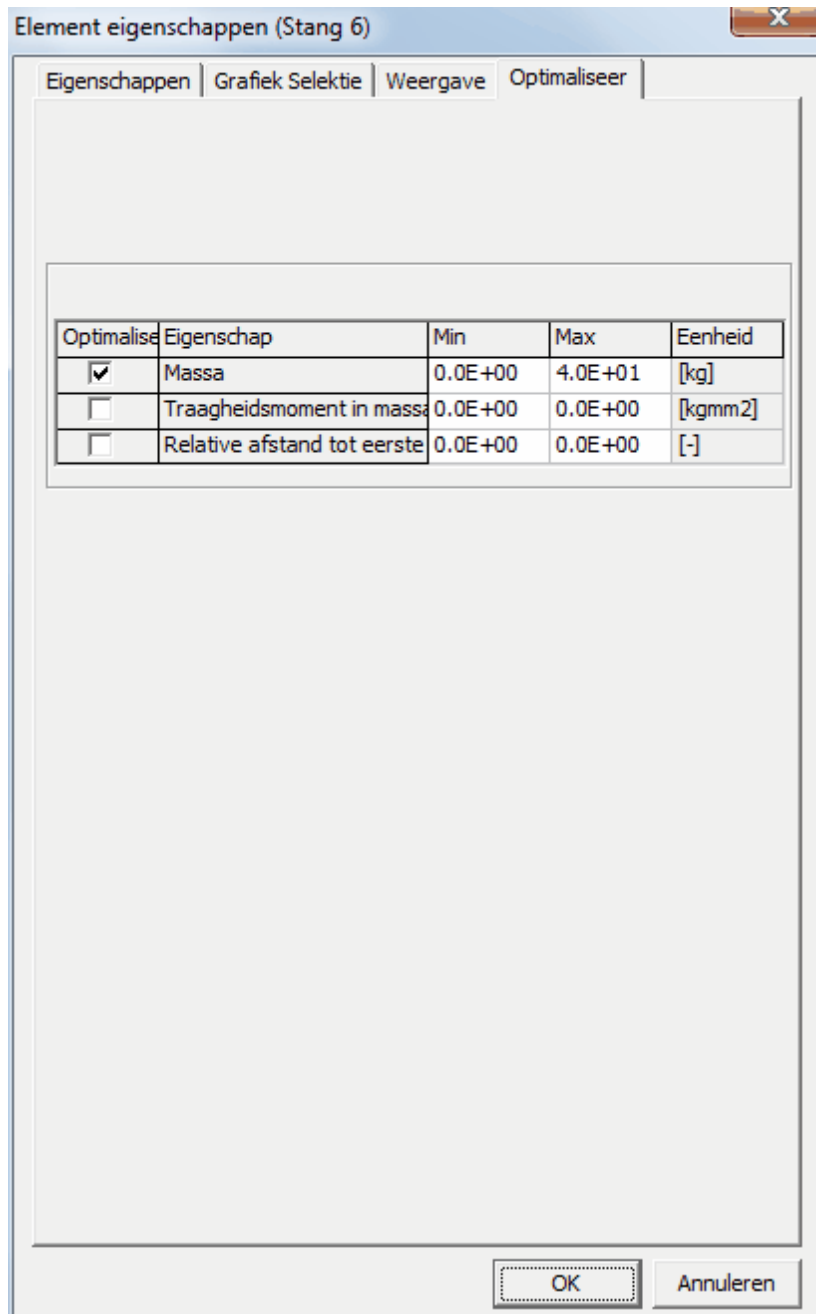
Eigenschappen | Grafiek Selectie | Weergave | Optimaliseer

Element Nr.	6	
Knooppunt 1	2	
Knooppunt 2	6	
Lengte	1.8E-01	[m]
Hoek	3.0E+02	[de]

Massa	1.0E-03	[kg]
Massatraagheidsmoment (in massamiddelpun	0.0E+00	[kgmm ²]
Relative afstand tot eerste knoop	1.0E+00	[-]

Tracking eigenschappen...

OK Annuleren

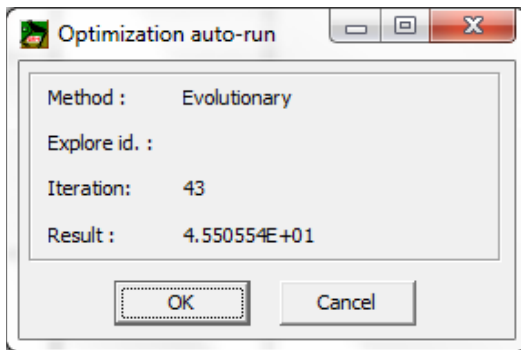


Optimization Run

Om goed te kunnen zien hoe het verloop van het aandrijfkoppel gedurende de optimalisatie veranderd kan de automatisch schaling van de y-as het best worden uitgezet via RESULTATEN > OPTIES > AUTOSCALE: UIT. De verticale as wordt dan bevroren op een gebied van -30Nm tot +20Nm.

Global Exploratie

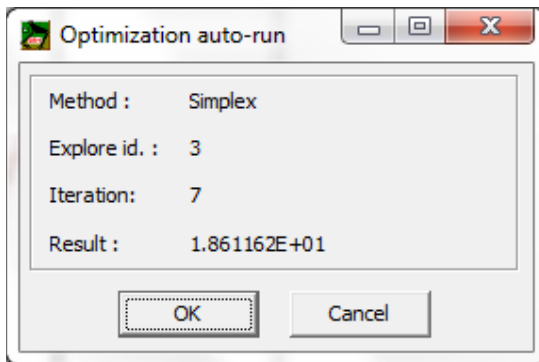
Het status venster toont de voortgang van de globale exploratie.



Method: Bij de globale exploratie wordt altijd het Evolutionaire Algoritme toegepast.
 Explore id: Leeg (heeft alleen betekenis gedurende de lokale optimalisatie).
 Iteration: Huidige iteratie stap tijdens de globale exploratie
 Result: Kengetal van de huidige oplossing.

Locale Optimalisatie

In dit voorbeeld is ervoor gekozen om alle resultaten van de globale exploratie als startpunt te nemen voor evenveel lokale optimalisatie. Het status venster ziet er als volgt uit:

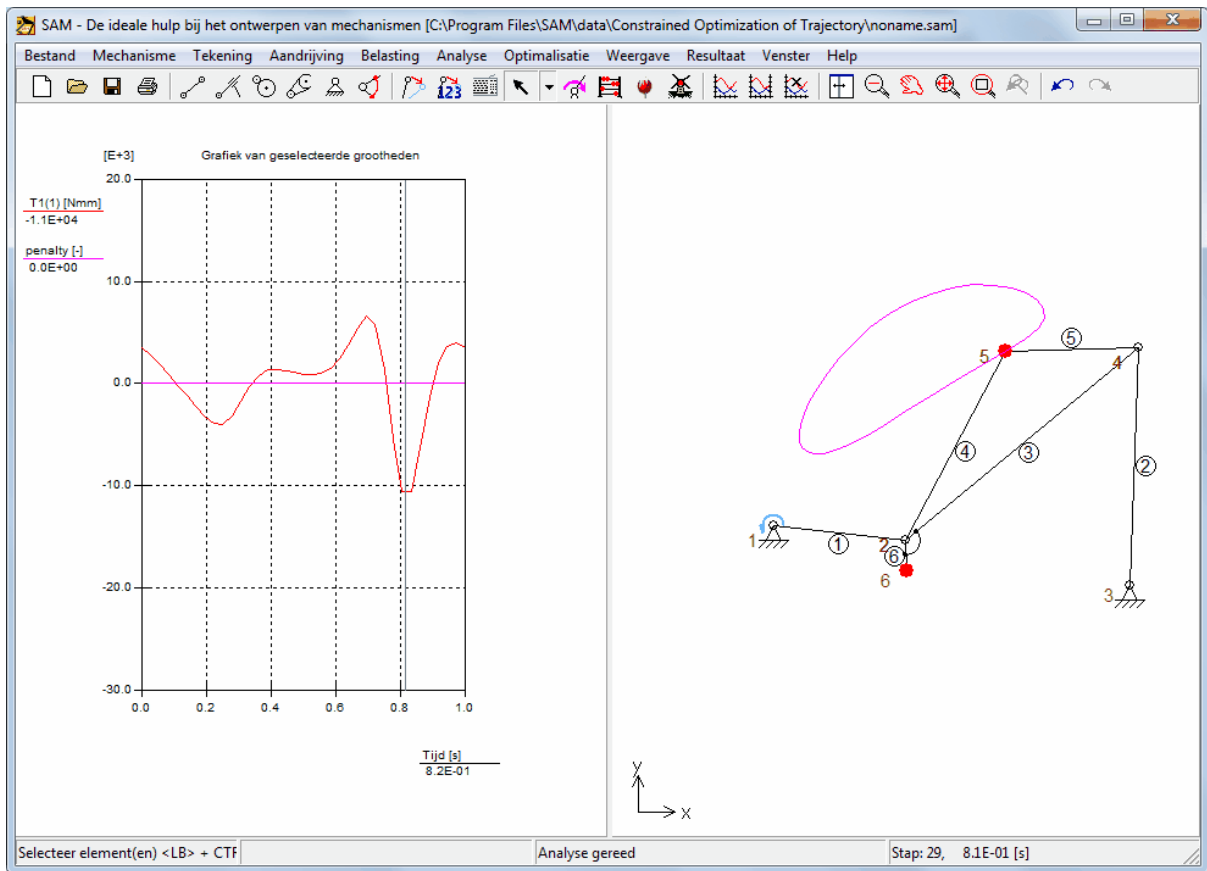


Method: De gekozen methode voor de lokale optimalisatie
 Explore id: ID van de globale oplossing die op dit moment verder geoptimaliseerd wordt
 Iteration: Actuele iteratie stap in de lokale optimalisatie
 Result: Kengetal van de huidige oplossing.

Geoptimaliseerd Mechanisme

Het optimalisatie proces heeft als compensatie massa 40kg gevonden op de locatie $x=0.28\text{m}$ en $y=0.66\text{m}$. De corresponderende maximale absolute waarden van het aandrijfkoppel bedraagt 11.15Nm.

Dit is de beste oplossing die gevonden kon worden in de aanwezigheid van de extra randvoorwaarde dat de lengte van element 6 minder zou zijn dan 0.05m. Zonder deze randvoorwaarde kon een beduidend beter optimalisatie resultaat worden behaald en wel 4.6Nm.



Conclusie

Dit voorbeeld liet zien hoe een randvoorwaarde gebruik makend van de formule parser, die het postprocessen van simulatieresultaten ondersteunt, kan worden vertaald in een penalty die aan de kost functie werd toegevoegd. Via de geautomatiseerde optimalisatie kon een reductie van het aandrijfkoppel worden bereikt van 26.6 naar 11.15Nm

Dit is de beste oplossing die gevonden kon worden in de aanwezigheid van de extra randvoorwaarde dat de lengte van element 6 minder zou zijn dan 0.05m. Zonder deze randvoorwaarde kon een beduidend beter optimalisatie resultaat worden behaald en wel 4.6Nm.

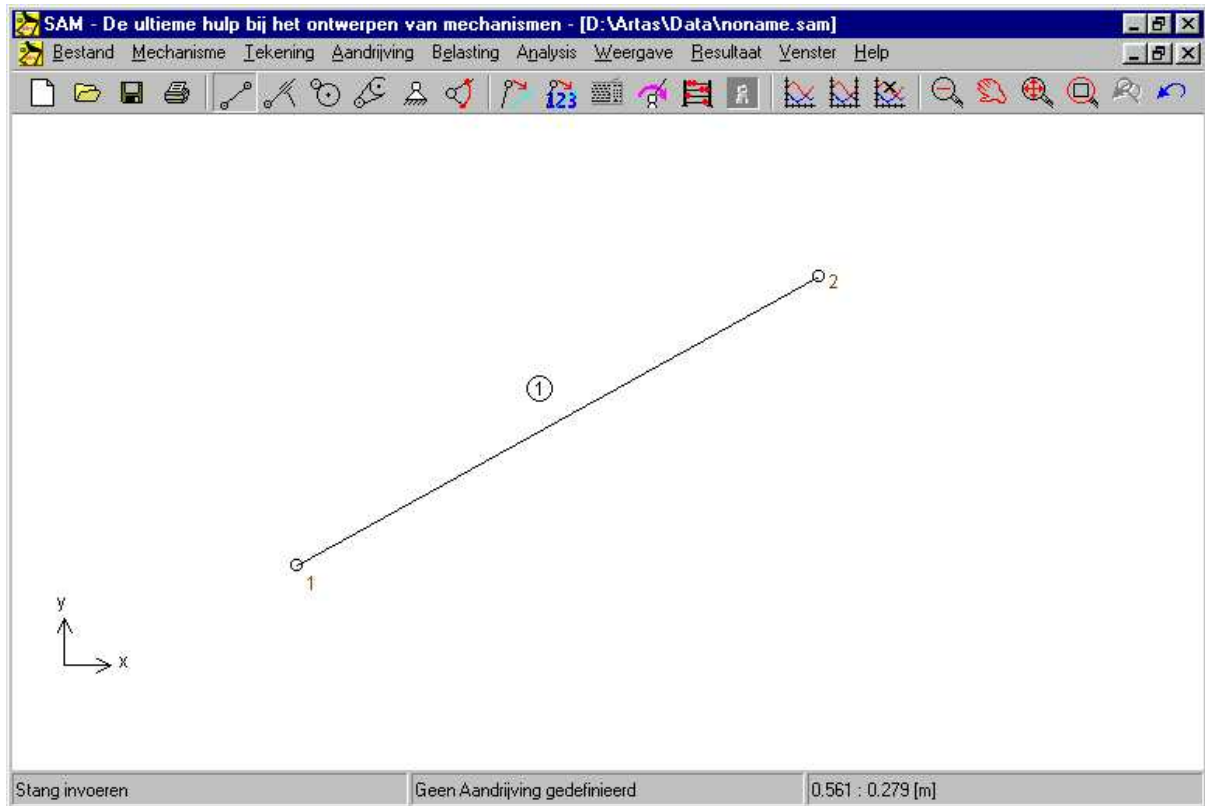
Chapter

9

9 Elementen

9.1 Stang

De stang is hét basis element in SAM. Hiermee worden alle mogelijke types verbindingen gelegd.

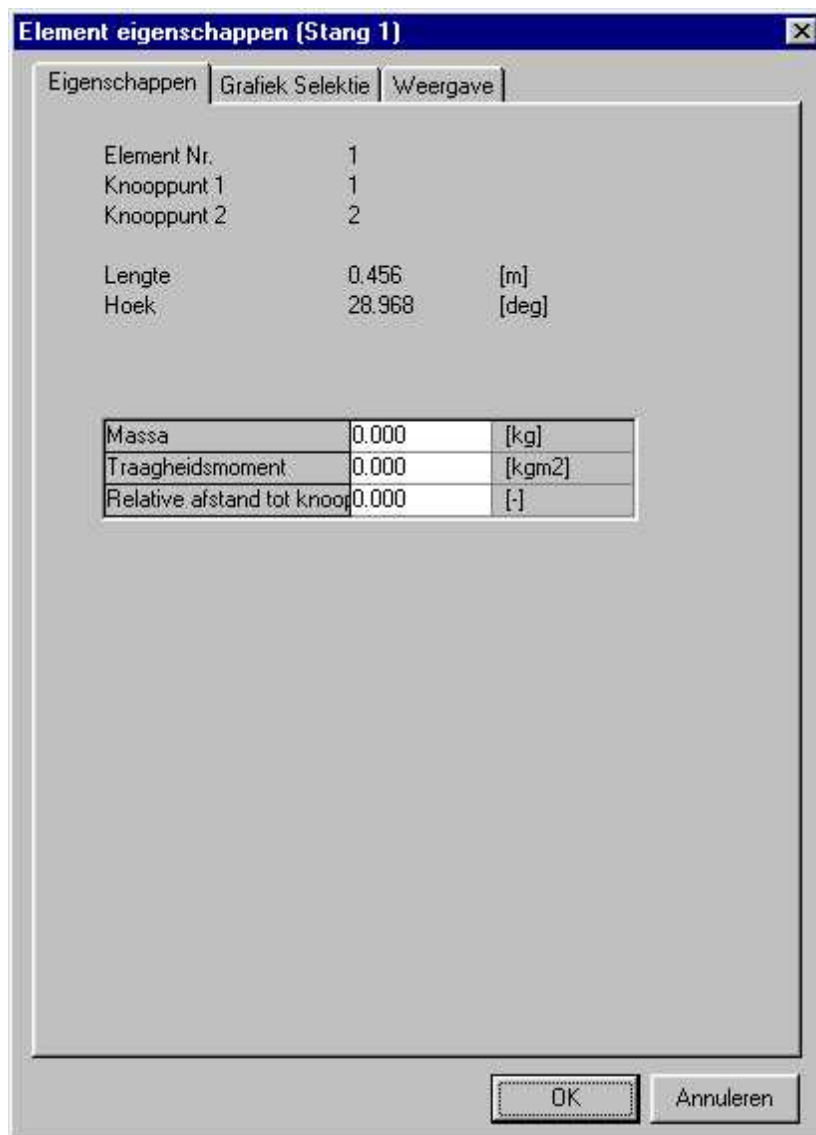


Stang element

De stang wordt gedefinieerd door de posities van de beide knooppunten, waaruit volgt dat de lengte van de stang geen onafhankelijk gegeven is, maar simpelweg de afstand tussen de knooppunten. De eigenschappen dialoog van de stang toont alle informatie die betrekking heeft op het element. De volgende eigenschappen zijn in te voeren:

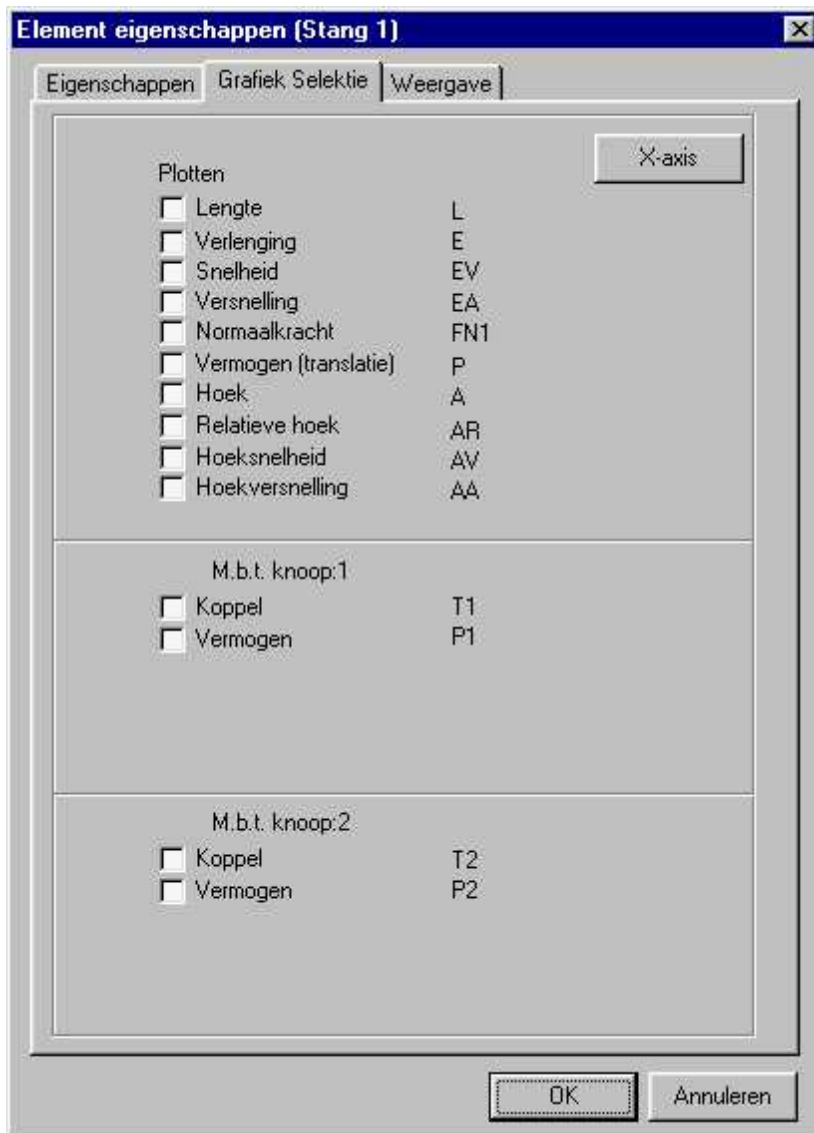
- massa
- positie van het zwaartepunt (relatieve afstand x/l t.o.v. eerste knoop)
- traagheidsmoment ten opzichte van het zwaartepunt

De ligging van het zwaartepunt wordt gedefinieerd door de afstand t.o.v. de eerste knoop gedeeld door de lengte van het element. Het zwaartepunt moet ergens tussen de knooppunten in liggen (dit betekent dat het in te voeren getal tussen 0 en 1 moet liggen).



Eigenschappen van de stang

Voorafgaand aan de analyse kunt u de te berekenen grootheden kiezen. Standaard worden de posities van de knooppunten berekend. Daarnaast kunt u van een stang de grootheden berekenen, die in onderstaande dialoog worden weergegeven.



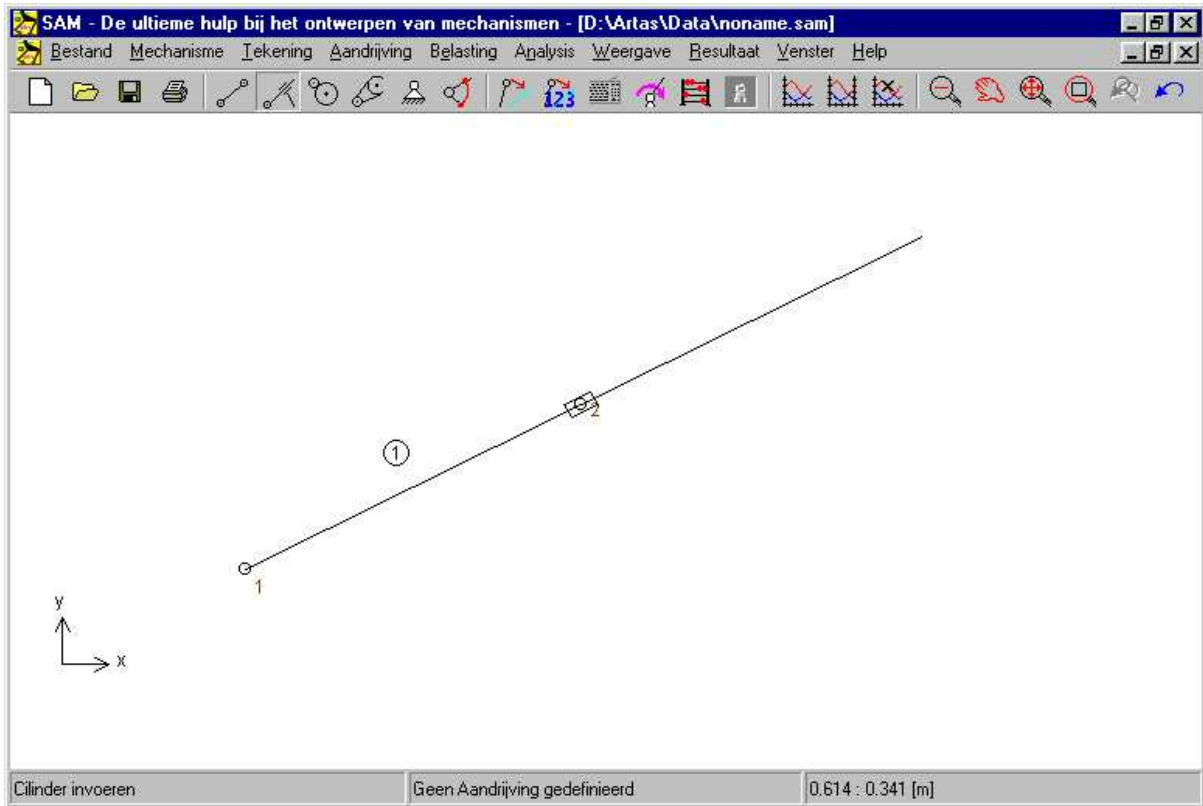
Berekenbare grootheden van een stang

Toelichting: alle grootheden met betrekking tot de lengte schijnen overbodig te zijn. In SAM is het echter mogelijk de lengte van een stang een opgelegde aandrijving mee te geven. Hiermee modelleert u bijvoorbeeld een hydraulische cilinder.

U kunt de absolute hoekstand en daarvan afgeleide grootheden laten berekenen, maar ook de hoek relatief aan de startpositie. Verder kunnen de koppels en de daaruit voortvloeiende vermogens in de beide knooppunten worden berekend.

9.2 Cilinder

De Cilinder is in feite een stang waarvan de lengte vrijgelaten wordt. Om de afbeelding enigszins realistisch te maken, loopt de stang nog een (vrij te kiezen) stuk door voorbij het glijblok. Deze loze stanglengte heeft bij de berekeningen geen betekenis.

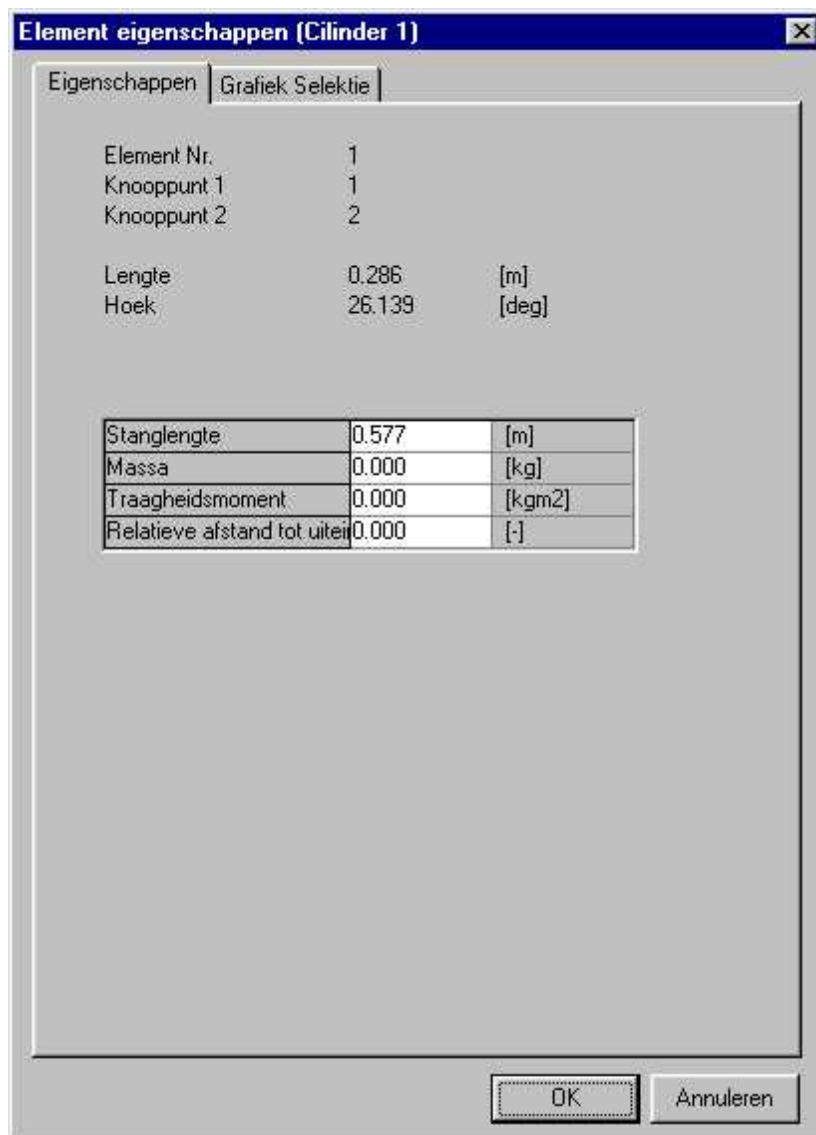


Cilinder

De Cilinder wordt gedefinieerd door de posities van de beide knooppunten, waaruit volgt dat de lengte van de Cilinder geen onafhankelijk gegeven is (net als bij de stang), maar simpelweg de afstand tussen de knooppunten. De eigenschappen dialoog van de Cilinder toont alle informatie die betrekking heeft op het element. De volgende eigenschappen zijn in te voeren:

- massa
- positie van het zwaartepunt (relatieve afstand x/l t.o.v. eerste knoop)
- traagheidsmoment ten opzichte van het zwaartepunt

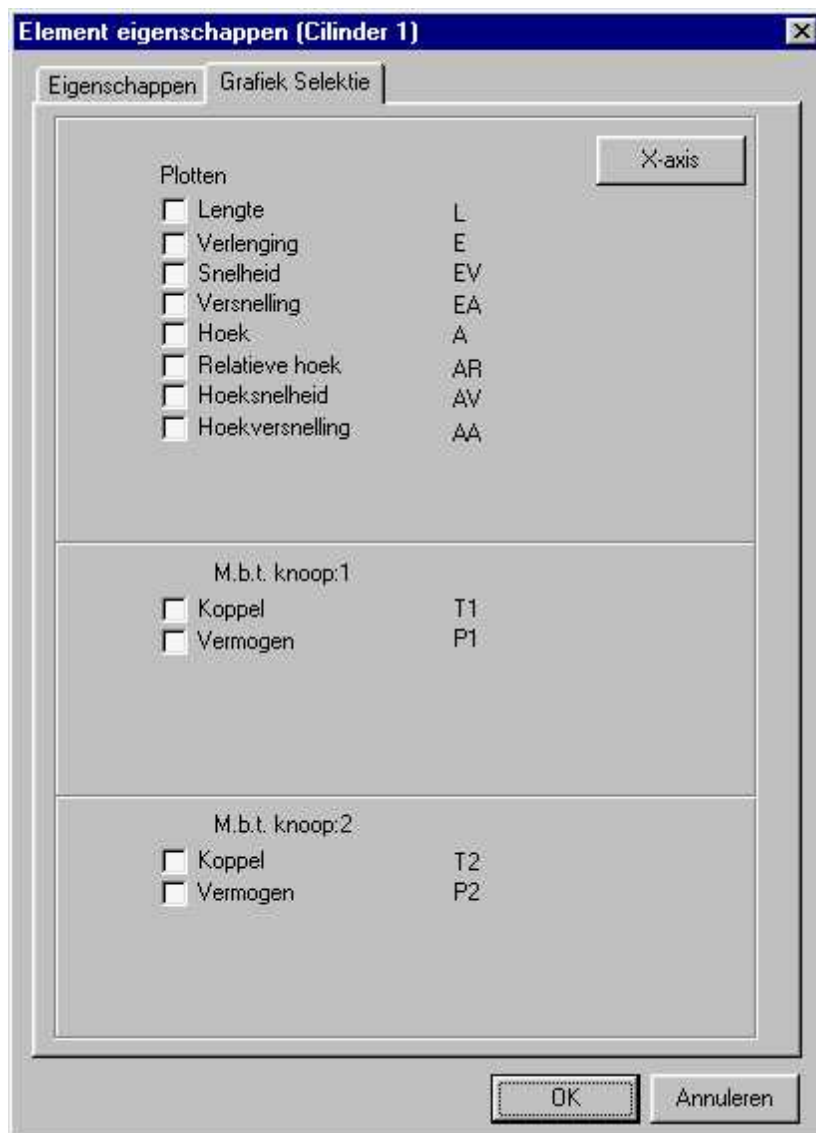
De ligging van het zwaartepunt wordt gedefinieerd door de afstand t.o.v. de eerste knoop gedeeld door de lengte van het element. Het zwaartepunt moet ergens tussen de knooppunten in liggen (dit betekent dat het in te voeren getal tussen 0 en 1 moet liggen).



Eigenschappen van een cilinder

De berekenbare grootheden zijn bijna dezelfde als die van de stang, alleen de kracht in lengte richting en het doorgeleide vermogen zijn niet beschikbaar (want de lengte is een vrijheidsgraad).

De 'lengte' refereert aan de afstand tussen de knooppunten.

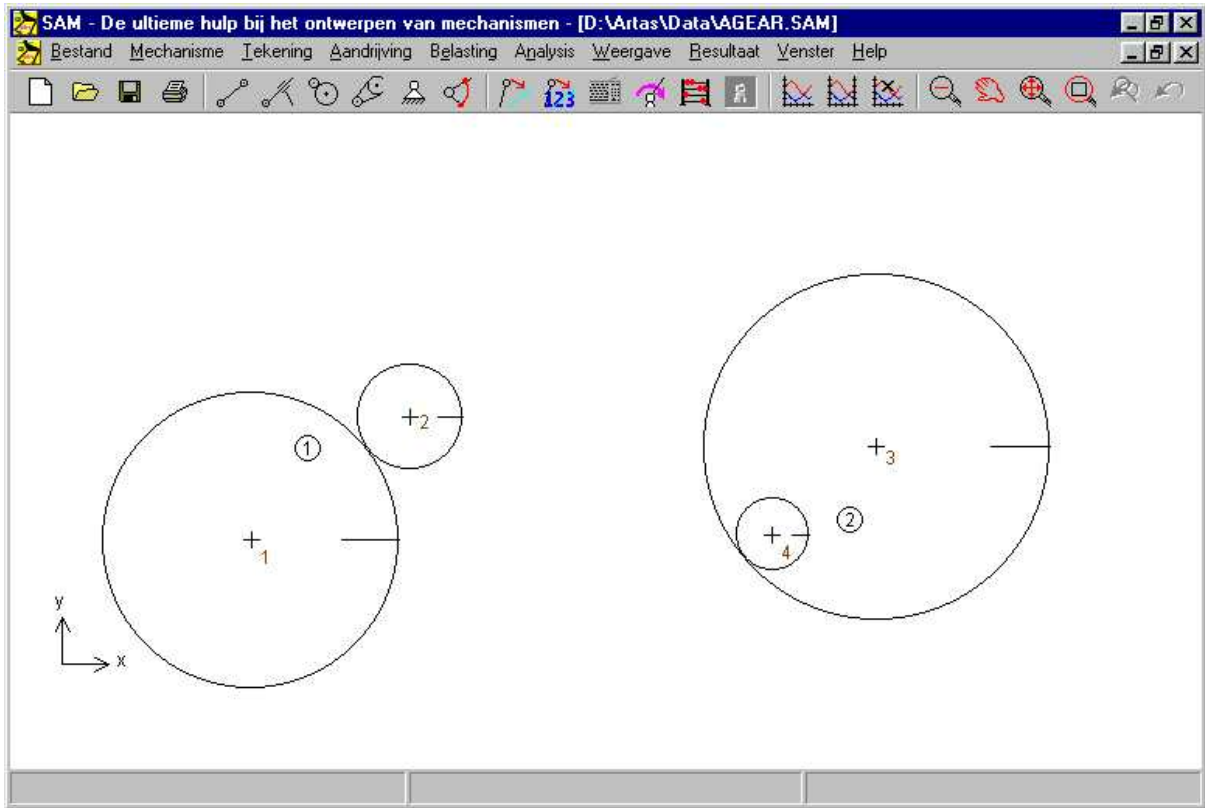


Berekenbare grootheden van een cilinder

9.3 Tandwielpaar

Het tandwielpaar kan gebruikt worden voor het modelleren van verscheidene configuraties variërend van een standaard tandwieloverbrenging tot een tandwielstelsel met binnenvertanding of zelf een planetair stelsel van tandwielen.

Het is daarbij belangrijk te weten dat de afstand tussen de twee tandwielen nog gefixeerd moet worden door de twee knooppunten vast te zetten dan wel door een stang tussen de knooppunten te plaatsen (dit laatste zal met name bij een planetair stelsel toegepast worden).



Verscheidene uitvoeringsvormen van een tandwielpaar

De geometrie van het tandwielpaar wordt gedefinieerd door de twee knooppunt posities en de overbrengingsverhouding. Hiervan afgeleid worden de beide wielstralen. De volgende eigenschappen van het element kunnen in de dialoog worden bewerkt:

- de overbrengingsverhouding
- traagheidsmoment van de wielen
- drukhoek van de vertanding
- interne vertanding: SAM 'zoekt' zelf een set bij de gegeven overbrenging

Element eigenschappen (Tandwielpaar 1)

Eigenschappen Grafiek Selectie

Element Nr. 1
Knooppunt 1 1
Knooppunt 2 2

Knooppuntsafstand 307.567 [mm]

	Knooppunt 1	Knooppunt 2	
Straal	226.429	81.137	[mm]
Massa	0.000	0.000	[kg]
Traagheidsmoment	0.000	0.000	[kgmm ²]

Binnenveranding

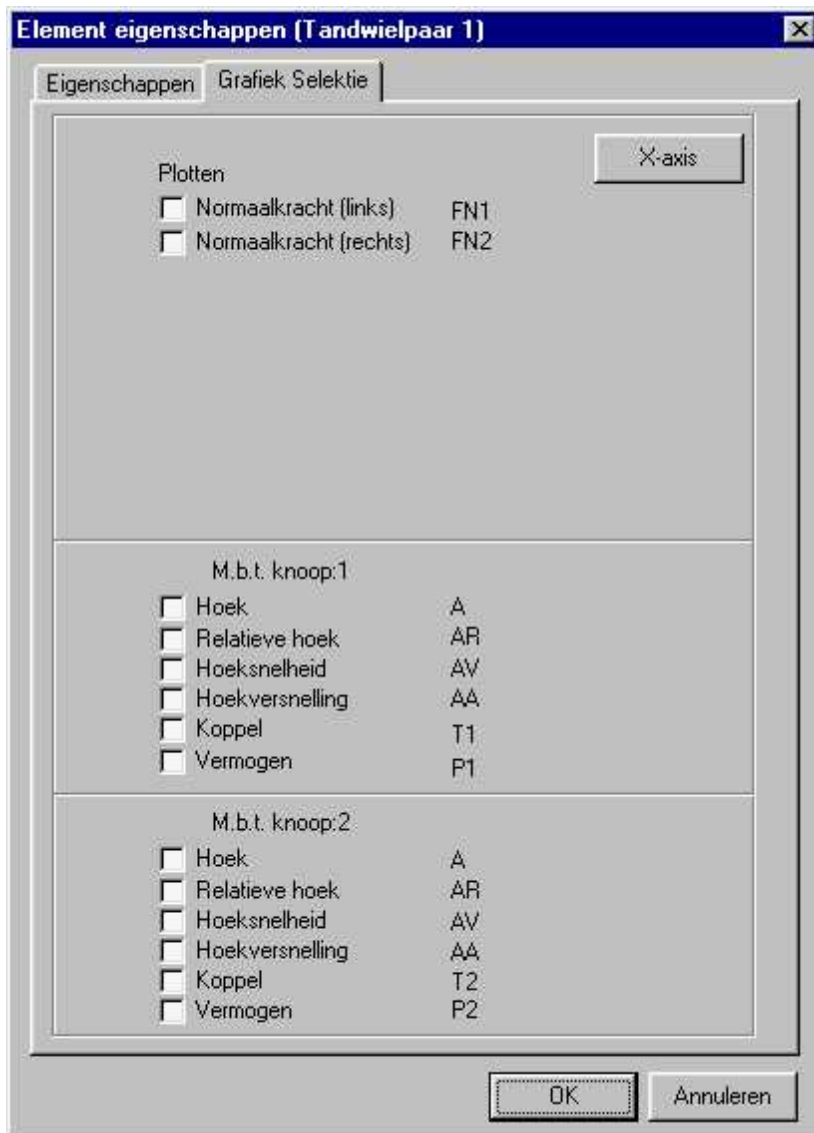
Drukhoek [deg]

OK Annuleren

Eigenschappen van een tandwielpaar

De volgende analyse resultaten kunnen berekend worden :

- hoek, hoeksnelheid, hoekversnelling behorende bij elk van de twee tandwielen
- drukkracht die in het contact tussen de twee tandwielen overgedragen wordt. Omdat er twee mogelijke krachtlijnrichtingen zijn wordt er onderscheid gemaakt in FN1 en FN2 (zie verderop), waarvan telkens één gelijk is aan nul en de ander NEGATIEF (drukkrachten zijn negatief, trekkrachten zijn positief gedefinieerd).
- overgedragen koppel en vermogen dat door elk van de tandwielen wordt doorgeleid



Berekenbare grootheden van een tandwielpaar

Bij ieder tandwielpaar kunnen twee krachtlijnen onderscheiden worden, waarvan bij afwezigheid van voorspanning één altijd krachtloos is en de ander een NEGATIEVE kracht (=drukkracht) doorleid. Dit is vergelijkbaar met een gekruiste tandriemoverbrenging echter in tegenstelling tot een tandwielpaar kunnen bij een tandriemoverbrenging alleen trekkrachten doorgeleid worden.. Om de resultaten van een krachtanalyse juist te interpreteren is een eenduidige definitie van de krachten FN1 en FN2 essentieel. Krachtlijn 1 (FN1) van een tandwielpaar, dat gedefinieerd is van punt P naar punt Q, komt altijd aan de linker zijde van de verbindingslijn PQ in aanraking met tandwiel Q (zie voorbeeld).

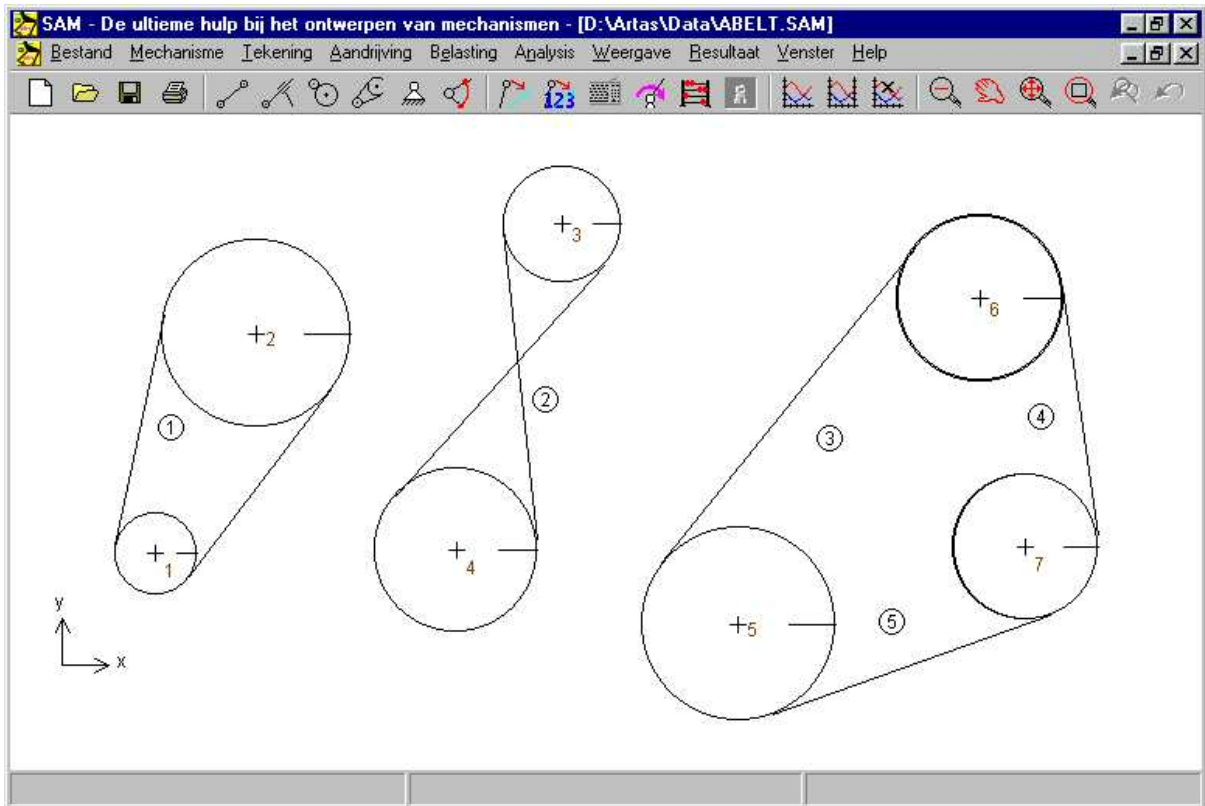
Betekenis van de krachtrichtingen 1 en 2 bij uitwendige vertanding

Betekenis van krachtrichtingen 1 en 2 bij inwendige vertanding

9.4 Riemoverbrenging

Met riemoverbrenging kunnen verscheidene configuraties worden opgebouwd.

Het is belangrijk te weten dat de afstand tussen de twee riemschijven nog gefixeerd moet worden door de twee knooppunten vast te zetten dan wel door een stang tussen de knooppunten te plaatsen.

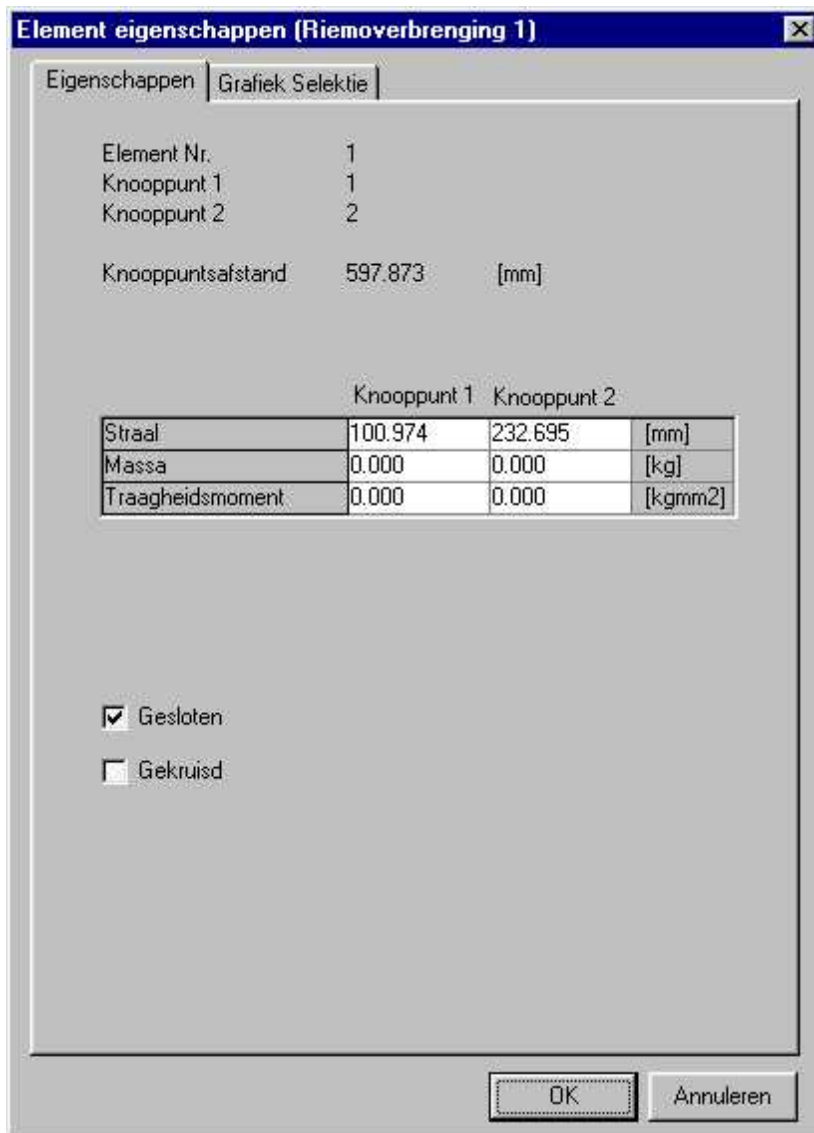


Riemoverbrenging

De riemoverbrenging wordt gedefinieerd door de beide knooppunt posities, de beide wielstralen en vlag die aangeeft of de riemparten elkaar kruisen of niet. Naar wens kunt u één riempart onzichtbaar maken. Hiermee kunt u lopende-band configuraties simuleren.

De volgende eigenschappen kunt u bewerken:

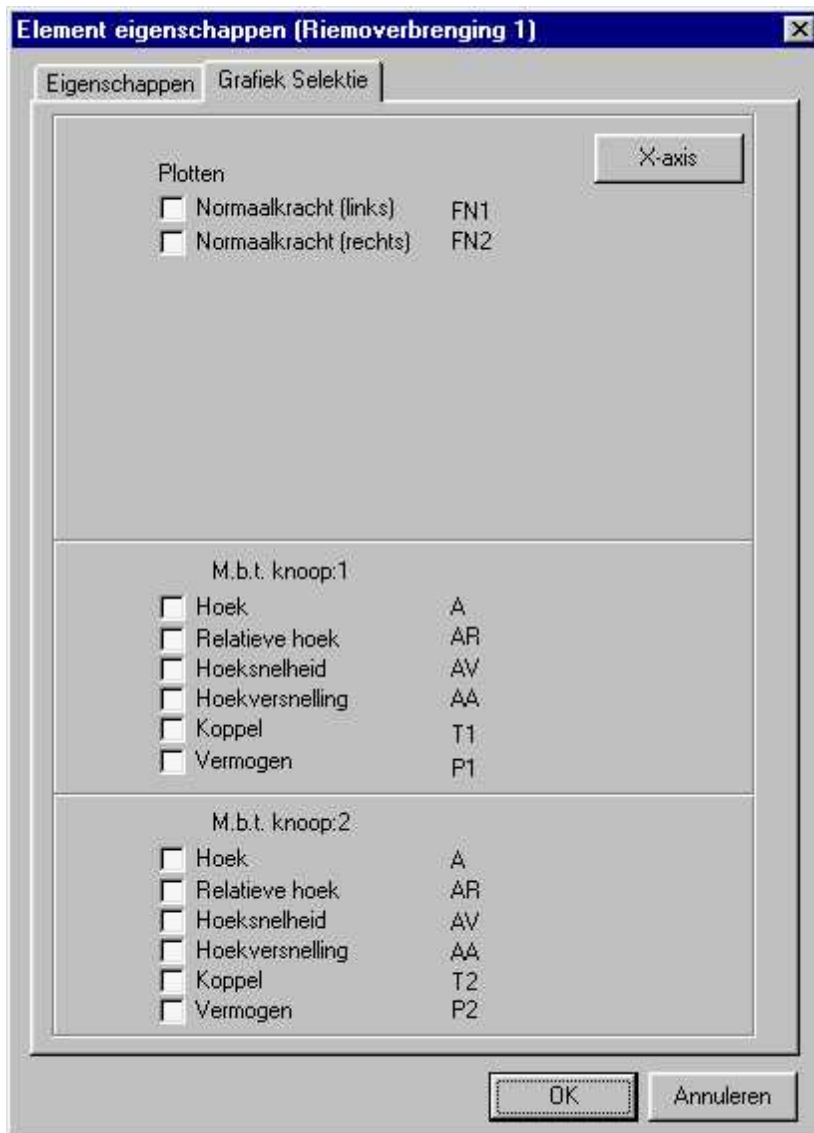
- straal van de riemschijven
- traagheidsmoment van de riemschijven
- open/gesloten riem
- wel/niet kruisende riemparten



Eigenschappen van een riemoverbrenging

De volgende analyse resultaten kunnen berekend worden :

- hoek, hoeksnelheid, hoekversnelling behorende bij elk van de twee wielschijven
- trekkracht die door de tandriempartten kan worden doorgeleid. Omdat er twee riempartten zijn wordt er onderscheid gemaakt in FN1 en FN2 (zie verderop), waarvan telkens één gelijk is aan nul en de ander POSITIEF (trekkrachten zijn positief, drukkrachten zijn negatief).
- overgedragen koppel en vermogen dat door elk van de schijven wordt doorgeleid



Berekenbare grootheden van een riemoverbrenging

Bij iedere gesloten tandriemoverbrenging kunnen twee riempartten onderscheiden worden. Bij afwezigheid van voorspanning kan telkens maar één van de twee riempartten een trekkracht doorleiden, terwijl de kracht in het andere part gelijk aan nul is. Om de resultaten van een krachtenanalyse correct te interpreteren is het essentieel om de krachten FN1 en FN2 eenduidig te definiëren. Riempart 1 (correspondeert met FN1) van een tandriemoverbrenging die gedefinieerd is van knoop P naar knoop Q komt links van de verbindingslijn PQ in aangrijping met schijf Q (zie voorbeeld).

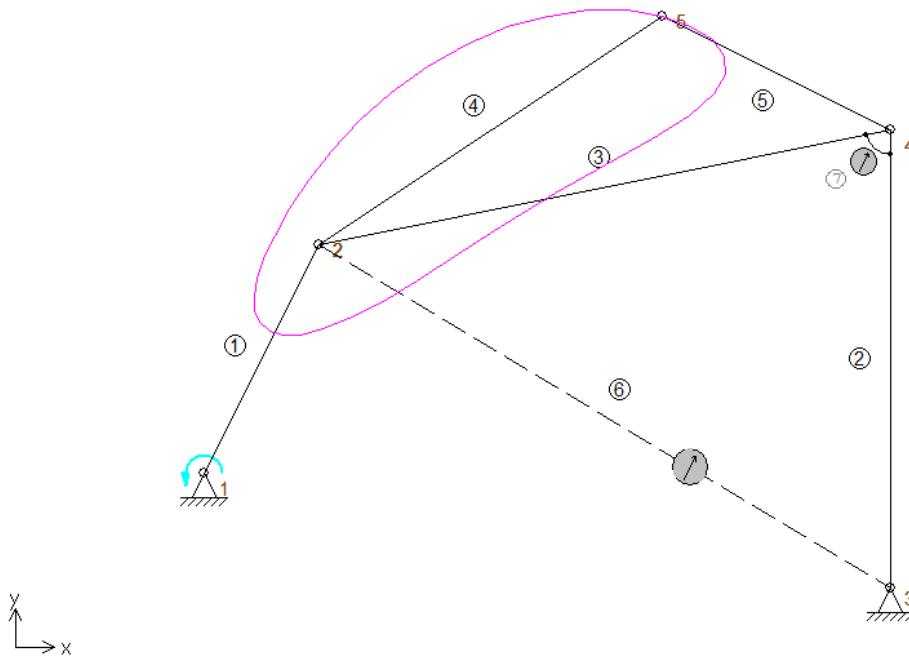
Bij een open tandriemoverbrenging bestaat er uitsluitend riempart Nr.1.

Betekenis van de riempartten 1 en 2 (corresponderen met de trekkrachten FN1 en FN2)

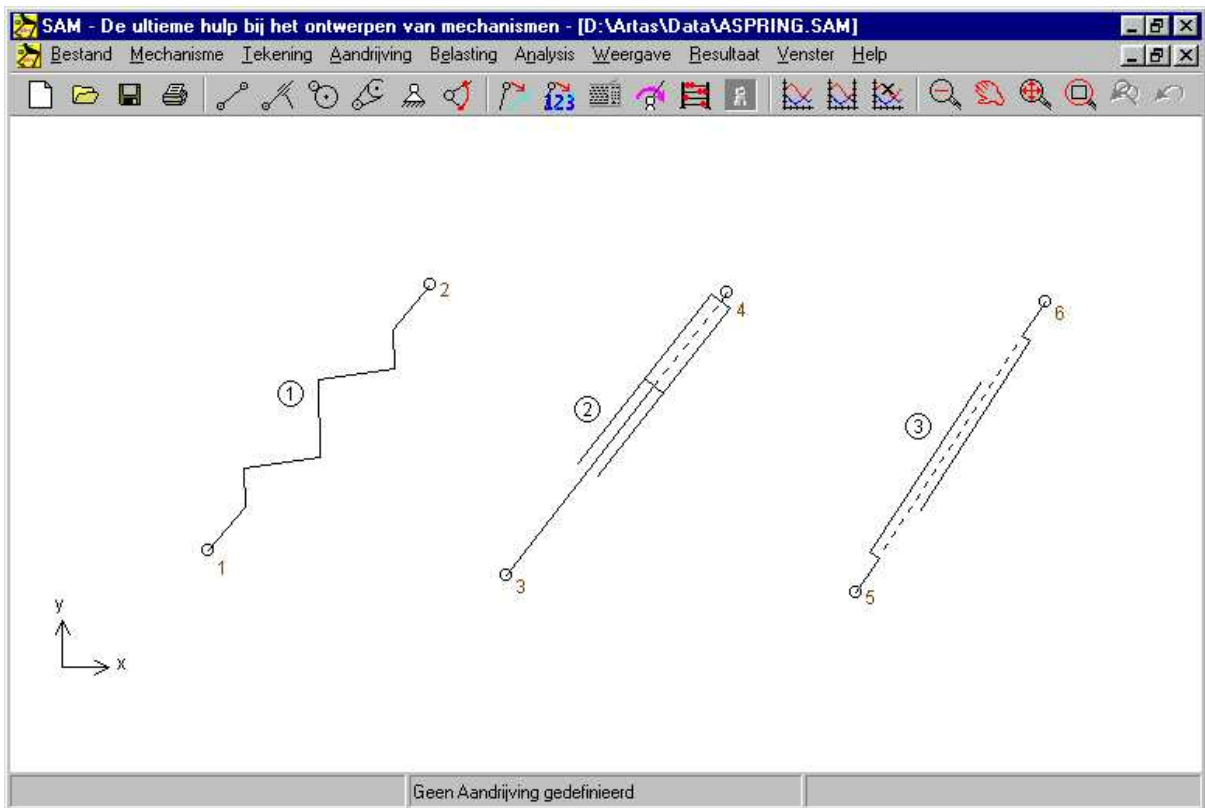
9.5 Sensor

In het menu MECHANISME > EXTRA ELEMENTEN is de translatie- en de rotatiesensor te vinden. Beide sensoren kunnen net als ieder ander element worden geïntegreerd in een mechanisme, echter ze hebben geen invloed op de kinematica of kinetostatica van het mechanisme. Het enige doel van de sensoren is het extraheren van bepaalde data uit het model, zoals de afstand tussen twee punten of de relatieve hoek tussen twee elementen.

In onderstaand voorbeeld is element 6 een sensor die de afstand meet tussen de knooppunten 2 en 3. De rotatie sensor (element 7) meet de relatieve hoek tussen de element 2 en 3.



9.6 Veer, Demper en Wrijving

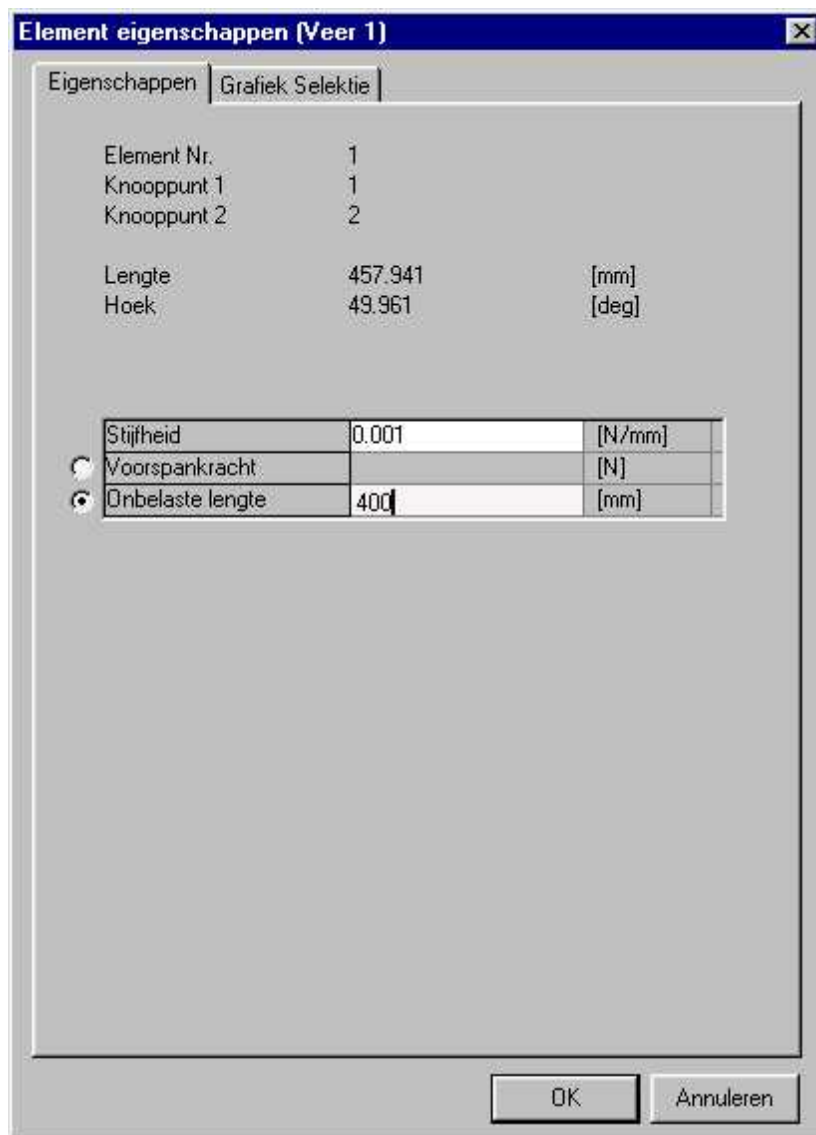


Lineaire veer, demper en wrijving

Deze elementen vertonen veel overeenkomst met elkaar. Geen ervan heeft enige invloed op de beweging van het mechanisme en ze spelen pas een rol bij de krachtenanalyse. Ondanks de gelijkenis zijn de mechanische eigenschappen van deze drie elementen dusdanig verschillend dat elk een eigen dialoog heeft.

Een veer (lineaire veer karakteristiek) wordt gedefinieerd door :

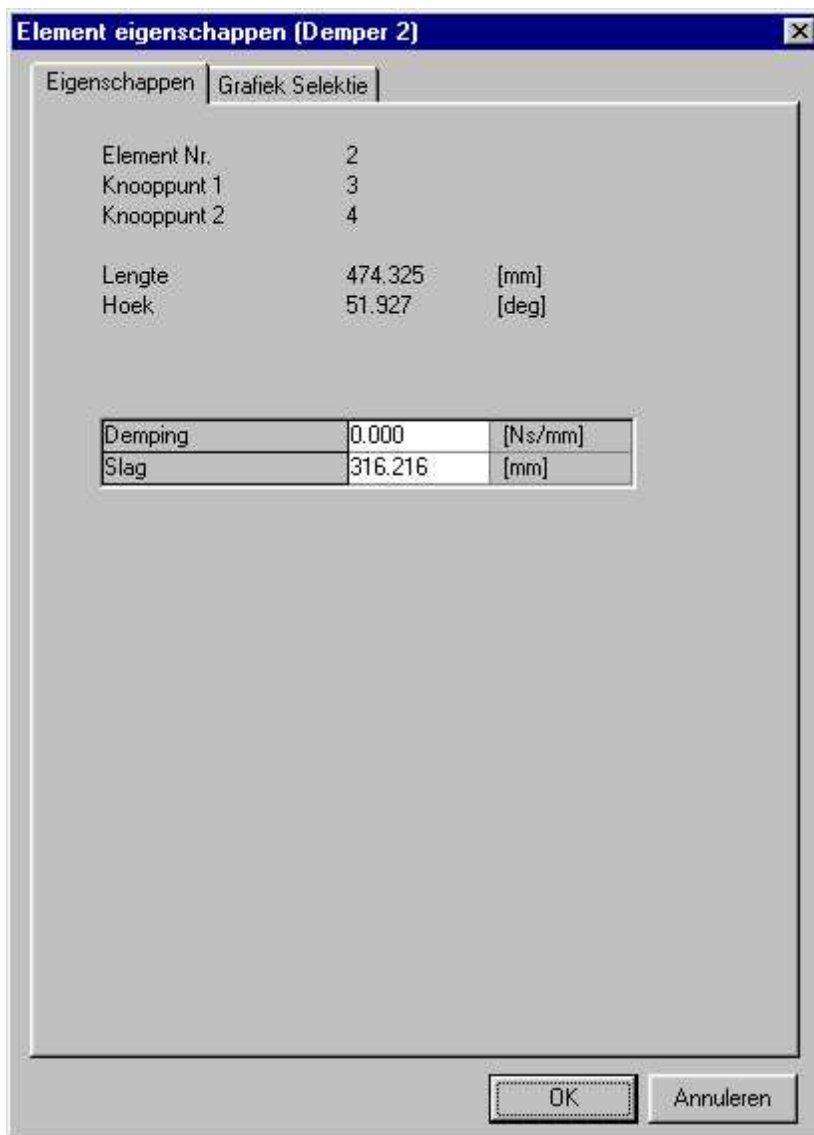
- veerstijfheid
- voorspankracht (in initiële stand van het mechanisme) OF onbelaste lengte.



Eigenschappen van een veer

Een viskeuze demper (lineair verband tussen snelheid en kracht) kent de volgende eigenschappen :

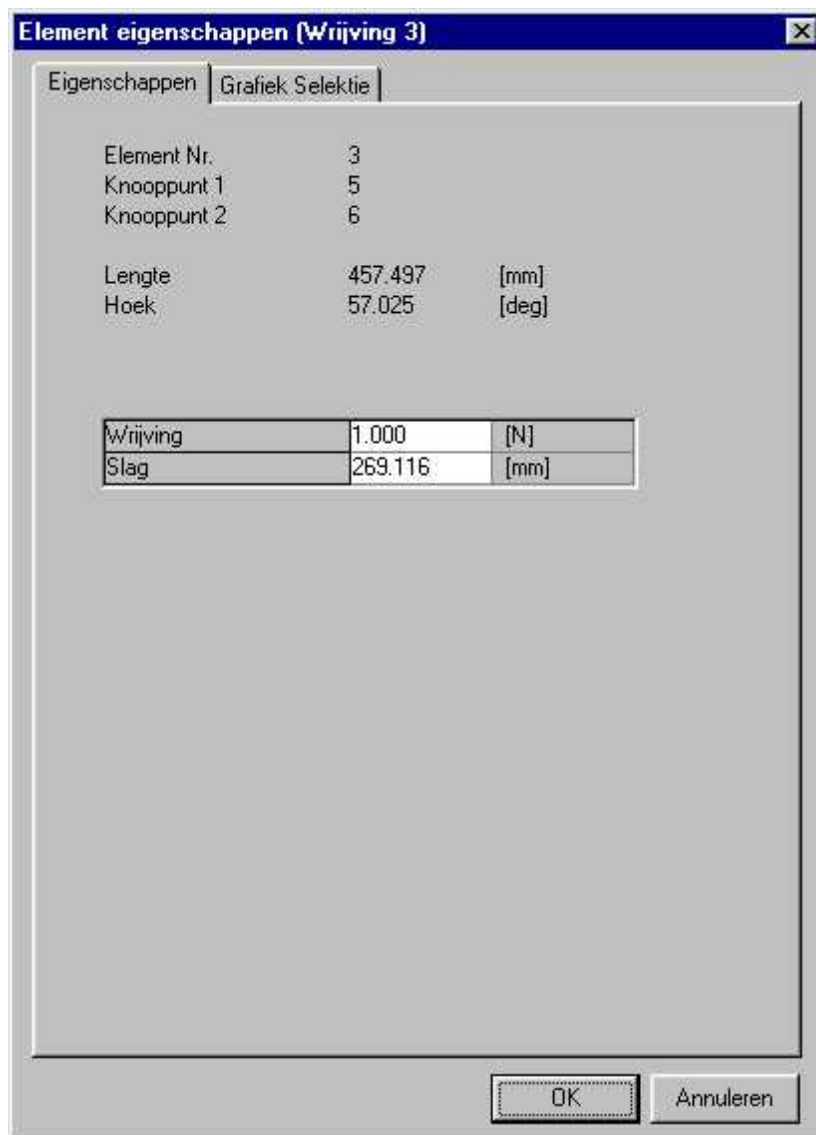
- dempingsconstante
- lengte van de demper (alleen voor visualisatie)



Eigenschappen van een demper

Een wrijvingselement wordt gebruikt om pure Coulombse wrijving te modelleren. Het wordt gedefinieerd door :

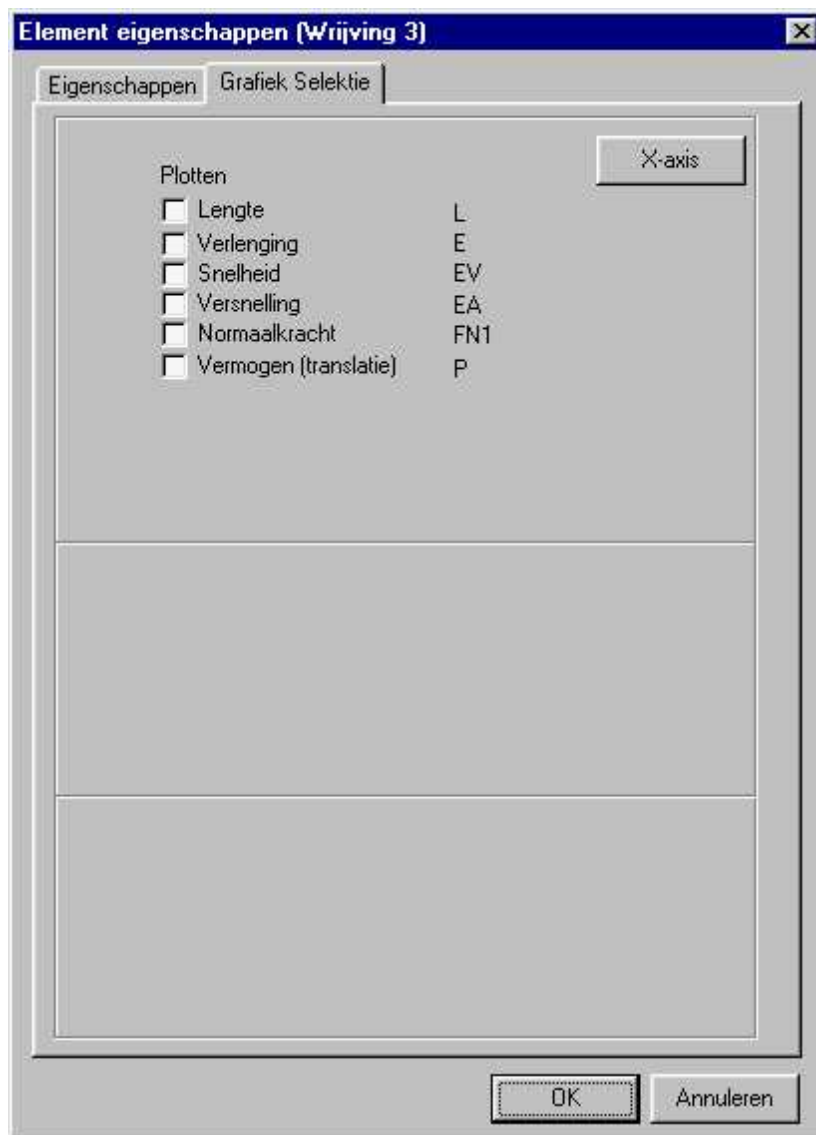
- constante wrijvingskracht
- lengte van de slag (alleen voor visualisatie)



Eigenschappen van een wrijvingselement

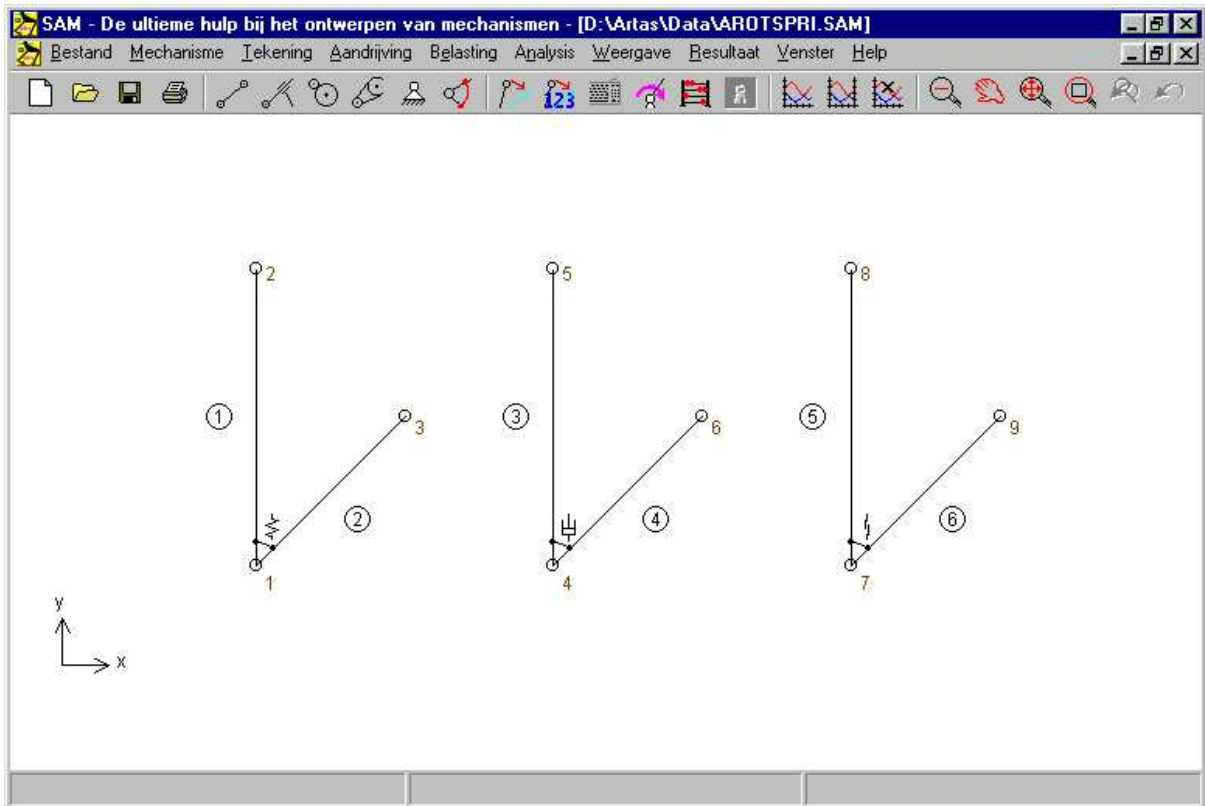
De berekende grootheden van de drie elementtypen zijn gelijk:

- lengte en afgeleide grootheden
- doorgeleide kracht en het bijbehorende vermogen (kracht x lengteverandering)



Berekenbare grootheden van een veer, demper of wrijvingselement

9.7 Rotatie-veer, demper en wrijving



Rotatie-veer, demper en wrijving

De rotatie-veer, demper en wrijving vertonen veel overeenkomst met elkaar. Geen ervan heeft enige invloed op de beweging van het mechanisme en ze spelen pas een rol bij de krachtenanalyse. De eigenschappen van de elementen zijn in grote lijn vergelijkbaar met die van de translatie variant, behalve dat de slag niet van toepassing is. Eén belangrijk verschil dient echter extra aandacht :

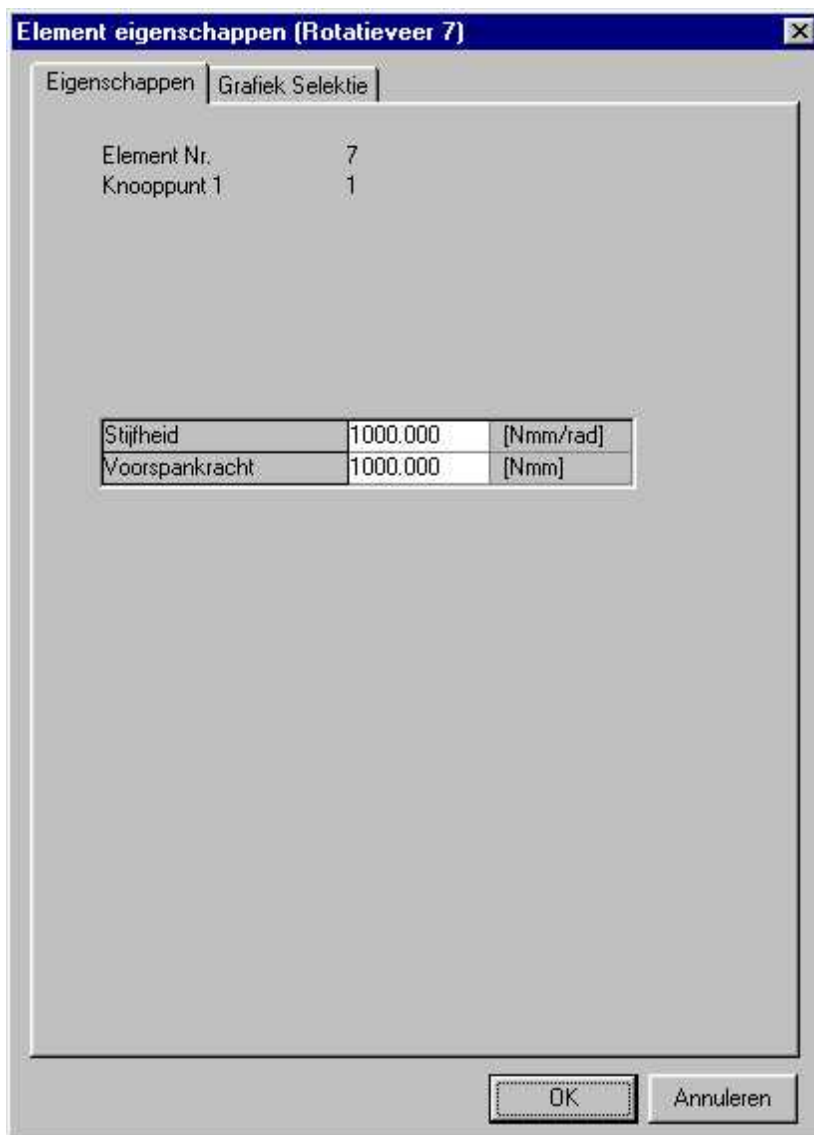
Een rotatie-veer, demper of wrijving moet altijd gekoppeld worden aan een reeds bestaand element.

Het realiseren van een verbinding naar "aarde" gebeurt door i.p.v. een tweede knooppunt aan te klikken zomaar ergens in het werkveld te klikken.

Ondanks de gelijkenis zijn de mechanische eigenschappen van deze drie elementen dusdanig verschillend dat elk een eigen dialoog heeft.

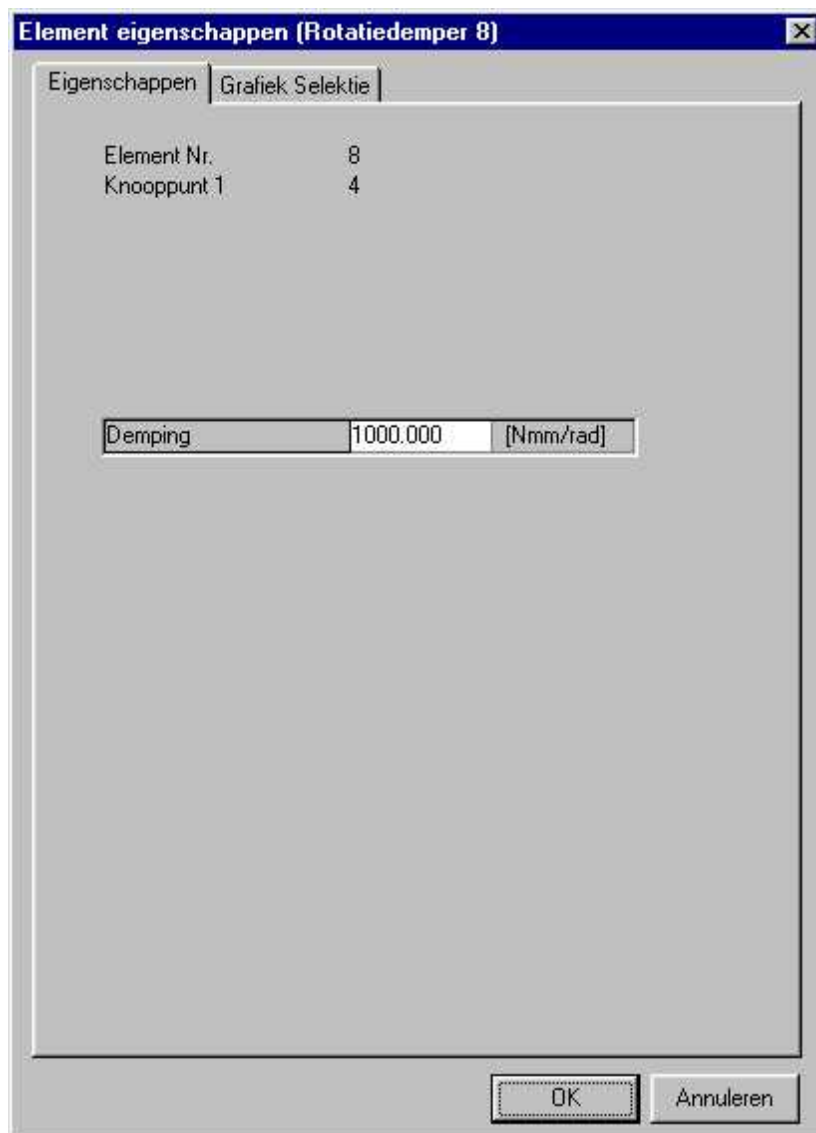
Een rotatieveer kent de volgende twee mechanische eigenschappen :

- rotatie stijfheid
- voorspanning (in de initiële toestand van het mechanisme)



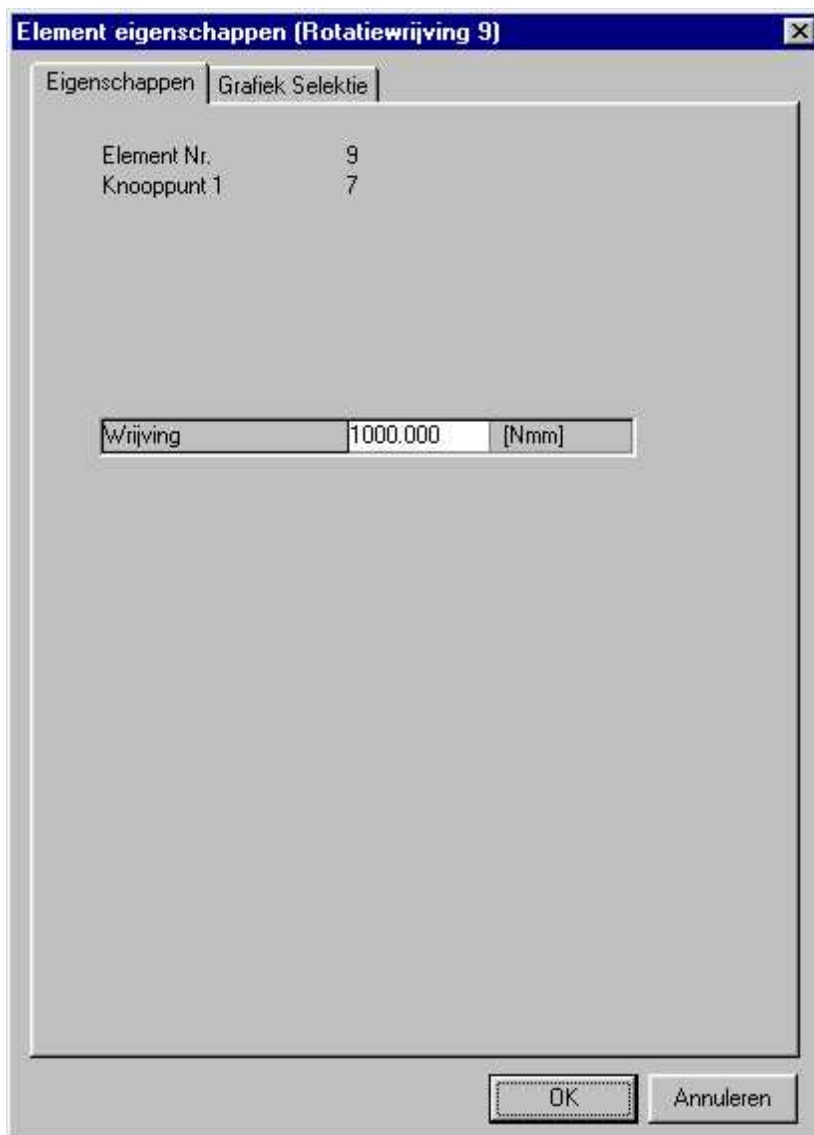
Eigenschappen van een rotatieveer

Een rotatiedemper kent maar één functionele eigenschap, namelijk de dempingsconstante.



Eigenschappen van een rotatiedemper

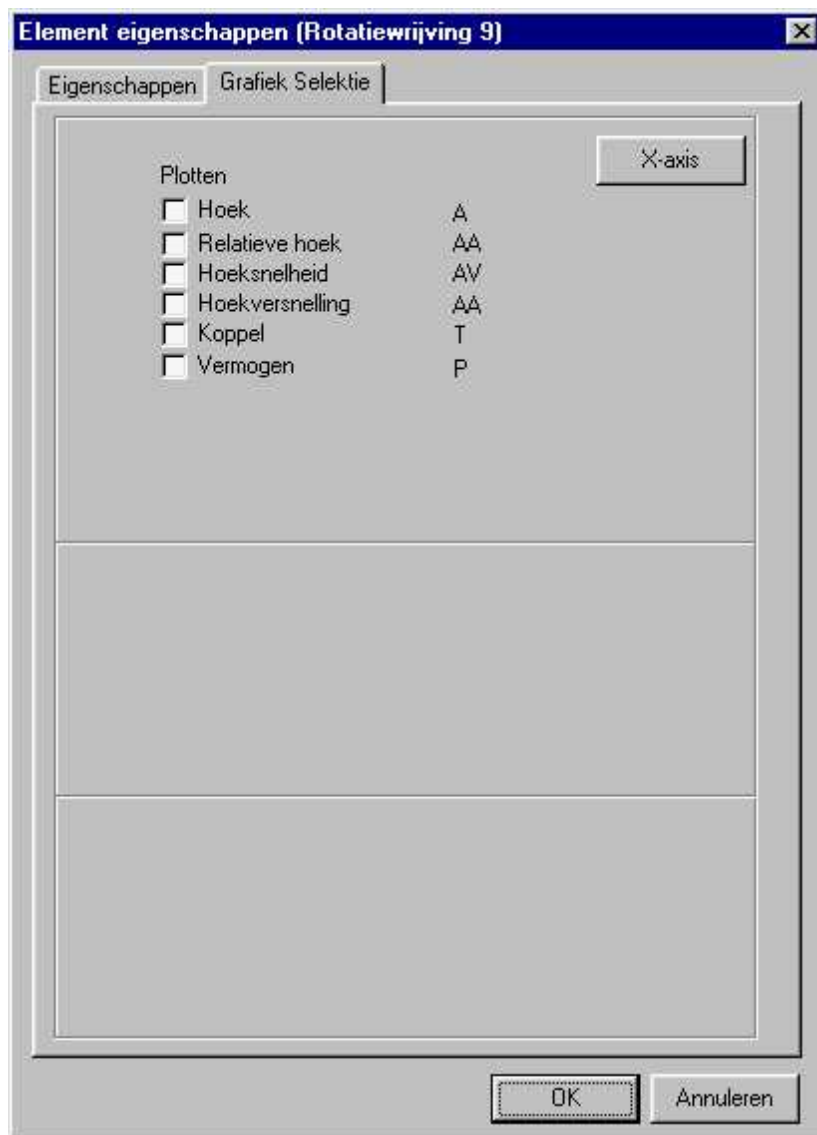
Een rotatie-wrijvingselement wordt gebruikt om pure Coulombse wrijving te modelleren en kent slechts een constante, namelijk het wrijvingskoppel.



Eigenschappen van een rotatie-wrijvingselement

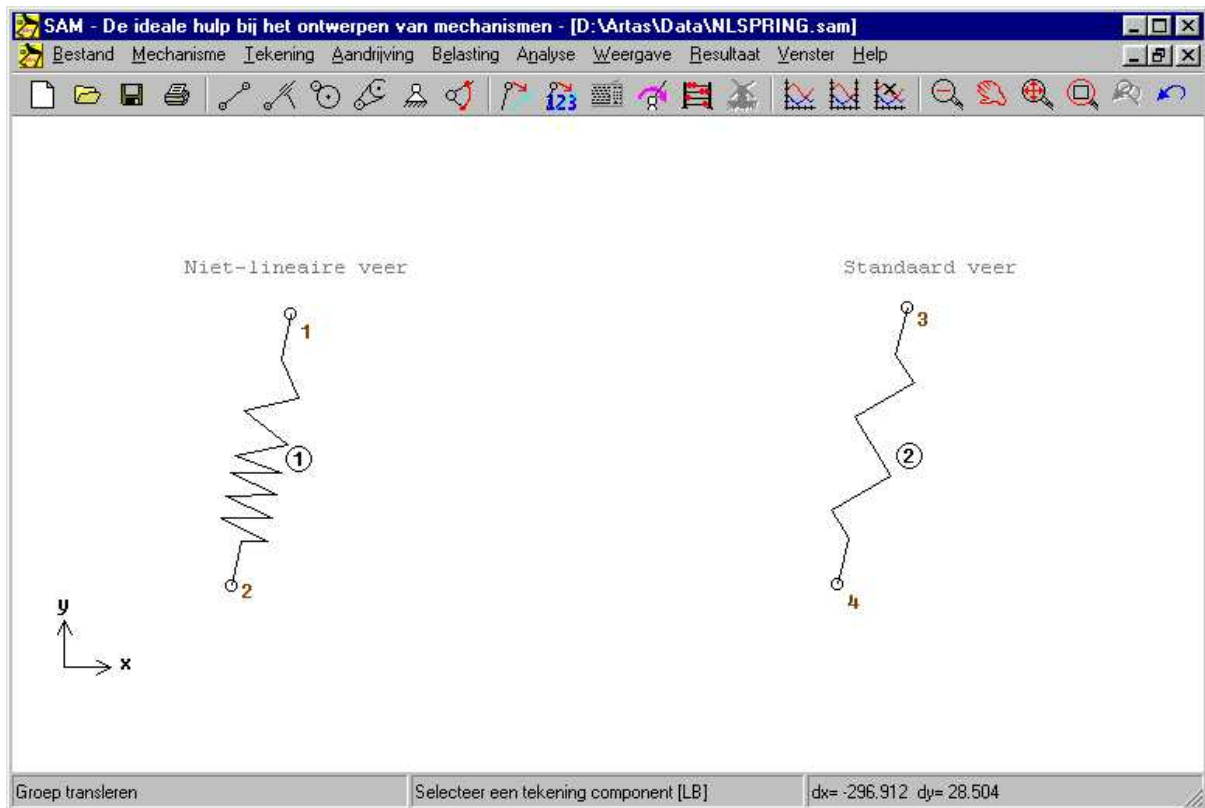
De te berekenen grootheden zijn bij alle drie de elementen gelijk:

- hoekverandering en de daarvan afgeleide grootheden
- koppel en bijbehorend vermogen



Berekenbare grootheden van een rotatie-veer, demper of wrijving

9.8 Veer met niet-lineaire karakteristiek



Veer met niet-lineaire karakteristiek (en standaard veer als referentie)

De niet-lineaire veer lijkt qua functie op de normale standaard veer, echter er kan een niet-lineaire verlenging-kracht karakteristiek worden opgegeven. Deze wordt gedefinieerd middels :

- Onbelaste lengte (lengte van de veer indien geen belasting is aangebracht)
- Verlenging-Kracht tabel (verlenging t.o.v. de onbelaste toestand), waarbij de veerkracht buiten het in de tabel gedefinieerde gebied standaard op nul wordt gezet.

Element eigenschappen (Niet-lineaire Veer 2)

Eigenschappen Grafiek Selectie

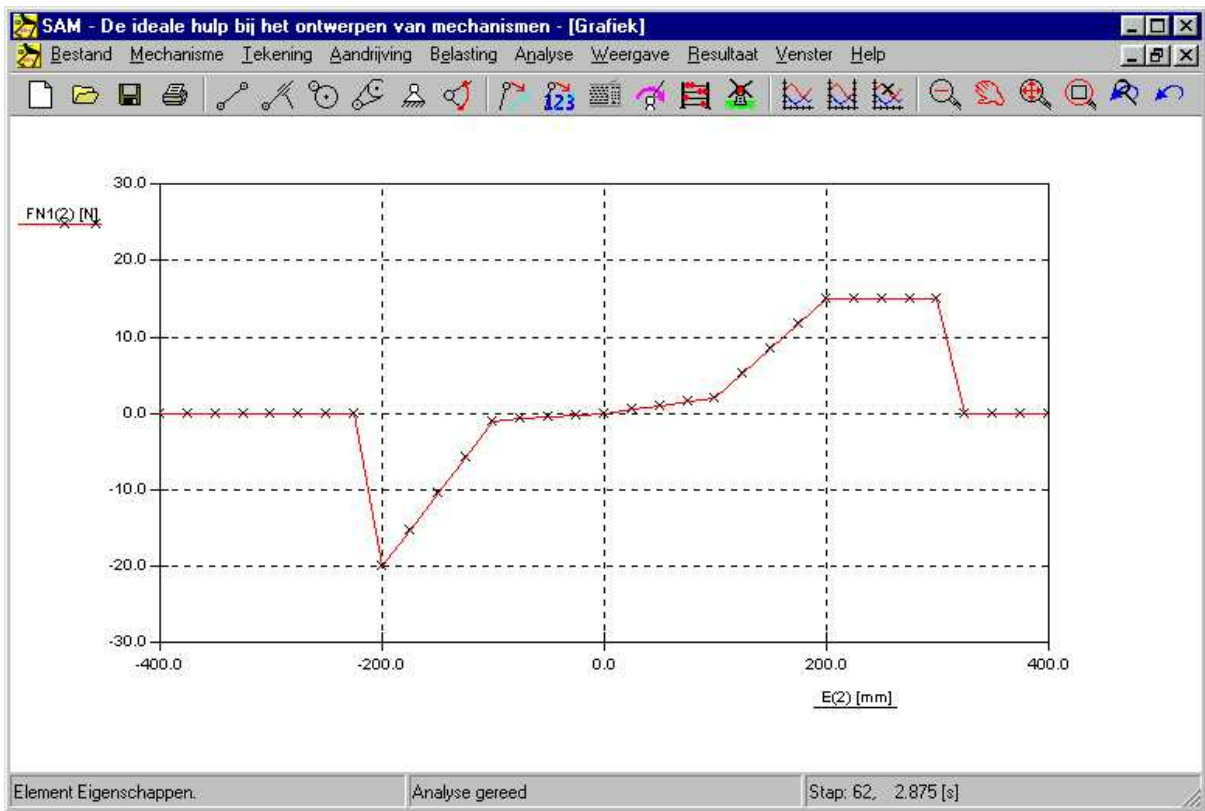
Element Nr. 2
Knooppunt 1 2
Knooppunt 2 3

Lengte 400.000 [mm]
Hoek 90.000 [deg]

Onbelaste lengte	400.000	[mm]
Punten	Verlenging [mm]	Kracht [N]
1	0.000	0.000
2	-100.000	-1.000
3	-200.000	-20.000
4	100.000	2.000
5	200.000	15.000
6	300.000	15.000
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		

OK Annuleren

Definitie van de niet-lineaire karakteristiek



Verlenging-Kracht verloop conform bovenstaande tabel

Chapter

10

10 Geïntegreerde werkomgeving

10.1 Toetsenbord en muis

De meeste acties, zoals het bouwen van het mechanisme, het selecteren van een knooppunt of element en bijvoorbeeld het starten van de berekening worden uitgevoerd met behulp van de muis. In sommige gevallen is het echter handiger de invoer direct via het toetsenbord te doen. Deze paragraaf geeft een overzicht van alle muisacties en toetsenbord mogelijkheden.

Linker muisknop (één klik)

Dit is de gebruikelijke actie voor de meeste selecties. Een punt in het werkgebied, een bestaande knooppunt, een element, een aandrijving en vele andere SAM onderdelen worden eenvoudig middels een klik met de muis geselecteerd.

Om een bestaande knooppunt of element te selecteren verandert de cursor in een + of verandert de kleur van het element om aan te geven dat SAM het onderdeel gevonden heeft.

Linker muisknop (dubbel klik)

Met dubbel klikken op een element kunt u direct de Eigenschappen opvragen. De dubbelklik is ook een mogelijkheid om het uitbreiden van een tekening groep (Toevoegen aan groep) af te sluiten – als alternatief op <Enter> -.

Rechter muisknop (één klik)

De rechter muisknop wordt enerzijds toegepast voor het afbreken van lopende processen (identiek aan <Esc>) en anderzijds wordt deze gebruikt voor het tonen van context-gevoelige menu commando's.

<Spatiebalk>

Elke stap in een proces (bijvoorbeeld de 1e of de 2e knooppunt van een element invoeren) heeft als alternatief op de muis klik een toetsenbord invoer. Ook bijvoorbeeld het kiezen van een bestaand knooppunt kan op deze manier gebeuren door het nummer van het betreffende knooppunt in te vullen. Dit is vaak handig of zelf noodzakelijk bij overlappende elementen of knooppunten.

<Delete>

Deze standaard toets doet wat de naam al zegt. Druk op <Delete> en selecteer achtereenvolgens elementen die u wilt verwijderen. De selectie kan in deze modus ook met de <Tab> toets gebeuren.

<Esc>

Deze wordt gebruikt voor het afbreken van lopende processen, en bijvoorbeeld voor het afsluiten van het Grafiek Window en het stop zetten van de animatie. De rechter muisknop klik doet hetzelfde als <Esc>. Conform de standaard kunt u ook een dialoog annuleren .

<Tab>

Deze kunt u gebruiken om bijvoorbeeld stapsgewijs door alle elementen te lopen als u er eentje wilt selecteren die moeilijk met de muis 'bereikbaar' is. Dit is een ondersteuning bij de selectie van een knooppunt of de selectie van een element.

<Enter>

Start de actie die behoort bij de voorafgaande menukeuze, nadat met <Tab> een element geselecteerd werd.

Beëindigt het aanpassen van een tekeninggroep (toevoegen/verwijderen).

<Ctrl C>

Deze toetscombinatie zet een beeldscherm kopie op het Prikbord. Indien gewenst wordt er een statusbalk aan toegevoegd waarin de bestandsnaam, datum/tijd en firmanaam worden afgebeeld (zie Bestand/Voorkeursinstellingen).

<Ctrl M>

Afkorting voor Aandrijving/Wijzigen.

<Ctrl P>

Afkorting voor Bestand/Afdrukken.

<Ctrl> + muisbeweging

Element horizontaal of vertikaal uitlijnen.

<F2>

Sneltoets om een animatie te starten.

<F3>

Sneltoets voor Mechanisme/Element Eigenschappen.

<F4>

Sneltoets om de dialoog van de voorkeursinstellingen op te roepen (Bestand/Voorkeursinstellingen).

<F5>

Sneltoets voor Optimalisatie/Start.

<F9>

Dit is een sneltoets, om de analyse direct te starten (zonder tussenkomst van de dialoog waarmee de te berekenen grootheden normaliter worden ingesteld).

<F10>

Sneltoets voor Weergave/Opties.

10.2 Werkbalk

Middels de iconen van de werkbalk kunnen belangrijke functies direct geactiveerd worden.



Nieuw Openen van een nieuw project.



Openen Bestaand project openen



Opslaan Actuele project opslaan



Afdrukken Afdrukken van mechanisme of grafiek



Stang Stang definiëren



Cilinder Cilinder definiëren



Tandwielpaar Tandwielpaar definiëren



Riemoverbrenging Riemoverbrenging definiëren



Steunpunt Ondersteuning definiëren



Rel. hoek vastzetten Hoek tussen twee elementen vastzetten



Aandrijving Nieuwe aandrijving definiëren



Knooppunt verschuiven Knooppunt verschuiven



Exacte Coördinaten Knooppunt coördinaten getalsmatig ingeven



Toetsenbord Invoer middels toetsenbord



Selectie Afhankelijk van de gekozen modus (via het gintegreerde drop-down menu) can men een deel van het mechanisme of van de tekening selecteren.



Analyse Analyse starten



Optimalisatie Optimalisatie starten



Animatie Animatie starten



Grafiek Grafiek weergeven van geselecteerde resultaten



Curve Links/Rechts Curve verschuiven tussen linker/rechter y-as



Curve verwijderen Curve verwijderen uit grafiek



Layout modus Wisselen tussen de drie modii: 1. mechanisme+grafiek, 2. alleen mechanisme, 3. alleen grafiek



Uitzoomen Uitzoomen (50%)



Inzoomen (max.) Maximale zoom zodat alles in het venster past



Zoom rechthoek Inzoomen op rechthoek



Pan Verschuiven van het beeld



Zoom vorige Terug naar vorige zoominstelling



Ongedaan maken Maak laatste actie ongedaan



Overdoen Laatste ongedane actie weer overdoen

10.3 Menu Commando's

10.3.1 Bestand menu

Nieuw

Start van een nieuw project (indien gewenst wordt het actuele project eerst opgeslagen).

Wizard

Mechanismen genereren middels één van de Design Wizards.

Openen

Openen van een bestaand mechanismen project.

Opslaan

Opslaan van het actuele project (het project blijft open om er verder aan te kunnen werken).

Opslaan als ...

Opslaan van het actuele project onder een nieuwe naam.

Importeren DXF

Importeren van een DXF-bestand (alle grafische elementen worden automatisch samengevoegd in één groep; zie ook menu Tekening).

Exporteren DXF

Exporteren van de knooppunten en elementen van het actuele mechanisme in DXF-formaat (in de appendix wordt weergegeven hoe aanpassingen voor het eigen CAD-systeem kunnen worden uitgevoerd).

Projectnotities

Start de geïntegreerde text editor voor het toevoegen van aantekeningen aan het SAM project bestand.

Projectdocumentatie

Genereren van een volledige projectdocumentatie in ASCII-formaat.

Projectinformatie

Informatie over het huidige project, zoals het aantal elementen, knopen, recente analyseduur,

Voorkeurinstellingen

Kiezen van projectonafhankelijke instellingen zoals b.v. het eenhedenstelsel en de weergave van getallen.

Afdrukken

Afdrukken van het actieve venster.

Printerinstellingen

Selecteren van de printer en de printeropties.

Exit

Afsluiten van het actuele project en beëindigen van SAM.

10.3.2 Mechanisme menu

In dit menu vindt u alle items die nodig zijn om een mechanisme op te bouwen, te wijzigen en om ondersteuning te definiëren.

Beschikbare elementen in SAM

- Stang, Cilinder, Tandwielpaar, Riemoverbrenging
- Extra Elementen (Meetelement, Veer, Demper, Wrijving)

Gedetailleerde informatie over de verschillende elementen is te vinden in het hoofdstuk Elementen.

Knooppunt vastzetten (X en/of Y)

Hiermee legt u een of twee vrijheidsgraden vast. Als x en y vastgelegd zijn ontstaat een draaipunt op de vaste wereld. Legt u slechts één van beide vast, dan ontstaat een rechtgeleiding (verticaal of horizontaal) De keuze maakt u door met de muis rond de

knooppunt te bewegen, terwijl u de linker muisknoop ingedrukt houdt.

Hoek vastzetten

De hoek van een element wordt vastgezet. De knooppunt hoeft daarbij niet aan de wereld vast te zitten. Hiermee kunt u ook een tandwiel aan de vaste wereld verbinden.

Relatieve hoek vastzetten

De hoek tussen twee elementen wordt vastgezet.

Losmaken

Verbreken van een eerder gemaakte fixatie.

Knooppunt verplaatsen

Met de muis een knooppunt verplaatsen. U kunt ook de knooppunt 'ongeveer' plaatsen, en dan met behulp van de <Spatiebalk> een dialoog oproepen waarin de coördinaten exact ingevoerd kunnen worden.

Element verwijderen

Verwijdert een element naar keuze, met de <Tab> toets kunt u de selectie ook uitvoeren.

Mechanisme transformeren

Middels een reeks aan commando's kan het gehele mechanisme (optioneel inclusief additionele tekening componenten) getransformeerd worden:

- Roteren
- Verschuiven
- Schalen
- Spiegelen horizontaal
- Spiegelen verticaal
- Beginstand wijzigen

Indien alleen een deel van het mechanisme getransformeerd moet worden dient men eerst een groep te maken van dit deel en dan via het drop-down menu (rechter muisknop) de transformatie optie te kiezen.

Elementeigenschappen

Hiermee kunt u bepaalde element eigenschappen aanpassen zoals: massa, massatraagheidsmoment, overbrenging, slaglengte van de demper etc.

Knooppunteigenschappen

Hiermee kunt u de coördinaten exact instellen.

10.3.3 Tekening menu

Middels de verschillende opties in dit menu kunnen eenvoudige grafische constructies uitgevoerd worden, zoals b.v. gebruikt bij de klassieke grafische mechanismensynthese volgens Burmester, en er kunnen manipulaties worden uitgevoerd op DXF-data, die middels

"Bestand/Importeren DXF" ingelezen is.

Punt

Tekenen van een punt.

Lijn

Tekenen van een lijn, waarbij bestaande punten als eindpunten geselecteerd kunnen worden.

Cirkel

Tekenen van een cirkel, waarbij een bestaand punt als middelpunt gekozen kan worden.

Middenloodlijn

Uitgaande van twee (bestaande) losse punten of eindpunten van lijnen kan een middenloodlijn geconstrueerd worden.

Snijpunt

Middels dit kommando worden alle snijpunten tussen willekeurige grafische elementen (lijn, middenloodlijn, cirkel) bepaald.

Text

Toevoegen van text (om de text te roteren moet deze eerst in een groep geselecteerd worden, waarna de groep geroteerd kan worden).

Groeperen

Hiermee stelt u een groep van tekenelementen (lijnen, punten, circels etc) samen. In SAM kunt u tekeningen verplaatsen en roteren, dit heeft echter altijd betrekking op groepen. Daartoe moet u soms eerst groepen ontbinden, en in nieuwe groepen ordenen.

Groep ontbinden

Selecteer een groep en klik. De elementen worden ontkoppeld, en staan nu als losse onderdelen op het scherm. Om deze verder te manipuleren moet u ze eerst weer in een groep opnemen. Bij het inlezen van een DXF-bestand vormen alle tekeningelementen automatisch één groep.

Koppelen

Hiermee kunt u een koppeling leggen tussen een groep en een element van het mechanisme, zodanig dat bij een animatie van het mechanisme de groep meebeweegt. Koppelingen zijn alleen mogelijk met stangen en cilinders. Wilt u een koppeling met een ander element type dan maakt u eerst een hulpstang aan dat element. Er kan slechts één groep tegelijk aan een element gekoppeld zijn.

Ontkoppelen

De grafische elementen van de groep worden ontkoppeld van het element van het mechanisme en staan derhalve bij een animatie stil.

Transformeren groep

Middels een reeks aan commando's kan de tekeningen groep (optioneel inclusief additionele tekening componenten) getransformeerd worden:

- Roteren
- Verschuiven
- Schalen
- Spiegelen horizontaal
- Spiegelen verticaal

Entiteit verwijderen

Een grafisch component verwijderen.

Groep verwijderen

Alle grafische elementen van de betreffende groep worden verwijderd. Alle gegevens van dit tekeningedeelte worden uit het SAM project verwijderd. U kunt alleen de laatste "verwijder-actie" ongedaan maken. Wel is het altijd mogelijk om de oorspronkelijke DXF tekening opnieuw te importeren als u zich vergist heeft.

10.3.4 Aandrijving menu

In dit menu kunt u de verschillende aandrijfmogelijkheden definiëren., zoals x- of y-verplaatsing, (relatieve) hoek of verlenging. Er kunnen maximaal tien verschillende gelijktijdige aandrijvingen gemodelleerd worden in SAM.

Nadat u een keuze heeft gemaakt wordt u gevraagd een knooppunt dan wel een element te selecteren, waarna een dialoog verschijnt, waarin het bewegingsprofiel gedefinieerd kan worden. Bewegingsprofielen kunnen worden samengesteld uit basis bewegingswetten, zoals constante snelheid, scheve sinus beweging en 5.orde polynoom (incl. het bijzondere 3-4-5 polynoom). Daarnaast kunnen willekeurige bewegingsprofielen worden samengesteld uit cubic splines of worden geïmporteerd worden vanuit een bewegingsbestand (ASCII-formaat).

Let op: alle invoer is relatief t.o.v. de startpositie van het mechanisme !

X-translatie

Hiermee kunt u de knooppuntverplaatsing in x-richting opleggen.

Y-translatie

Hiermee kunt u de knooppuntverplaatsing in y-richting opleggen.

Hoek

Hiermee definieert u de hoekverandering van een element. Dat kan dus ook de hoek van een tandwiel of riemschijf zijn. Als er in een knooppunt meerdere elementen samenkomen helpt de instructie op de statusbalk u verder bij de selectie van het juiste element.

Relatieve hoek

Hiermee definieert u de hoekverandering tussen twee elementen. De definitie is in de

volgorde van de geselecteerde elementen.

Verlenging

Hiermee modelleert u een lineaire motor/actuator dat wil zeggen een hydraulische- of luchtcilinder. De lengteverandering van een stang wordt op deze manier opgelegd. Dit type aandrijving is alleen van toepassing op het stang element.

Wijzigen

Wijzigen van een bestaande aandrijving.

Verwijderen

Verwijderen van een bestaande aandrijving.

10.3.4.1 Dialoog: Aandrijving definiëren

De kern van de dialoog is de lijst met geselecteerde basisbewegingen die samen de definitie van het totale bewegingsprofiel bepalen (de grafiek toont het corresponderende verloop). Bij een nieuwe aandrijving is de lijst initieel leeg. Om de lijst te vullen dient u de volgende stappen te doorlopen :

1. Activeer één van de standaard bewegingswetten :

- Lineair: beweging met constante snelheid
- Scheve sinus: beweging volgens een zogenaamde "scheve sinus"
- 5. orde Pol.: beweging volgens het algemene 5.orde polynoom
- 3-4-5 Pol.: beweging volgens het bijzondere "3-4-5 polynoom"
- Trapezium: beweging met een 2.orde profiel
- Cubic Spline: beweging volgens een natuurlijke cubic spline

2. Vul voor iedere (deel)beweging de benodigde invoervelden in:

- relatieve beweging (t.o.v. de huidige positie)
- duur van de (deel)beweging
- aantal intervallen waarin de (deel)beweging onderveeld wordt

3. Klik op "Toevoegen" om aan het eind van de lijst een beweging toe te voegen

Door deze stappen te herhalen kunnen allerlei bewegingsprofielen gerealiseerd worden.

Let op: Als u op <Enter> of "OK" drukt voordat u "Toevoegen" heeft gedrukt, wordt de dialoog afgesloten zonder dat de invoergegevens daadwerkelijk worden toegevoegd.

Dialogoek: Aandrijving definiëren

4. Wijzigen/Verwijderen van een (deel)beweging

Klik op de corresponderende regel in de lijst. De gegevens worden nu overgenomen in de invoervelden. Daarna kunt u de waarden aanpassen en middels de knop "Wijzigen" daadwerkelijk accepteren. Ook is het mogelijk om een regel te verwijderen door deze eerst te selecteren en vervolgens op "Verwijderen" te drukken.

5. Invoegen van een (deel)beweging

Selecteer de regel waarvoor u een deelbeweging wilt invoegen en druk "Invoegen". Dit leidt tot een nieuwe regel vóór de geselecteerde regel.

Als u de selectie van de regel ongedaan wilt maken, hoeft u alleen op een willekeurige plaats in de dialoek te klikken.

Indien de standaardbewegingen niet voldoende zijn om een bepaald bewegingsprofiel samen te stellen kunt u altijd gebruik maken van een bewegingsbestand (zie hoofdstuk "Modellering Tips") waarmee u willekeurige bewegingsprofielen middels een ASCII-textbestand kunt definiëren.

10.3.5 Belasting menu

Kracht

Definiëert een externe kracht die op een knooppunt van het mechanisme aangrijpt. U wordt verzocht het desbetreffend knooppunt te selecteren en de kracht en richting te specificeren. Vergelijkbaar met het menu Aandrijving kunt u de belastingen definiëren als een profiel, gebaseerd op basisfuncties. Functiedefinitie met behulp van een bestand kan echter niet.

Opmerking: Het opgegeven verloop van de kracht is gerelateerd aan de discrete tijdstappen van de aandrijving. Het is dus geen aparte functie van de tijd. Daarnaast is het noodzakelijk dat iedere belasting op alle discrete tijdstippen van de simulatie een gedefinieerde waarde heeft.

Koppel

Definiëert een extern koppel dat op een element van het mechanisme aangrijpt. U wordt verzocht het desbetreffend element en het desbetreffende knooppunt te selecteren en het koppel te specificeren. Vergelijkbaar met het menu Aandrijving kunt u het koppel definiëren als een profiel, gebaseerd op basisfuncties. Functiedefinitie met behulp van een bestand kan echter niet.

Opmerking: Het opgegeven verloop van het koppel is gerelateerd aan de discrete tijdstappen van de aandrijving. Het is dus geen aparte functie van de tijd. Daarnaast is het noodzakelijk dat iedere belasting op alle discrete tijdstippen van de simulatie een gedefinieerde waarde heeft.

Massa

Hiermee kunt u massa toevoegen aan een knooppunt.

Traagheidsmoment

Hiermee kunt u een traagheidsmoment toevoegen aan een knooppunt.

Merk op dat de stang- en de cilinder ook massa/ traagheidsmoment als eigenschap hebben, en dat het massamiddelpunt daarbij op een willekeurige positie tussen de knooppunten geplaatst kan worden.

Zwaartekracht

Hiermee definieert u de zwaartekracht. De waarde en de hoek waaronder de gravitatie optreedt is vrij te kiezen.

Wijzigen

Wijzigen van een bestaande belasting.

Verwijderen

Verwijderen van een bestaande belasting.

10.3.5.1 Dialoog: Kracht/Koppel definiëren

De kern van de dialoog is de lijst met geselecteerde profielen die samen de definitie van het totale belastingprofiel bepalen (de grafiek toont het corresponderende verloop). Bij een nieuwe belasting is de lijst initieel leeg. Om de lijst te vullen dient u de volgende

stappen te doorlopen :

1. Vul voor ieder profiel de benodigde invoervelden in:

- richting waarin de kracht werkt (deze richting geldt voor het totale belastingprofiel)
- startwaarde van de belasting in de referentiepositie van het mechanisme
- verandering van de belasting
- aantal intervallen waarin de verandering plaatsvindt

2. Klik op "Toevoegen"

Door deze stappen te herhalen kunnen allerlei bewegingsprofielen gerealiseerd worden.

Let op: Als u op <Enter> of "OK" drukt voordat u "Toevoegen" heeft gedrukt, wordt de dialoog afgesloten zonder dat de invoergegevens daadwerkelijk worden toegevoegd.

The screenshot shows the 'Kracht' dialog box with the following details:

- Start:** 10 [N]
- Hoek:** 0.000 [deg]
- Lineair** tab selected.
- Parameters table:**

Parameters	Waarde	Dimensie
Inkrement	-50.000	[N]
Tijd	1.000	[s]
Intervallen	15	[-]
- Buttons:** Toevoegen, Invoegen, Wijzigen, Verwijderen, Alles wissen, Klembord, Afdrukken, OK, Annuleren.
- Graph:** A trapezoidal force profile over time. The y-axis is labeled 'Kracht' and ranges from 10,000 to 60,000. The x-axis ranges from 0,000 to 3,000. The profile starts at 10,000 at time 0, rises to 60,000 at time 1,000, stays constant until time 2,000, and then falls back to 10,000 at time 3,000.

Dialogoek: Kracht/Koppel definiëren

Opmerking: Het opgegeven verloop van de belasting is gerelateerd aan de discrete tijdstappen van de aandrijving. Het is dus geen aparte functie van de tijd. Daarnaast is het noodzakelijk dat iedere belasting op alle discrete tijdstippen van de simulatie een gedefinieerde waarde heeft.

10.3.6 Analyse menu

Met dit menu start u de berekeningen. Met de toets <F9> start de Analyse zonder tussenkomst van de selectiedialoog.

10.3.7 Optimalisatie menu

Doel

Definitie van het optimalisatie doel.

Parameters

Selectie van de parameters die tijdens de optimalisatie gevarieerd kunnen worden en definitie de bijbehorende parametergrenzen.

Start

Start van de optimalisatie.

Opties

Definitie van de verschillende optimalisatie instellingen.

10.3.8 Weergave menu

Animatie

Start de animatie. <Esc> of de rechtermuis knop stoppen de animatie. Met de menukeuze Mechanisme > Beginstand wijzigen kunt u het mechanisme met de muis bewegen.

Video maken

Start de animatie en genereert een video van de beweging die kan worden opgeslagen in GIF- of AVI- formaat.

Beeld naar Prikbord

De actuele scherminhoud wordt naar het Prikbord gekopieerd (alternatief: <CTRL> + C) voor gebruik in een andere applicatie. Naar wens worden extra gegevens toegevoegd (zie ook Bestand/Voorkeursinstellingen en Weergave/Opties).

Knooppuntsbaan

Met dit menu kunt u knooppunten (de)selecteren waarvan de baan wordt afgebeeld.

Hodograaf

Met dit menu kunt u knooppunten (de)selecteren waarvan de snelheidshodograaf wordt afgebeeld. De vectorgrootte kunt u instellen in het menu Weergave>opties.

Poolbaan

Weergave van de poolbaan (= in het stilstaande referentiesysteem) van een element. Om

de weergave mogelijk te maken moeten de snelheden van de knooppunten van het betreffende element berekend zijn.

Poolcurve

Weergave van de poolcurve (= in het bewegende assenstelsel van het desbetreffende element) van een willekeurig element. Om de weergave mogelijk te maken moeten de snelheden van de knooppunten van het betreffende element berekend zijn.

Krommingsmiddelpuntsbaan

Weergave van de krommingsmiddelpuntsbaan van een knooppunt. Om de weergave mogelijk te maken moeten de snelheid EN versnelling van het desbetreffende knooppunt berekend zijn.

Opties

Hiermee kunt u de weergave naar eigen voorkeur instellen.

Lijn- en kleurinstellingen

Hiermee worden lijntypen en kleuren ingesteld. Ook kunt u hier aangeven dat bepaalde bestanddelen van SAM niet afgebeeld worden.

10.3.9 Resultaat menu

Selecteren

Hiermee selecteert u grootheden die u wilt exporteren dan wel weergeven in een grafiek. U wordt verzocht met de muis knooppunten en/of elementen aan te klikken en in de bijbehorende dialoog de gewenste grootheden te selecteren.

Selectie verwijderen

Hiermee worden alle eerdere selecties ongedaan gemaakt.

Exporteren

Hiermee kunt u de geselecteerde grootheden als ASCII-textbestand opslaan en bekijken. Eerst volgt echter nog een optiedialoog met de volgende instellingen:

Opmaak: standaard of volgens het SAM aandrijvingbestand-formaat. Bij de standaard opmaak kunt u nog kiezen voor de weergave van een kopregel, het stapnummer en de tijdas.

Getallen: geeft aan in welk formaat de decimale getallen worden weer gegeven. Deze instelling is onafhankelijk van de gelijknamige instelling in het menu Bestand > Voorkeursinstellingen.

Lijst: SAM start automatisch de door u ingestelde tekstverwerker om de tabel te bekijken (zie Bestand/Voorkeursinstellingen).

Kolom volgorde/selectie: hiermee kunt u de uitvoer naar eigen behoefte opmaken.

Grafiek

Toont de grafiek met de curven van de geselecteerde grootheden. Middels Venster>Naast elkaar kunt u de grafiek naast het mechanisme afbeelden. Ervan uitgaande dat in het menu Weergave>Opties de "animatie-grafiek koppeling" geactiveerd is en onder Resultaat>Grafiekopties de cursor aan staat, kunt u bij een animatie de cursor in de grafiek zien bewegen overeenkomstig de stand van het mechanisme. Ook kunt u (als de animatie uit staat) de grafiekcursor bewegen waarbij het mechanisme automatisch meebeweegt.

Curve links/rechts

Verschuift een curve van de linker naar de rechts y-as van de grafiek en omgekeerd. Selectie van de curve geschiedt door op het desbetreffende label te klikken in het grafiek-venster.

Curve verwijderen

Verwijdert een curve uit de actuele grafiek. Selectie geschiedt door op het desbetreffende label te klikken in het grafiek-venster.

Grafiek opties

Hiermee kunt u een aantal instellingen van de grafiek wijzigen.

10.3.10 Venster menu**Mechanisme en Grafiek**

Weergaven van mechanisme en grafiek naastelkaar in twee seperate vensters.

Mechanisme

Uitsluitend weergave van het mechanisme

Grafiek

Uitsluitend weergave van de grafiek

Voorkeursinstellingen

Voorkeursinstellingen worden toegepast.

10.3.11 Help menu**Overzicht**

Roept het SAM helpsysteem op.

Index

Zoeken in het helpsysteem op trefwoord.

Help gebruiken

Opent een Windows helpbestand waarin de standaard helpfunctionaliteit wordt uitgelegd.

Check Updates ...

Controleert de beschikbaarheid van updates en eventueel upgrades.

Informatie

Geeft informatie over SAM (o.a. versienummer, copyright, ...).

Chapter

11

11 Literatuur

Werff, K. v.d. (1975); "Kinematics of coplanar mechanisms by digital computation"; Fourth World Congress on the theory of machines and mechanisms, Newcastle upon Tyne, 1975

Werff, K. v.d. (1977); "Dynamic analysis of planar mechanisms with rigid links"; Comp. Meths. Appl. Mech. Eng. 11 (1977) 1-18.

Werff, K. v.d. (1977); "Kinematic and dynamic analysis of mechanisms, a finite element approach"; Dissertation (Delft Univ. Press, 1977).

Werff, K. v.d. (1979); "A finite element approach to kinematics and dynamics of mechanisms"; Fifth World Congress on the theory of machines and mechanisms, 1979

Werff, K. v.d. and H. Rankers (1979); "Getriebetyp-unabhängige Methode der Analyse der Kinematik und Dynamik der Räder-Kurbelgetriebe"; VDI-Berichte Nr. 321, 1979

Klein Breteler, A.J. (1987); "Kinematic Optimization of mechanisms, a finite element approach"; Dissertation (Delft Univ. Press); 1987

Klein Breteler, A.J. (1992); "Kinematische Getriebe-Analyse, eine iterative Methode mit Hilfe Finiter Elemente"; VDI-Fortschrittberichte Nr. 211 (Reihe 1: Konstruktionstechnik/Maschinenelement); 1992

Schwab, A.L., and Meijaard, J.P. (1999); "The belt, gear, bearing and hinge as special finite elements for kinematic and dynamic analysis of mechanisms and machines. Proceedings of the Tenth World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms, IFToMM, June 20--24, 1999, Oulu, Finland, Oulu University Press, pp. 1375--1386.

Schwab, A.L., and Meijaard, J.P. (2000); "Dynamics of flexible multibody systems having rolling contact: application of the wheel element to the dynamics of road vehicles"; Proceedings of the 16th IAVSD Symposium, August 30-September 3, 1999, Pretoria, South Africa, Supplement to Vehicle System Dynamics 33, pp.338-349.

Chapter

12

12 Appendix

12.1 Analyse Problemen

Wanneer een mechanisme model niet volledig is, of het kán gewoon technisch/theoretisch niet werken, dan meldt SAM dit na of tijdens de analyse. De meest belangrijke foutmeldingen en meest waarschijnlijke oorzaken worden hier opgesomd :

"Mechanisme is onderbepaald" ==> Er ontbreken randvoorwaarden.

- U verzuimde een knooppunt aan de vaste wereld te zetten
- U verzuimde een vaste hoekverbinding te leggen tussen twee elementen
- U vergat een bedoelde hoekverbinding tussen een stang en een tandwiel of riemschijf
- Er ontbreekt een aandrijving
- Er zijn ergens twee aparte overlappende knooppunten ontstaan i.p.v. één enkel knooppunt.

"Mechanisme overbepaald" ==> Te veel randvoorwaarden (mechanisme kan niet bewegen)

Ergens heeft u een knooppunt of hoek vastgezet die u als vrij bewegend bedoeld had.

"Convergentieprobleem" ==> Het mechanisme "loopt vast"

U heeft een bewegingsprofiel voor een knooppunt of element gedefinieerd dat tot een positie van het mechanisme leidt, die niet kan worden ingenomen. De stappen tot aan het punt waar de beweging vastloopt zijn normaal geanalyseerd en resultaten (incl. de animatie) zijn beschikbaar.

"Geen Aandrijving gedefinieerd"

U heeft géén enkele aandrijving gedefinieerd. SAM vereist minimaal één aandrijving.

12.2 DXF-template

SAM tracht optimale aansluiting met uw CAD systeem en de bijbehorende instellingen te bieden door bij het exporteren naar DXF formaat gebruik te maken van een DXF-template. Dat is een DXF bestand (naar wens aangemaakt door uw CAD-systeem), waarin de nodige instellingen zoals lijntype en kleur opgeslagen zijn. Bij de installatie van SAM wordt een standaard template DXFTEMPL.DXF meegeleverd, maar u bent vrij een eigen template te maken (met een naam naar keuze).

Om een template zelf te maken start u uw CAD-systeem en begint u met een lege tekening. Teken vervolgens in een PUNT, LIJN, CIRCEL, CIRCELBOOG en een TEXT (in exact deze volgorde). Gebruik daarbij de instellingen die u prefereert. Exporteer deze tekening vanuit uw CAD- systeem als DXF bestand onder een vrij te kiezen naam (8 letters). U dient nu in het configuratiebestand SAM42.INI deze nieuwe naam in te vullen. U had ook de standaard template DXFTEMPL.DXF kunnen overschrijven, waardoor de

wijziging in SAM42.INI overbodig geworden is.

Als SAM het in het configuratiebestand gedefinieerde bestand niet kan vinden wordt u gevraagd er een kiezen (voorafgaand aan het exporteren van DXF-data).

Een DXF-template is een bestand dat precies één PUNT, één LIJN, één CIRCEL, één CIRCELBOOG en één TEXT bevat en wel exact in deze volgorde.

12.3 Wat was nieuw in SAM 6.1 ?

Project Notities

Een geïntegreerde text editor is toegevoegd zodat de gebruiker aantekeningen kan maken. Deze worden als integraal onderdeel van het SAM project bestand opgeslagen.

Aandrijfbeweging

Naast de Natural Cubic Spline is het nu ook mogelijk om de Clamped Cubic Spline toe te passen bij het definiëren van een bewegingsprofiel. Bij deze variant kan de helling (1.orde afgeleide) aan het begin en eind punt worden gedefinieerd.

Optimalisatie

Het is nu mogelijk om ALLE oplossingen gevonden tijdens de globale exploratie van de oplossingsruimte automatisch middels een lokale optimalisatie verder te verbeteren..

Weergave

- Ieder element kan een individuele kleur/lijntype instelling hebben.
- Een Crosshair (met horizontaal/vertikaal muis "snappen") vereenvoudigt het construeren van een mechanisme.

Pan/Zoom

Het muiswiel kan net als b.v. bij Google Earth gebruikt worden voor Pan en Zoom.

Mechanismen/Grafiek Venster

De twee vensters voor de weergave van het mechanisme en de grafiek kunnen willekeurig gedimensioneerd worden. Tevens is er een nieuw icoon waarmee eenvoudig geschakeld kan worden tussen de drie weergave modi (1.mechanisme en grafiek, 2: uitsluitend mechanisme, 3:uitsluitend grafiek).

Geautomatiseerde Updates

De controle op de beschikbaarheid van updates en de installatie ervan is sterk vereenvoudigd. Indien gewenst kan controle en installatie ook automatisch plaatsvinden.

Videos in GIF formaat

Naast het AVI formaat kunnen video's ook in het aanbevolen (Animated) GIF formaat worden opgenomen.

Extra Checks

Er is een grote hoeveelheid extra checks ingebouwd die moeten voorkomen dat de gebruiker per ongeluk fouten maakt bij de invoer dan data dan wel bij de probleem definitie, die tot ongedige analyse resultaten kunnen leiden.

Bugfixes en schoonheidsfoutjes

Een aantal kleinere bugs en schoonheidsfoutjes zijn opgelost.

12.4 Wat was nieuw in SAM 6.0 ?

Optimalisatie *(uitsluitend in de Professional versie)*

De optimalisatie module van SAM biedt "single-function multi-parameter" optimalisatie gebaseerd op een mix van evolutionaire algoritmen en Simplex methoden.

Uitgaande van het actuele ontwerp kan een mechanisme verder geoptimaliseerd worden v.w.b. de baan die een knooppunt beschrijft of v.w.b. het verloop van de functie van een geselecteerde bewegings- of krachtgrootte. Zo kan bij voorbeeld de RMS-waarde of de absolute maximale waarde van het aandrijfkoppel van een mechanisme met massa worden geminimaliseerd door het toepassen van één of meer balansmassa's, waarvan zowel plaats als massa binnen gedefinieerde grenzen wordt gevarieerd. Ook is het mogelijk om een bepaalde doelfunctie zo goed mogelijk te benaderen, b.v. het verloop van de kracht in een fitness apparaat als functie van de afgelegde hoek of verplaatsing.

Het doel van de optimalisatie is het minimaliseren (of eventueel maximaliseren) van een bepaalde eigenschap (b.v. maximum, gemiddelde, RMS-waarde,) die het verschil tussen het actuele gedrag en het gewenste gedrag kenmerkt. Het kan daarbij gaan om :

- de baan van een knooppunt (met of zonder tijd/krukstand)
- het verloop van een bewegings- of kracht grootte (als functie van de tijd of als functie van een andere grootte)

SAM zoekt het optimum door afhankelijk van de gebruikerinstellingen de volgende parameters te variëren binnen gedefinieerde grenzen:

- geometrie van het mechanisme
- elementeigenschappen, zoals massa, veerstijfheid, voorspanning, overbrengingsverhouding, ...

De optimalisatie is gebaseerd op een twee-traps-aanpak bestaande uit:

- Globale exploratie van de gehele parameter ruimte
- Lokale optimalisatie van een specifieke oplossing

In de eerste stap wordt binnen de gestelde grenzen de parameter ruimte globaal verkend middels een combinatie van een pure Monte-Carlo techniek en een zogenaamd evolutionair algoritme (een optimalisatie techniek die is afgeleid van de genetische algoritmen). De beste oplossingen worden op volgorde gesorteerd in een lijst weergegeven.

De gebruiker kan vervolgens uit deze lijst een oplossing selecteren en op het beeldscherm bekijken inclusief alle bijbehorende grafieken. De oplossing, die het beste aansluit bij de wensen van de ontwerpen kan vervolgens lokaal verder geoptimaliseerd worden, waarbij de gebruiker nog kan kiezen tussen een Simplex methode en de eerder genoemde evolutionaire methode met een nauwer zoekgebied.

De combinatie van globale verkenning en lokale optimalisatie geeft het beste compromis

tussen snelheid aan de ene kant en de zoektocht naar het globale optimum aan de andere kant.

Naast de beschreven modus, waarbij de gebruiker *in-the-loop* zit, bestaat er ook een compleet geautomatiseerde modus, waarbij eerst een globale verkenning plaats vindt en vervolgens de beste oplossing van deze verkenning middels een lokale optimalisatie verder verbeterd wordt.

Context-gevoelige rechter muisknop

In voorgaande versies van SAM was het User-Interface uitsluitend gebaseerd op het model dat de gebruiker eerst een *actie* uit het menu selecteert en vervolgens het *object* waarop deze actie van toepassing is. Veel programma's waaronder Microsoft Word hanteren een andere aanpak. Daarbij wordt eerst het *object* geselecteerd en vervolgens verschijnt middels de rechter muisknop een lijst van mogelijke acties die bij het geselecteerde object passen.

Om zowel bestaande gebruikers van SAM als ook nieuwe gebruikers tegemoet te komen worden vanaf SAM 6.0 beide methoden ondersteund.

Automatische Melding van Updates/Upgrades

Indien gewenst, kan SAM de gebruiker na het opstarten van SAM automatisch attenderen op de beschikbaarheid van updates en upgrades (dit veronderstelt toegang tot het internet).

Licentie Niveaus: Professional, Standaard en Light

Vanaf SAM 6.0 bestaan er drie verschillende versies om zodoende prijs en functionaliteit beter af te kunnen stemmen op de behoeften van de klant. De drie versies zijn:

- Professional: Kinematica, Kinetostatica (Krachtanalyse), Optimalisatie
- Standaard: Kinematica, Kinetostatica (Krachtanalyse)
- Light: Kinematica

12.5 Wat was nieuw in SAM 5.1 ?

Aandrijving

Door verdergaande optimalisatie van de analysis-kernel kon het aantal onafhankelijke aandrijvingen worden verhoogd van 3 naar 10.

Het algemene 5.orde polynoom (conform VDI-2143) maakt het mogelijk om complexe

bewegingsprofielen op te bouwen uit 5.orde deelbewegingen met vrij kiesbare snelheid en versnelling op de interval grenzen.

In het uitzonderlijke geval dat de standaard waarden van de analyse parameters (max. aantal iteraties per bewegingsstap en iteratietolerantie) niet voldoen, kunnen deze nu handmatig worden aangepast (zie Bestand/Voorkeursinstellingen/Analyse).

Nicht-Lineaire Veer

Middels een tabel kan een niet-lineaire veer karakteristiek worden gedefinieerd.

Weergave

Middels de schakelaar "Real-Time Animation" kan de timing van de animatie worden aangepast aan de werkelijke bewegingssnelheid (zie Bestand/Voorkeursinstellingen/Weergave).

De symbolen die in een XY-grafiek gebruikt worden ter identificatie van de verschillende curves hoeven niet langer aan ieder punt van de desbetreffende curve gekoppeld te worden. Het is nu mogelijk om aan te geven om de hoeveel punten van de curve een symbool geplaatst dient te worden. (zie Resultaat/Grafiek Opties).

12.6 Wat was nieuw in SAM 5.0 ?

Nieuwe en geoptimaliseerde rekenmodule

- Onbeperkte complexiteit van het mechanisme
- Geen beperkingen aan het aantal elementen of knooppunten
- Onbeperkt aantal bewegingsstappen
- Significant kortere analysetijd

"Real Time" Analyse

Analyse en aanpassing van alle resultaten, graphieken, baancurves e.d. terwijl het mechanisme met de muis wordt aangepast.

Nieuwe bewegingsprofielen

- 2. orde snelheidsprofiel
- Cubic Spline

"Design Wizards" voor het genereren van 4-stangenmechanismen

- Algemeen
- (Hoek)Functiegenerator
- 3-standen-Synthese

"Design Wizards" quasi-rechthoekige beweging (4-stangenmechanisme)

- Watt
- Chebyshev
- Roberts
- Evans
- Hoecken

"Design Wizards" exact rechtlijnige beweging (verscheidene mechanismen)

Animatie vastleggen in videobestand (AVI-formaat)

12.7 Wat was nieuw in SAM 4.2 ?

Krachtenanalyse van riem- en tandwielmechanismen

In tegenstelling tot voorgaande versies is het nu ook mogelijk om de krachtenanalyse van mechanismen die riem- dan wel tandwielelementen bevatten door te voeren. Op dit moment is de analyse echter nog beperkt tot de situatie zonder voorspanning. Er wordt rekening gehouden met het feit dat een riem alleen trekkrachten kan doorleiden terwijl bij een tandwielpaar alleen drukkrachten worden doorgeleid in het contactpunt.

Eenvoudige constructiehulpmiddelen

In SAM zelf kunnen nu punten, lijnen, middenloodlijnen, cirkels, en snijpunten geconstrueerd worden. Daarmee is het o.a. mogelijk om klassieke grafische mechanismen-syntheses, zoals de Burmester aanpak, door te voeren. Ook kunnen teksten geplaatst worden.

Poolbaan, Poolcurve **en** krommingsmiddelpuntsbaan

Van iedere schakel kan de poolbaan in het stilstaande referentieassenstelsel als ook in het meebewegende assenstelsel getekend worden. Ook de krommingsmiddelpuntsbaan van iedere knooppunt kan weergegeven worden.

Nieuwe opties in het "Weergave" menu

- Extra commentaar regel bij iedere screenshot
- Inverteren van de snelheidhodograaf

12.8 Wat was nieuw in SAM 4.1 ?

Project documentatie

Uitvoerige weergave van alle gegevens in het ontwerp, op het scherm en/of als ASCII bestand. Menu: Bestand > Project Documentatie.

Fysische eenheden en getallenweergave

Voor alle grootheden kan een eenheid naar wens worden ingesteld (Metrisch, Engels). De

gebruiker kan een willekeurige combinatie maken, bijvoorbeeld Lengte in [mm] gecombineerd met Snelheid in [m/sec]. De weergave van de waarden is naar keuze met een vaste komma of zwevende komma weergave, waarbij het aantal cijfers precisie instelbaar is (Menu: Bestand >Voorkeurstellingen).

Prikbord koppeling met het beeldscherm

De actuele scherminhoud kan direct naar het Prikbord worden gekopieerd (CTRL + C) voor gebruik in een andere applicatie. Naar wens worden extra gegevens toegevoegd zoals Bestandsnaam, datum en firmanaam. (instelling in SAM41.INI)

Analyse starten

Met de functietoets <F9> wordt onmiddellijk de analyse gestart, dus zonder tussenkomst van de resultaten-selectie dialoog.

Prikbord koppeling van het opgelegde bewegingsprofiel

In de dialoog voor de bewegingsprofielen is nu een knop om de grafiek direct in het Prikbord te plakken.

Nieuwe weergave opties

Het menu Weergave > Opties bevat de volgende nieuwe mogelijkheden:

- Animatie Vertraging
- Hodograaf schaling (snelheidsvectoren)
- Zoomen op uitersten met/zonder inbegrip van de geanimeerde standen

Opmaak/formattering van de resultaten uitvoer

Het menu Resultaten > Exporteren bevat nu uitgebreide mogelijkheden voor de tekstopmaak

Koppeling tussen grafiek en animatie

Als het mechanisme en een grafiek naast elkaar worden afgebeeld, dan beweegt het mechanisme mee met de cursor in de grafiek. Zo kan het mechanisme handmatig in de gewenste stand bewogen worden.

12.9 Wat was nieuw in SAM 4.0 ?

CAD-Interface via Import/Export van DXF-data

Importeren: Het gebruik van tekening-componenten geïmporteerd uit een CAD pakket, waardoor een SAM mechanisme afgebeeld wordt als een realistische machine of apparaat. Door bijvoorbeeld een machine-frame als tekening toe te voegen aan het ontwerp, kan de gebruiker goed overzien of de bewegingen van het mechanisme geen botsingen veroorzaken. Complete CAD componenten (tekeningen) kunnen gekoppeld worden aan bewegende delen van het mechanisme. Bovendien kunnen punten van een tekening gebruikt worden bij het definiëren van nieuwe SAM elementen ('vangen' van een

knooppunt zie Weergave > Opties).

Exporteren: Het totale mechanisme kan als DXF bestand worden opgeslagen en vervolgens in andere CAD pakketten worden ingelezen.

Uitgebreide weergave opties

Alles wat door SAM wordt afgebeeld, kan door de gebruiker van een eigen kleur en lijntype worden voorzien. Deze instellingen gelden afzonderlijk voor bijvoorbeeld elementen, het raster, krachtssymbolen, de tekening-componenten etc. Bij de zwaartekracht kan geel lijntype gekozen worden

Zoom voorzieningen

De belangrijkste zoomfuncties zoals bekend in de CAD pakketten zijn nu ook aan SAM toegevoegd nl.:

- uitzoomen
- zoom rechthoek
- zoom uitersten
- zoom vorige kader

Alle zoomfuncties zijn 'transparant' wat betekent, dat ze de actuele bezigheid niet beïnvloeden. U kunt op elk gewenst moment even een zoomactie uitvoeren.

De vroegere 'Auto Zoom' knop in de weergave opties is vervallen.

Opslaan van resultaten

Alle berekende en ingevoerde grootheden (positie, snelheid, hoek, kracht etc) kunnen selectief als ASCII tekst naar een bestand worden geschreven. Het formaat kan ingesteld worden voor de gebruikelijke Spreadsheet programma's.

Tevens kan het formaat worden ingesteld overeenkomstig het SAM invoer-formaat, zodat berekende resultaten van SAM weer kunnen worden hergebruikt als invoer voor de opgelegde bewegingen.

Transformaties

Het hele ontwerp (al of niet inclusief de tekeningen) kan worden geschaald en gerooteerd.

Ongedaan maken

Alle acties kunnen één stap terug ongedaan gemaakt worden.

Aandrijving en belasting

Eenmaal ingevoerde profielen kunnen nu aangepast worden. Bovendien kan de grafiek van het profiel worden afgedrukt.

Opgelegde bewegingsprofiel als bestand

Een beweging aangeleverd als teksbestand kan nu direct worden bewerkt vanuit de ingangbewegings-dialoog, met hulp van een door de gebruiker zelf in te stellen tekstverwerker. Zodra de bewerking is opgeslagen, wordt de grafiek in de dialoog aangepast.

"Handmatige" animatie

De gebruiker kan het mechanisme met de muis in elke gewenste animatie-positie manoeuvreren. Tevens kan een willekeurige stand als nieuwe beginstand worden vastgelegd.

Coördinaten invoer via het toetsenbord

Een nieuw icoontje is toegevoegd om de coördinaten van een punt direct te bewerken.

Vectorlengte

Van snelheden, versnellingen en krachten kunnen nu ook de absolute grootte in grafiek worden afgebeeld. Voorheen kon dat alleen met de afzonderlijke x- en y componenten van de vector.

Chapter

13

13 Begrippen

Groep

Hodograaf

Kinetostatica

Knooppuntsbaan

Krommingsmiddelpuntsbaan

Poolbaan

Poolcurve

Index

- (-

(Hoek)functie Synthese 54

- 3 -

3-Standen Synthese (I) 58, 60

3-Standen Synthese (II) 60

- 4 -

4-Stangen Mechanisme 39, 52, 53, 54, 58, 60

- A -

Aandrijfkoppel minimaliseren 104

Aandrijving 13, 15, 37, 39, 71, 72, 74, 118, 146, 148, 150, 153, 154, 156, 166, 169, 170, 172

Aandrijving menu 153

Algemeen (knooppunten) 39, 52, 53, 70, 104, 148

Analyse menu 158

Analyse Problemen 166

- B -

Baan optimaliseren 105

Bearing Forces 77

Belasting menu 155, 156

Benaderde Rechtgeleiding 63, 64, 66, 67, 68, 170

Bestand menu 149

Bewegingsanalyse 39

- C -

CAD koppeling 14, 19, 22, 70, 72, 73, 80, 87, 149, 151, 153, 158, 159, 166, 170, 172

Cilinder 120

Compatibiliteit van SAM 3.x/4.x/5.x bestanden 19

Constrained Optimalisatie 107

Constrained Optimization 107

- D -

Dialog: Kracht/Koppel definiëren 156

Dubbelkruk mechanisme met tandwielkoppeling 61

DXF-template 166

- E -

Een kort voorbeeld 22, 70, 80, 98, 146, 149, 150, 151, 166, 172

Een mechanisme ontwerpen met de Design Wizard 32

Een nieuw mechanisme modelleren 37, 39, 101, 104, 118, 120, 123, 127, 146, 148, 149, 150, 151, 153, 154, 155, 159, 172

Een voorbeeld project 22, 37, 39, 70, 71, 72, 73, 148, 149, 158, 159, 160, 166, 169, 171, 172

Eenheden 32, 37, 39, 70, 73, 80, 92, 146, 148, 149, 150, 153, 154, 155, 158, 159, 171, 172

Eerste keer opstarten (licentie gegevens) 18

European Academic Software Award 16

Exacte Knooppuntcoördinaten 70, 151

Exacte Rechtgeleiding 60, 61, 62, 63

Exporteren van een bewegingsbestand 37, 73, 141, 153

- F -

Forces in Moving Nodes 77

formule parser 9

- G -

Gebruik van tekeningen 80, 151, 166

Getallenweergave 70, 171

- H -

Help menu 160

Het ontwerpproces 12

Hypocyclisch planetair tandwiel-mechanisme 62

- I -

Importeren van een bewegingsbestand 39, 73, 154

Inleiding - Mogelijkheden binnen SAM - Optimalisatie 15, 86, 87, 92, 93, 104, 105

Installatie 166

Instellingen Evolutionair Algoritme 93

Instellingen Simplex Methode 94

Introductie 86

- K -

Koopovereenkomst 10

Kruk-slinger mechanisme 96

- L -

Lineaire actuator 73

- M -

Mechanisme menu 150, 151, 158, 172

Mechanisme met twee gekoppelde aandrijvingen 99

Meervoudige aandrijving 71, 72, 73, 153, 154, 155, 166, 169

Modellering van een koppelpunt 74, 150

Modellering van een tandheugel 75

Modelvorming 13, 15, 39, 63, 64, 73, 74, 98, 99, 102, 118, 120, 123, 127, 131, 136, 141, 148, 150, 153, 155, 166, 169, 170, 171

Mogelijkheden binnen SAM 12, 13, 15, 148, 166, 169, 170, 171

- O -

Ontwerp 12, 13, 14, 15, 32, 37, 52, 60, 64, 73, 74, 75, 87, 102, 123, 146, 151, 153, 166, 169, 170, 172

Opbouw van deze handleiding 9, 14, 15, 18, 22, 32, 52, 53, 54, 58, 60, 63, 64, 80, 104, 149, 160

Optimalisatie Doel 87

Optimalisatie menu 158

Optimalisatie Opties 92, 94

Optimalisatie Parameters 89

Overzetmechanisme (incl. zwaartekracht) 101

- P -

Planetair mechanisme (hypo-cycloidaal) 99

Postprocessing 14, 22, 32, 37, 39, 146, 148, 154, 156, 158, 159, 160, 169, 171, 172

Projectdocumentatie 15, 22, 32, 37, 39, 52, 60, 63, 70, 80, 87, 146, 149, 151, 155, 158, 166, 171

- Q -

Quick-Return mechanisme 96

- R -

Resultaat menu 159

Riemoverbrenging 127

Rotatie-veer

demper en wrijving 136, 151, 158, 166

- S -

Schuine rechtgeleiding 73

Stang 118

Symmetrisch kruk-schuif mechanisme 61

- T -

Tandriemoverbrenging met externe kracht 102, 123, 127, 136, 155, 156

Tandwielpaar 123

Tandwielpaar aangedreven door kruk-sleuf mechanisme 98

Tekening menu 151

Toetsenbord en muis 146, 148, 149, 151

Tweeslag met riemoverbrenging 63

Tweeslag met tandwielkoppeling 62

- U -

User Defined Results 81

- V -

Veer

Demper en Wrijving 131, 141

Veer met niet-lineaire karakteristiek 141

Venster menu 160

Verleden en toekomst 15, 22, 32, 37, 39, 70, 72, 75, 80, 87, 89, 146, 150, 151, 158, 159, 170, 171, 172

Voorbeeld: 4-stangen mechanisme (bewegingsanalyse) 39, 158, 171

Voordat u begint met installeren: 18

- W -

Wat is nieuw in SAM 6.0 9, 10, 12, 15, 18, 22, 32, 37, 39, 52, 54, 64, 70, 72, 73, 80, 86, 87, 89, 92, 93, 101, 102, 104, 118, 120, 123, 127, 131, 141, 146, 148, 149, 150, 151, 154, 155, 158, 159, 160, 166, 168, 169, 170, 171, 172

Wat is SAM ? 8, 9, 12, 14, 15, 22, 32, 37, 39, 52, 54, 58, 60, 70, 73, 74, 80, 86, 87, 92, 101, 118, 123, 127, 131, 136, 146, 148, 149, 150, 151, 153, 158, 159, 166, 168, 169, 170, 171, 172

Wat was nieuw in SAM 4.0 ? 172

Wat was nieuw in SAM 4.1 ? 171

Wat was nieuw in SAM 4.2 ? 171

Wat was nieuw in SAM 5.0 ? 170

Wat was nieuw in SAM 5.1 ? 169

Weergave menu 158, 170, 171

Werkbalk 146, 148, 150, 159, 172

Werken met bewegingsbestanden 72

What is SAM ? 77