

## Ontwikkeling van een roltrap-ergometer

***Citation for published version (APA):***

Bulten, H. A. (1976). Ontwikkeling van een roltrap-ergometer. In *Nadenken over onderzoek : enkele voorbeelden* (blz. 19-29). (Nadenken over onderzoek : enkele voorbeelden, 1976). Technische Hogeschool Eindhoven.

***Document status and date:***

Gepubliceerd: 01/01/1976

***Document Version:***

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

***Please check the document version of this publication:***

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

[Link to publication](#)

***General rights***

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

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

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

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

***Take down policy***

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

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Ontwikkeling van een roltrap-ergometer

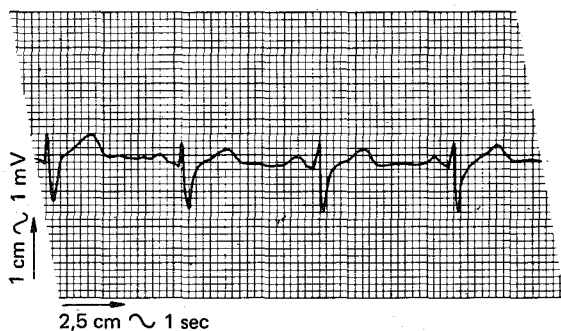
door H.A. Bulten \*

## Inleiding

In de technisch hoog ontwikkelde landen wordt sterfte voor een aanzienlijk deel veroorzaakt door ziekten van hart en bloedvaten. Het is daarom gewenst in een vroeg stadium een diagnose te kunnen stellen met het oog op preventieve behandeling.

Vanaf de vinger aan de pols is een steeds verder verfijnde beoordeling van de werking en de toestand van het hart mogelijk geworden door de ontwikkeling van een reeks hulpmiddelen zoals de stethoscoop, de röntgendiagnostiek, de elektrocardiografie, de fonocardiografie en het opnemen van de bloeddruk.

Bij de elektrocardiografie wordt tussen twee elektroden die op de huid van de borstkas kunnen zijn aangebracht, het elektrisch spanningsverschil gemeten, zichtbaar gemaakt en vastgelegd, dat de spierwerking van het hart veroorzaakt. In het elektrocardiogram (e.c.g.), waarin de spanning tegen de tijd wordt uitgezet (zie fig. 1), kan de cardioloog onder meer een aanwijzing vinden voor de kwaliteit van de bloedvoorziening van de hartspier. Het is gewenst dat dit e.c.g. wordt opgenomen, terwijl de proefpersoon een flinke dosis spierarbeid verricht.



Figuur 1

Voor het meten van het lichamelijke prestatievermogen wordt over het algemeen een ergometer gebruikt, tot nu toe meestal een fietsergometer (zie fig. 2). Bij het werken op deze ergometer wordt de belasting van de proefpersoon wat betreft de grootte van de remkracht geleidelijk opgevoerd, het fietstempo wordt voorgescreven. De fietser moet namelijk de uitslag van een wijzerinstrument dat hij voor zich op het stuur ziet, tussen bepaalde grenzen houden. Bij de proef kan een uitwendig vermogen tot ongeveer 200 Watt worden gevraagd.

Met de fietsergometer is het mogelijk in de tijd een

bruikbare vergelijking te maken tussen e.c.g.'s van een zelfde persoon. (Normering is echter bezwaarlijk, omdat het energetische rendement sterk afhangt van de mate van geoefendheid. Onder rendement wordt hier verstaan de verhouding tussen de opgelegde uitwendige belasting en de hartwerking, die de bruto-prestatie van het lichaam weerspiegelt). Brommer en auto hebben echter het dagelijks gebruik van de fiets verteruggedrongen, en daarmee de algemene bruikbaarheid van de fietsergometer verkleind.

## Het idee

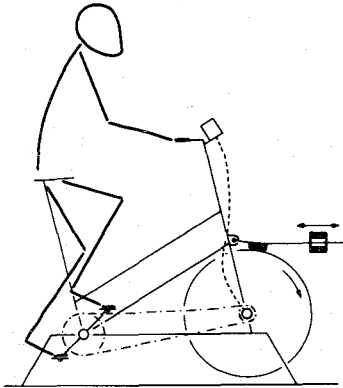
De in de inleiding genoemde sterfte is aanleiding geweest voor de overweging bepaalde groepen van de bevolking door middel van een inspanningselektrocardiogram te onderzoeken op vroege verschijnselen van ischaemische hartziekten. (Ischaemie = toestand van te geringe bloedtoevoer). Voor het beoordelen van de grote aantallen e.c.g.'s die een dergelijk onderzoek zou gaan opleveren, was inschakeling van de computer gewenst. Bij de ontwikkeling van deze computer-analyse bleek de behoefte aan een ergometer die de hierboven genoemde bezwaren niet had.

Dr. F.H. Bonjer van de Gezondheidsorganisatie T.N.O. heeft als vorm van lichamelijke inspanning waarvoor iedereen een redelijke mate van geoefendheid bezit en die bovendien een voldoende hoge belasting mogelijk maakt, het traplopen voorgesteld. Het voor de hand liggende idee een lopende band te kiezen (zie fig. 3) werd afgewezen, omdat bij grote hellingshoeken de schuine voetstand als zeer hinderlijk wordt ervaren. Hij kreeg de gedachte dat het ideale instrument zou moeten bestaan uit een roltrap met dalende treden, waarbij zowel de hellingshoek als de daalsnelheid tijdens de proef traploos te regelen zou moeten zijn. Het is niet bekend of voor dit doel ergens ter wereld een dergelijk apparaat is ontwikkeld. Het was zelfs de vraag of het idee uitvoerbaar was, met name voor wat betreft de variabele hellingshoek.

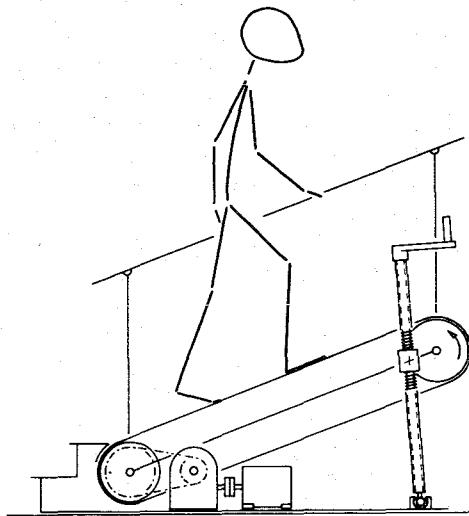
Via de toenmalige voorzitter van de Nederlandse Vereniging voor Ergonomie, ir. J.A. van Berne, oud-voorzitter van de Bedrijfsmechanisatiekern van de N.V. Philips, kwam begin 1970 het contact tot stand tussen dr. Bonjer en prof.ir. J. Erkelens, hoogleraar in de Bedrijfsmechanisatie in de afdeling Werktuigbouwkunde van de Technische Hogeschool Eindhoven, die er een interessante constructieve opgave in zag voor zijn hoofdvakstudenten.

In fig. 4 is de schets van dr. Bonjer afgebeeld, waarmee samen met de hierna te noemen randvoorwaarden het idee aan de T.H. werd overgedragen. De loper loopt een dalende roltrap op met een snelheid die even

\* Ing. H.A. Bulten (43) is technisch hoofdambtenaar in de vakgroep Ontwerpen, Bedrijfsmechanisatie, Mechanismen van de afdeling der Werktuigbouwkunde.



*Figuur 2*



*Figuur 3*

groot maar tegengesteld is aan die van de trap. De romp van de looper staat dus nagenoeg stil ten opzichte van de aarde, waardoor het signaal voor de cardiograaf met een directe aansluiting kan worden verkregen en de proefleider in staat is de looper voortdurend van dichtbij gade te slaan.

### Ontwerpvoorwaarden

In de verzameling voorwaarden waaraan een produkt moet voldoen, is het bruikbaar gebleken een onderscheid te maken in 'vaste eisen', 'variabele eisen' en 'wensen'. Voor het ontwerp van de ergometer houdt dit de volgende indeling in:

#### *Vaste eisen:*

1. Snelheid van de treden: continu regelbaar 0-2 m per sec;
2. Hellingshoek: continu regelbaar 0-30°;
3. Aandrijving: elektromotoren;
4. Voeding: lichtnet, randaarde;
5. Noodstopvoorziening.

#### *Variabele eisen:*

1. Breedte: max. 80 cm;
2. Lengte: moet passen in een normale beddenlift;
3. Hantering: moet verrolbaar en zwenkbaar zijn; moet waterpas en onbeweeglijk kunnen worden opgesteld;
4. Optree en aantree bij de maximale helling volgens de bouwkunde-traditie.

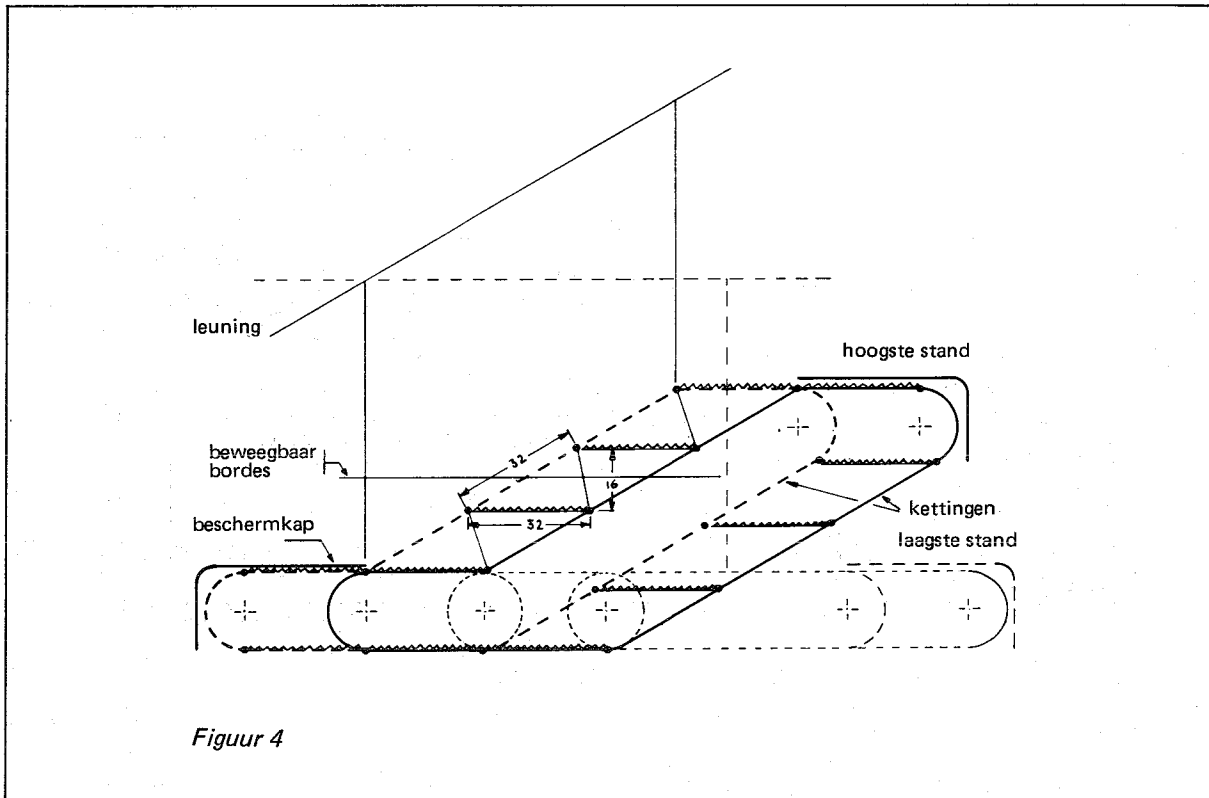
#### *Wensen:*

1. Laag geluidsniveau;
2. Bordes rondom de looper;
3. Laag gewicht.

Een deel van de variabele eisen en wensen vloeit voort uit het te verwachten gebruik. Het apparaat zal namelijk in een bestelwagen naar bijvoorbeeld het gebouw van een bedrijfsgeneeskundige dienst moeten kunnen worden vervoerd, om daar te worden opgesteld.

### Werkwijze

Het ontwerpen als doelgerichte actie om vanuit een vraag-naar-ervulling-van-een-bepaalde-behoefte te komen tot een industrieel produkt met een aantrekkelijke prijs, is een nog tamelijk jonge bezigheid. Een meer fundamenteel onderzoek op het gebied van ontwerpsystematiek en creativiteit is pas de laatste decenia gestart, zodat van een afgeronde theorie op die



Figuur 4

gebieden nog geen sprake is. Wel wordt in het onderwijs in toenemende mate gelegenheid geboden kennis te nemen van de huidige resultaten van dit onderzoek. Bij de oplossing van het ontwerpprobleem 'De roltrapergometer' is volgens een hieronder gegeven schema gewerkt. De verschillende fasen van uitvoering zijn afzonderlijk toegelicht om de aard van het werk te verklaren.

**Schema:**

1. Formuleren van de opdracht;
2. Onderscheiden van deelfuncties;
3. Aangeven van reeksen oplossingen voor de deelfuncties en de bruikbare combinaties daarvan;
4. Kiezen van de meest geschikte combinatie;
5. Onderzoek van kritische punten;
6. Uitwerken;
7. Vervaardigen.

**Toelichting**

Ad 1. Het formuleren van de opdracht gebeurt meestal door de medewerkers van de groep. Na overleg met de student en met een eventuele opdrachtgever ontstaat dan een globale afbakening.

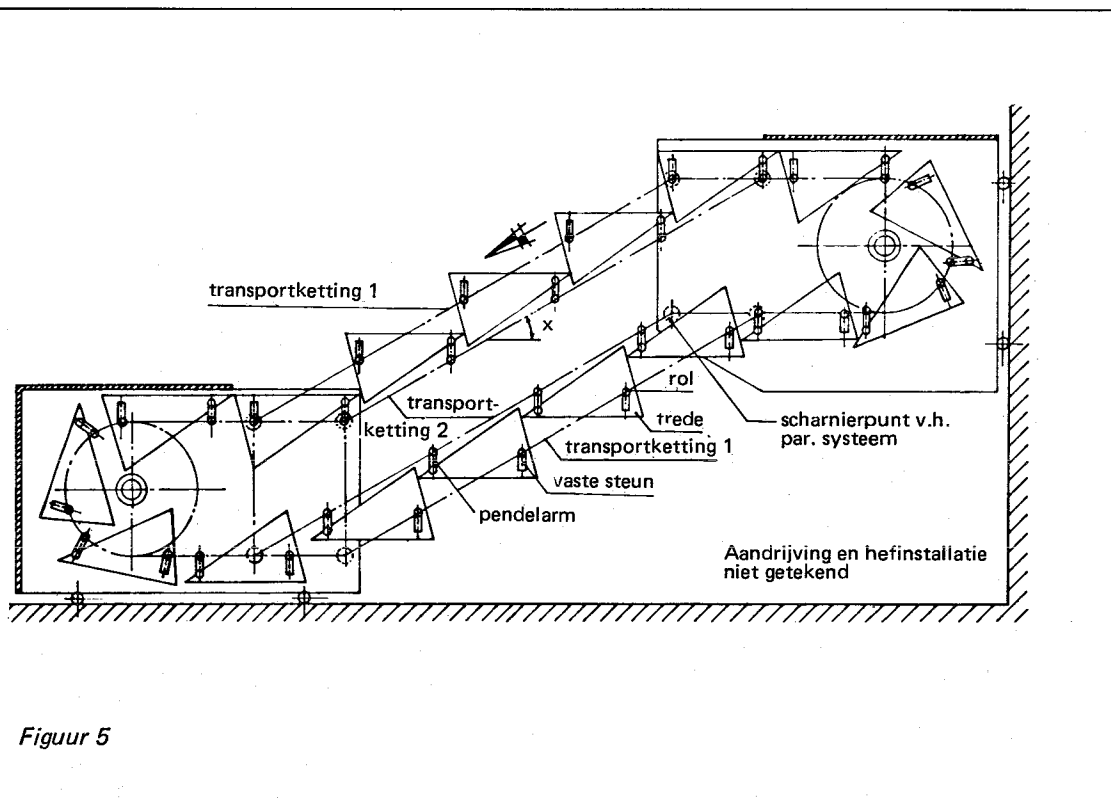
Ad 2. In dit deel van het werk analyseert de student: hij ontleedt het probleem, een apparaat of een product, en bestudeert bestaande oplossingen van overeenkomstige vraagstukken.

Ad 3. Bij het ontwerpen bestaat vaak de neiging om de eerste of tweede inval als de oplossing bij uitnemendheid te beschouwen. In deze fase van het werk oefent de student zich daarom, liefst alle wezenlijk verschillende oplossingen van de deelproblemen te verzamelen en vervolgens te onderzoeken welke combinaties daarvan passen in het raam van de opdracht.

Ad 4. Als de keuze uit deze oplossingen een probleem vormt, worden de alternatieven beoordeeld d.m.v. een puntenwaardering voor een aantal facetten.

Ad 5. De eisen die aan een ontwerp ten grondslag liggen, kunnen door hun onderlinge samenhang soms onverenigbaar zijn. De strijdigheid van bepaalde eisen wordt pas dan aanvaard, wanneer de fysische onmogelijkheid kan worden aangewezen of bijvoorbeeld technologische problemen niet of onvoldoende snel kunnen worden opgelost.

Waar de ontwerper dergelijke moeilijkheden verwacht, zal hij door literatuurstudie, berekening of experiment



Figuur 5

in een vroeg stadium duidelijkheid moeten scheppen.

Ad 6. Zodra vaststaat wat er moet worden gemaakt en hoe de vervaardiging globaal zal verlopen, kan met het uitwerken van het concept worden begonnen. In de vorm van een tekeningenpakket wordt een voorschrift voor de vervaardiging opgesteld, waarin zowel uitdrukkelijke eisen ten aanzien van functie, gebruik, prijs en onderhoud, als eisen die voortvloeien uit voorschriften terzake van normalisatie en veiligheid, zijn vervat.

Ad 7. De vervaardiging brengt te voorschijn, maakt tastbaar waarover tot op dat moment is gepraat en nagedacht. Met vakmanschap en werkplaatsuitrusting wordt informatie - de tekening - toegevoegd aan materiaal. Hierdoor ontstaan de onderdelen die door montage het eindprodukt opleveren. Bij de beproeving wordt ten slotte nagegaan of het voortbrengsel aan de eisen voldoet.

### Deelprojecten

Achtereenvolgens hebben verscheidene studenten aan het project gewerkt. Bij een aantal van hen betrof dit

de I<sub>1</sub>-opdracht (een opdracht van ongeveer 400 uren), terwijl één student zijn I<sub>2</sub>-opdracht (het afstudeerwerk) in het project heeft gevonden. De deelprojecten zijn steeds zo gekozen dat een opdracht paste in het geheel en als zodanig kon worden voltooid.

Een korte beschrijving van de deelprojecten:

De student Frijs heeft in een I<sub>1</sub>-opdracht, na analyse van het probleem, kinematische alternatieven ontwikkeld, ideeën voor mechanismen waarmee de belangrijkste deelfuncties: bewegende treden en instelbare helling konden worden bereikt. (Verslag: februari 1971)

De student Bols heeft in een I<sub>1</sub>-opdracht gekozen uit de voorstellen van Frijs en een kinematisch verantwoord ontwerp gemaakt van een roltrapergometer met aan iedere zijkant twee kettingen. (Verslag: juni 1972) Hij heeft als I<sub>2</sub>-opdracht zijn eigen kinematische ontwerp constructief uitgewerkt en de vervaardiging ervan begeleid. Dit werk werd gesubsidieerd door de Nederlandse Hartstichting. (Verslag: maart 1973)

De student Van Manen heeft als I<sub>1</sub>-werk een proefopstelling gemaakt en heeft gemeten hoeveel wrijvingsver-

lies bij een zeer laag belaste rollenketting optreedt. (Verslag: november 1972)

De student Vermeulen heeft als I<sub>1</sub>-werk de inbedrijfstelling van het apparaat uitgevoerd. (Verslag: april 1974)

Door de student Van Duren is als I<sub>1</sub>-werk een studie gemaakt van de loopbeweging bij het gaan op de trap i.v.m. de beoordeling van de bruikbaarheid van een twee-pedaalergometer, waarvoor hij een schets-ontwerp heeft gemaakt.

### Toelichting op deelprojecten

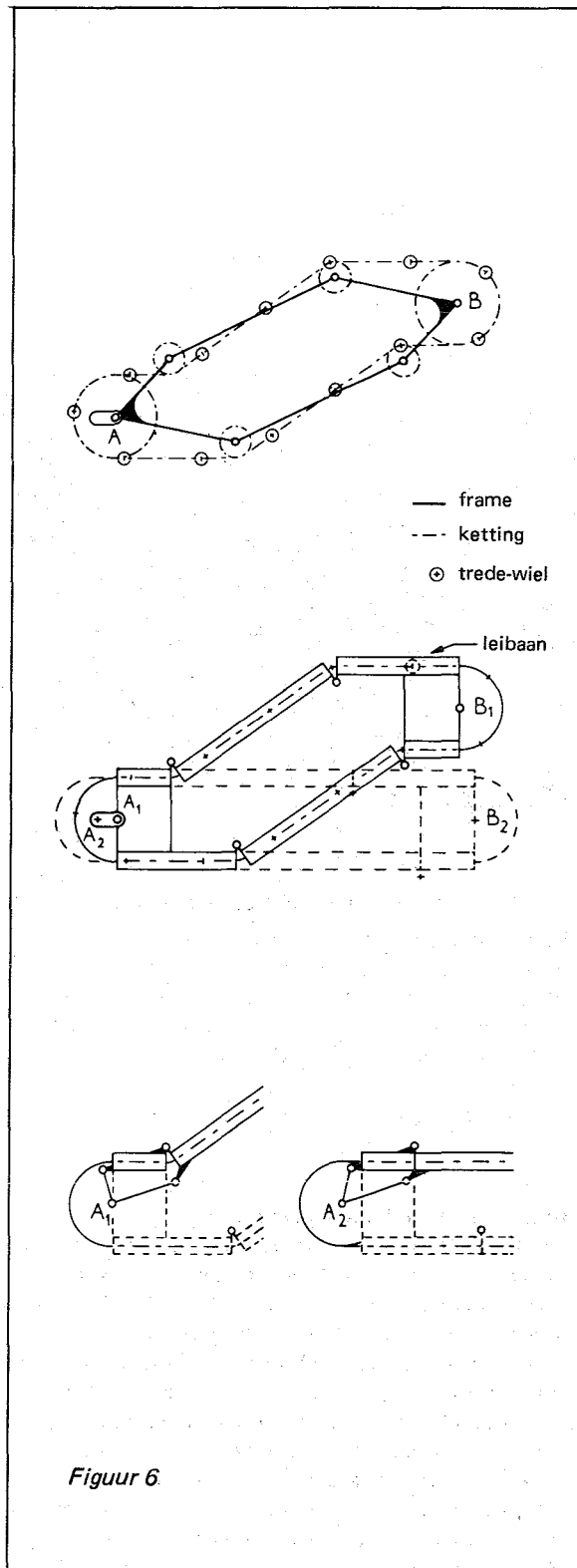
#### H.A.M. Frijs

Naar de gekozen wijze van belasten, het laten beklimmen van een dalende roltrap, heeft hij zich bepaald bij mechanismen waarmee de looper een voor het oog ononderbroken stroom traptreden kon worden aangeboden, waarbij tevens helling en snelheid continu moesten kunnen worden gevarieerd. Daarbij kon een onderscheid worden gemaakt in systemen waarbij de treden of voortdurend aan een zelfde eenparig bewegend transportorgaan waren verbonden, of met verhoogde snelheid naar de bovenzijde van het looptraject werden teruggevoerd. Verder moest worden onderzocht of er twee, drie of vier transportkettingen nodig waren voor het transport van de treden. In *fig. 5* is het Frijsvoorstel afgebeeld, dat door de student Bols voor uitwerking is gekozen.

#### J.J. Bols

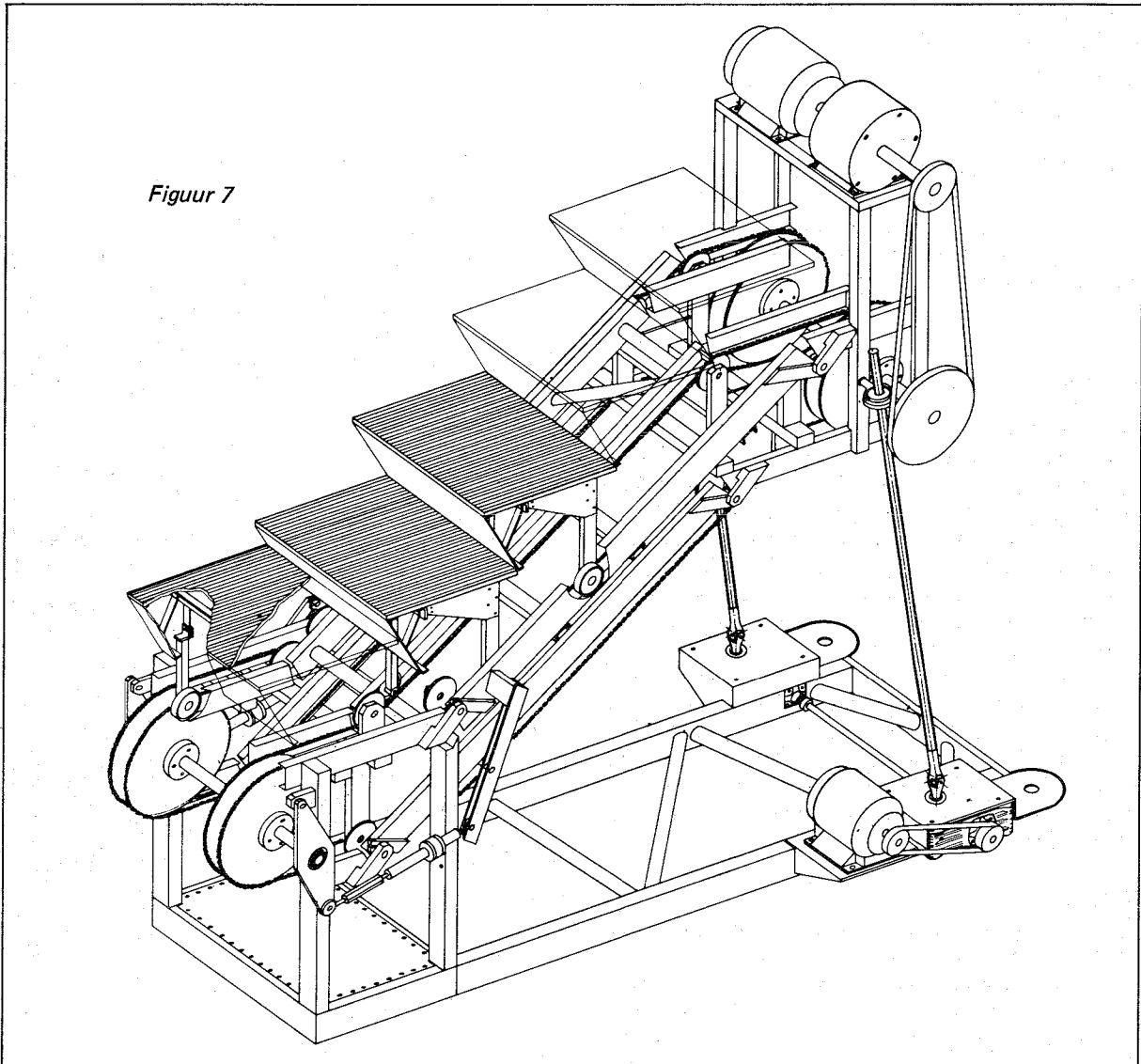
Op grond van de overweging dat het apparaat eenvoudig te bedienen en eenvoudig te onderhouden moest zijn, en dat het veilig moest zijn voor de gebruikers, heeft hij gekozen voor een constructie waarbij de treden aan eenparig omlopende kettingen zijn verbonden. Bij de afstemming van de lengte van de roltrapergometer op de maten van een normale beddenliftkooi, bleek een norm voor deze kooien niet te bestaan, wat des te bezwaarlijker was, omdat het te ontwerpen apparaat wat langer zou moeten worden dan een ziekenhuisbed.

De instelbaarheid van de hellingshoek met behoud van de horizontale stand van het loopvlak der treden is bereikt door gebruik te maken van de reeds door dr. Bonjer aangeduide parallelogrammen. Aangezien de ketting bij de scharnierpunten van de parallelogrammen over een kettingwiel moet worden geleid, betekent veranderlijkheid van de hellingshoek de noodzaak van compensatie van de veranderlijkheid van de omspannen hoek bij de vier deelnemende leidwielen (zie *fig. 6*).



Figuur 6.

Figuur 7



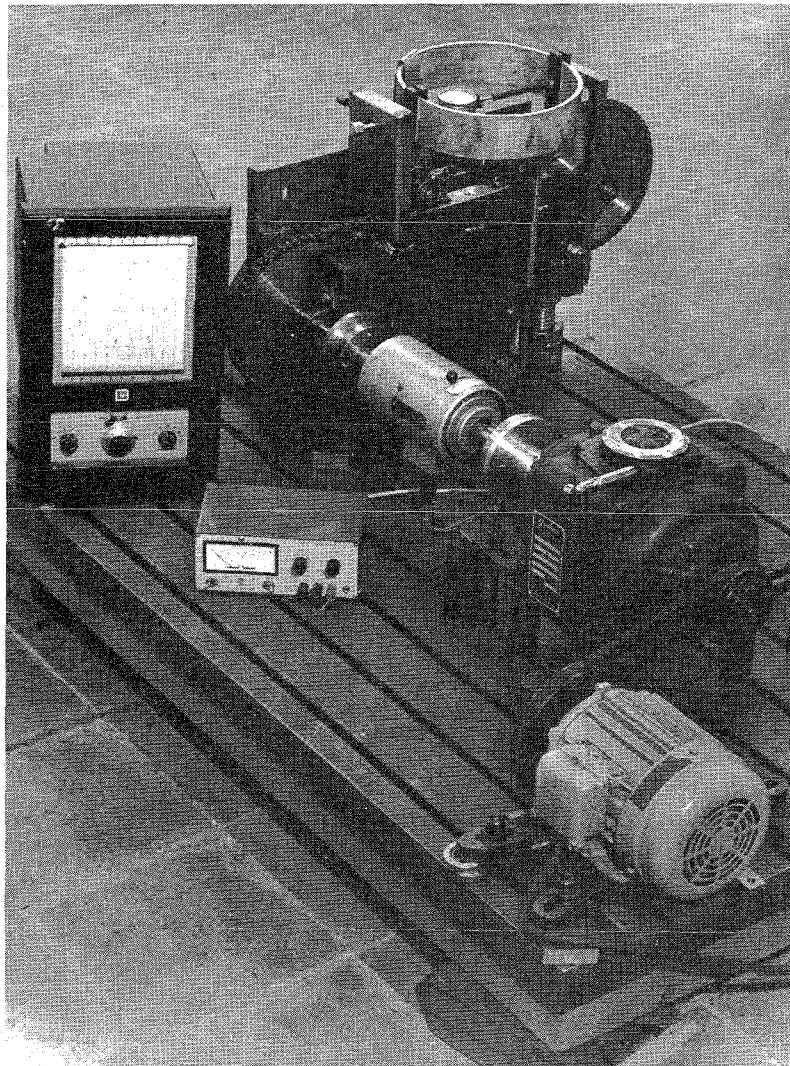
Een andere moeilijkheid waarvoor een oplossing moest worden gevonden, kwam voort uit de eisen voor veiligheid. Bij een roltrap gaan de treden beneden en boven over in een horizontale beweging, om het op- en afstappen mogelijk te maken. De spleet tussen twee opeenvolgende treden blijft daarbij zo klein, dat geen klemgevaar ontstaat. Bij de ergometer is de hellingshoek variabel, wat een wezenlijk andere relatieve beweging van de treden inhoudt. De combinatie van de meetkundige voorwaarden leverde een onverwacht lastig probleem op. In het eindstudie-project is de constructieve uitwerking aangepakt. Het kinematisch verantwoorde 1<sub>1</sub>-ontwerp moest nu van maten worden

voorzien om vervaardiging mogelijk te maken (zie fig.7). Er moest een keuze van vertragingkasten en motoren worden gemaakt, en in een later stadium begeleidde de student de assemblage van de buiten de T.H. gemaakte onderdelen.

*R.O. van Manen*

Het werk van deze student, (het bepalen van het wrijvingsverlies bij een laag belaste rollenketting), diende om informatie te verschaffen ten behoeve van de dimensionering van de aandrijving (zie fig. 8). Om het signaal van de cardiograaf zo min mogelijk te vervormen, was een minimum voor het geïnstalleerde vermo-

*Figuur 8*



gen van de trapaandrijving gewenst. De vraag was nu, of er bij een aanvaardbare voorspanning in de vier parallel-werkende kettingen voldoende energie-dissipatie in de aandrijving zou zijn, opdat het mechanisme bij de maximale helling en belast met de zwaarst toegestane proefpersoon, nog zelfremmend zou zijn.

*J.A. Vermeulen*

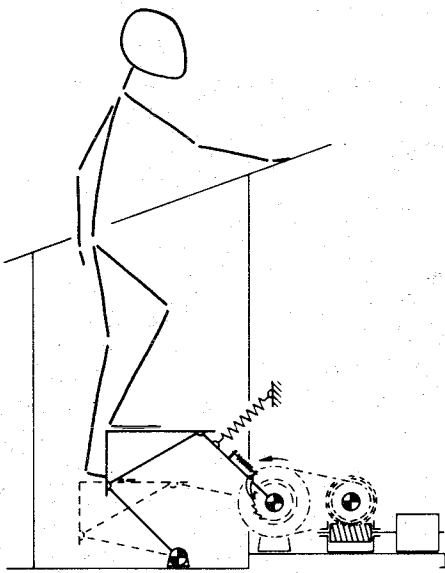
Het gemonteerde apparaat is in zijn werking gecontroleerd, waarbij een aantal onvolkomenheden is verbeterd. Zo bleek het aanloopkoppel van de elektromotor waarmee de traphelling werd geregeld, nèt niet toereikend om de belaste trap te kunnen tillen. Een zwaar-

dere motor zou leiden tot overschrijden van het toegestane maximum voor de breedte (passage voor een deur). Het balanceren van een deel van het trapgewicht door middel van veren had door de beperkte ruimte hinderlijk grote lagerkrachten tot gevolg. Een eenvoudige oplossing was het toevoegen van een z.g. aanloopcondensator aan de elektromotor. De grootte ervan is experimenteel bepaald.

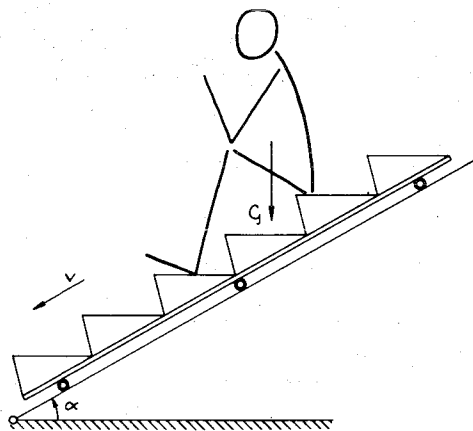
*G.H. van Duren*

Uit het verwachte periodieke gebruik van de roltrapergometer in bedrijven en medische centra, was de behoefte aan liefst kleine afmetingen en een laag ge-





Figuur 9



Figuur 10

wicht voortgekomen. Toen bleek dat om het eisenpakket te kunnen verwezenlijken de constructie overal de grenzen van het maximaal toelaatbare ging raken, werd de vindingrijkheid opnieuw geprikkeld. Vanuit de groep is toen het idee geopperd een ergometer met slechts twee pedalen te maken. De 'loper' zou afwisselend de pedalen neerdrücken, die een voorgeschreven daalsnelheid hadden, omdat ze via een hefboom en een vrijlooppkoppeling verbonden waren gedacht aan de wielas van een zelfremmende wormkast (zie fig. 9). Aangezien in de pas-op-de-plaats het trappenlopen onvoldoende werd benaderd, zou de constructeur de twee treden beweegbaar moeten maken langs een in helling verstelbare baan. In de tijd dat de loper één trede zou neerdrücken, moest de andere naar de bovenstand worden gebracht. Om er achter te komen hoe de trede naar boven kon bewegen zonder de zwevende voet te hinderen, heeft de student de voortbeweging bij het trappenlopen bestudeerd. Daarbij kon gebruik worden gemaakt van de inmiddels gereedgekomen roltrapergometer. Met een vast opgestelde camera is het lopen op de trap bij verschillende waarden van de hellingshoek gefilmd. De gewenste gegevens zijn daarna in het filmbeeld opgemeten door middel van een speciale projector die geschikt is voor enkelbeeldprojectie. Hoewel de student de technische uitvoerbaarheid van het idee heeft aangetoond, is voor het vaststellen van de bruikbaarheid verdere studie gewenst.

## Hindernissen

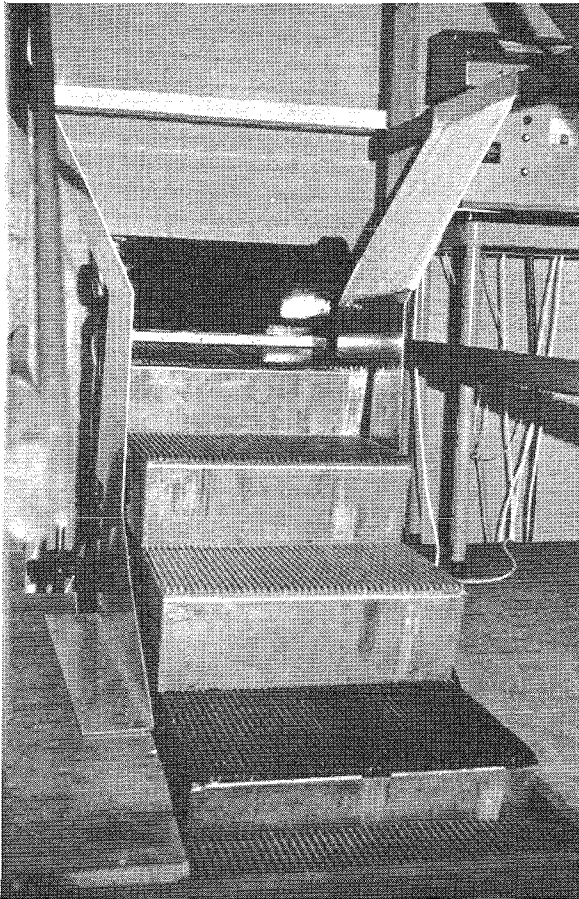
### Principe

In het prille begin van het project werd de vraag actueel of de loper op de roltrapergometer eigenlijk wel arbeid verrichtte, anders dan de inwendige arbeid van het lichaam ten gevolge van de uitgevoerde beweging. Nu is het opmerkelijk dat van de vele mensen die in de loop van de tijd kennis maakten met het apparaat, steeds opnieuw sommigen bezwaar maakten tegen het fysisch principe. De verklaring dat de proefpersoon een uitwendig vermogen van  $E = G \times V \times \sin \alpha$  Watt nodig heeft om bij het oplopen van de eenparig dalende trap zijn plaats in het zwaartekrachtsveld te behouden, wordt met fig. 10 verduidelijkt. Als de proefpersoon zich namelijk niet beweegt ten opzichte van de dalende trap, neemt zijn potentiële energie per tijdseenheid af met het bovengenoemde bedrag.

### Metten

Hiervoor is toegelicht dat het uitwendige vermogen ( $E$ ) recht-evenredig is met het gewicht van de persoon ( $G$ ), de snelheid van de trap ( $v$ ) en de maat van de hel-





*Figuur 12*

tekeningenpakket, omgezet in materiaal. De toegestane maatafwijkingen vormen de grenzen waarbinnen de uitvoerbaarheid van de opeenvolgende bewerkingen moet zijn gewaarborgd en waardoor samenbouw en werking mogelijk moeten worden.

Voor de bouw van het apparaat is waar mogelijk gebruik gemaakt van handelsartikelen, zoals: kettingen, bouten, moeren, motoren, tandwielkasten. Daarnaast moesten op de montageplaats die onderdelen worden aangevoerd, welke door de student-constructeur waren ontworpen. Ongeveer 40 verschillende, waarvan een achtstal in 52-voud; in totaal ongeveer 500 onderdelen. De aanmaak geschiedde voor een deel bij de Centrale

Technische Dienst van de T.H. De onderdelen van het frame en de treden zijn bij een particulier bedrijf vervaardigd (*zie fig. 11*).

In iedere fase van dit soort werk worden fouten gemaakt en komen fouten aan het licht. Samenwerking is dan ook een onmisbare factor om het effect van een fout - hinder, stagnatie, mislukking - in te perken.

### **Gebruik van de roltrapergometer**

Na een eerste meting, waarbij de beïnvloeding van de cardiograaf door de elektromotoren en de schakelaars verwaarloosbaar bleek, is het apparaat juni 1974 voor proefnemingen opgesteld in het Diaconessenhuis te Eindhoven (*zie fig. 12*).

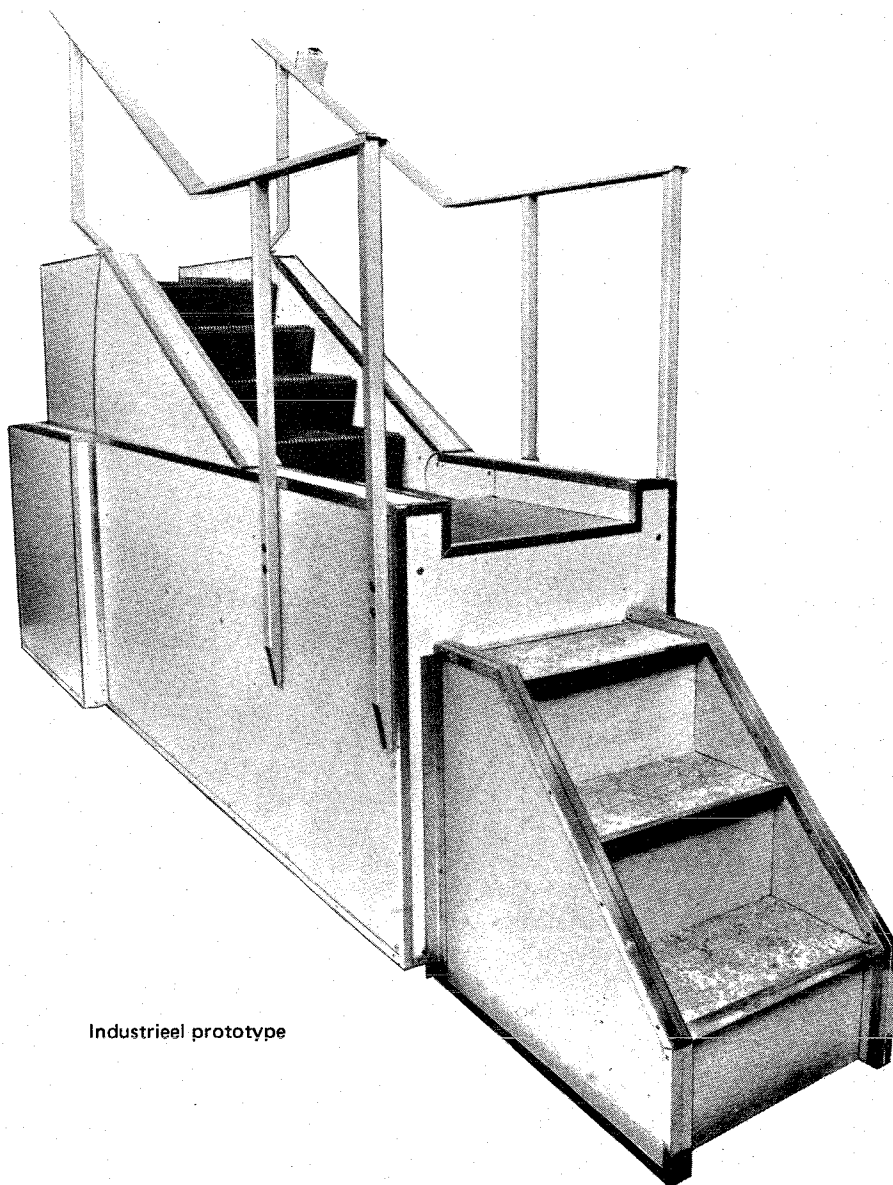
Dr. J.J.R. Houtzagers, als internist verbonden aan dit ziekenhuis, heeft in samenwerking met dr. Bonjer een uitvoerig onderzoek gedaan naar de betekenis van de roltrapergometer voor het hartonderzoek. De resultaten zijn tot dusver een bevestiging van de oorspronkelijke verwachting. Door vergelijkende metingen is namelijk vastgesteld dat de totale belasting van een proefpersoon op de roltrapergometer nauwkeuriger kan worden voorgeschreven dan bij de fietsergometer. Naast de betekenis van de roltrapergometer bij de opsporing van afwijkingen aan hart en bloedvaten, kan de trap worden gebruikt voor verschillende revalidatiedoelinden. Bij voorbeeld om herstellende hartpatiënten te laten oefenen, waarbij het voordeel van de roltrapergometer ten opzichte van iedere andere vorm van inspanning is gelegen in de nauwkeurige doseerbaarheid van de te leveren arbeid, de grotere veiligheid en betere begeleidingsmogelijkheden.

In de sector van de bewegingstherapie kan het apparaat als vlakke baan of als trap worden gebruikt voor loopoefeningen. De stilstaande leuningen kunnen daarbij goede diensten bewijzen, terwijl bovendien op tamelijk eenvoudige wijze verminderd lichaamsgewicht zou kunnen worden gesimuleerd.

De toepassing van een roltrap met instelbare hoogte zou betekenis kunnen hebben voor gebruik op vliegvelden en op kaden waar getijde-invalde merkbaar is.

### **Industriële vervaardiging**

Inmiddels heeft een Nederlands bedrijf belangstelling getoond voor de vervaardiging van de roltrapergometer als industrieel produkt. Na aanvraag van een octrooi ter bescherming van de investering, is een prototype ontwikkeld waarin de bij de proefnemingen opgedane ervaring zorgvuldig is verwerkt. In het vroege voorjaar van 1976 is het nieuwe produkt aan de medische wereld gepresenteerd (*zie fig. 13*).



Industrieel prototype

*Figuur 13*