

# **CONTRIBUȚII PRIVIND AUTOMATIZAREA PROCESULUI DE MANIPULARE A CĂRȚILOR ÎN BIBLIOTECI**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea "Politehnica" din Timișoara  
în domeniul INGINERIE MECANICĂ  
de către

**Ing. Andrei Comșa**

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Inocențiu MANIU

Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Doru TALABĂ  
dr.ing. Niels MODLER  
conf.univ.dr.ing. Erwin-Christian LOVASZ

Ziua susținerii tezei: 01.02.2013

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Automatică          | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie              | 8. Inginerie Industrială                    |
| 3. Energetică          | 9. Inginerie Mecanică                       |
| 4. Ingineria Chimică   | 10. Știința Calculatoarelor                 |
| 5. Inginerie Civilă    | 11. Știința și Ingineria Materialelor       |
| 6. Inginerie Electrică |   |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2012

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Mecatronică al Universității „Politehnica” din Timișoara.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat d-lui prof.dr.ing. Inocențiu Maniu pentru sfaturile și suportul continuu și nemijlocit acordat în toate problemele apărute pe parcursul elaborării tezei, asigurându-mi condiții optime pentru desfășurarea activității de cercetare.

Doresc să mulțumesc d-lui prof. ing. habil. dr. h.c. Werner Hufenbach pentru acceptul de a realiza un stagiul de cercetare în străinătate la *Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik*, din cadrul Universității Tehnice Dresda, Germania și d-lui dr. ing. Niels Modler pentru suportul și sprijinul acordat în utilizarea echipamentelor necesare din dotarea institutului.

Adresez mulțumiri comisiei de îndrumare a activității doctorale formată din prof.dr.ing. Arjana Davidescu, conf.dr.ing. Corina Mihaela Gruescu și ș.l.dr.ing. Valentin Ciupe pentru sfaturile și ideile care au contribuit la finalizarea tezei.

Mulțumesc d-lui prof.dr.ing. Dan Perju, d-lui conf.dr.ing. Erwin-Christian Lovasz, d-lui conf.dr.ing. Iosif Cărbăș și d-lui ș.l. Dan Mărgineanu pentru întreg suportul oferit pe parcursul stagiului de doctorat și a elaborării tezei.

Mulțumesc de asemenea d-lor ing. Marco Zichner, ing. Jens Friedrich și ing. Tony Weber pentru sprijinul acordat în proiectarea, construcția dispozitivului de prehensiune și a măsurătorilor experimentale ce s-au efectuat asupra acestuia.

Îmi exprim întreaga considerație față de membrii comisiei de doctorat, care au răspuns solicitării de a face parte din comisia de analiză a tezei, pentru observațiile făcute și pentru timpul acordat analizei lucrării.

Aș dori să mulțumesc tuturor cadrelor didactice din cadrul Departamentului de Mecatronică care mi-au asigurat un cadru adecvat pentru cercetare și au contribuit prin sfaturi, indicații și idei utile pentru finalizarea tezei.

De asemenea, țin să mulțumesc și colectivului managerial al Proiectului de Burse doctorale nr. 88/1.5/S/50783.

Nu în ultimul rând aș dori să mulțumesc familiei mele pentru sprijinul și răbdarea acordată în toată perioada de student și doctorand.

Timișoara, 24 ianuarie 2013

drd.ing Andrei Comșa

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijin parțial din grantul strategic 88/1.5/S/50783, cofinanțat din Fondul Social European "Investește în oameni", în cadrul Programului Operațional Sectorial Dezvoltare Resurse Umane 2007 – 2013.

Comșa, Andrei

**Contribuții privind automatizarea procesului de manipulare a cărților în biblioteci**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 130, Editura Politehnica, 2013, 120 pagini, 73 figuri, 17 tabele, 2 anexe.

ISSN: 1842-4937

ISBN: 978-606-554-624-0

Cuvinte cheie:

Automatizarea bibliotecilor, roboți de servicii, dispozitive de prehensiune, manipolatoare seriale, manipulare automată, conexiuni elastice.

Rezumat,

Teza propune găsirea unei soluții constructive în vederea dezvoltării unei structuri robotice pentru manipulare automată a cărților din rafturile unei biblioteci.

S-a impus un spațiu de lucru paralelipipedic deservit de o structură serială formată din cuple cinematice de translație căruia îi este atașată un dispozitiv de prehensiune cu o construcție specială.

Se prezintă proiectarea CAD și realizarea modelului experimental al reciprocatorului și al dispozitivului de prehensiune care conține în mecanismul de acționare a bacului mobil o conexiune elastică fabricată din material compozit.

Manipulatorul este proiectat astfel încât să permită extragerea, introducerea, manipularea cărților din/în raft în spațiul de lucru impus și așezarea acestora într-un spațiu de depozitare.

Pe parcursul fazelor de manipulare ale cărților, s-au obținut determinări experimentale corespunzătoare, justificând simbioza teoretică și aplicativă a tezei de doctorat.

# Cuprins

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Cuvânt înainte .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Cuprins .....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>1 Introducere .....</b>   | <b>7</b>  |
| 1.1    Prezentarea, actualitatea și justificarea temei .....   | 7         |
| 1.2    Apartenența temei la proiectul european FP7 - "thinkMOTION" .....   | 8         |
| 1.3    Structura tezei.....  | 10        |
| <b>2 Stadiul actual al cercetărilor cu privire la automatizarea proceselor de manipulare a cărților în biblioteci.....</b> | <b>11</b> |
| 2.1    De la biblioteca clasică la bibliotecile automatizate .....   | 12        |
| 2.2    Sisteme robotice pentru aplicații de recunoaștere, extragere și manipulare a cărților în biblioteci .....           | 14        |
| 2.3    Metode de recunoaștere a cărților în biblioteci.....  | 17        |
| 2.4    Extragerea și manipularea cărților.....   | 18        |
| 2.5    Deplasarea și navigarea roboților în spațiul de lucru deservit.....   | 20        |
| 2.6    Concluzii.....  | 21        |
| <b>3 Obiectivele tezei de doctorat .....</b>   | <b>23</b> |
| <b>4 Dezvoltarea unei structuri de reciprocator .....</b>  | <b>25</b> |
| 4.1    Soluții constructive .....  | 26        |
| 4.1.1    Structura dubluportală — schemă cinematică și model CAD .....   | 26        |
| 4.1.2    Structura mixtă portal - consolă — schemă cinematică și model CAD..   | 28        |
| 4.2    Alegerea soluției constructive pentru realizarea manipulatorului.....   | 29        |
| 4.3    Caracteristicile tehnico-funcționale ale soluției constructive alese .....  | 30        |
| 4.3.1    Structura mecanică .....  | 31        |
| 4.3.2    Axele de translație .....   | 31        |
| 4.3.3    Motoarele reciprocatorului.....   | 33        |
| 4.3.4    Unitatea de comandă și control.....   | 34        |
| 4.4    Modelul experimental al reciprocatorului .....  | 36        |
| 4.5    Concluzii.....  | 37        |
| <b>5 Dezvoltarea unui dispozitiv de prehensiune destinat manipulării cărților .....</b>                                    | <b>39</b> |
| 5.1    Soluții constructive ale dispozitivului de prehensiune.....   | 39        |

## 6 Cuprins

---

|                           |  |            |
|---------------------------|--|------------|
| 5.2                       | Sinteza structurală a mecanismelor cu conexiuni elastice .....   | 42         |
| 5.2.1                     | Noțiuni de bază și definiții .....   | 42         |
| 5.2.2                     | Conexiuni elastice în structura mecanismelor.....  | 46         |
| 5.2.3                     | Sistematizarea structurală a mecanismelor cu conexiuni elastice .....  | 55         |
| 5.3                       | Analiza cinetostatică a dispozitivului de prehensiune .....  | 60         |
| 5.4                       | Proiectarea dispozitivului de prehensiune – modelul CAD.....   | 64         |
| 5.5                       | Realizarea modelului experimental al dispozitivului de prehensiune .....   | 65         |
| 5.6                       | Studiu comparativ al comportamentului bacului mobil prin analiză<br>experimentală (măsurare digitală prin fotogrammetrie) și în mediu virtual<br>(analiză FEM) ..... | 66         |
| 5.6.1                     | Măsurarea digitală prin fotogrammetrie a bacului mobil al<br>dispozitivului de prehensiune.....  | 66         |
| 5.6.2                     | Analiza stării de deformație a conexiunii elastice de acționare a<br>bacului mobil.....  | 72         |
| 5.7                       | Compararea rezultatelor și confirmarea soluției alese .....  | 93         |
| 5.8                       | Concluzii.....   | 94         |
| <b>6</b>                  | <b>Realizarea prototipului manipulatorului și încercări experimentale<br/>ale acestuia .....</b>   | <b>97</b>  |
| 6.1                       | Determinarea gradului de dezordine a cărților în biblioteci.....   | 97         |
| 6.2                       | Modelul experimental al manipulatorului .....  | 99         |
| 6.3                       | Fazele de manipulare a unei cărți.....   | 99         |
| 6.4                       | Determinarea experimentală a erorii de poziționare pe axa Y .....  | 102        |
| 6.5                       | Concluzii.....   | 103        |
| <b>7</b>                  | <b>Concluzii finale. Contribuții personale. Direcții viitoare de cercetare. 105</b>  |            |
| 7.1                       | Concluzii finale .....   | 105        |
| 7.2                       | Contribuții personale .....  | 106        |
| 7.3                       | Direcții viitoare de cercetare .....   | 107        |
| <b>Anexe</b> .....        |  | <b>109</b> |
| <b>Bibliografie</b> ..... |  | <b>115</b> |

# 1 Introducere

## 1.1 Prezentarea, actualitatea și justificarea temei

Schimbările de mediu socio-culturale din cele mai vechi timpuri au adus multe provocări bibliotecilor, care au avut de înfruntat multe revoluții sociale și istorice. Cea mai mare influență care a schimbat și care v-a schimba modul de lucru în biblioteci este revoluția digitală, prin modul în care sunt definite, organizate și conservate informațiile. Dacă până nu demult bibliotecile conțineau colecții private de texte (cărți, documente, manuscrise), astăzi tendința se îndreaptă către bibliotecile virtuale care conțin informațiile sub formă digitală.

Legătura dinamică dintre bibliotecă și tehnologia informației care este în continuă dezvoltare, impune implementarea de noi funcții și utilizarea de noi echipamente pentru alcătuirea unei infrastructuri solide și viabile (echipamente, interfețe web, etc) capabilă de a media cu alte instituții, rețele, utilizatori, mai exact cu lumea internațională. Bibliotecile moderne conțin materialul tipărit dar și forma electronică a acestora sau permit vizualizarea electronică în timp real a materialului tipărit.

Așa cum invenția tiparului a concentrat funcțiile bibliotecilor pe disponibilizarea informației și nu pe conservarea acesteia, noile tehnologii în informatică, telecomunicații, mecatronică (automatizări, robotică) vor genera transformări importante în structura bibliotecilor punând accent pe conservarea materialului tipărit prin digitizarea acestuia și diseminarea informațiilor.

La ora actuală domeniile de automatizare și cel robotic se află într-un continuu avânt de dezvoltare prin descoperirile permanente la nivel științific cât și printr-o dezvoltare intensă și integrare de noi echipamente și dispozitive tehnologice. Cercetările științifice și domeniul industrial în acest sens sunt foarte avansate de aceea sistemele și procesele de automatizare își extind aplicabilitatea și în cadrul bibliotecilor. De aceea automatizarea este privită în acest moment ca o necesitate și nu ca o opțiune, de către toate bibliotecile. Automatizarea proceselor de bibliotecă (regăsirea și recunoașterea cărților pe rafturi, manipularea automată a cărților în spațiul bibliotecii, scanarea automată a cărților, citirea în timp real a cărților prin scanare) oferă o mulțime de avantaje pentru bibliotecă cât, mai ales, pentru utilizatori deoarece serviciile oferite sunt mult mai prompte și mai adecvate solicitărilor.

Datorită acestor considerente, teza își propune găsirea unei soluții constructive în vederea dezvoltării unui manipulator pentru identificarea și extragerea automată a cărților din bibliotecă cu un raport complexitate/stabilitate corespunzător. Lucrarea urmărește această tendință în scopul dezvoltării unei tehnologii și îmbunătățirea celei existente încercând găsirea unei soluții viabile și inovative pentru realizarea unui sistem robotic destinat manipulării automate a cărților în biblioteci.

Prin tema abordată s-a încercat completarea cunoștințelor actuale prin studii teoretice, dezvoltarea unei structuri de robot serial în scopul automatizării procesului de manipulare a cărților în biblioteci care să aibe un aparat matematic

simplic și robust iar apoi validarea rezultatelor teoretice prin realizarea unui model experimental funcțional.

Cercetările elaborate în cadrul acestei teze au pornit de la ideea stabilirii unui fundament teoretic legate de sistemele robotizate destinate automatizării procesului de manipulare a cărților în biblioteci pe baza cărora s-a stabilit o structură de manipulator serial.

Toate activitățile de nivel teoretic au fost ulterior integrate cu cele de proiectare structurală pentru a realiza un model experimental care să valideze studiile de cercetare efectuate.

Modelul experimental este proiectat în așa fel încât să permită extragerea, introducerea, manipularea cărților din raft în spațiul de lucru propus și de a așeza cărțile într-un punct de deservire utilizând un dispozitiv de prehensiune inovativ.

Lucrarea are și un profund caracter interdisciplinar, acoperind un spectru larg de domenii, începând cu fundamente ale mecanicii clasice, ale informaticii, comanda și controlul sistemelor, electronică și utilizând de altfel aspecte de proiectare, tehnologie, execuție, montaj și cercetări experimentale.

Cercetările din cadrul temei au fost susținute printr-un stagiu de cercetare în *Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik* – ILK din cadrul *Technische Universität Dresden*, Germania (01.04.2011 - 01.12.2011). În urma acestui stagiu, cercetarea științifică s-a concentrat pe automatizarea manipulării cărților în bibliotecă cât și pe utilizarea materialelor termoplastice ranforsate (care reprezintă principala direcție de cercetare a institutului) în construcția unui bac mobil pentru un dispozitiv de prehensiune.

## **1.2 Apartenența temei la proiectul european FP7 - "thinkMOTION"**

Această temă de doctorat a apărut în cadrul Departamentului de Mecatronică a Facultății de Mecanică a Universității „Politehnica” din Timișoara, în cadrul Proiectului European FP7 (Europeana - Seventh Framework Network). O nouă direcție de cercetare a acestui proiect își propune să îmbunătățească accesul liber, utilizarea și diseminarea valorilor științifice vechi în format electronic, conectarea cercetătorilor interesați de literatura de specialitate la o bibliotecă digitală a acestor valori și maximizarea beneficiilor socio-economice a cercetării și dezvoltării în interesul publicului. Această nouă direcție de cercetare s-a materializat la sfârșitul anului 2010 prin proiectul "thinkMOTION". Acest proiect dorește să îmbunătățească cantitativ și calitativ conținutul electronic în domeniul sistemelor mobile mecanice printr-un nou tip de bibliotecă digitală cu acces liber la public. Biblioteca digitală cuprinde cunoștințe tehnice stocate sub forme eterogene ca jurnale, cărți, documente, patente, modele fizice, foi de calcul, desene tehnice, imagini, clipuri video, animații, ș.a.

Cunoștințele tehnice tind să fie ușor neglijate deși acestea constituie o componentă subsidiară culturii europene. "ThinkMOTION" este primul proiect care permite conectarea și publicarea dezvoltărilor tehnologice sub forma eterogenă în onoarea geniilor din nenumărații inventatori, ingineri, cercetători europeni care au accelerat progresul tehnic în medicină, inginerie electrică, civilă, auto, ș.a. Cunoștințele despre teoria mecanismelor și a organelor de mașini care provin din zona europeană sunt dificil de accesat. Cărțile istorice în domeniul ingineriei mecanice au disponibilitate redusă iar colecțiile private sau educaționale ale modelelor fizice sunt de obicei indisponibile pentru publicul larg. Majoritatea



acestor surse de informații conțin material neînregistrat și prin urmare nu se pot regăsi ușor.

În consecință se conturează două motive principale pentru a concepe și a construi o bibliotecă digitală a modelelor mecanice mobile. Primul motiv se referă la existența unui conținut mare în literatura de specialitate din Europa despre modele mecanice mobile. Fiecare națiune are propriul centru de competență de obicei situat în universități sau muzee. De cele mai multe ori conținutul tehnic este accesibil doar la scară națională. Prin urmare conținutul și drepturile pe conținut trebuie să fie colectate în diferite țări din Europa. Al doilea motiv se bazează pe necesitatea existenței vorbitorilor de limbă maternă care au cunoștințe și experiență în sistemele mecanice mobile. Numai cu ajutorul acestor specialiști conținutul multilingv al literaturii de specialitate poate fi exploatat de publicul european larg.

În prezent există câteva proiecte restrânse în domeniul sistemelor mecanice mobile (proiectul KMODDL, proiectul Archimedes). Cele mai multe dintre acestea sunt realizate de universități și publicate de acestea pe paginile proprii de internet.

O provocare pentru proiectul "thinkMOTION" este colectarea conținutului modelelor mecanice precum și a drepturilor de utilizare a acestora într-un mod eficient. Din aceste motive proiectul thinkMOTION poate utiliza experiența librăriei digitale germane DMG-Lib ([www.dmg-lib.org](http://www.dmg-lib.org)) care este cel mai mare proiect cunoscut concentrat pe conținut și utilizatori din Germania. DMG-Lib constituie punctul de plecare al proiectului thinkMOTION, în scopul conectării tuturor activităților europene în domeniul sistemelor mecanice mobile, pentru a evita suprapunerii în digitizarea materialului, pentru a asigura standarde comune (parametrii de digitizare, descriptori metadata), pentru a utiliza instrumente verificate și testate pentru digitizare, procesare și publicare.

Un rezultat anticipat al proiectului constă în sensibilizarea oamenilor în diferite probleme în ceea ce privesc librăriile digitale (drepturi de publicare, vizibilitatea publică a muncii, metode de a realiza contribuții) și de conservare a unei varietăți de conținut tehnic și cultural actual care reflectă moștenirea informațională europeană în domeniul sistemelor mecanice.

Numărul ales pentru parteneri academici în diferite țări din Europa constituie un excelent fundament pentru suportul multilingvismului informațiilor de tip metadata în cel puțin 7 limbi (germană, engleză, italiană, franceză, spaniolă, română, rusă) în conformitate cu cerințele proiectului mamă Europeană. De asemenea partenerii din țările incluse în proiect vor suporta traducerea conținutului necesar din informațiile de tip metadata, în acest fel proiectul Europeană își va împlini unul din obiectivele ce presupune asigurarea vizibilității conținutului pentru utilizatorii europeni.

Prin intermediul portalului web thinkMOTION se completează ultima verigă a lanțului dintre știință, industrie, cunoștințe și educație, consolidând competitivitatea în acest sector mecanic industrial.

ThinkMotion contribuie la recunoașterea importanței strategice pentru dezvoltarea științifică a Europei și pentru dezvoltarea unor modele mecanice viabile cu acces deschis la informația științifică.

### 1.3 Structura tezei

Pentru a sintetiza volumul de informație cuprins în cadrul tezei, prezenta lucrare este structurată pe șapte capitole.

Capitolul 1, „Introducere”, prezintă motivația abordării tematicii alese și structura tezei de doctorat.

Capitolul 2, „Stadiul actual al cercetărilor cu privire la automatizarea proceselor de manipulare a cărților în biblioteci”, prezintă suportul teoretic necesar rezolvării unor probleme de actualitate din domeniul tezei. Se prezintă pe scurt tendințele bibliotecilor moderne, metodele de automatizare a recunoașterii, extragerii și manipularii cărților în biblioteci. Capitolul se concentrează pe o analiză critică ale aplicațiilor de automatizare în biblioteci, cu evidențierea principalelor limitări și cerințe de viitor.

Capitolul 3, „Obiectivele tezei de doctorat”, prezintă în detaliu obiectivele tezei și activitățile prevăzute pentru îndeplinirea acestora. Astfel, în conformitate cu obiectivele formulate, în următoarele capitole sunt prezentate contribuțiile personale ce au dus la îndeplinirea acestor obiective.

Capitolul 4, „Dezvoltarea unei structuri de reciprocator” prezintă în detaliu soluția constructivă propusă și modelul experimental realizat al unui reciprocator utilizând cuple cinematice de translație pentru asigurarea deservirii spațiului de lucru util aplicației tezei.”

În urma stagiului de cercetare în străinătate, cercetarea științifică a fost dirijată către ideea de proiectare în scopul reducerii masei (eng.: *lightweight design*) utilizând materiale compozite pentru fabricarea unor componente mecanice ale sistemelor inginerești; următoarele capitole prezentând contribuțiile aduse în vederea dezvoltării unui dispozitiv de prehensiune destinat manipularii cărților.

Capitolul 5 „Dezvoltarea unui dispozitiv de prehensiune destinat manipularii cărților” prezintă în detaliu soluția constructivă a unui dispozitiv de prehensiune paralel destinat manipularii cărților, care utilizează conexiuni elastice (din material compozit) pentru acționarea unuia dintre bacuri. Acest lucru a determinat realizarea unei sinteze structurale a mecanismelor care conțin atât elemente rigide cât și conexiuni elastice, cercetarea fiind direcționată spre proiectarea în scopul reducerii masei (eng.: *lightweight design*) și materializarea unui model experimental al dispozitivului de prehensiune destinat manipularii cărților. De asemenea se prezintă validarea modelului experimental al dispozitivului de prehensiune printr-o analiză comparativă a acestuia utilizând analiza digitală prin fotogrammetrie și analiză cu element finit (FEM).

Capitolul 6 „Realizarea prototipului manipulatorului și încercări experimentale ale acestuia” prezintă modelul experimental propus utilizând reciprocatorul și dispozitivul de prehensiune dezvoltat prezentate în capitolele anterioare. În acest capitol se prezintă structura standului experimental realizat, etapele de manipulare a cărților în interiorul unui raft deservit de manipulator și de așezare a cărților într-un spațiu de depozitare a acestora.

Capitolul 7 prezintă concluziile finale ca rezultat al activității de cercetare, contribuțiile personale ale autorului și direcțiile viitoare de cercetare.

Lucrarea se încheie prin prezentarea referințelor bibliografice și a anexelor.

## 2 Stadiul actual al cercetărilor cu privire la automatizarea proceselor de manipulare a cărților în biblioteci

Printre domeniile care au evoluat inimaginabil în ultimele două decenii îl constituie și domeniul sistemelor robotice. Ca urmare a progresului tehnologic în ritm accelerat, această știință și direcție de cercetare a revoluționat mediul industrial, având un impact puternic asupra aspectului socio-economic, determinând noi tehnici de proiectare și de aplicabilitate a roboților. Domeniile conexe roboticii au adus treptat, prin evoluția lor, îmbunătățiri succesive și un progres rapid, ceea ce a permis noi abordări în problematica complexă a roboticii (noi tipuri de materiale, sisteme de calcul, sisteme senzoriale, ș.a.).

În centrul acestui progres științific se află omul. Civilizația umană atinge astfel etapa roboticii prin revoluția automatizării. Dacă mecanizarea a fost primul salt tehnologic acum două decenii, în prezent tehnologia se concentrează pe automatizare [Angeles, 2003], [Brogardh, 2007].

Tendențele actuale ale aplicațiilor ce utilizează roboți sunt extrem de diversificate. Piața industrială tradițională de desfacere a sistemelor robotice este depășită de noile direcții de aplicabilitate: personal/domestic (divertisment și recreere, reabilitare, asistența persoanelor cu handicap), de servicii profesionale (exploatare terestră, subacvatică, spațială, sisteme de inspecție și mentenanță, construcții și demolări, logistică, medical, securitate și siguranță, relații cu publicul, sisteme robotice mobile, dispozitive de prehensiune), etc [\*\*\*11], [Maniu<sup>2</sup>, 2009].

Deoarece aplicația ce se dorește a fi realizată de autor în cadrul tezei intră în categoria roboților de servicii, se va insista doar pe această direcție.

Federația Internațională de Robotică adoptă o definiție preliminară a roboților de servicii: "Un robot de servicii este un robot care funcționează semi-sau complet autonom în scopul de a realiza servicii utile vieții umane" [\*\*\*11].

Acest capitol descrie o imagine de ansamblu în ceea ce privește automatizarea bibliotecilor, modalitățile actuale de a manipula cărțile în toate sectoarele de activitate a unei biblioteci, automatizarea proceselor în acest context și de asemenea, modalitățile de integrare a bibliotecilor clasice într-o bibliotecă digitală globală. În această direcție de cercetare, automatizarea bibliotecilor se referă la toate componentele și sistemele hardware și software care sunt integrate în toate procesele și activitățile specifice bibliotecii (ex.: manipularea cărților, indexarea și catalogarea cărților, transfer de date). Ideea de fond a automatizării proceselor într-o bibliotecă vine și în întâmpinarea personalului și a utilizatorilor, printr-o eficientizare a operațiilor de lucru și pentru a oferi servicii de bibliotecă de calitate [Geleijnse, 1994], [Lass, 2000]. La ora actuală domeniile automatizării și al roboticii se dezvoltă în ritm alert. Cercetările științifice în domeniul industrial sunt foarte avansate. Dezvoltarea rapidă a manipuloarelor și roboților se caracterizează printr-o conexiune multidisciplinară al unui spectru larg de tehnologii [Angeles, 2003], [Brogardh, 2007]. În ultimii ani, s-a desfășurat o

cercetare intensivă în domeniul roboticii, rezultând mai multe aplicații ale roboților mobili. Cele mai multe dintre ele au fost realizate și implementate în principal pentru scopuri industriale. Doar câteva aplicații de roboți mobili au fost concepute în contextul automatizării a bibliotecilor [Ohya, 2002]. Chiar dacă multe tehnologii nu sunt specifice pentru robotică, soluțiile propuse pot fi dezvoltate și îmbunătățite în game mai largi de produse.

Un exemplu de aplicație robotică actuală se regăsește în biblioteci unde o cantitate uriașă de cărți trebuie să fie manipulată automatizat. Astfel, o serie mare de activități repetitive și de rutină ale personalului fizic vor fi eliminate la locul de muncă, în spațiul rafturilor și al punctelor de deservire, accelerând serviciile în întreaga bibliotecă. Principala consecință negativă în urma automatizării bibliotecii constă în reducerea sau eliminarea locurilor de muncă [Geleijnse, 1994].

Prin urmare, soluțiile pentru această aplicație constau în utilizarea roboților mobili sau a manipuloarelor care să deservească zone de interes dintr-o bibliotecă în scopul manipulării cărților de pe un raft sau în zonele de deservire.

### 2.1 De la biblioteca clasică la bibliotecile automatizate

Biblioteca prin definiție reprezintă un centru de informare și documentare (o instituție) în care se colecționează documente, într-o ordine stabilită, pe diferite suporturi necesare documentării utilizatorilor săi [DEX, 2009], [Lovasz, 2011].

De-a lungul timpului biblioteca a cunoscut o evoluție impusă prin creșterea cantității de material stocat, a dezvoltării tehnologiilor moderne, a tendințelor de reducere a timpului dedicat prestării de servicii, păstrând mereu elementul cel mai important al cunoașterii, în orice etapă de progres al societății umane, informația [Lovasz, 2011]. Cu alte cuvinte, se pot contura următoarele etape în dezvoltarea bibliotecilor [Lovasz, 2011]:

- *Etapa bibliotecilor tradiționale*, în care utilizatorul este nevoit să se deplaseze personal la bibliotecă pentru a consulta/împrumuta sursa de informare dorită (pe suport de hârtie) existentă în exemplare limitate [Lovasz, 2011].
- *Etapa bibliotecilor informatizate*, care a început odată cu dezvoltarea tehnologiei informației. În acest caz, există o bază de date bibliografică informatizată pentru a facilita accesul rapid la informația dorită de utilizator. De asemenea, logistica aferentă activităților de bibliotecă (prelucrarea documentelor, înregistrarea utilizatorilor, regăsirea informațiilor dorite de către utilizatori, rezervări de documente, prelungirea termenului de împrumut) se realizează cu ajutorul calculatorului [Corbin, 1989], [Batt, 1998], [Rowley, 1998], [Lovasz, 2011].
- *Etapa bibliotecilor automatizate*, care pe lângă avantajele oferite de etapa anterioară, introduce sisteme robotice pentru automatizarea anumitor activități (extragerea/introducerea automată a cărților din/în rafturi, recunoașterea automată a cărților din raft, transportul cărților din depozit la ghișeu pe benzi transportoare sau cu manipuloare/sisteme robotice semiautomate sau automate) încercând reducerea considerabilă a implicării operatorilor umani în bibliotecă [Hansson, 1995], [Suthakorn, 2002], [Garijo, 2003], [Tomizawa, 2004].
- *Etapa bibliotecilor digitale*, care permite consultarea resurselor bibliografice în mediu virtual, online, în care mai mulți utilizatori au acces

în același timp la informație, fiind asigurată o viteză de acces foarte mare [Rasmussen, 2005], [Coyle, 2006], [Lovasz, 2011], [Lovasz, 2012].

Dezvoltarea extrem de rapidă a tehnologiei informației în ultimii ani și a internetului a condus la schimbări majore în ceea ce privește contextul bibliotecilor. Tendințele actuale pun accent pe conservarea materialului tipărit prin digitizarea acestuia și ofertarea informațiilor către publicul larg în format electronic [Rasmussen, 2005], [Coyle, 2006], [Hopkinson, 2009], [Ciupe, 2012]. Trebuie subliniat că nu se dorește eliminarea materialului tipărit, ci doar acoperirea nevoii stringente de a exista și forma digitală a acestuia pentru o diseminare și o vizibilitate sporită a informațiilor. În același scop s-au dezvoltat aplicații de digitizare a materialului tipărit vechi, care nu există sub formă digitală, dar care se dorește a se pune la dispoziția cititorilor.

Astfel, unele cercetări din acest domeniu, încearcă să introducă *sisteme robotice automate* implementate local, în librării tradiționale, care să ofere/permită:

- accesul la bazele de date bibliografice, actualizate automat la extragerea/introducerea unei cărți din/în raft;
- automatizarea: prelucrării documentelor, înregistrării utilizatorilor, regăsirea informațiilor dorite de către utilizatori, rezervări de documente, prelungirea termenului de împrumut;
- extragerea/introducerea automată a cărților din/în rafturi, recunoașterea automată a cărților din raft, transportul cărților din depozit la ghișeu pe benzi transportoare sau cu manipolatoare/sisteme robotice semiautomate sau automate) încercând reducerea considerabilă a implicării operatorilor umani în bibliotecă;
- consultarea resurselor bibliografice (tipărite, prin scanarea cărților și răsfoirea paginilor în timp real, sau în format electronic din baza de date) din bibliotecă în mediu virtual, printr-o interfață grafică pe calculator, în incinta și în afara bibliotecii;
- integrarea senzorială a spațiului de lucru din bibliotecă pentru controlul tuturor proceselor și inclusiv a actualizării automate a bazei de date a bibliotecii la sesizarea extragerii sau introducerii unei cărți din/în raft.

Din cerințele enunțate se pot observa care sunt tendințele de dezvoltare actuale ale bibliotecilor și în ce constau etapele de integrare informațională a resurselor bibliografice existente, concluzionând că biblioteca automatizată reprezintă un pas intermediar și util pentru dezvoltarea bibliotecilor digitale.



Figura 2.1 Dispozitivul „long arm” inventat de Benjamin Franklin [\*\*\*10]

### Scurt istoric

La sfârșitul secolului al XVIII-lea (anul 1786) este atestată prima încercare de utilizare a unui dispozitiv de extras cărțile de pe rafturile de sus ale unei biblioteci de către Benjamin Franklin [\*\*\*10].

Acest dispozitiv este o prăjină lungă, la care o extremitate prezintă două degete pentru (prehensarea) apucarea cărții (Figura 2.1). Acest dispozitiv face subiectul unei invenții prestigioase a lui B. Franklin, sub numele de „long arm”. Deschiderea degetelor este realizată printr-un arc elicoidal, iar prinderea unei cărți se realizează prin acționarea unuia din degete printr-un fir manipulat de utilizator.

## 2.2 Sisteme robotice pentru aplicații de recunoaștere, extragere și manipulare a cărților în biblioteci

Prin "manipulare" se înțelege ansamblul mișcărilor de lucru care asigură deplasarea și orientarea corectă a pieselor/obiectelor pe tot parcursul unor operații tehnologice. La ora actuală, există o gamă largă de dispozitive și echipamente care se folosesc în procesele de manipulare, dar încă o pondere mare a manipulărilor se execută însă manual, sau cu intervenția directă a operatorului uman [Crișan, 1979], [Roșculeț, 1982]. Tranziția de la manipularea manuală la manipularea automatizată reprezintă o problemă importantă în multe domenii ingierești.

Necesitatea și impunerea problematicii de automatizare a proceselor de manipulare rezultă din volumul considerabil de muncă din prezent depus de operatorii umani în nenumarate procese tehnologice. Creșterea productivității și a eficienței muncii prin automatizarea manipulărilor se dovedește a fi o problemă de același ordin cu aceea a creșterii productivității muncii prin efortul dezvoltării tehnologice [Crișan, 1979]. Prioritatea acestei probleme este susținută de asemenea de dificultatea automatizării operațiilor de manipulare, ca urmare a complexității lor. Din aceste motive, în ultimii ani, problema proiectării și fabricației de sisteme destinate manipulării automate a obiectelor-pieselor a devenit o preocupare stringentă a companiilor cu specific tehnologic.

În zilele noastre, datorită volumului mare de cărți și de material tipărit existent în biblioteci, manipularea automată a cărților începe să devină o necesitate stringentă [Pastine, 1994], [Garijo, 2003].

În general, aceste tipuri de sisteme implică patru componente importante (Figura 2.2):

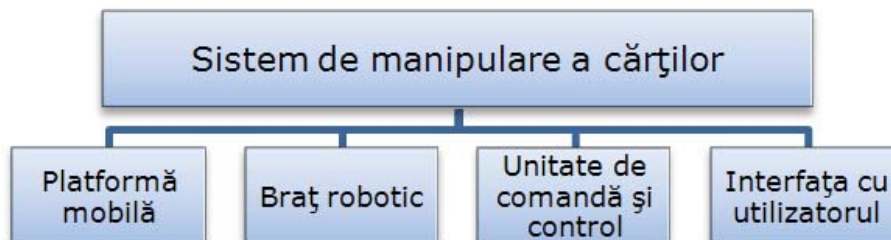


Figura 2.2 Componentele principale ale unui sistem de manipulare a cărților

- platformă mobilă care asigură deplasarea robotului și constituie suportul pentru toate componentele robotului, asigurând evitarea coliziunilor prin elemente de senzorică;
- un braț robotic, pentru realizarea procesului de situare a efectorului final, prehensarea realizându-se cu ajutorul unui efector final de tip dispozitiv de

prehensiune iar cărțile sunt detectate de un sistem de recunoaștere video atașat de acesta;

- unitate de comandă și control, care urmărește activitatea sistemului;
- interfață cu utilizatorul capabilă să asigure interacțiunea cu sistemul.

De obicei, sistemelor robotice actuale de manipulare a cărților în biblioteci li se atașează module de recunoaștere a cărții manipulate, de scanare a acestora, utilizatorul având posibilitatea de a lectura în timp real formatul electronic al materialului tipărit solicitat, iar cu ajutorul unui mecanism special montat pe robot se realizează răsfoirea automată a paginilor.

În prezent există câteva abordări semnificative în ceea ce privește manipularea automată a cărților în biblioteci utilizând roboți mobili sau brațe robotice, unele din aceste abordări fiind prezentate în cele ce urmează.

Primul robot industrial a fost introdus într-o bibliotecă în anul 1994, în Suedia (Figura 2.3) [Hansson, 1995], [Suthakorn, 2002], [Suthakorn, 2006], declanșând o nouă etapă de dezvoltare și anume „automatizarea bibliotecilor”.

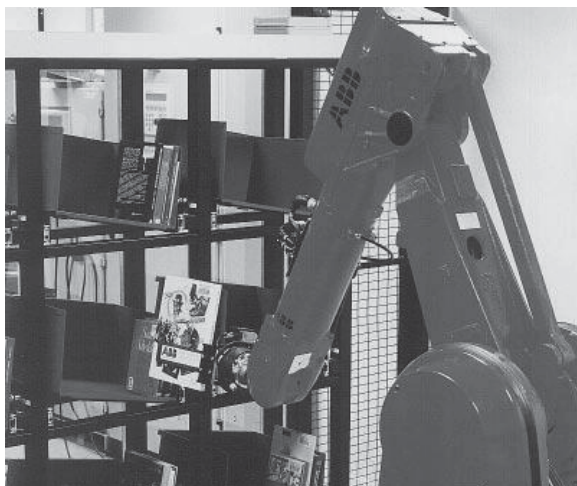


Figura 2.3 Robotul IRB 2000 (ABB Robotics Products) [Hansson, 1995]

Acesta este considerat a fi primul sistem robotic de manipulare a cărților implementat într-o bibliotecă publică. Robotul, de tipul IRB 2000, a fost produs de compania ABB Robotics Products și poate accepta, înregistra și stoca 400 de cărți pe oră.

În aceeași perioadă de timp, roboții controlați la distanță prin intermediul internetului au început să se dezvolte [Safaric, 1999], [Chong, 2000]. În [Safaric, 1999] sunt prezentate probleme de proiectare ce au apărut în cadrul unui experiment ce presupune comunicarea și controlul de la distanță (prin internet) de către utilizatori a unui manipulator cu șase grade de libertate.

Un alt exemplu este prezentat în [Suthakorn, 2002], [Suthakorn, 2006], în care a fost dezvoltat un sistem robotic pentru deservirea rafturilor unei biblioteci (Figura 2.4), în cadrul unui proiect de automatizare a bibliotecilor, denumit „Comprehensive Access to Printed Materials” (CAPM). Acest proiect implică digitizarea cărților pe un scanner de cărți deservit de un sistem robotic pentru recunoașterea, extragerea și manipularea acestora din raft. Scopul sistemului robotic prezentat este de a regăsi cărțile de pe rafturi și pentru a le manipula în puncte cheie din spațiul bibliotecii. Aplicația permite utilizatorilor de a controla acest proces de la distanță, printr-o interfață web. Elementele esențiale ale acestei aplicații le constituie brațul robotic și sistemul de deplasare.

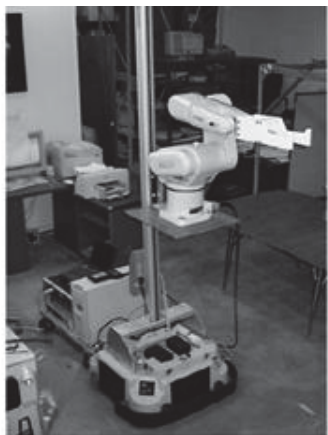


Figura 2.4 Robotul din cadrul CAPM [Suthakorn, 2002]



Figura 2.5 Robot "asistent" pentru manipularea cărților în biblioteci [Garijo, 2003]

O altă abordare în această direcție este realizată în [Garijo, 2003], [Garijo, 2004], [del Pobil, 2005], unde autorii au dezvoltat un robot "asistent" pentru regăsirea unei cărți dintr-o bibliotecă și aducerea acesteia la utilizator (Figura 2.5). Scopul acestui experiment constă în proiectarea și construcția unui dispozitiv de prehensiune pentru regăsirea titlurilor dorite dintr-un raft de bibliotecă și aducerea cărții la solicitarea cititorului. Lucrarea insistă pe elemente de recunoaștere video [Sanz, 1998] și introducerea acestei funcții în procesul de extragere a cărții utilizând un dispozitiv de prehensiune inovativ.

În comparație cu celelalte abordări prezentate până acum, în [Kim, 2009] s-a abordat problema realizării unui spațiu de lucru inteligent deservit de de un robot cu șapte grade de libertate, destinat manipulării cărților (Figura 2.6).



Figura 2.6 Robotul mobil într-un spațiu de lucru inteligent [Kim, 2009]

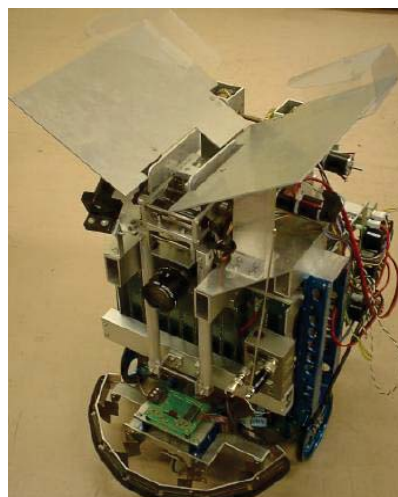


Figura 2.7 Robotul mobil Yamabico-Leo [Tomizawa, 2002]

Spațiul de lucru inteligent se referă la utilizarea senzorilor ambienali și a etichetelor RFID în zone deservite de robot (raft, podea) pentru a fi cunoscută poziția absolută a robotului. Scopul principal al sistemului robotic propus este de manipula cărțile așezate neordonat pe o masă într-un punct-țintă ales într-un raft de bibliotecă.

Scopul studiului realizat în [Tomizawa, 2002] este de a dezvolta un sistem robotic, controlat prin teleoperare. Robotul este utilizat pentru regăsirea unei cărți



află pe un raft, în spațiul de lucru deservit, deschiderea cărții, răsfoirea paginilor și transmiterea imaginilor în timp real utilizatorilor, prin internet (Figura 2.7). Această aplicație vine în sprijinul oamenilor, pentru a îndeplini o sarcină la distanță, bazată pe o comunicare simplă și cooperare reciprocă între utilizatori și un robot mobil. Mediul sistemului robotic îl constituie o bibliotecă unde utilizatorul nu are acces direct, dar care poate utiliza un robot aflat în interiorul acesteia, ca un înlocuitor al cititorului, în scopul de a căuta cartea dorită prin intermediul unei interfețe disponibilă pe internet. Robotul mobil utilizat în această cercetare este de tip Yamabico [Ogura, 1997].

### 2.3 Metode de recunoaștere a cărților în biblioteci

Metodele de recunoaștere a cărților utilizate pe sisteme robotice ce au ca scop manipularea acestora în spațiul de lucru al unei biblioteci, pot fi:

- cu cod de bare;
- prin vedere artificială și procesare a imaginilor prelevate;
- prin identificare cu frecvență radio (RFID -*Radio-Frequency Identification*).

*Recunoașterea cărților cu cod de bare* este cea mai simplă și ieftină metodă pentru a codifica informațiile de biblioteconomie utile pentru fiecare document tipărit [\*\*\*13]. Sistemele cu cod de bare necesită un cititor și etichete adezive lipite pe cotorul cărților, utilizând reflecția unui fascicul luminos peste eticheta ce conține tipărit codul [\*\*\*12], [\*\*\*13]. Pentru aplicațiile de recunoaștere automată a cărților, se montează de obicei un cititor de cod de bare pe dispozitivul de prehensiune (sau între bacurile acestuia) [Hanson, 1995], [Suthakorn, 2002], [Suthakorn, 2006], iar pe cotorul cărții se aplică codul de bare, de obicei un număr de identificare a acesteia. Un avantaj a acestei poziționări a cititorului de cod de bare constă în libertatea de mișcare în același timp cu cea a efectorului final al robotului. Codurile de bare pentru recunoașterea cărților sunt aplicate în marea majoritate a bibliotecilor din etapa de informatizare. Un sistem robotic care utilizează această metodă de recunoaștere, care va permite obținerea de informații despre cartea ce trebuie manipulată va fi simplu de implementat în aceste tipuri de biblioteci, fără a afecta sistemul deja existent și asigurând costuri reduse. Această metodă de recunoaștere cu coduri de bare implică poziționarea exactă a cititorului de cod în dreptul etichetei ce conține codul de bare de pe cotorul cărții, fapt ce implică necesitatea unui mediu curat fără interferențe optice între cititor și cod [\*\*\*12]. Deteriorarea în timp a etichetei cu codul de bare și lățimea minimă a cotorului pe care se aplică eticheta reprezintă alte dezavantaje ale acestei metode. Cu toate acestea, metoda este foarte răspândită în biblioteci mici, unde nu se dorește o automatizare rapidă a manipulării materialului tipărit existent.

*Recunoașterea cărților prin vedere artificială* presupune atașarea de sistemul robotic a camerelor video care comunică în timp real cu unitatea de comandă.

Se disting următoarele situații:

- recunoașterea cărților prin procesare de imagine și prin utilizarea modulului de recunoaștere optică a caracterelor [Garijo, 2003], [Garijo, 2004], [del Pobil, 2005], [Pratz, 2004], [Pratz<sup>1</sup>, 2005], [Pratz<sup>2</sup>, 2005], [Pratz<sup>3</sup>, 2005], [Pratz, 2007], caz în care pe fiecare cotor al cărților este lipită o etichetă cu codul de identificare al acestora. În acest caz există o bază de date a cărților din bibliotecă, iar extragerea cărții dorite se

realizează după compararea datelor de intrare (codul de identificare a cărții introdus de utilizator) cu datele de ieșire (codul de identificare a cărții regăsită de robot).

- selectarea cărții dorite de către utilizator după ce robotul suprapune imaginea prelevată individual pentru fiecare carte de pe raft, cu imaginea prelevată a tuturor cărților în procesul de recunoaștere [Lee, 2008].
- selectarea cărții dorite de către utilizator după ce robotul calculează poziția fiecărei cărți raft și îi atribuie un număr de ordine [Tomizawa, 2002] [Tomizawa<sup>1</sup>, 2003], [Tomizawa<sup>2</sup>, 2003], [Tomizawa<sup>3</sup>, 2003], Tomizawa, 2004].

*Identificarea prin frecvență radio* (RFID) este ultima și cea mai avansată metodă tehnologică de colectare automată a datelor [\*\*\*12], [\*\*\*14], [Mehta, 2004], [Chao, 2007], asigurând identificarea automată a cărților, care se bazează pe stocarea și regăsirea datelor de la distanță, fără contact, printr-un câmp de radiofrecvență de putere mică, utilizând dispozitive numite *tag*-uri (transpondere: etichete, cartele) RFID și cititoare RFID [\*\*\*12]. Această metodă necesită o cooperare a unui cititor RFID cu o etichetă RFID, obiect de dimensiuni milimetrice, atașată sau integrată pe fiecare carte în scopul de a le identifica și urmări locația în raft, folosind undele radio. Metoda RFID nu dorește înlocuirea metodei prin coduri de bare, ea putând fi considerată o metodă utilizată adițional (singular sau în combinație cu alte metode) de colectare a datelor. Fiecare formă de colectare a datelor are avantaje proprii și un viitor utilizator trebuie să evalueze beneficiile fiecărei metode când dezvoltă un sistem ce rezolvă o problemă particulară [\*\*\*12]. Acest câmp de radiofrecvență nu necesită o poziționare precisă a obiectului la citire, el penetrează orice material nemetalic nefiind necesar contactul direct cu cititorul RFID. Astfel de metodă de recunoaștere a cărților s-a dovedit a fi foarte eficientă într-un proces de manipulare automată a acestora [Kim, 2008]. Utilizând această metodă, etichetele RFID pot transmite ID-ul și informațiile care sunt utilizate de robot pentru a percepe locația cărților în raft și de accesa informații despre cărți. Pentru un robot ce deservește un raft de cărți, s-au aplicat etichete RFID pentru fiecare carte și pentru fiecare raft. Fiecare etichetă RFID are o adresă nativă de rețea care permite robotului să acceseze informațiile despre cărți. Pentru a recunoaște toate cărțile și pozițiile schimbate ale cărților în raft, acesta este capabil să citească informația de pe etichetele cărților. Cu această proprietate, raftul preia informația sau actualizează starea și poziția cărților în baza de date a sistemului robotic. Deoarece greutatea și grosimea cărții depinde pentru fiecare carte în parte, robotul primește informația fizică din baza de date utilizând etichete RFID de pe coperta cărții, iar apoi se decide poziția de prindere, rotirea și forța de prehensare a dispozitivului de prehensiune.

### 2.4 Extragerea și manipularea cărților

Într-un proces automatizat de manipulare a anumitor obiecte, modul de așezare a acestora în spațiu este un factor determinant în vederea alegerii complexității robotului [Roșculeț, 1982], [Barkat, 2009], [Sahbani, 2012]. Această premiză se aplică și în cazul aplicațiilor de manipulare automate a cărților [Young, 2004]. Mișcările ce trebuiesc a fi realizate de sistemul robotic destinat manipulării cărților se stabilesc în funcție de poziția inițială a cărții ce se dorește a fi manipulată (de ex. într-un raft) și poziția finală (de ex. pe o bandă transportoare) [Drăgulescu, 1997]. Cu alte cuvinte, gradele de libertate ale roboților utilizați în

astfel de aplicații se stabilesc în funcție de complexitatea traseului de la extragerea cărții până la eliberarea acesteia în locul dorit.

În procesele de manipulare, interacțiunea între un robot și obiectul de manipulat este în general realizată de dispozitivul de prehensiune sau de structuri similare de efectori finali [Heilala, 1992]. Odată cu creșterea eficienței și dezvoltării sistemelor robotice inteligente, s-au dezvoltat și dispozitive de prehensiune performante [Brogardh, 2007].

În cele ce urmează se prezintă câteva exemple de dispozitive de prehensiune montate pe sisteme robotice destinate manipulării cărților (Figura 2.8, 2.9, 2.10, 2.11).



Figura 2.8 Dispozitiv de prehensiune [Suthakorn, 2002], [Suthakorn, 2006]



Figura 2.9 Dispozitiv de prehensiune [Garijo, 2003]

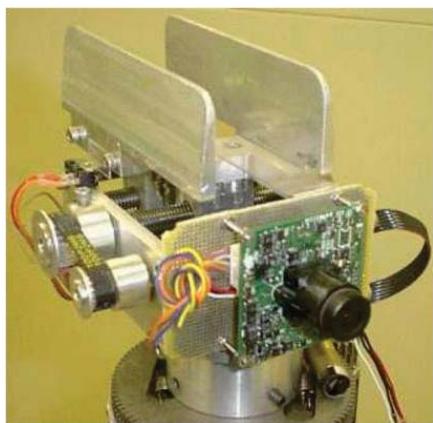


Figura 2.10 Dispozitiv de prehensiune [Tomizawa, 2002]



Figura 2.11 Dispozitiv de prehensiune [Kim, 2008]

Pentru fiecare aplicație de manipulare a cărților se iau în considerare anumite ipoteze, care simplifică realizarea încercărilor experimentale:

- dimensiunile cărților din experiment (lungime, lățime, greutate) sunt alese pentru a se potrivi capacităților de manipulare a dispozitivului de prehensiune al sistemului robotic [Suthakorn, 2002], [Tomizawa, 2002], [Garijo, 2003], [Tomizawa, 2003], [Tomizawa, 2004], [Suthakorn, 2006];
- poziția cărților în raft este verticală [Suthakorn, 2002], [Tomizawa, 2002], [Garijo, 2003], [Tomizawa, 2003], [Suthakorn, 2006];

- cotoarele cărților se regăsesc în același plan [Garijo, 2003];
- copertile cărților nu exercită presiune între ele [Garijo, 2003], [Tomizawa, 2004] ,
- sunt acceptate unghiuri de înclinare mici ale cărților în raft (sub 20°) [Tomizawa, 2004];
- cărțile au copertă rigidă [Tomizawa, 2003], [Tomizawa, 2004];
- înălțimea fixă a spațiului de lucru deservit [Tomizawa, 2002].
- cărțile sunt manipulate în carcase individuale, de aceeași lățime ca deschiderea dispozitivului de prehensiune [Suthakorn, 2002].

O modalitate de transport a documentelor sau a cărților în interiorul unei biblioteci poate fi asigurat de un sistem de robocare [Rădulescu, 2000], [Rădulescu, 2008]. Sistemele de robocare utilizând *Electric Track Vehicle* sunt un mijloc de transport uzinal modern, ce se utilizează cu preponderență în transferul de documente din bănci, instituții administrative, spitale, precum și pentru transferul cărților din biblioteci [Rădulescu, 2008]. În Figura 2.12 se prezintă vehiculul Translift KHB OV, realizat de firma Stahl, cu o sarcină maximă de manipulat de 10kg și viteze de deplasare: pe verticală de (0,8-1,0)m/s iar pe orizontală 2m/s. Transportul se poate realiza pe verticală, suspendat sau pe orizontală, vehiculul rulând pe o cale de ghidare de tip șină, acționarea vehiculului fiind asigurată de un motor electric de curent continuu.

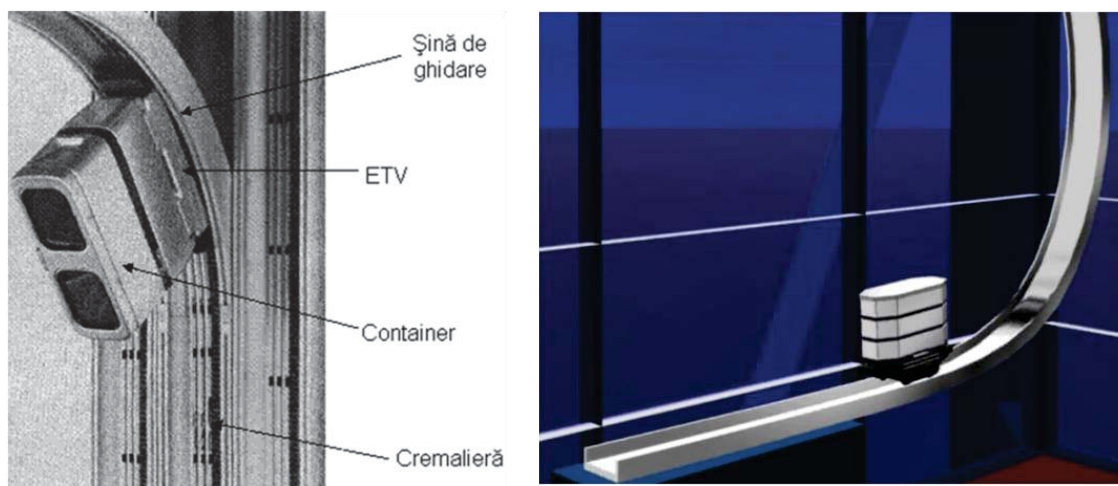


Figura 2.12 Vehicul electric pe șine [Rădulescu, 2008]

### 2.5 Deplasarea și navigarea roboților în spațiul de lucru deservit

Deplasarea sistemelor robotice dedicate manipulării cărților în biblioteci în spațiul de lucru deservit se realizează pe roți. Pentru calculul deplasării roților se utilizează tehnica odometriei pentru a estima poziția relativă curentă față de cea inițială. Cunoscându-se distanța până la punctul final al traiectoriei dorite, o comandă de mișcare incrementală va calcula diferența dintre valoarea locației curente și valoarea locației propuse iar robotul va executa o mișcare incrementală a acestei valori [Suthakorn, 2002], [Suthakorn, 2006].

Navigarea sistemelor robotice dedicate manipulării cărților în biblioteci în spațiul de lucru deservit se realizează:

- autonom,

- controlat (de la distanță prin teleoperare).

Sistemele robotice autonome prezintă o interacțiune senzorială performantă cu spațiul de lucru deservit. Ele conțin în sistemul de comandă harta spațiului de lucru și pozițiile memorate corespunzătoarelor punctelor de lucru. Elementele senzoriale cel mai des întâlnite pentru astfel de roboți sunt cele de tip ultrasonici, infraroșii și după caz se utilizează vederea artificială. Un astfel de exemplu se regăsește în [Kim, 2006], [Kim, 2008], [Kim, 2009], unde prin utilizarea senzorilor de localizare ambientali și o suprafață de rulare inteligentă care asigură poziția curentă a robotului prin intermediul unor etichete pasive RFID montate în interior, permit recunoașterea poziției absolute a robotului în timp real.

Sistemele robotice controlate de la distanță (prin teleoperare) implică comanda acțiunii acestora de un operator uman, care nu se află în spațiul de lucru al robotului. Operatorul urmărește robotul prin imaginile prelevate în timp real prelevate de o camera video atașată de robot și comandă prin intermediul unei interfețe grafice declanșarea unei acțiuni. Comanda poate se poate realiza prin internet, în mod *remote*, sau prin cabluri de legătură [Tomizawa, 2002] [Tomizawa<sup>1</sup>, 2003], [Tomizawa<sup>2</sup>, 2003], [Tomizawa<sup>3</sup>, 2003], [Tomizawa, 2004].

## 2.6 Concluzii

Acest capitol descrie o imagine de ansamblu în ceea ce privește automatizarea bibliotecilor, modalitățile actuale de a manipula cărțile în toate sectoarele de activitate a unei biblioteci, automatizarea proceselor în acest context și de asemenea, modalitățile de integrare a bibliotecilor clasice într-o bibliotecă digitală globală.

Se prezintă etapele de dezvoltare a bibliotecilor, pornind de la etapa tradițională, apoi cea informatizată, ajungând la automatizarea proceselor din bibliotecă și la consultarea on-line a materialelor tipărite digitizate.

Sunt subliniate componentele principale ale sistemelor robotice destinate manipulării cărților în biblioteci și sunt prezentate câteva exemple de astfel de sisteme utilizate în acest scop. Pentru îndeplinirea acestuia, se atașează sistemelor robotice dispozitive de recunoaștere a cărților ce utilizează coduri de bare, vedere artificială sau radiofrecvență (RFID). Interacțiunea între aceste sisteme și cărți este realizată de dispozitive de prehensiune cu două degete, cu bacuri paralele. Deplasarea și navigarea sistemelor robotice se realizează prin teleoperare sau autonom.

În scopul simplificării procesului de manipulare a cărților în biblioteci, se impun anumite condiții ajutoare referitoare la dimensiunea, masa, grosimea maximă a cărților manipulate, precum și la poziția verticală a acestora pe raft cu interstițiu între coperti, sau a tipului de coperti a cărților.

Capitolul de față își justifică importanța pentru dobândirea aspectelor teoretice referitoare la automatizarea procesului de manipulare a cărților în biblioteci, determinarea limitărilor sistemelor robotice actuale, utilizate în acest scop, cât și stabilirea cerințelor sistemelor robotice utilizate în acest context.



### 3 Obiectivele tezei de doctorat

Pomind de la analiza critică asupra stadiului actual în domeniul automatizării bibliotecilor (recunoașterea și regăsirea automată a cărților pe rafturi, manipularea automată a cărților în spațiul bibliotecii, deservirea automată a cărților către cititori, scanarea automată a acestora), lucrarea de față are drept obiectiv central realizarea unui sistem robotic destinat manipulării automate a cărților în bibliotecă.

Cercetările efectuate pe perioada studiilor doctorale au fost concentrate, în principal, pe dezvoltarea unui model experimental al unui manipulator pentru manipularea automată a cărților din bibliotecă, sistemul propunând să asigure un raport complexitate/stabilitate corespunzător. De asemenea, au fost făcute cercetări cu privire la utilizarea materialelor compozite în construcția unor conexiuni elastice în mecanismul de acționare al unui dispozitiv de prehensiune. La finalul tezei este prezentată o soluție constructivă a sistemului de manipulare a cărților, constituită din structura de reciprocator realizat și un dispozitiv de prehensiune dedicat pentru cărți proiectat și realizat în cadrul stagiului de cercetare al autorului.

Orice cercetare științifică implică diseminarea rezultatelor obținute. Prezentarea rezultatelor în diferite publicații sau conferințe din domeniu reprezintă o bună modalitate de confirmare a rezultatelor cercetării.

Pe baza acestor considerente și urmând obiectivul principal al tezei, rezultat în urma stagiului de cercetare în *Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik* (ILK) din cadrul *Technische Universität Dresden*, Germania (01.04.2011 - 01.12.2011), pentru atingerea obiectivului principal, au fost stabilite următoarele obiective majore și următoarele activități:

1. Determinarea cerințelor care se impun unei structuri robotice pentru automatizarea procesului de manipulare a cărților în bibliotecă:
  - Realizarea unui studiu referitor la stadiul actual al automatizării proceselor de manipulare a cărților în bibliotecă;
  - Analiza și identificarea secvențelor de mișcare în procesul de manipulare;
  - Identificarea principalelor deficiențe ale procesului de manipulare;
  - Stabilirea cerințelor sistemelor robotice utilizate în aceste aplicații.
2. Dezvoltarea unei structuri de reciprocator și a unui dispozitiv de prehensiune specializat pentru manipularea cărților:
  - Proiectarea constructivă a unei structuri de reciprocator serial;
  - Realizarea modelului experimental al reciprocatorului;
  - Sinteza structurală a mecanismelor cu conexiuni elastice;
  - Proiectarea constructivă a dispozitivului de prehensiune;
  - Analiza cinetostatică a dispozitivului de prehensiune;
  - Realizarea modelului experimental al dispozitivului de prehensiune utilizând materiale termoplastice ranforsate pentru construcția bacului mobil;

- Studiu comparativ privind deformarea conexiunii elastice utilizate la acționarea bacului mobil al dispozitivului de prehensiune (experimental și în mediu virtual) în timpul prehensării cărții.
3. Realizarea prototipului manipulatorului și încercări experimentale ale acestuia:
- Descrierea și construcția prototipului manipulatorului destinat vehiculării cărților în bibliotecă;
  - Încercări experimentale de manipulare a cărților în bibliotecă:
    - introducerea/extragerea cărților în/din raft;
    - extragerea cărților din raft și așezarea lor în locații prestabilite
  - Determinarea erorii de poziționare a cărților în raft;
  - Identificarea unui sistem de recunoaștere a cărților.
4. Diseminarea rezultatelor:
- Publicarea rezultatelor;
  - Participarea la manifestări științifice în domeniu (conferințe, *workshop*-uri, școli de vară).



## 4 Dezvoltarea unei structuri de reciprocator

În acest capitol se prezintă dezvoltarea unei structuri pentru automatizarea serviciilor de manipulare a cărților în bibliotecă, structură care are la bază un reciprocator format din module de translație pentru asigurarea mișcării. În funcție de dimensiunile spațiului de lucru, se disting două posibile variante constructive ale acestui reciprocator. Se prezintă schemele cinematice ale structurilor, soluțiile constructive ale acestora realizate prin proiectare asistată de calculator, alegerea soluției constructive pentru materializarea modelului experimental și descrierea standului experimental realizat al reciprocatorului și a componentelor alese în structura acestuia.

Conform celor menționate în Capitolul 2, se poate concluziona că în scopul automatizării serviciilor de manipulare a cărților în bibliotecă este nevoie de o structură robotizată, care să asigure:

- un spațiu de lucru extins;
- inerție redusă în funcționare;
- funcție de recunoaștere automată a cărților din rafturi;
- precizie ridicată;
- o structură modulară.

Cerințele tehnologice care sunt necesare pentru realizarea unei astfel de structuri integrează elemente ale ingineriei mecanice, electronice, știința calculatoarelor și informatică, în scopul realizării unui produs mecatronic [Dolga, 2007].

Sistemul mecanic al manipulatorului, care se definește ca fiind structura unui robot ce are funcția de a impune obiectului manipulat mișcarea dorită [Kovacs, 1992], conține o platformă mobilă (PM), dispozitivul de ghidare (DG) și efectorul final (EF) [Kovacs, 1992], [Kovacs, 2001] (Figura 4.1).

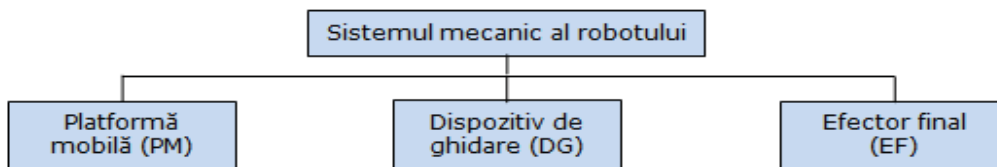


Figura 4.1 Sistemul mecanic al robotului [Kovacs, 1992]

Dispozitivul de ghidare este format din mecanismul generator de traiectorie (MGT) și mecanismul de orientare (MO) și are funcția de a deplasa efectorul său final împreună cu obiectul care a fost solidarizat cu acesta într-o anumită situație (Figura 4.2) [Kovacs, 1992], [Kovacs, 2001].

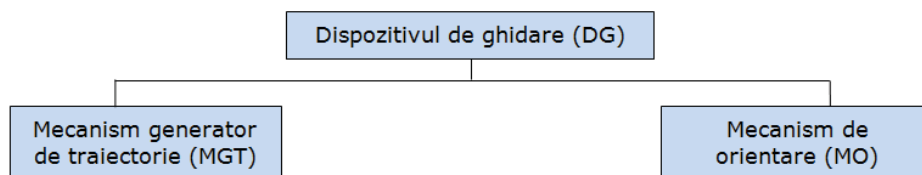


Figura 4.2 Structura dispozitivului de ghidare al robotului [Kovacs, 1992]

## 4.1 Soluții constructive

În cele ce urmează sunt prezentate două soluțiile constructive pentru două modele de reciprocator. Cele două soluții constructive prezintă o structură serială, robotul având un lanț cinematic deschis.

Acest tip de structură asigură deservirea unui spațiu de lucru mare și o accesibilitate corespunzătoare în spațiul de depozitare a cărților în rafturi. Un dezavantaj al acestei structuri constă în transmiterea și acumularea erorilor în cuplele cinematice de la baza robotului la efectorul final datorită structurii seriale deschise, ceea ce duce la atenuarea preciziei de poziționare a punctului caracteristic. De asemenea, apariția forțelor de inerție datorită maselor mari ale elementelor robotului acționate este inevitabilă, deci se vor utiliza viteze și accelerații moderate.

### 4.1.1 Structura dubluportală – schemă cinematică și model CAD

#### Schema cinematică

Această soluție constructivă are la bază o structură de tip dubluportală, constituită din două structuri portale identice, cu direcțiile de translație perpendiculare (Figura 4.3) [Varga, 2008].

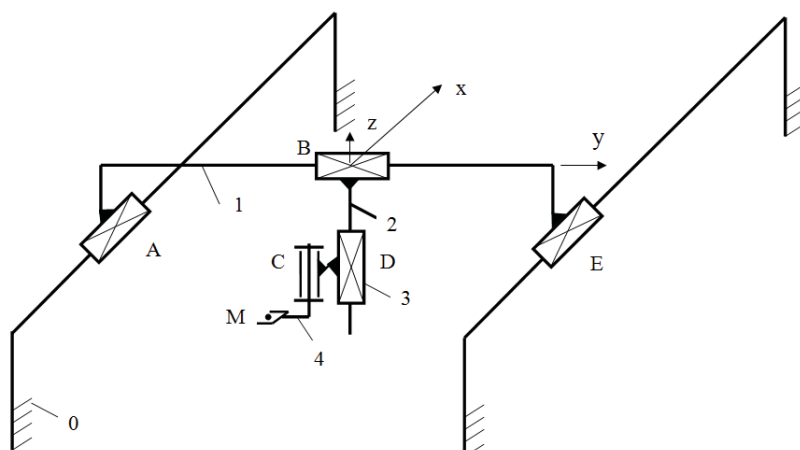


Figura 4.3 Structura dubluportală a manipulatorului – schema cinematică

Acționarea structurii se realizează de cupla cinematică motoare A, iar cupla cinematică E asigură ghidarea ansamblului. Mecanismul generator de traiectorie (MGT) este constituit dintr-o structură de robot în coordonate carteziane. Robotul este montat suspendat fiind de tip dubluportal. Cupla de rotație a mecanismului de orientare (MO) permite efectorului final (EF) o mișcare de supinație-pronație (roll) [Kovacs, 1992], [Maniu, 2009]. Această variantă prezintă avantajele unui spațiu de lucru foarte mare și o accesibilitate corespunzătoare asigurată de mecanismul de orientare (MO).

#### Calculul gradului de mobilitate

Gradul de mobilitate al acestui tip de structură este dat de relația:

$$M = n + 1 \quad (4.1)$$

unde,  $n$  = numărul elementelor motoare.

Prin urmare gradul de mobilitate a structurii dubluportal cu  $n=4$  este:

$$M = 5 \quad (4.2)$$

### Proiectarea asistată de calculator (modelul CAD)

Această soluție constructivă asigură deservirea unui spațiu de lucru paralelipipedic. Se impun dimensiunile maxime ale spațiului deservit: lungime  $L=3000\text{mm}$ , lățime  $l=2650\text{mm}$  și înălțime de  $h=2300\text{mm}$ . (Figura 4.4).

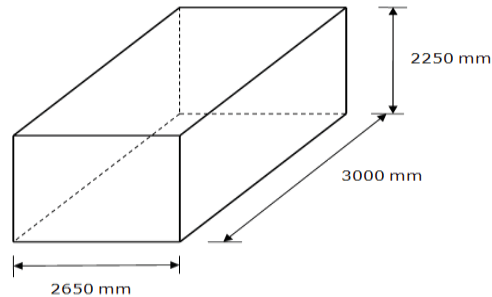


Figura 4.4 Structură dubluportală a manipulatorului – spațiul de lucru

Deservind un spațiu tridimensional, se atașează manipulatorului un sistem de coordonate cartezian, de aceea, pentru deservirea spațiului propus, se aleg axele de translație (Figura 4.5) [Comsa, 2012]:

- pentru axa X a manipulatorului, atașată axei X a sistemului de coordonate, se alege lungimea axei de translație de 3000mm;
- pentru axa Y a manipulatorului, atașată axei Y a sistemului de coordonate, se alege lungimea axei de translație de 2625mm;
- pentru axa Z a manipulatorului, atașată axei Z a sistemului de coordonate, se alege lungimea axei de translație de 2250mm.

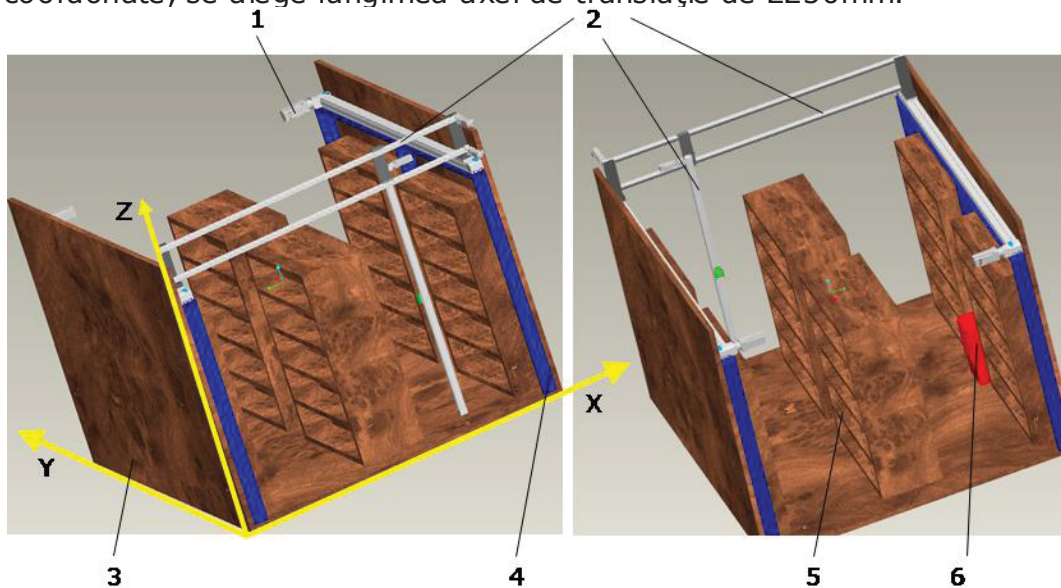


Figura 4.5 Structura dubluportală a manipulatorului – model CAD

Cuplele de translație pentru axele X, Y și Z sunt axe liniare de translație cu curea sincronă, acționate de servomotoare, fiecare motor fiind comandat de un controler. Elementele CAD ale modelului (axe de translație, servomotoare, reductoare) au fost descărcate de pe pagina de produse Festo [\*\*\*7] și utilizate în modelul CAD (Figura 4.5) [Talabă, 2000].

Elementele componente din Figura 4.5 sunt: 1-servomotor, 2-axe de translație, 3-perete bibliotecă, 4-cadru-suport din profile de aluminiu, 5-rafturi

pentru cărți, 6-controler. Pentru a crește rigiditatea structurii, mișcarea de translație corespunzătoare axei X, se montează două axe de translație, una fiind axă motoare iar cealaltă va asigura ghidarea mișcării. Sistemul de axe de translație este montat pe cadrul-suport realizat din profile de aluminiu produse de firma Minitec [\*\*\*8].

Această soluție constructivă care utilizează o structură dubluportală prezintă următoarele avantaje și dezavantaje:

*Avantaje:*

- o spațiul de lucru mare (posibilitatea de a deservi mai multe culoare de rafturi).

*Dezavantaje:*

- o număr mare de componente și repere;
- o apariția unor forțe mari de inerție datorită maselor elementelor în mișcare;
- o constrângeri datorate costurilor ridicate.

#### 4.1.2 Structura mixtă portal - consolă — schemă cinematică și model CAD

Structura de manipulator mixtă portal-consolă este propusă din considerentul de a reduce numărul de componente ale variantei anterioare, fără a influența principalul obiectiv al tezei, de a manipula automat cărțile din rafturile unei biblioteci.

Această structură se aseamănă cea precedentă, diferența constând în faptul că lipsește o structură monoportală [Varga, 2008]. Nu se poate neglija nici factorul economic, care, prin realizarea acestui model experimental, se asigură o reducere a costurilor, comparativ cu structura dubluportală.

Această variantă de manipulator are la bază de asemenea o structură de robot în coordonate carteziene, utilizând o cuplă de translație pentru fiecare axă a sistemului de coordonate atașate sistemului. Cu alte cuvinte, MGT (mecanismul generator de traiectorie) este o structură TTT (translație-translație-translație) cu topologie serială, iar schema cinematică a MGT este prezentată în Figura 4.6.

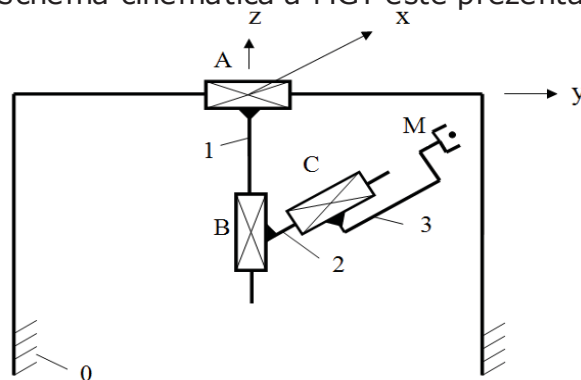


Figura. 4.6 Structura mixtă portal - consolă a reciprocatorului – schema cinematică

#### Calculul gradului de mobilitate

Gradul de mobilitate a structurii portal-consolă se calculează cu aceeași relație (4.1), unde  $n=3$ , deci se obține:

$$M = 4 \quad (4.3)$$

### Proiectarea asistată de calculator (modelul CAD)

Elementele CAD utilizate în acest model (axe de translație, motoare pas cu pas) au fost descărcate de pe pagina de produse Isel [\*\*\*2] și utilizate în modelul CAD.

De asemenea, soluția constructivă asigură deservirea de către reciprocator a unui spațiu de lucru paralelipipedic. Pentru această variantă se impun dimensiunile maxime ale spațiului deservit: lungime  $L=498\text{mm}$ , lățime  $l=1698\text{mm}$  și înălțime de  $h=398\text{mm}$ , ce se poate asimila cu spațiul ocupat de un raft într-o bibliotecă. (Figura 4.7).

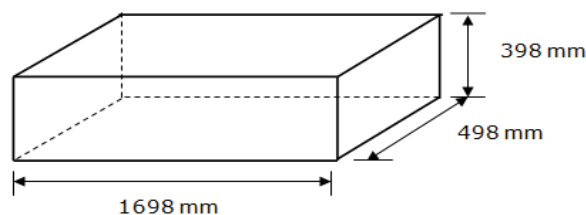


Figura 4.7 Structura monoportală a reciprocatorului – spațiu de lucru

Elementele componente din Figura 4.8 sunt: 1-axe de translație, 2-raft, cu locașuri de diferite grosimi pentru cărți, 3-carte manipulată, 4-dispozitiv de prehensiune, 5-cadru-suport din profile de aluminiu, 6-sistem de calcul, 7-controler, 8-masă.

Prin urmare, se aleg axele:

- pentru axa X a reciprocatorului, atașată axei X a sistemului de coordonate, se alege lungimea axei de translație de 1498mm;
- pentru axa Y a reciprocatorului, atașată axei Y a sistemului de coordonate, se alege lungimea axei de translație de 498 mm;
- pentru axa Z a reciprocatorului, atașată axei Z a sistemului de coordonate, se alege lungimea axei de translație de 398 mm.

Această soluție constructivă utilizând o structură mixtă portal - consolă prezintă următoarele avantaje și dezavantaje:

*Avantaje:*

- reducerea maselor manipulate în sistem;
- simplitate constructivă.

*Dezavantaje:*

- spațiu de lucru redus;
- rigiditate redusă comparativ cu soluția dubluportal.

## 4.2 Alegerea soluției constructive pentru realizarea manipulatorului

Având în vedere faptul că ambele soluții constructive pot fi utilizate în scopul propus al tezei, iar cercetările ce se doresc a fi realizate nu implică necesitatea unui spațiu de lucru extins, s-a ales ca soluție constructivă *structura mixtă portal - consolă*. De asemenea, s-a luat în calcul și factorul economic care pentru varianta constructivă aleasă, asigură un preț de achiziționare mai redus a componentelor necesare realizării unui model experimental.

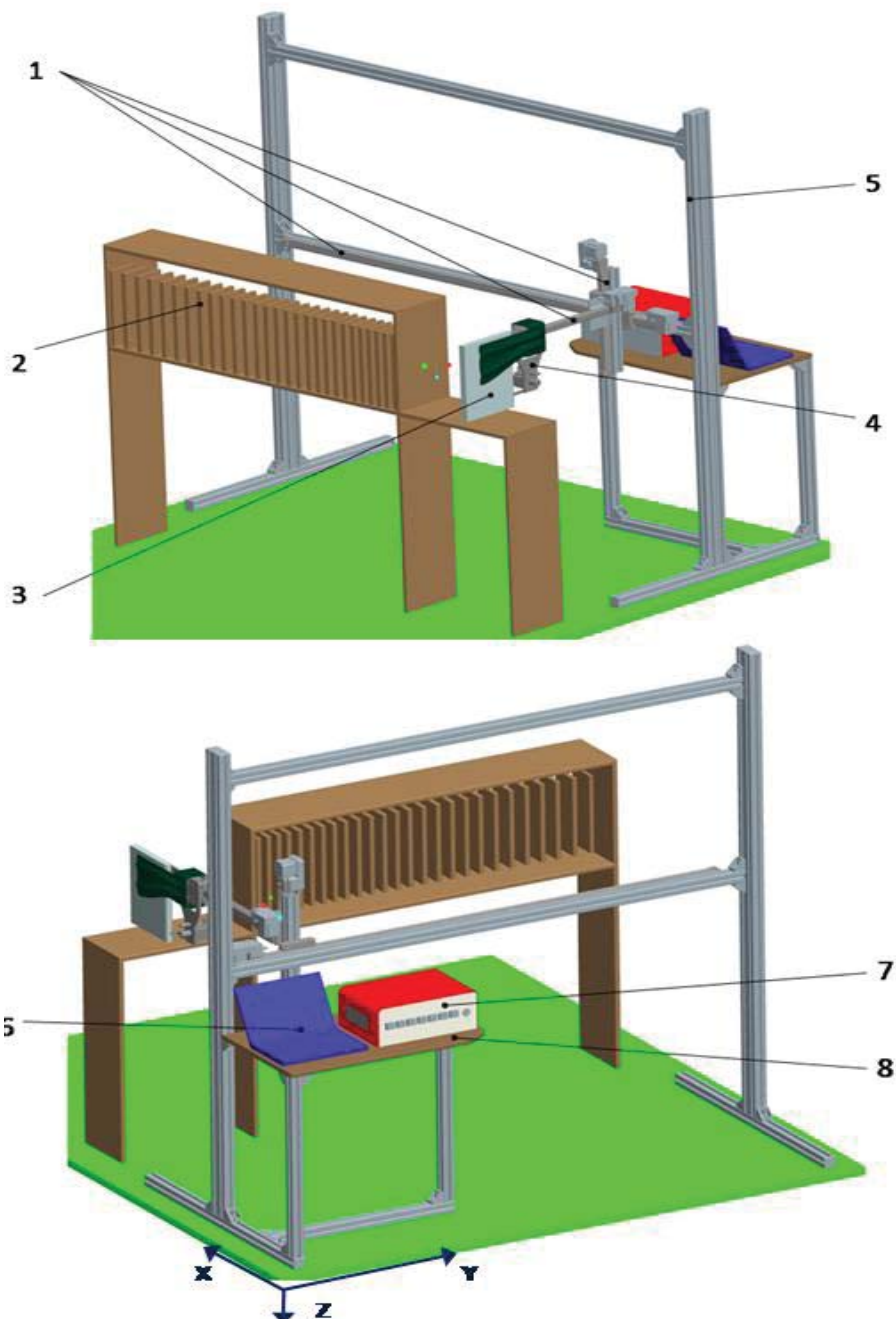


Figura 4.8 Structura mixtă portal-consolă – model CAD

### 4.3 Caracteristicile tehnico-funcționale ale soluției constructive alese

Realizarea modelului experimental al manipulatorului reprezintă următoarea etapă în cadrul tezei de doctorat. Aceasta etapă însumează pașii realizați până acum de dezvoltare și de proiectare asistată de calculator a structurii de reciprocator.

Modelul experimental a fost realizat în urma parteneriatului dintre Departamentul de Mecatronică al Universității „Politehnica” din Timișoara cu Universitatea Tehnică Dresda, Germania - *Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik* (ILK). Acest institut a suportat cheltuielile financiare pentru

achiziționarea echipamentelor, materialelor și pentru prelucrările unor elemente componente necesare realizării reciprocatorului.

În acest sens, s-a realizat un model experimental complet, optim din punct de vedere funcțional și financiar, care poate fi utilizat pentru scopul propus al tezei, cât și în aplicații didactice de laborator.

Pentru achiziționarea echipamentelor necesare au fost studiați mai mulți producători, în final alegându-se producătorul german Isel [\*\*\*2]. Acest producător a fost ales în special datorită prețului scăzut în comparație cu cel al altor producători care au oferit produse similare din punct de vedere al specificațiilor tehnice, la un preț semnificativ mai mare.

Factorul economic a impus limitarea modelului experimental al reciprocatorului la două axe de translație și reducerea spațiului de lucru la un plan, corespunzător mișcării de translație a cuplurilor A și C din Figura 4.6.

### 4.3.1 Structura mecanică

Structura mecanică a reciprocatorului este formată din profile de aluminiu 45x45L care sunt produse de firma Bosch Rexroth [\*\*\*9]. În Figura 4.9 sunt prezentate modelul și vederea în secțiune transversală a profilului de aluminiu ales.

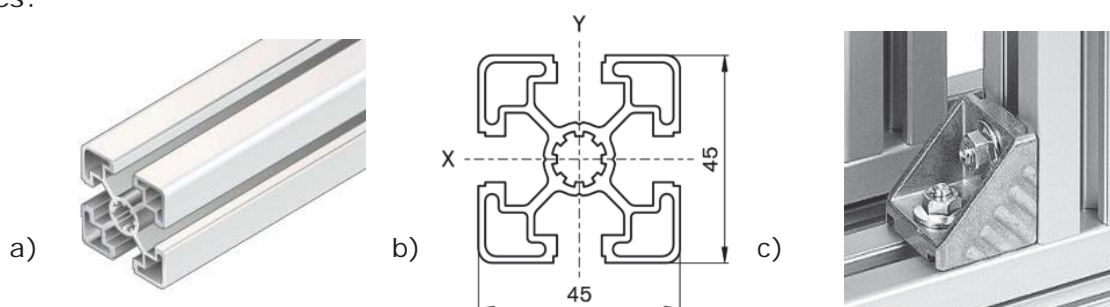


Figura 4.9 Profilul de aluminiu (a), vederea în secțiune transversală (b), îmbinarea profilelor de aluminiu prin colțare (c) [\*\*\*9]

Îmbinarea profilelor de aluminiu se realizează prin colțare iar la capetele libere se vor monta capace de protecție.

### 4.3.2 Axele de translație

Conform paragrafului 4.1.2, cuplurile cinematice A și C ale structurii dezvoltate pentru realizarea modelului experimental, reprezintă axe cinematice de translație (axe liniare). În continuare se prezintă în detaliu modelul de axe liniare cu curea dințată LEZ1 fabricate de producătorul german Isel (Figura 4.10a) și elementele constructive ale axei de translație Isel LEZ cu cărucior cu bile (Figura 4.10b) [\*\*\*2].

Numerotarea componentelor din Figura 4.10b este: 1-cărucior cu bile; 2-bare laterale de ghidare  $\Phi 8$ , presate în profilul de aluminiu și calibrate; 3-profil de aluminiu, rezistent la torsiune, ce asigură portanța axei și posibilitatea de fixare pe suportul mecanic; 4-axul de acționare a rolei pentru curea, fixată cu rulmenți pe ambele părți; 5- capac ce permite gresarea centrală; 6- curea dințată HDT 3M, pas 3mm, cu lățime 9mm.

Caracteristicile principale ale acestui tip de axă de translație sunt [\*\*\*2]:

- avansul căruciorului se realizează fără joc;
- eroarea de repetabilitate:  $\pm 0.2$  mm;
- viteza maximă de avans: 1.5m/s;

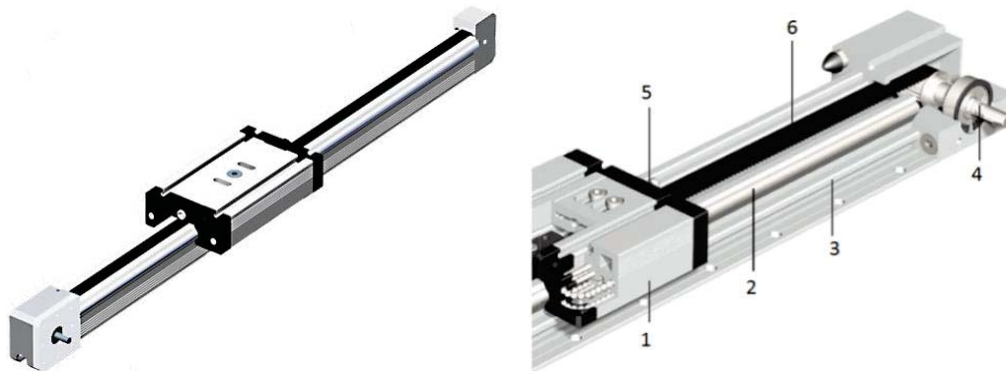


Figura 4.10 a) Axă de translație Isel LEZ1 cu curea dințată și cu cărucior cu bile  
b) Elementele constructive ale axei de translație Isel LEZ cu cărucior cu bile [\*\*\*2].

- precizia senzorilor pentru limitarea cursei: 0.1mm.

În Figura 4.11 este prezentată diagrama de sarcină a axei de translație Isel LEZ1, în Figura 4.12 vederea din față a axei liniare LEZ1, iar în Figura 4.13 vederea laterală a axei liniare LEZ1, cu cărucior cu bile, fără motor de acționare.

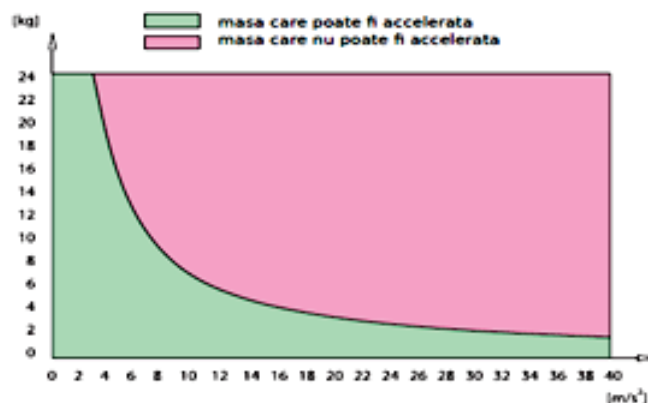


Figura 4.11 Diagrama de sarcină a axei de translație Isel LEZ1 [\*\*\*2]

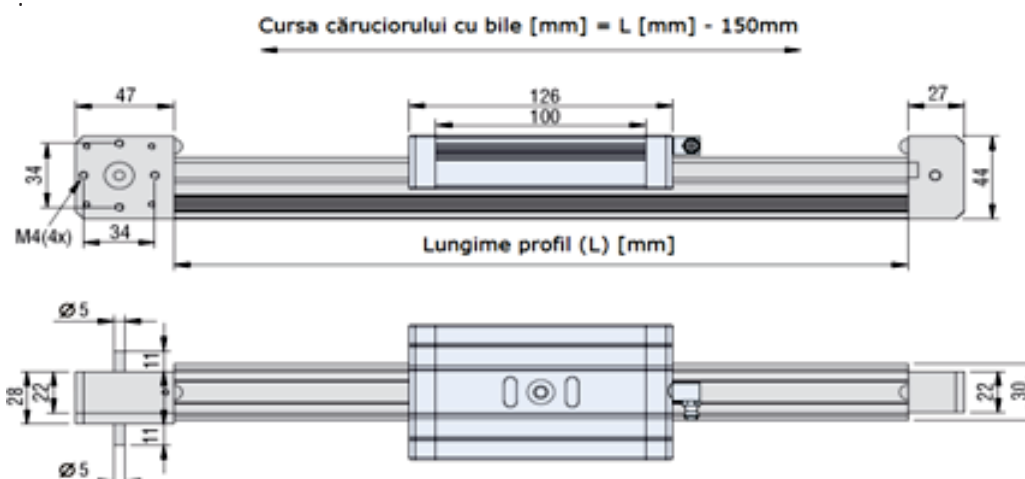


Figura 4.12 Axă liniară LEZ1, fără motor de acționare - vedere din față [\*\*\*2]



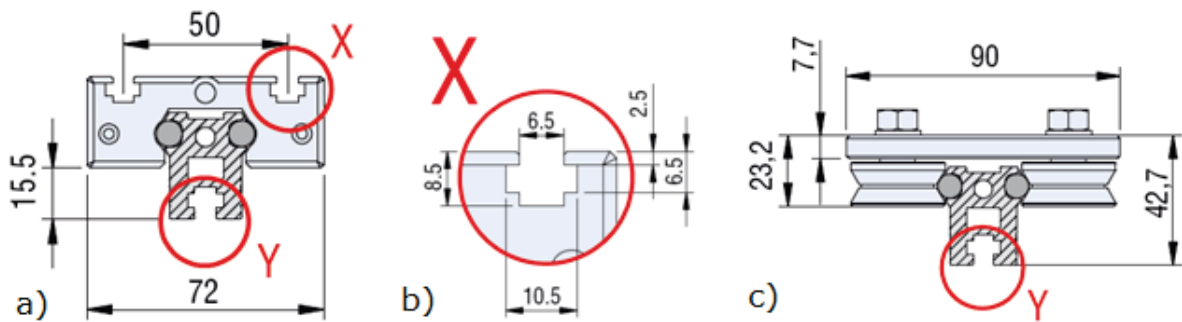


Figura 4.13 Axa liniară LEZ1, fără motor de acționare – a) vedere din lateral; b) detaliul X; c) detaliul Y [\*\*\*2]

### 4.3.3 Motoarele reciprocatorului

Motoarele ce acționează cuplele de translație sunt motoare pas cu pas bipolare, alese de la producătorul german Isel, modelul MS-135 HT2 [\*\*\*2] (Figura 4.14).

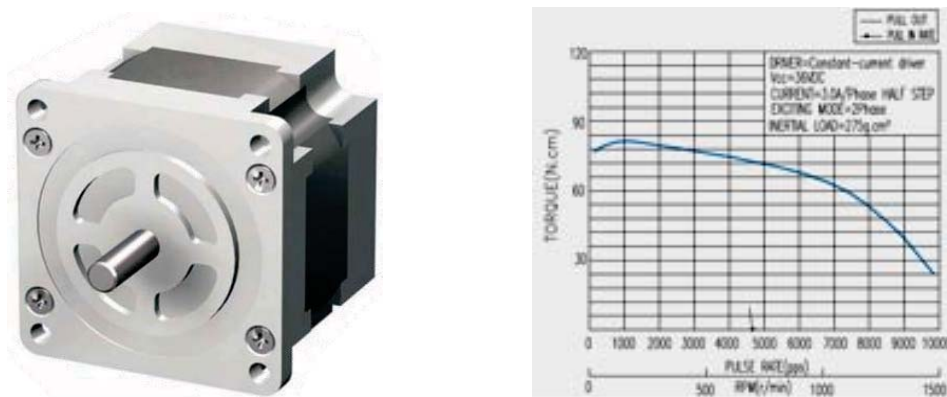


Figura 4.14 Motorul pas cu pas bipolar MS-135 HT2 și diagrama de cuplu [\*\*\*2]

Alegerea acționării cu motoare pas cu pas pentru aplicația necesară îndeplinirii obiectivelor tezei, s-a realizat din următoarele considerente [Maniu, 2001], [Maniu, 2003], [Dumitriu, 2006], [Maniu<sup>1</sup>, 2009]:

- au precizie mare de poziționare și permit mișcări rapide și bruște;
- aplicația nu necesită puteri mari de acționare;
- asigură univocitatea conversiei numărului de impulsuri în deplasare (pas unghiular), drept consecință pot fi utilizate în circuit deschis (buclă deschisă, fără măsurarea și reglarea automată a poziției unghiulare).

În plus, motoarele alese de la acest producător, sunt motoare pas cu pas bipolare [\*\*\*2], cu magneți permanenți rari, acest fapt aducând alte avantaje pentru scopul propus modelului experimental, și anume:

- au un cuplu motor mare (seria MS sunt de tip "High Torque" (eng. – "cuplu" mare);
- au cuplu de meținere;
- au durată de viață lungă și fiabilitate în timp prin costuri reduse de întreținere.

Caracteristicile principale ale acestui tip de motor pas cu pas bipolar MS-135 HT2 sunt [\*\*\*2]:

- optime pentru utilizare în sisteme de comandă a poziționării;
- pasul unghiular este de  $1.8^\circ$ ;
- raportul optim între cuplul dezvoltat și dimensiunile constructive.

#### 4.3.4 Unitatea de comandă și control

Controlerul Isel IMC-P reprezintă unitatea de comandă utilizată în cadrul standului experimental, fiind un sistem programabil care permite controlul a maxim patru motoare pas cu pas bipolare [\*\*\*2]. În Figura 4.15 este prezentată partea frontală și din spate a controlerului.

Acest controler integrează module necesare comenzii și controlului motoarelor pas cu pas (interfețe de comunicare cu calculatorul și cu motoarele, controler de mișcare, alimentare, etaje finale de amplificare, circuite de siguranță) [\*\*\*2], [Bogdanov, 2009].



Figura 4.15 Unitatea de comandă și control Isel IMC-P [\*\*\*2]

De asemenea controlerul dispune de un modul de procesare pentru controlul sistemului prin interfață serială RS232.

Funcționarea controlerului poate fi asigurată în două moduri [\*\*\*2]:

- modul DNC, în care controlerul este mereu conectat cu calculatorul prin port serial RS232 și este comandat prin pachetele software Remote sau ProNC;
- modul CNC, în care programul-cod este transferat în memoria *flash* a controlerului și acesta funcționează de sine stătător (*stand alone*), utilizând programul software PAL-PC, comunicarea fiind asigurată prin port paralel (LPT).

Deoarece s-a ales varianta de a utiliza controlerul comandat prin calculator, s-au achiziționat accesoriile de comunicare în acest caz: cablurile de

legătură (cablul pentru motoare (SubD9), cablul serial RS232, cablul de alimentare (220V)), accesorii de tip conectori și pachetele software produse de firma Isel.

Caracteristicile principale ale acestui model de controler sunt [\*\*\*2]:

- comunicarea cu calculatorul prin interfață serială RS232 (19200 baud, 8 biți, 1 bit stop, fără paritate);
- programarea în limbaje de nivel înalt dar și în ProNC, PAL-PC, Labview, Remote;
- dispune de un procesor RISC (32 biți), cu memorie *flash* de 128kB, care poate stoca până la 350 de comenzi;
- comanda a cel mult 4 motoare pas cu pas bipolare, prin 4 amplificatoare de putere MD24;
- frecvența maximă de intrare: 40 kHz;
- 8 intrări digitale;
- 8 ieșiri digitale pe tranzistoare (24Vc.c, 300mA) și o ieșire pe releu (220V, 6A);
- circuite de securitate în funcțiune.

Părțile componente principale ale controlerului sunt prezentate în Figura 4.16.

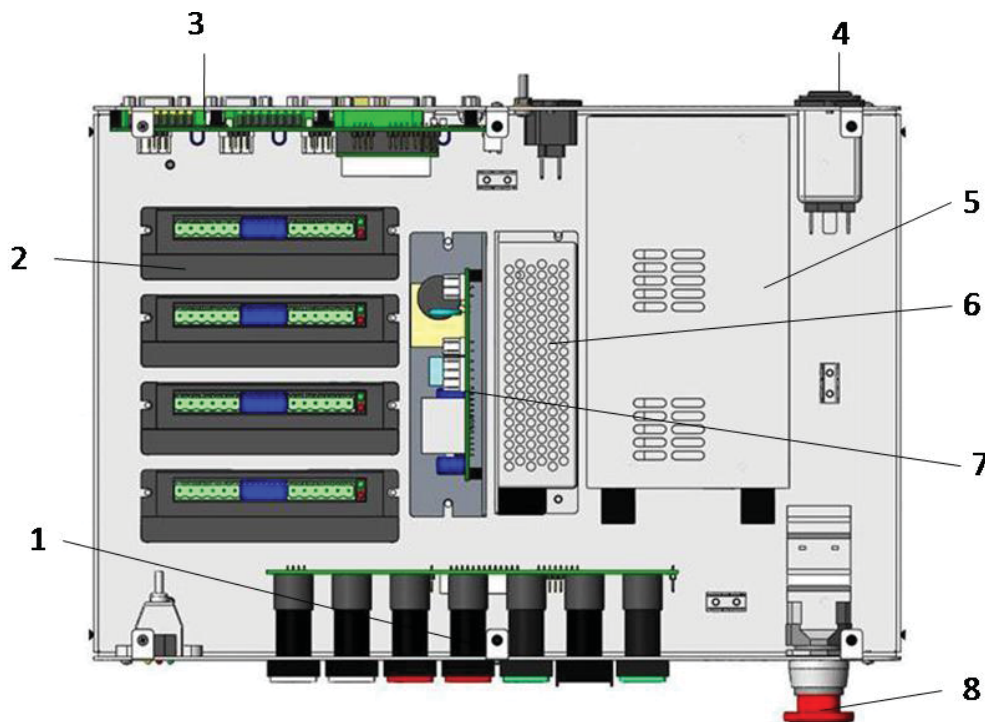


Figura 4.16 Părțile componente principale ale controlerului Isel IMC-P [\*\*\*2]

Numeroatarea elementelor este următoarea: 1- butoane de operare, situate pe fața frontală a controlerului; 2- 4×amplificatoare de putere MD24; 3- placa de bază care conține circuitele de comandă (procesor, memorie) și releu; 4- alimentare 220V; 5- transformator (220Vc.a. în 48Vc.c., 500W); 6- transformator (220Vc.a. în 24Vc.c., 60W); 7- placă cu circuite de securitate (releu de siguranță); 8- întrerupător de urgență (la apăsarea lui este blocată tensiunea de alimentare a motoarelor).

## 4.4 Modelul experimental al reciprocatorului

Modelul experimental al structurii de reciprocator permite mișcare de translație pe axele de coordonate X și Y, fiind o variantă redusă a soluției constructive prezentate în paragraful 4.1.2. Schema cinematică a modelului experimental al reciprocatorului este prezentată în Figura 4.17.

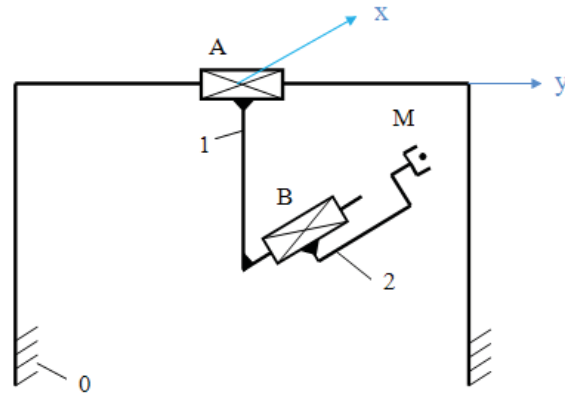


Figura 4.17 Schema cinematică a modelului experimental realizat

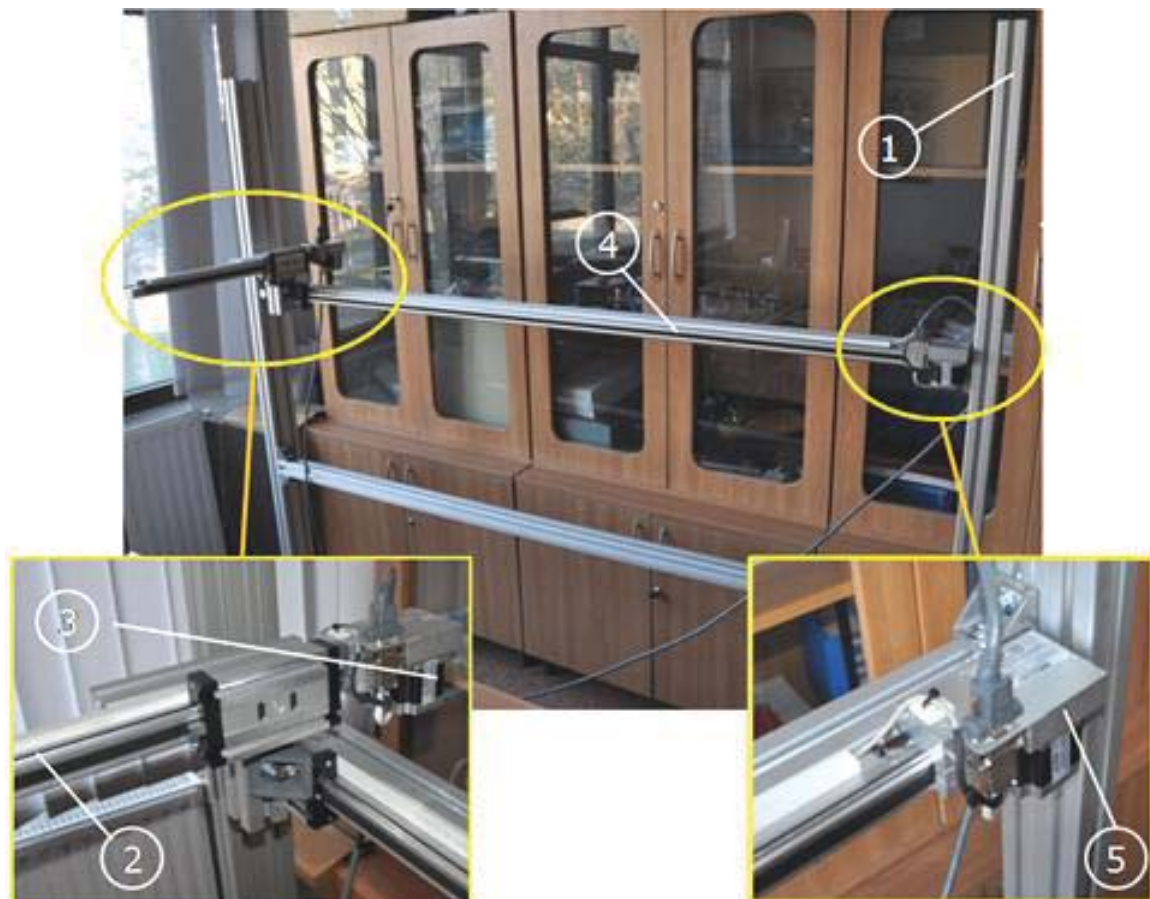


Figura 4.18 Modelul experimental al reciprocatorului

Modelul experimental al reciprocatorului este prezentat în Figura 4.18. Elementele componente marcate sunt: 1- cadru suport din profile de aluminiu; 2- axa de translație corespunzătoare axei X, a sistemului de coordonate atașat

reciprocatorului; 3- motor pas cu pas de acționare a axei liniare X; 4- axa de translație corespunzătoare axei Y; 5- motor pas cu pas de acționare a axei liniare Y.

## **4.5 Concluzii**

Cele două soluții constructive de reciprocator utilizează axe de translație cu o eroare de repetabilitate mică, într-o structură modulară cu precizie ridicată. Cu toate acestea, există o dificultate în materializarea unui model experimental al soluției constructive dubluportal, datorită gabaritului mare, a numărului mare de repere și a costurilor implicate. Structura mixtă portal-consolă reduce spațiul de lucru deservit și numărul de repere al reciprocatorului. Modelul experimental realizat al structurii de reciprocator permite mișcare de translație pe axele de coordonate X și Y, fiind o variantă redusă a celei de-a doua soluție constructivă.



## 5 Dezvoltarea unui dispozitiv de prehensiune destinat manipulării cărților

În acest capitol se prezintă etapele de analiză, sinteză structurală, proiectare asistată de calculator și de realizare a unui model experimental de dispozitiv de prehensiune dedicat pentru manipularea cărților în bibliotecă. Autorul urmărește utilizarea conexiunilor elastice în structura mecanismului de acționare a bacului mobil al dispozitivului de prehensiune. S-a utilizat material compozit pentru fabricarea conexiunilor elastice și a bacului mobil în scopul simplificării mecanismului de închidere a bacurilor și în scopul reducerii masei dispozitivului de prehensiune.

Etapele de proiectare și de construcție a dispozitivului de prehensiune s-au realizat în timpul stagiului de doctorat al autorului la *Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik* din cadrul Universității Tehnice Dresden, Germania în perioada aprilie-noiembrie 2011.

### 5.1 Soluții constructive ale dispozitivului de prehensiune

În acest paragraf sunt prezentate trei soluții constructive ale dispozitivului de prehensiune destinat aplicației de manipulare a cărților în bibliotecă. Structuri asemănătoare de dispozitive de prehensiune se utilizează în cadrul sistemelor robotice pentru manipularea de obicei a obiectelor de formă paralelipedică sau cilindrică.

Din Capitolul 2, paragraful 2.4, se poate spune că pentru aplicațiile robotizate de extragere și manipulare automată a cărților din bibliotecă este necesar utilizarea unor dispozitive de prehensiune clasice, cu bacuri paralele, acționate individual sau simultan. De asemenea, luând în considerare condiția de asimilare a formei cărților ca fiind obiecte paralelipedice (ca mod utilizat de ordonare în bibliotecă, între alte cărți, într-un raft) în Figura 5.1 se schematizează trei variante constructive de dispozitive de prehensiune, care se pot adapta aplicației tezei.

Pentru alegerea soluției optime a dispozitivului de prehensiune, se vor evidenția în continuare avantajele și dezavantajele fiecărei variante propuse, ținând cont și de structura de reciprocator prezentată în Capitolul 4.

#### **Soluția constructivă 1**

În Figura 5.1 se prezintă un dispozitiv de prehensiune cu bacuri cu perne de aer pentru apucarea cărții. Elementele componente ale acestei soluții constructive sunt: 1-carta manipulată, 2-bac al dispozitivului de prehensiune, 3-pernă cu aer, 4-circuit pneumatic, 5-batiul dispozitivului de prehensiune.

*Avantaje:*

- soluție constructivă simplă;
- fiabilitate prin acționare pneumatică

*Dezavantaje:*

- deschiderea fixă a bacurilor, ceea ce implică:
  - dexteritate redusă pentru apucarea cărților din raft;

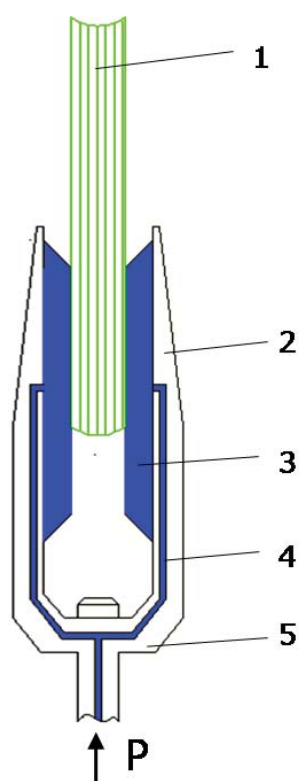


Figura 5.1 Dispozitiv de prehensiune pentru manipularea cărților cu bacuri cu perne de aer

- posibilitatea de distrugere a cărților din vecinătatea celei care se dorește a fi extrasă
- o utilizarea unui sistem de acționare (pneumatic) diferit față de cel al manipulatorului (electric).

### Soluția constructivă 2

Prezintă un dispozitiv de prehensiune care acționează asupra cărții cu un singur bac (bac mobil), care printr-o mișcare de translație realizată printr-un mecanism cu bare permite apucarea cărții din raft (Figura 5.2a). Elementele componente ale acestei soluții constructive sunt : 1-cărțile manipulată, 2-bac mobil, 3-sistemul de acționare a bacului mobil format din motorul electric de acționare și mecanismul cu bare, 4-bac fix, care face corp comun cu batiul dispozitivului de prehensiune.

#### Avantaje:

- o precizie ridicată de poziționare a cărții (în special la introducerea cărții în raft);
- o forțe de strângere mari

#### Dezavantaje:

- o construcția complexă a mecanismului de acționare a bacului mobil.

### Soluția constructivă 3

Prezintă un dispozitiv de prehensiune care utilizând principiul de acționare cu un singur bac (bac mobil) similar celui de la *Soluția constructivă 2*, acționează asupra cărții prin deformarea unei conexiuni elastice între bacul mobil și bacul fix (Fig 5.2b). Elementele componente sunt: 1-cărțile manipulată, 2-bacul fix (care face



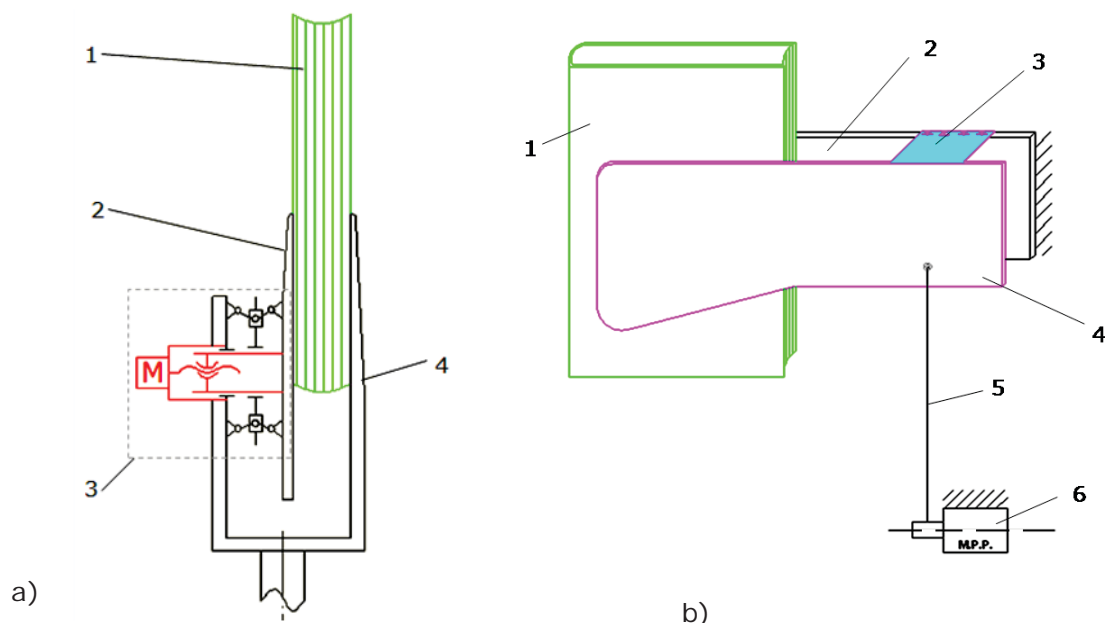


Figura 5.2 Soluții constructive propuse ale dispozitivului de prehensiune pentru manipularea cărților: a) cu mecanism cu bare pentru acționarea bacului mobil; b) cu conexiune elastică între bacul mobil și bacul fix

corp comun cu batiul dispozitivului de prehensiune), 3-conexiune elastică (material compozit deformabil), 4-bacul mobil, 5-fir de acționare a bacului mobil (bandă), 6-motor de acționare (m.p.p.).

**Avantaje:**

- soluție constructivă simplă;
- înlocuirea unui mecanism cu bare și cuple cinematice de clasa a V-a cu o conexiune elastică ce produce în situația dată același efect scontat;
- fiabilitate în funcționare;
- reducerea jocului mecanismului de acționare a bacului mobil printr-un număr mic de repere
- cost de fabricație redus.

**Dezavantaje:**

- influența rigidității conexiunii elastice asupra preciziei de poziționare;
- forțe de prehensare reduse.

**Alegerea soluției constructive finale**

Având în vedere faptul că direcția principală de cercetare a institutului unde autorul a efectuat stagiul de doctorat este axată pe dezvoltarea de structuri ușoare, (eng.: *lightweight engineering* - utilizând materiale compozite moderne, ranforsate cu fibre, care au un grad ridicat de integrare funcțională [\*\*\*1] și de studiu dinamic a utilizării acestora în comparație cu structurile ingineresti clasice (metalice), a dus în consecință la decizia de realizare unui model experimental pe baza *Soluției constructive 3*, a unui dispozitiv de prehensiune ce va include conexiuni elastice (fabricate din materiale compozite) în mecanismul de acționare a bacului mobil.

În scopul asigurării unei compatibilități în sistemul de comandă și control al manipulatorului, s-a ales pentru acționarea dispozitivului de prehensiune un motor pas cu pas (Isel MS-135 HT2) identic celui prezentat în Capitolul 4.

Ca urmare a soluției constructive alese, se consideră necesar dezvoltarea teoretică a conceptelor privind sinteza structurală a mecanismelor ce conțin conexiuni elastice.

## 5.2 Sinteza structurală a mecanismelor cu conexiuni elastice

Cerințele tehnologice ale produselor mecanice și mecatronice sunt în general complexe și necesită realizarea unor mișcări bine determinate în scopul asigurării desmodromiei mecanice.

Dezvoltarea teoriei mecanismelor s-a axat la început pe utilizarea în structura mecanismelor a elementelor considerate rigide (teoria clasică), apoi și pe utilizarea unor componente deformabile care aparțin unor conexiuni elastice (teoria modernă) [Perju, 1998], [Mesaroș, 1998], [Varga, 1998].

Pentru a se realiza o teorie unitară a mecanismelor care utilizează pe lângă elemente rigide și conexiuni elastice, este necesară sistematizarea structurală a acestora. În acest sens, se vor redefini cuplurile cinematice, elementele, respectiv se va prezenta sistematizarea structurală a acestor mecanisme.

### 5.2.1 Noțiuni de bază și definiții

*Mecanismul* este o parte constitutivă a unei mașini sau a unui aparat, având rolul de transmitere și transformare univoacă de mișcare și/sau forță [Perju, 1986].

*Elementul* este o piesa sau un grup de piese (corpuri) care formează un ansamblu teoretic nedeformabil, cu mișcări bine determinate în raport cu alte entități similare (definiția clasică) [Perju, 1986].

Din punct de vedere al rigidității, elementele pot fi clasificate în:

- elemente rigide;
- elemente cu componente deformabile.

Tabelul 5.1 Tipuri de elemente uzuale utilizate în construcția mecanismelor

| Tipuri de elemente |  |                    |                      |
|--------------------|--|--------------------|----------------------|
| Denumire           | Manivela                               | Balansier          | Culisa               |
| Simbol             |  |                    |                      |
| Denumire           | Piston, Piatra de culisa               |                    |                      |
| Simbol             |  |                    |                      |
| Denumire           | Roata dintata cilindrica si cremaliera |                    |                      |
| Simbol             |  |                    |                      |
| Denumire           | Cama plana rotativa si de translatie   | Melc-roata melcata | Roata dintata conica |
| Simbol             |  |                    |                      |

Elementele rigide dețin caracteristicile de rezistență ale materialului din care sunt realizate, fiind teoretic nedeformabile la tracțiune/compresiune, încovoiere și torsiune. În Tabelul 5.1 sunt prezentate cele mai uzuale tipuri de elemente utilizate în construcția mecanismelor.

Elementele flexibile/deformabile care pot fi de tip curea, benzi, materiale compozite deformabile se vor considera teoretic nedeformabile doar la anumite solicitări după una sau mai multe direcții [Lovasz, 2009].

*Cupla cinematică* este legătura directă și mobilă a două elemente (corpuri), care au zone de contact identice sau diferite [Perju, 1986].

Legătura mobilă dintre zonele de contact ale elementelor care formează cupla cinematică poate fi asigurată prin:

- forță;
- formă;
- material, prin deformare elastică a unor porțiuni ale elementului (cvasi-cuplă cinematică).

În Tabelul 5.2 [Perju, 1986] sunt prezentate cele mai uzuale tipuri de cuple cinematice utilizate în construcția mecanismelor.

Tabelul 5.2 Tipuri de cuple cinematice uzuale utilizate în construcția mecanismelor

| Cuple cinematice   |                  |                                      |                        |                                 |
|--------------------|------------------|--------------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| Denumire           | Sfera-plan       | Cilindru-plan                        | Sferă-jgeab            | Patină-spatială                 |
| Clasa              | I                | II                                   | II                     | III                             |
| Forma constructivă |                  |                                      |                        |                                 |
| Simbol             |                  |                                      |                        |                                 |
| Denumire           | Cuplă sferică    | Cuplă cilindrică / de rototranslatie | Cuplă plană superioară | Cuplă de rostogolire/înfășurare |
| Clasa              | III              | IV                                   | IV                     | V                               |
| Forma constructivă |                  |                                      |                        |                                 |
| Simbol             |                  |                                      |                        |                                 |
| Denumire           | Cuplă de rotație | Cuplă de translatie                  | Cuplă elicoidală       | Conexiune elastică              |
| Clasa              | V                | V                                    | V                      | V                               |
| Forma constructivă |                  |                                      |                        |                                 |
| Simbol             |                  |                                      |                        |                                 |

#### 44 Dezvoltarea unui dispozitiv de prehensiune destinat manipulării cărților - 5

*Mecanismul* este un ansamblu de elemente și cuple cinematice, care efectuează univoc anumite funcții cinematice/dinamice [Perju, 1986].

*Lanțul cinematic* reprezintă un grup de elemente legate între ele prin cuple cinematice (Figura 5.3) [Volmer, 1968], [Perju, 1971], [Kovacs, 1972], [Perju, 1986], [Kovacs, 1992], [Luck, 1995].

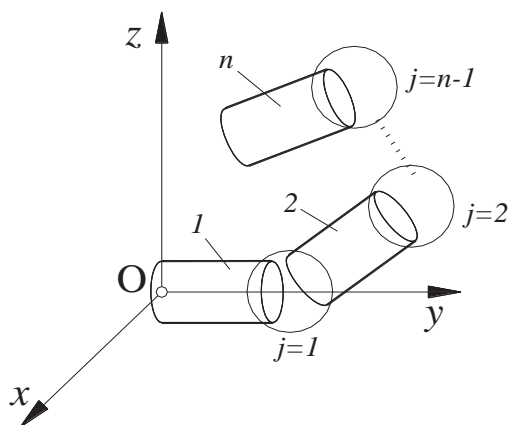


Figura 5.3 Definierea lanțului cinematic

*Gradul de libertate L* este definit ca fiind numărul parametrilor independenți necesari pentru definirea univocă a poziției/mișcării unui element/corp în raport cu un sistem de referință exterior lui [Perju, 1986].

*Gradul de libertate al unui lanț cinematic* față de un sistem de referință exterior lui se calculează cu relația [Perju, 1986]:

$$L = 6n - \sum_{i=1}^5 i \cdot c_i \quad (5.1)$$

unde:

$c_i$  - numărul cuplelor cinematice de clasă  $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 5$ ;

$n$  - numărul de elemente ale lanțului cinematic.

*Gradul de mobilitate M al unui mecanism* reprezintă numărul de parametri independenți necesari pentru a defini, în mod univoc, pozițiile tuturor elementelor mecanismului, în raport cu un sistem de referință propriu, solidar cu elementul fix [Perju, 1986].

Relația de calcul pentru gradul de mobilitate este [Perju, 1986]:

$$M = 6 \cdot (n - 1) - \sum_{i=1}^5 i \cdot c_i \quad (5.2)$$

Gradul de mobilitate al unui mecanism de familie  $f$  se calculează cu relația:

$$M = (6 - f) \cdot (n - 1) - \sum_{i=f+1}^5 (i - f) \cdot c_i \quad (5.3)$$

unde,

$f$  - familia mecanismului, care reprezintă numărul gradelor de libertate suprimate tuturor elementelor mecanismului [Perju, 1986].

Pentru mecanismele plane (de familie  $f = 3$ ), se poate scrie:

$$M = 3 \cdot (n - 1) - 2 \cdot c_5 - c_4 \quad (5.4)$$

unde,

$c_5$  - numărul cuplelor cinematice de clasa a V-a;

$c_4$  - numărul cuplelor cinematice de clasa a IV-a.

În cazul în care apar legături pasive și elemente cu grade de libertate de prisos (mișcări independente) atunci gradul de mobilitate real al unui mecanism se determină cu relația:

$$M_r = M - \sum_{i=1}^p L_{p_i} - \sum_{j=1}^m L_{id_j} \quad (5.5)$$

în care,

$M$  - gradul de mobilitate calculat anterior;

$\sum_{i=1}^p L_{p_i}$  - suma gradelor de libertate ale legăturilor pasive;

$\sum_{j=1}^m L_{id_j}$  - suma gradelor de libertate de prisos.

Un mecanism este geometric sau cinematic *desmodrom* dacă gradul său de mobilitate este egal cu numărul de elemente conducătoare (de intrare) [Perju, 1986]. Această desmodromie se mai numește și desmodromie de speța I, și are forma [Perju, 1986]:

$$M = n_m \quad (5.6)$$

unde,

$n_m$  - numărul de elemente conducătoare (motoare).

Desmodromia mecanismelor se realizează ca urmare a unor constrângeri impuse mișcărilor relative ale elementelor, în vederea limitării gradelor de libertate ale acestor mișcări.

Tabelul 5.3 Exemple de conexiuni cinematice de tip A, B sau C

| Tipul conexiunii | Numarul de elemente | Cuple cinematice |                    | Schema cinematica a conexiunii | Gradul de libertate $L_k$ | Notare     |
|------------------|---------------------|------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------|------------|
|                  |                     | Nr.              | Clasa              |                                |                           |            |
| A                | n = 0               | 1                | $c_5=1$            |                                | -2                        | $K_A(-2)$  |
|                  |                     |                  | $c_4=1$            |                                | -1                        | $K_A(-1)$  |
| B                | n = 1               | 2                | $c_5=2$            |                                | -1                        | $K_B(-1)$  |
|                  |                     |                  | $c_5=1$<br>$c_4=1$ |                                | 0                         | $K_B(0)$   |
| C                | n = 2               | 3                | $c_5=3$            |                                | 0                         | $K_C(0)$   |
|                  | oarecare            |                  |                    |                                | $L_k$                     | $K_C(L_k)$ |

Dacă un mecanism este desmodrom datorită acțiunii unor forțe, care apar în timpul funcționării mecanismului, acesta este desmodrom, din punct de vedere dinamic și gradul de mobilitate este diferit de numărul elementelor motoare [Perju, 1986].

Condiția de desmodromie dinamică (speța II) se poate scrie sub forma [Perju, 1986]:

$$n_m \leq M \leq n_m + n_d \quad (5.7)$$

unde:

$n_d$  - numărul elementelor, care își stabilesc poziția de echilibru, în condiții dinamice de funcționare.

*Conexiunea* reprezintă totalitatea mijloacelor de constrângere a mișcării relative dintre elemente, în scopul asigurării desmodromiei unui mecanism [Perju, 1986].

Conexiunile pot fi cinematice sau geometrice, respectiv dinamice/cinetostatice.

Conexiunile cinematice sau geometrice sunt conexiunile, care impun restricții din punct de vedere geometric, iar conexiunile dinamice/cinetostatice impun restricții din punct de vedere al echilibrului sistemului de forțe.

*Conexiunea cinematică* se poate defini ca fiind un lanț cinematic deschis, care se interpune între două elemente cu mișcare relativă cunoscută sau impusă [Perju, 1986].

Conexiunile pot fi de următoarele tipuri (Tabelul 5.3) [Perju, 1971], [Kovacs, 1972], [Kovacs, 1992]:

1. conexiune de tip A – conține o singură cuplă cinematică;
2. conexiune de tip B – conține un element și două cuple cinematice;
3. conexiune de tip C – pot avea orice alcătuire.

### 5.2.2 Conexiuni elastice în structura mecanismelor

În general un corp poate să conțină porțiuni rigide și porțiuni deformabile elastice. Aceste porțiuni vor fi denumite în continuare conexiuni elastice. În Figura 5.4 este prezentat un lanț cinematic cu conexiuni elastic deformabile.

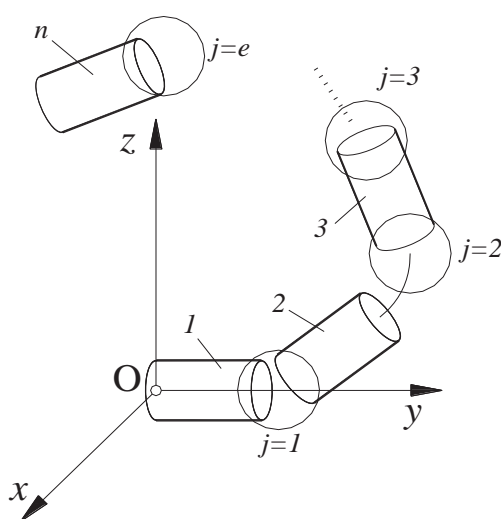


Figura 5.4 Lanț cinematic cu conexiuni elastic deformabile

Un element în general poate să conțină una sau mai multe porțiuni de element deformabile elastic denumite *conexiuni elastice*.

În acest caz, ținând cont de definiția conexiunii cinematice, se poate formula definiția conexiunii elastice astfel:

*Conexiunea elastică* este o conexiune cinematică care conține unul sau mai multe porțiuni de element deformabil elastic și este solidarizată cu elemente rigide având o mișcare relativă bine definită.

Conexiunea elastică permite grade de libertate suplimentare elementului în plan sau în spațiu. Aceste grade de libertate provin din deformările corespunzătoare solicitărilor de încovoiere sau compresiune ale componentelor deformabile elastic și pot genera mișcări de cvasirotație sau translație între elementele considerate. Gradele de libertate suplimentare sunt dependente de sistemul de forțe care acționează asupra conexiunii elastice.

În Tabelul 5.4 sunt reprezentate o serie de conexiuni elastice.

Tabelul 5.4 Exemple de conexiuni elastice

| Nr. cuple cinematice | Număr de elemente | Tipul conexiunii cinematice | Număr de elemente rigide | Număr de conexiuni elastice | Simbolul conexiunilor elastice | Nr. grade de libertate suplimentare $l_{elK}$ | Grad de libertate L |
|----------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---|---------------------|
| 2                    | 1                 | KA                          | 0                        | 1                           |                                | 1   | 0                   |
|                      |                   |                             | 1                        | 1                           |                                | 1   | 0                   |
|                      |                   |                             | 1                        | 1                           |                                | 2   | 1                   |
|                      |                   | KB                          | 2                        | 1                           |                                | 1   | 0                   |
|                      |                   |                             | 2                        | 1                           |                                | 2   | 1                   |
|                      |                   |                             | 2                        | 1                           |                                | 3   | 2                   |
|                      |                   |                             | 1                        | 2                           |                                | 1   | 0                   |
|                      |                   |                             | 1                        | 2                           |                                | 2   | 1                   |
|                      |                   |                             | 1                        | 2                           |                                | 3   | 2                   |

**Gradul de libertate a mecanismelor cu conexiuni elastice**

Gradul de libertate al unui lanț cinematic care conține pe lângă elemente rigide și conexiuni elastice se va determina cu relația (5.8):

$$L = 6 \cdot n + \sum_{k=1}^m f_{elK_k} \cdot n_{elK_k} - \sum_{j=1}^e u_j \tag{5.8}$$

$$L = 6 \cdot n + \sum_{k=1}^m f_{elK_k} \cdot n_{elK_k} - \sum_{i=1}^5 (6-f_i) c_i \quad (5.8')$$

În care,

$n$  = numărul total de elemente;

$m$  = numărul de conexiuni elastice;

$n_{elK}$  = numărul de conexiuni elastice din numărul total de elemente și/sau conexiuni elastice;

$f_{elK}$  = numărul gradelor de libertate suplimentare ale conexunilor elastice;

$c_i$  = numărul cuplelor cinematice de clasa  $i$ ,  $i=1,2,\dots,5$ .

Relația (5.8) pentru gradul de libertate a mecanismelor cu elemente elastice, devine în cazul lanțului cinematic plan:

$$L = 3 \cdot n + \sum_{k=1}^m f_{elK_k} \cdot n_{elK_k} - 2c_5 - c_4 \quad (5.9)$$

### **Gradul de mobilitate al mecanismelor cu conexiuni elastice**

Pentru a obține un mecanism dintr-un lanț cinematic, este necesar conform definiției mecanismelor, fixarea unui element al lanțului cinematic, ceea ce înseamnă că în spațiu vor fi anulate șase grade de libertate ale lanțului cinematic considerat. În acest caz, ecuația gradului de mobilitate pentru mecanisme care conțin conexiuni elastice va fi dată de relația:

$$M = 6 (n - 1) + \sum_{k=1}^m f_{elK_k} \cdot n_{elK_k} - \sum_{j=1}^e u_j \quad (5.10)$$

$$M = 6 (n - 1) + \sum_{k=1}^m f_{elK_k} \cdot n_{elK_k} - \sum_{i=1}^5 (6 - f_i) \cdot c_i \quad (5.10')$$

Gradul de mobilitate a mecanismelor plane cu elemente elastice se va calcula cu relația:

$$M = 3(n - 1) + \sum_{k=1}^m f_{elK_k} \cdot n_{elK_k} - 2c_5 - c_4 \quad (5.11)$$

Condiția de desmodromie în cazul mecanismelor cu conexiuni elastice va fi dată de relația:

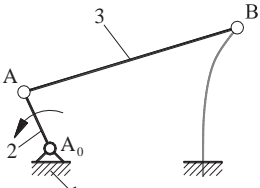
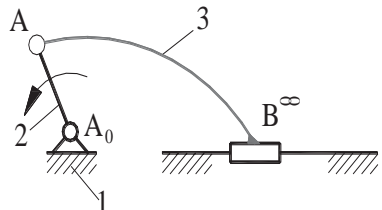
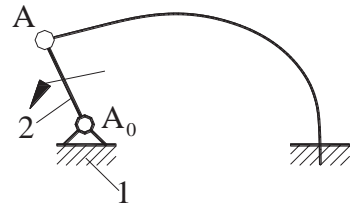
$$0 = 2 \cdot \left( c_5 + \frac{c_4}{2} \right) - 3 \cdot n + \sum_{k=1}^m f_{elK_k} \cdot n_{elK_k} + 3 + M \quad (5.12)$$

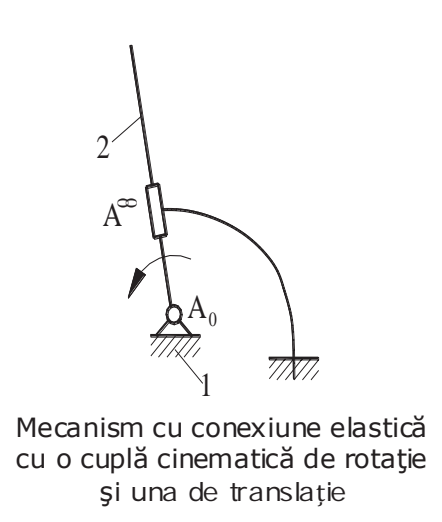
### **Desmodromia mecanismelor cu conexiuni elastice**

Gradul de mobilitate a unui mecanism în condiții cinematice, care realizează mișcări bine determinate, trebuie să fie egal cu numărul elementelor motoare, conform (5.6).



Tabelul 5.5 Exemple de verificare a desmodromiei pentru mecanisme care conțin conexiuni elastice

| Nr.  | Schema cinematică   | Numărul cuplelor cinematice motoare și a conexiunilor elastice |             |              |  |
|--|---|--|-------------|--------------|--|
| 1.   |  <p data-bbox="336 741 647 801">Mecanism patruleter cu conexiune elastică</p>                              | $n=3$  |             |              |  |
|  |   | $n_{elK} = 1$ cu $f_{elK} = 1$                                 |             |              |  |
|  |   | Numărul cuplelor cinematice                                    | Clasa a V-a | Clasa a IV-a |  |
|  |   | $c_5 = 3$  |             | $c_4 = 0$    |  |
|  |   | Gradul de mobilitate al mecanismului                           |             |              |  |
|  |   | $M = 3 \cdot (3 - 1) + 1 \cdot 1 - 2 \cdot 3 - 0 = 1$          |             |              |  |
|  |   | Numărul elementelor motoare                                    | $n_m = 1$   | $n_d = 1$    |  |
| Desmodromia                                      |   |  |             |              |  |
| $1 \leq 1 \leq 1 + 1 = 2$ (condiție îndeplinită) |   |  |             |              |  |
| 2.   |  <p data-bbox="300 1323 687 1384">Mecanism manivelă piston cu conexiune elastică</p>                     | $n=3$  |             |              |  |
|  |   | $n_{elK} = 1$ cu $f_{elK} = 2$                                 |             |              |  |
|  |   | Numărul cuplelor cinematice                                    | Clasa a V-a | Clasa a IV-a |  |
|  |   | $c_5 = 3$  |             | $c_4 = 0$    |  |
|  |   | Gradul de mobilitate al mecanismului                           |             |              |  |
|  |   | $M = 3 \cdot (3 - 1) + 2 \cdot 1 - 2 \cdot 3 - 0 = 2$          |             |              |  |
|  |   | Numărul elementelor motoare                                    | $n_m = 1$   | $n_d = 1$    |  |
| Desmodromia                                      |   |  |             |              |  |
| $1 \leq 2 \leq 1 + 1 = 2$ (condiție îndeplinită) |   |  |             |              |  |
| 3.   |  <p data-bbox="284 1856 703 1946">Mecanism cu conexiune elastică și două cuple cinematice de rotație</p> | $n=2$  |             |              |  |
|  |   | $n_{elK} = 1$ cu $f_{elK} = 2$                                 |             |              |  |
|  |   | Numărul cuplelor cinematice                                    | Clasa a V-a | Clasa a IV-a |  |
|  |   | $c_5 = 2$  |             | $c_4 = 0$    |  |
|  |   | Gradul de mobilitate al mecanismului                           |             |              |  |
|  |   | $M = 3 \cdot (2 - 1) + 2 \cdot 1 - 2 \cdot 2 - 0 = 1$          |             |              |  |
|  |   | Numărul elementelor motoare                                    | $n_m = 1$   | $n_d = 1$    |  |
| Desmodromia                                      |   |  |             |              |  |
| $1 \leq 1 \leq 1$ (condiție îndeplinită)         |   |  |             |              |  |

| Nr.   | Schema cinematică  |                                      |                         |
|---|--|--------------------------------------|-------------------------|
| <p data-bbox="204 528 240 562">4.</p>  <p data-bbox="284 689 703 786">Mecanism cu conexiune elastică cu o cuplă cinematică de rotație și una de translație</p> | Numărul cuplelor cinematice motoare și a conexiunilor elastice |                                      |                         |
|   | $n=2$  | $n_{elK} = 1$<br>cu<br>$f_{elK} = 2$ |                         |
|   | Numărul cuplelor cinematice                                    | Clasa a V-a<br>$c_5=2$               | Clasa a IV-a<br>$c_4=0$ |
|   | Gradul de mobilitate al mecanismului                           |                                      |                         |
|   | $M = 3 \cdot (2 - 1) + 2 \cdot 1 - 2 \cdot 2 - 0 = 1$          |                                      |                         |
|   | Numărul elementelor motoare                                    | $n_m = 1$                            | $n_d = 1$               |
|   | Desmodromia  |                                      |                         |
|   | $1 \leq 1 \leq 1$ (condiție îndeplinită)                       |                                      |                         |

Un mecanism cu conexiuni elastice este desmodrom dacă poziția elementului motor și al elementului condus sunt univoc corelate, atunci când mecanismul funcționează în condiții cinetostatice identice. Mecanismul este considerat desmodrom dacă este îndeplinită condiția (5.7) (nu este recomandată funcționarea mecanismului în condiții dinamice accentuate).

În Tabelul 5.5 sunt prezentate patru exemple de mecanisme care conțin conexiuni elastice și pentru fiecare se va verifica condiția de desmodromie.

**Determinarea gradului de libertate al mecanismelor cu conexiuni elastice în funcție de condițiile geometrice**

În cazul mecanismelor plane cu bare, mișcarea unui element mobil (E) față de sistemul de referință aparținând elementului fix (F) este univoc determinată, dacă două puncte ale elementului mobil E se sprijină pe două curbe, aparținând celuilalt element (F). Aceste curbe au fost denumite în [Perju, 1971] și [Perju, 1986] curbe suport. Un punct al unui element descrie în mișcarea sa relativă în raport cu alt element o curbă suport.

În Figura 5.5 este prezentat un exemplu de element mobil care se sprijină pe două curbe suport.

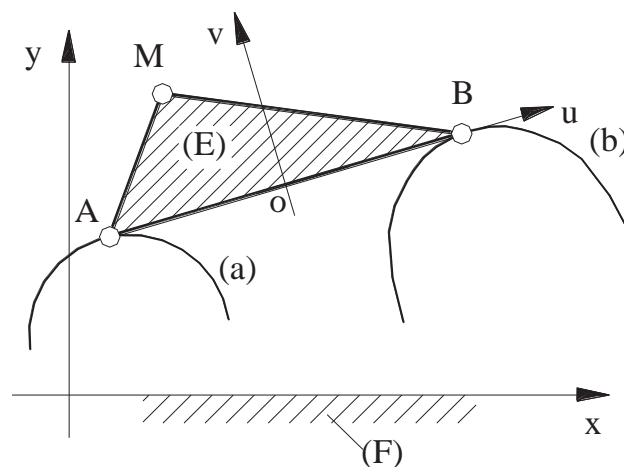


Figura 5.5 Curbe suport (a) și (b) pentru elementul mobil (E)

Mecanismele patrulatere cu bare trebuie să conțină două astfel de curbe suport. Aceste curbe suport pot fi generate de mecanisme parțiale simple. Deoarece mecanismele patrulatere cu bare conțin două curbe suport și un element rigid, gradul de mobilitate al mecanismului rezultat se va calcula cu relația:

$$M = M_a + M_b + L_{AB} \quad (5.13)$$

în care:

(a),  $M_a$  = gradul de mobilitate al mecanismului parțial care descrie curba suport

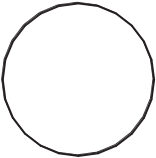
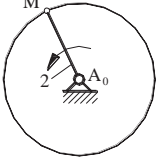

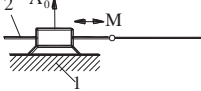

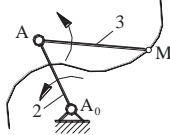
(b),  $M_b$  = gradul de mobilitate al mecanismului parțial care descrie curba suport

$L_{AB}$  = gradul de libertate a conexiunii  $\Delta B$ ,  $K_{B(-1)}$  ( $L_{AB} = -1$ ).

Curbele suport ale mecanismelor patrulatere sunt curbe particulare de tip cerc sau dreaptă. În cazul mecanismelor cu conexiune elastică curbele suport sunt curbe oarecare determinate din condiții cinetostatice. Aceste curbe suport sunt univoc determinate atâta timp cât variația sistemului de forțe exterioare în timpul unui ciclu de mișcare nu se modifică. Metoda de determinare a gradului de mobilitate în funcție de condițiile geometrice este valabilă numai în cazul mecanismelor cu conexiuni elastice care conțin un element rigid de tip bielă.

În Tabelul 5.6 sunt prezentate exemple de curbe suport și mecanismele parțiale care le generează.

Tabelul. 5.6 Exemple de curbe suport și de mecanisme parțiale

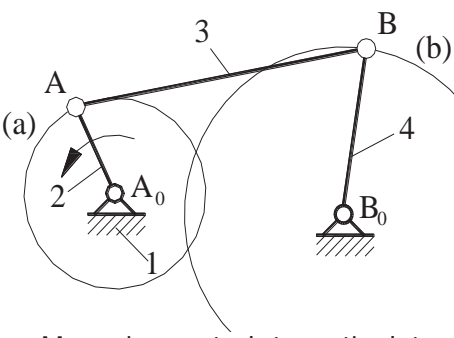
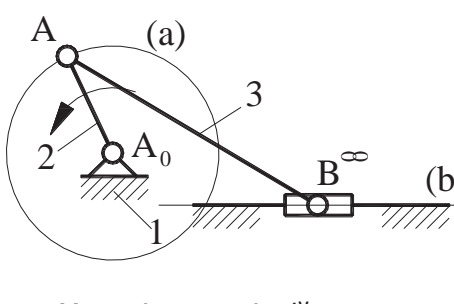
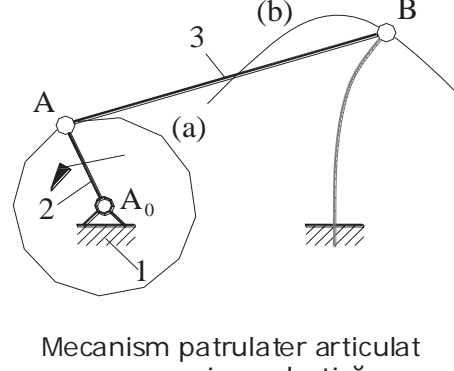
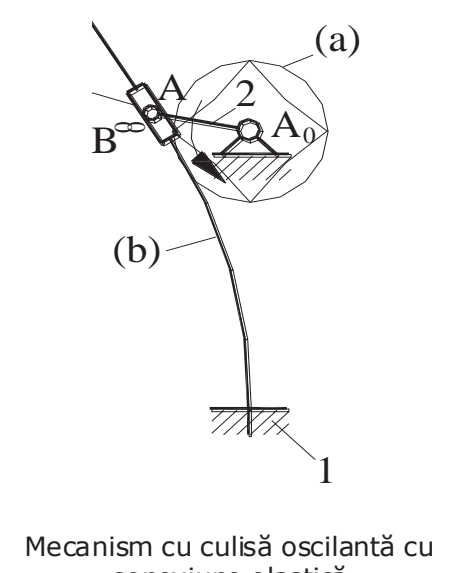
| Curbă suport   | Reprezentare  | Schema cinematică a mecanismului parțial   | Gradul de mobilitate $M_k$ |
|----------------|---|--|----------------------------|
| Cerc           |  |  | 1                          |
| Dreaptă        |  |  | 1                          |
| Curbă oarecare |  |  | 1                          |

În Tabelul 5.7 se prezintă exemple de calcul a gradului de mobilitate pentru mecanisme care conțin conexiuni elastice.

Prin considerarea mișcării inverse, se poate calcula gradul de libertate și al elementelor la care elementul de tip bielă este o conexiune elastică.

52 Dezvoltarea unui dispozitiv de prehensiune destinat manipulării cărților - 5

Tabelul 5.7 Exemple de calcul a mecanism care conțin conexiuni elastice

| Nr.  | Schema cinematică  |               |   |   |                                       | Gradul de libertate al bieiei                |  |                               |                               |
|--|--|---------------|---|---|---------------------------------------|--|--|-------------------------------|-------------------------------|
| 1.   |  <p>Mecanism patrulater articulat</p> |               |   | Gradul de mobilitate al mecanismului parțial  |                                       |  |  |                               |                               |
|  |  |               |   | $M_a = 1$<br>Curbă suport<br>(a) Cerc   | $M_b = 1$<br>Curbă suport<br>(b) Cerc | $L_{AB} = -1$                                |  |                               |                               |
|  |  |               |   | Gradul de mobilitate al mecanismului  |                                       |  | $M = 1 + 1 - 1 = 1$                          |                               |                               |
|  |  |               |   |  <p>Mecanism manivelă-piston</p> |                                       |  | Gradul de mobilitate al mecanismului parțial |                               | Gradul de libertate al bieiei |
| $M_a = 1$<br>Curbă suport<br>(a) Cerc  | $M_b = 1$<br>Curbă suport<br>(b) Dreaptă   | $L_{AB} = -1$ |   |   |                                       |  |  |                               |                               |
| Gradul de mobilitate al mecanismului   |  |               | $M = 1 + 1 - 1 = 1$   |   |                                       |  |  |                               |                               |
|  <p>Mecanism patrulater articulat cu conexiune elastică</p> |  |               | Gradul de mobilitate al mecanismului parțial  |   |                                       |  | Gradul de libertate al bieiei                |                               |                               |
|  |  |               | $M_a = 1$<br>Curbă suport<br>(a) Cerc   | $M_b = 1$<br>Curbă suport<br>(b) Curbă de deformație  | $L_{AB} = -1$                         |  |  |                               |                               |
|  |  |               | Gradul de mobilitate al mecanismului  |   |                                       | $M = 1 + 1 - 1 = 1$                          |  |                               |                               |
|  |  |               |  <p>Mecanism cu culisă oscilantă cu conexiune elastică</p> |   |                                       | Gradul de mobilitate al mecanismului parțial |  | Gradul de libertate al bieiei |                               |
| $M_a = 1$<br>Curbă suport<br>(a) Cerc  | $M_b = 1$<br>Curbă suport<br>(b) Curba fibrei deformată  | $L_{AB} = -1$ |   |   |                                       |  |  |                               |                               |
| Gradul de mobilitate   |  |               |   |   |                                       | $M = 1 + 1 - 1 = 1$                          |  |                               |                               |

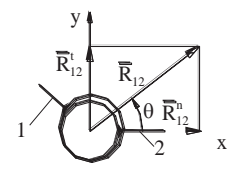
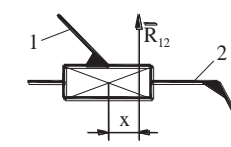
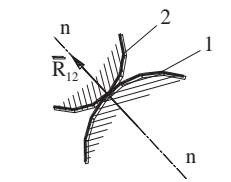
### Determinarea gradului de mobilitate a unui mecanism cu conexiuni elastice în funcție de condițiile cinetostatice

Un lanț cinematic, care conține numai elemente rigide este static determinat dacă acesta se află în echilibru cinetostatic. Conform principiului echilibrului părților, dacă un sistem de corpuri se află în echilibru sub acțiunea torsorului forțelor, atunci și părțile acelui sistem se află în echilibru sub acțiunea unei părți a sistemului de forțe și reacțiuni. În consecință, un lanț cinematic se află în echilibru sub acțiunea unui sistem de forțe, dacă fiecare element al lanțului cinematic se află în echilibru sub acțiunea părții corespunzătoare a forțelor torsorului de forțe.

Din punct de vedere matematic, un lanț cinematic care conține numai elemente rigide este static determinat dacă numărul ecuațiilor de echilibru este egal cu numărul reacțiunilor.

În Tabelul 5.8 sunt explicitate necunoscutele ce apar în cadrul a trei tipuri de cuple cinematice: de rotație, de translație și curba plană superioară.

Tabelul 5.8 Necunoscutele introduse de cuplele cinematice

| Tipul cuplei cinematice        | Reprezentare  | Necunoscute                                     | Numărul de necunoscute |
|--------------------------------|---|---|------------------------|
| Cuplă cinematică de rotație    |   | $R_{12}^n, R_{12}^t$<br>sau<br>$R_{12}, \theta$ | 2                      |
| Cuplă cinematică de translație |  | $R_{12}, x$                                     | 2                      |
| Curbă plană superioară         |  | $R_{12}$  | 1                      |

Pentru un element rigid se pot scrie 3 ecuații de echilibru, ceea ce înseamnă că pentru un lanț cinematic care conține numai elemente rigide, având  $n$  elemente, se pot scrie  $3 \cdot n$  ecuații. Pentru o cuplă cinematică de clasă a V-a avem 2 parametri cinetostatici necunoscuți, ceea ce înseamnă că  $c_5$  cuple cinematice de clasă a V-a conțin  $2 \cdot c_5$  parametri cinetostatici necunoscuți. Analog, o cuplă cinematică de clasă a IV-a conține un parametru cinetostatic necunoscut, ceea ce înseamnă că  $c_4$  cuple cinematice de clasă a IV-a conțin  $1 \cdot c_4$  parametri cinetostatici necunoscuți.

Prin urmare, în Figura 5.6 este sistematizată relația între numărul de elemente a unui lanț cinematic și ecuațiile de echilibru, respectiv numărul de cuple cinematice și numărul de necunoscute introduse de acestea.

Concluzionând, rezultă că:

$$3n - 2c_5 - c_4 = 0 \quad (5.14)$$

sau:

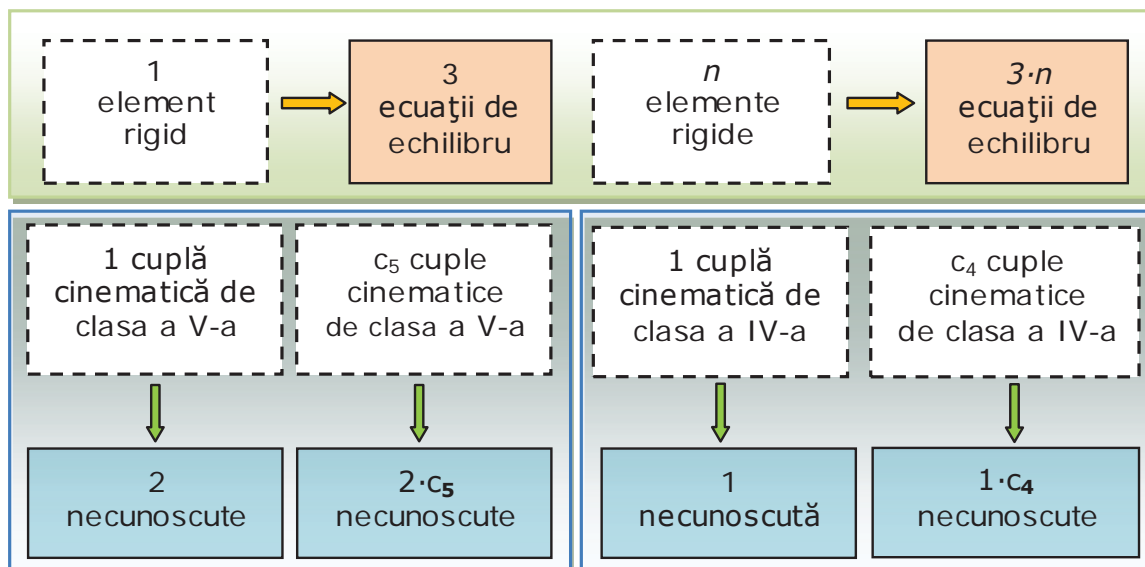


Figura 5.6 Sistematizarea relației între elementele unui lanț cinematic (care conține numai elemente rigide) și ecuațiile, respectiv necunoscutele implicate de acestea

$$L_k = 0 \tag{5.15}$$

Cu alte cuvinte, condiția ca un lanț cinematic care conține numai elemente rigide să fie static determinat, este ca acesta să aibă grad de libertate nul.

Gradul de mobilitate al mecanismului rezultă din suma gradelor de mobilitate ale elementelor motoare și a gradelor de libertate a grupelor cinematice cuplate cu acesta:

$$M = M_m + \sum L_k \tag{5.16}$$

unde,

$M_m$  = gradul de mobilitate ale elementului motor;

$\sum L_k$  = gradul de libertate al lanțului cinematic cuplat cu acesta.


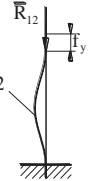
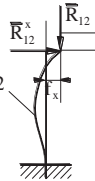
În Tabelul 5.9 sunt prezentate necunoscutele ce apar în cazul conexiunilor elastice, supuse la trei tipuri de solicitări. Numărul necunoscutelor este dependent de tipul solicitării. În cazul solicitărilor simple, de tipul încovoiere sau compresiune, există o singură necunoscută, iar în cazul solicitărilor complexe de încovoiere și compresiune, există două necunoscute. În cazul acesta, pentru lanțurile cinematice care conțin pe lângă elemente rigide și conexiuni elastice, numărul ecuațiilor de echilibru crește cu numărul gradelor de libertate suplimentare datorate conexiunilor elastice.

În cazul lanțurilor cinematice care conțin pe lângă elementele rigide și conexiuni elastice, numărul ecuațiilor crește corespunzător cu numărul gradelor de libertate suplimentare date de componentele deformabile elastic (conexiuni elastice).

Astfel, pentru lanțurile cinematice care conțin conexiuni elastice, se poate scrie următoarea relație:

$$3 \cdot n + \sum_{k=1}^m f_{eIK_k} \cdot n_{eIK_k} = 2 \cdot c_5 + c_4 \tag{5.17}$$

Tabelul 5.9 Necunoscutele introduse de conexiunile elastice în funcție de tipul solicitării

| Tipul solicitării                   | Reprezentare  | Necunoscut | Numărul necunoscutelor |
|-------------------------------------|---|------------|------------------------|
| Încovoiere                          |  | $f_x$      | 1                      |
| Compresiune / flambaj               |  | $f_y$      | 1                      |
| Încovoiere și compresiune / flambaj |  | $f_x, f_y$ | 2                      |

$$3 \cdot n + \sum_{k=1}^m f_{elK_k} \cdot n_{elK_k} - 2 \cdot c_5 - c_4 = 0 \quad (5.18)$$

În concluzie, pentru lanțurile cinematice care conțin pe lângă elementele rigide și conexiuni elastice, condiția ca lanțul cinematic să fie static determinat este ca gradul de libertate al acestuia să fie zero (5.18). Gradul de mobilitate al mecanismului care conține un lanț cinematic compus din elemente rigide și conexiuni elastice se calculează cu relația (5.11).

În Figura 5.7 este sistematizată relația între elementele unui lanț cinematic (care conține elemente rigide și conexiuni elastice) și ecuațiile, respectiv necunoscutele implicate de acestea.

### 5.2.3 Sistematizarea structurală a mecanismelor cu conexiuni elastice

Mecanismele cu conexiuni elastice sunt mecanisme care conțin pe lângă elementele rigide și conexiuni elastice, respectiv conțin și cuple cinematice de rotație și/sau translație. Elementele parțiale elastice sunt solidarizate cu elemente parțiale rigide și/sau cu elementele rigide prin cuple cinematice. Pentru sistematizarea mecanismelor cu conexiuni elastice se vor utiliza lanțurile cinematice ale mecanismelor patrulater de tip RRRR, RRRT, TRRT și TRTR. Mecanismele cu conexiuni elastice pot conține conexiuni de tip KA (Tabel 5.10), KB (Tabel 5.11) sau KC (care conține doar o conexiune elastică cu sau fără o cuplă cinematică) (Tabel 5.12).

Conform metodei REULEAUX, care presupune că unul dintre elementele lanțului cinematic să fie considerat element fix, unul sau mai multe elemente să fie înlocuite cu conexiuni elastice și un element să fie considerat element motor, rezultă sistematizările mecanismelor cu conexiuni elastice din tabelele 5.10, 5.11, 5.12.

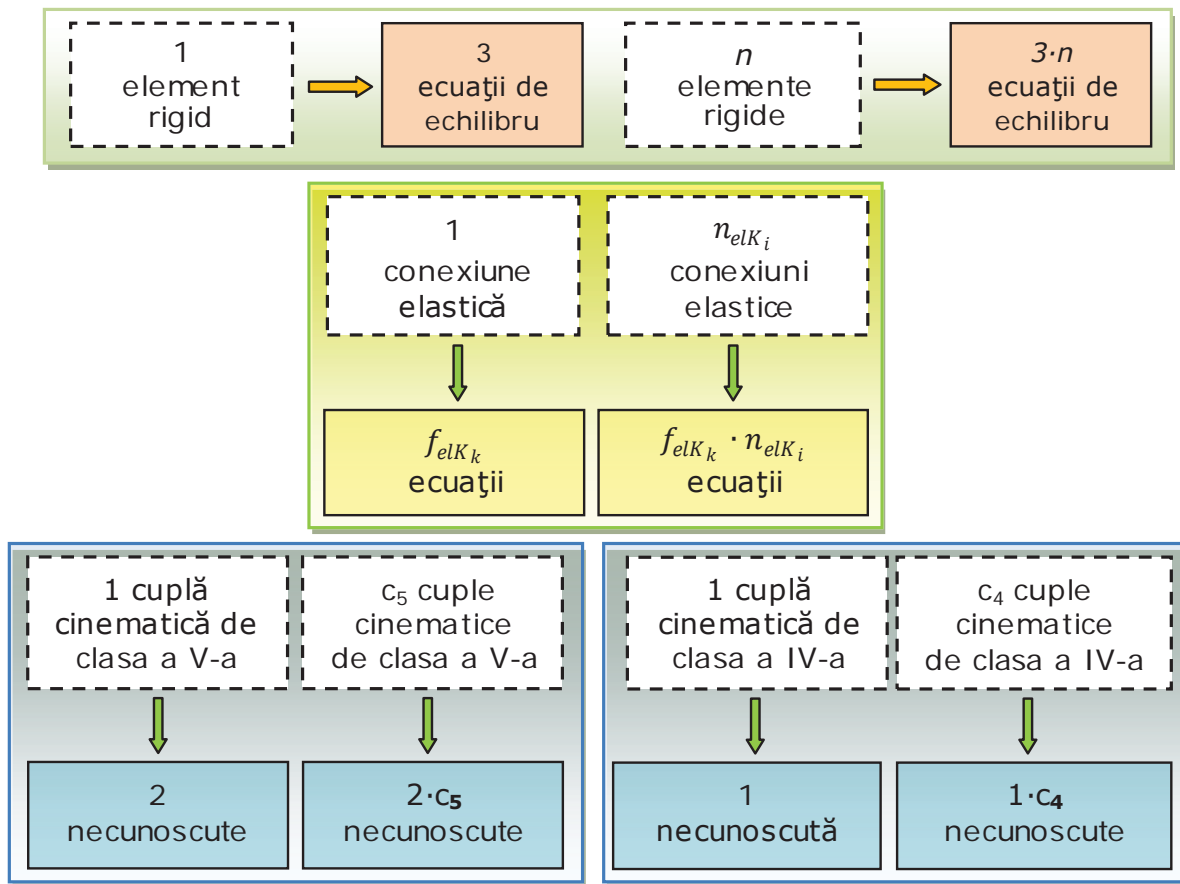



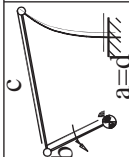
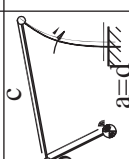
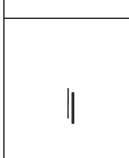
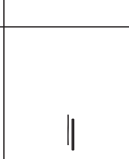
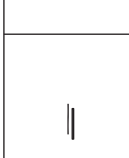
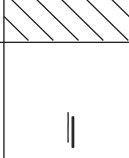
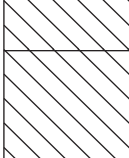
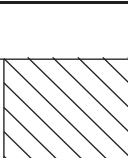
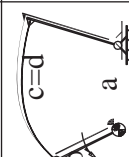
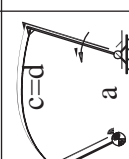
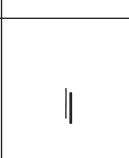
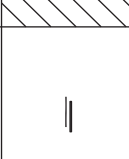
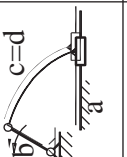
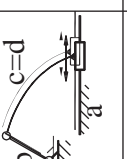
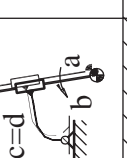
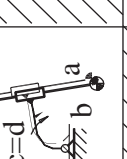

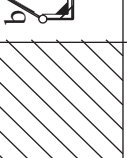
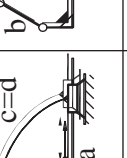
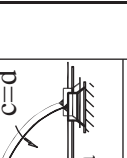
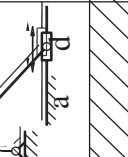
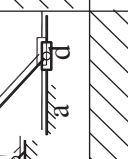
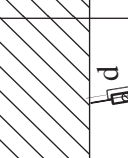
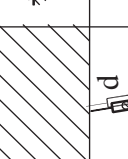
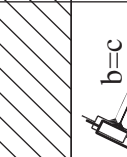
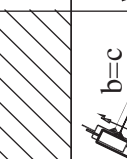
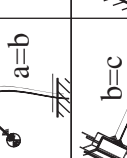

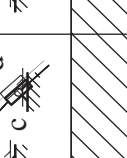
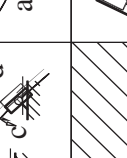
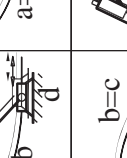
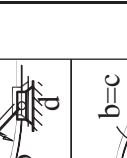
Figura 5.7 Sistematizarea relației între elementele unui lanț cinematic (care conține elemente rigide și conexiuni elastice) și ecuațiile, respectiv necunoscutele implicate de acestea

Elementul motor poate să realizeze atât mișcări de rotație cât și mișcări de translație, dar și elementul elastic poate fi acționat cu ajutorul piezoactuatorilor încorporate în elementul elastic considerat din material compozit. În sistematizarea realizată, elementele motoare sunt adiacente elementului fix.

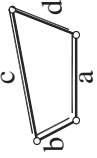
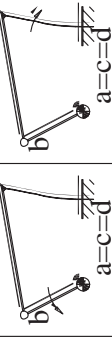



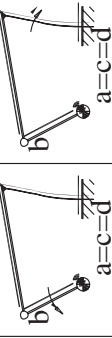



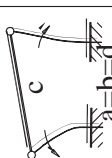


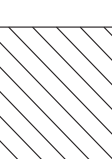




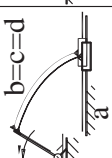
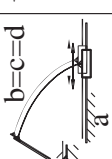
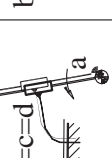

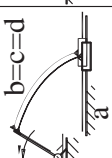
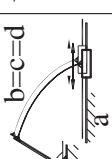
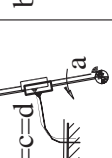

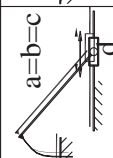
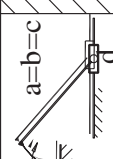


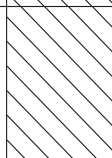
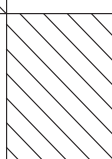
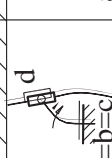
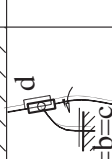
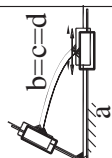

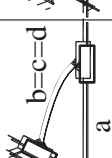
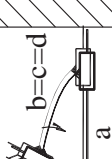
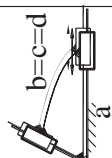

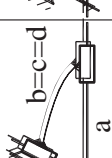
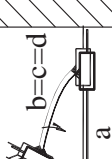
În Tabelul 5.10 sunt prezentate structurile mecanismelor care conțin o conexiune elastică ( $K_A$ ) și două elemente rigide. În Tabelul 5.11 sunt prezentate structurile mecanismelor care conțin o conexiune elastică ( $K_B$ ) și un element rigid, respectiv, în Tabelul 5.12 sunt prezentate structurile mecanismelor care conțin o conexiune elastică ( $K_C$ ) și o cuplă cinematică, sau sau fără nici o cuplă cinematică.




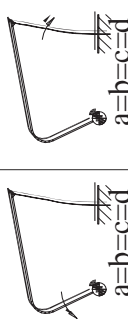
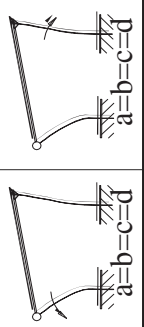
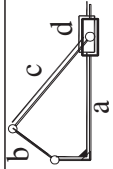
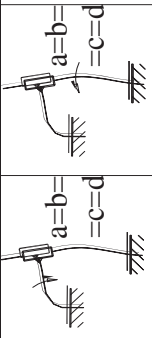
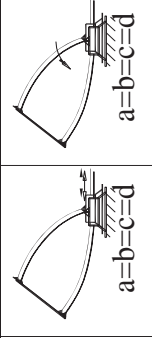
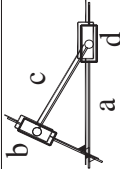
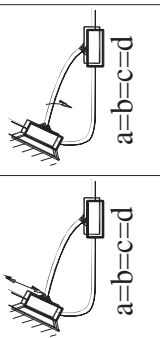
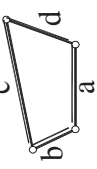
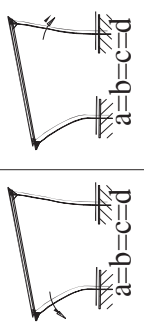
Tabelul 5.10 Sistematizarea structurală a mecanismelor cu o conexiune elastică de tip  $K_A$  și două elemente rigide

| Lantul cinematic de bază   | Element fix     | a   | b   | c   | d  |
|--|-----------------|---|---|---|--|
| Mecanism patrulater<br> | Conex. elastică |    |    |    |    |
|  | d               |      |      |      |     |
|  | c               |    |    |    |    |
| Mecanism manivelă - piston   |                 |    |    |    |    |
|  | b               |      |      |      |     |
|  | a               |   |   |   |   |
| Dublu - piston   |                 |  |  |  |  |
|  | c               |    |    |    |   |

Tabelul 5.1.11 Sistematizarea structurală a mecanismelor cu o conexiune elastică de tip  $K_B$  și un element rigid

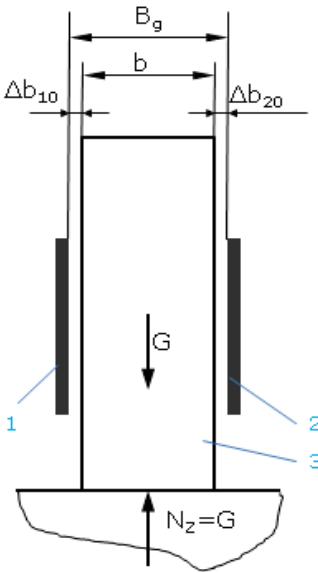
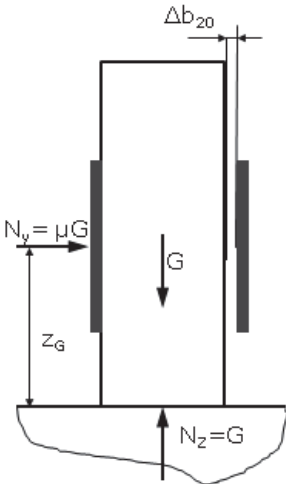
| Lantul cinematic de bază  | Element fix     | a   | b   | c   | d  |
|---|-----------------|---|---|---|--|
| Mecanism patruater articular<br> | Conex. elastică |    |    |     |     |
|   | d               |    |    |     |     |
|   | b și d          |    |    |    |    |
|   | c               |    |    |    |    |
| Mecanism manivelă piston  |                 |    |    |    |    |
|   | c               |    |    |    |    |
|   | b               |   |   |   |   |
|   | a și c          |  |  |  |  |
| Dublu - piston  |                 |  |  |  |  |
|   | c               |  |  |  |  |

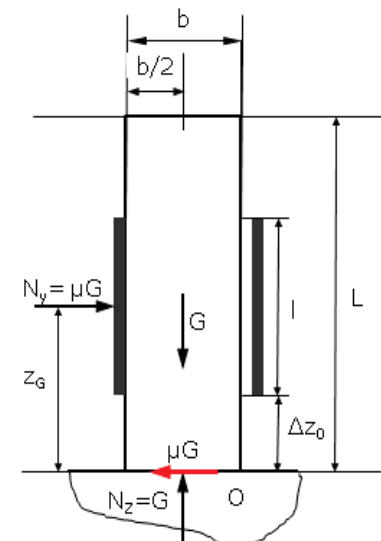
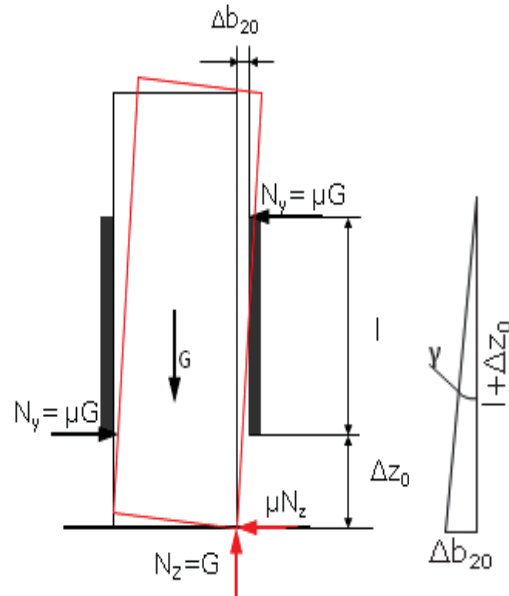
Tabelul 5.12 Sistematizarea structurală a mecanismelor care conțin o conexiune elastică ( $K_C$ ) și o cuplă cinematică, sau sau fără nici o cuplă cinematică

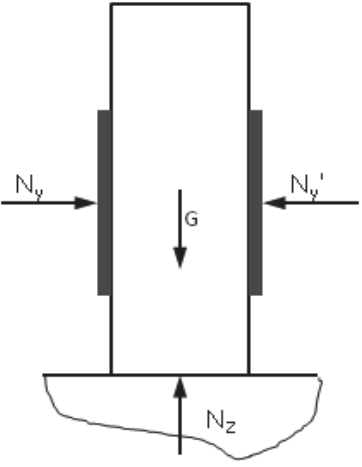
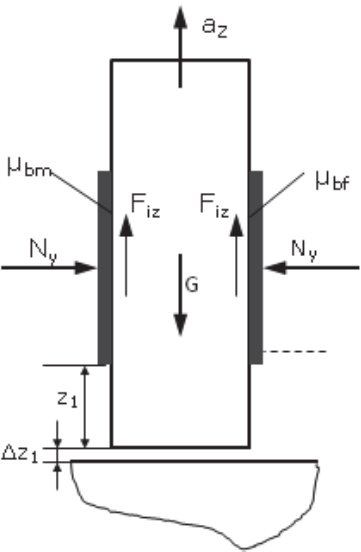
| Mecanism cu o conexiune elastică și o cuplă cinematică   |                                |   |   |   |   |
|--|--------------------------------|---|---|---|---|
| Lantul cinematic de bază   | Element fix<br>Conex. elastică | a   | b   | c | d   |
| Mec. patrulater<br>   | d                              |    | =   | = | =   |
|  | b și d                         |    | =   | = | =   |
| Manivelă piston<br>   | a și c                         | =   |   | = |  |
| Dublu-piston<br>    | a și c                         | =   |  | = | =   |
| Mecanism cu o conexiune elastică fără nici o cuplă cinematică  |                                |   |   |   |   |
| Mec. patrulater<br> | d                              |  | =   | = | =   |

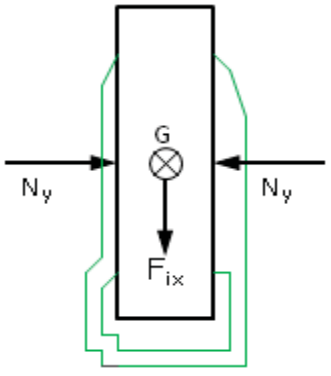
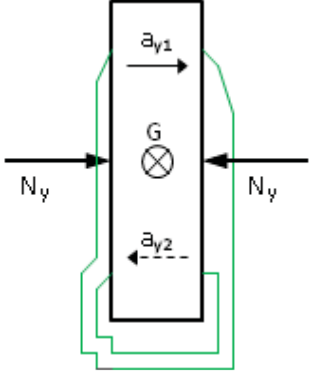
## 5.3 Analiza cinetostatică a dispozitivului de prehensiune

Tabel 5.13 Fazele de manipulare a unei cărți de pe raft

| Nr. crt. | Reprezentare grafică   | Descriere și ecuații   |
|----------|--|--|
| 1.       |  <p style="text-align: center;">Cartea stă pe raft</p>                                 | <p>Se consideră timpul inițial <math>t=0</math>, când cartea stă așezată pe raft, între cele două bacuri ale dispozitivului de prehensiune.</p> $(\sum F)_z = 0 \Rightarrow N_z = G$ $B_g = b + \Delta b_0$ $\Delta b_{20} = B_g - b - \Delta b_{10}$ <p><math>B_g</math> = deschiderea dispozitivului de prehensiune [mm];<br/> <math>b</math> = lățimea cărții [mm];<br/> <math>\Delta b_{10}</math>; <math>\Delta b_{20}</math> = lățimea interstițiilor între carte și cele două bacuri [mm];<br/> <math>G</math> = greutatea cărții [kg];<br/> <math>N_z</math> = reacțiunea normală [N];</p> <p>1 - bac mobil;<br/> 2 - bac fix;<br/> 3 - cartea manipulată</p>  |
| 2.       |  <p style="text-align: center;">Acționarea bacului mobil pentru strângerea cărții</p> | <p>În acest caz, bacul mobil al dispozitivului de prehensiune este acționat. Timpul <math>t_{01}</math> corespunde deplasării bacului mobil (<math>\Delta b_{01}</math>) iar timpul <math>t_{02}</math> corespunde alunecării cărții pe raft (<math>\Delta b_{02}</math>).</p> $(\sum F)_z = 0 \Rightarrow N_z = G$ $(\sum F)_y = 0 \Rightarrow N_y = \mu G$ $t_{01} = 0 + \Delta t_{01} \Rightarrow \Delta t_{01} = \frac{\Delta b_{10}}{v_s}$ $t_{02} = t_{01} + \Delta t_{02} \Rightarrow t_{02} = \Delta t_{01} + \Delta t_{02} \Rightarrow$ $\Delta t_{02} = \frac{\Delta b_{20}}{v_s}$ <p><math>N_y</math> = forța de acționare a bacului mobil [N]<br/> <math>v_s</math> = viteza de strângere a bacului [mm/s]</p> |

|                   |  |   |
|-------------------|--|---|
| <p><b>3a.</b></p> |  <p>Acționarea bacului mobil pentru strângerea cărții - alunecarea cărții pe suprafața raftului</p>       | <p>După acționarea bacului mobil, cartea poate aluneca pe suprafața raftului, sau se poate înclina până la contactul cu bacul fix al dispozitivului de prehensiune.</p> <p>În această etapă, se presupune alunecarea cărții pe raft.</p> $\left. \begin{aligned} (\sum M)_O = 0 &\Rightarrow N_y \cdot z_G = G \cdot \frac{b}{2} \\ N_y &= \mu G \end{aligned} \right\} \Rightarrow$ $z_G = \frac{b}{2\mu}$ |
| <p><b>3b.</b></p> |  <p>Acționarea bacului mobil pentru strângerea cărții - înclinarea cărții față de poziția verticală</p> | <p>În această etapă, se presupune înclinarea cărții cu un unghi <math>\gamma</math> față de verticală.</p> $\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta b_{20}}{l + \Delta z_0}$  |

|           |  |   |
|-----------|--|---|
| <p>4.</p> |  <p>Etapa de strângere a cărții îndeplinită</p> | <p>În acest caz cartea este strânsă și stă așezată pe raft.<br/>Strângerea cărții doar de bacul mobil, construcția diferită a bacurilor și materialele diferite utilizate pentru construcția acestora impun două forțe de strângere a cărții de valori diferite.</p> $(\sum F)_H = 0 \Rightarrow N_y = N_{y'}$ $(\sum F)_V = 0 \Rightarrow N_z = G$ <p><math>N_y</math> = forța normală de strângere a bacului mobil [N];<br/><math>N_{y'}</math> = forța normală de strângere a bacului fix [N];</p>   |
| <p>5.</p> |  <p>Ridicarea cărții de pe raft</p>            | <p>În acest caz, cartea este strânsă și ridicată față de raft cu o distanță <math>\Delta z_1</math>. Astfel, apare o forță inertială pe axa z, ce are valoarea:</p> $F_{iz} = -m \cdot a_z$ $(\sum F)_V = 0 \Rightarrow \sum F_f = m(g + a)$ $F_{f_{bm,f}} \leq \mu_{bm,f} \cdot N_y$ $(\mu_{bm} + \mu_{bf}) N_y = k_s \cdot m(g + a_z) \Rightarrow$ $(N_y)_{nec} = \frac{k_s}{(\mu_{bm} + \mu_{bf})} \cdot m(g + a_{z \max+})$ $(a_{z \max})_{ad} = \frac{N_y}{m} \cdot \frac{\mu_{bm} + \mu_{bf}}{k_s} - g$ <p><math>m</math> = masa cărții [kg]<br/><math>\mu_{bm}</math> = coeficientul de frecare între bacul mobil și carte;<br/><math>\mu_{bf}</math> = coeficientul de frecare între bacul fix și carte;<br/><math>F_{f_{bm}}</math> = forța de frecare între bacul mobil și carte;<br/><math>F_{f_{bf}}</math> = forța de frecare între bacul fix și carte</p> |

|                  |   |   |
|------------------|---|---|
| <p><b>6.</b></p> |  <p>Extragerea cărții din raft</p> | <p>În acest caz, cartea este văzută de sus, când dispozitivul de prehensiune extrage cartea din raft.</p> $(\sum F)_y = 0 \Rightarrow \sum F_f = m(g + a)$ $(\mu_{BS} + \mu_{BF}) \cdot N_y = k_s \cdot F_{ix}$ $F_{ix} = -m \cdot a_x \Rightarrow$ $\begin{cases} (N_y)_{nec} = \frac{k_s}{(\mu_{BS} + \mu_{BF})} \cdot m \cdot a_x \\ (a_x)_{ad} = \frac{N_y}{m} \cdot \frac{\mu_{BS} + \mu_{BF}}{k_s} \end{cases}$ |
| <p><b>7.</b></p> |  <p>Manipularea cărții</p>        | $F_{iy} = -m \cdot a_y \Rightarrow$ $(\sum F)_y = 0 \Rightarrow N_{yF} - N_{yS} = F_{iy}$ $(N_{yF})_0 = (N_{yS})_0$   |

Lățimea unei cărți  $b_0$  [mm] este mai mare decât lățimea aceleași cărți prinsă într-un dispozitiv de prehensiune, datorită deformării cărții. Dacă se notează cu  $b$  [mm] lățimea cărții într-un dispozitiv de prehensiune și cu  $\Delta b$  [mm] deformația cărții între cele două situații, atunci se poate scrie:

$$b = b_0 - \Delta b$$

$$\Delta b = \frac{N_y}{k_C} = \Delta y_{B,S}$$

Deformația bacului la strângerea cărții este neglijabilă în raport cu deformația cărții.

$$\Delta b_i = \frac{F_{iy}}{K_C}$$

Dacă la realizarea strângerii cărții, bacul este cu autofixare, atunci:

$$\Delta b_i < \Delta b_s \Rightarrow k_{s_{iy}} \cdot \frac{F_{iy}}{k_C} = \frac{N_y}{k_C} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} (N_y)_{nec} = k_{s_{iy}} \cdot m \cdot (a_y)_{ad} \\ (a_y)_{ad} = \frac{N_y}{k_s \cdot m} \end{cases}$$

## 5.4 Proiectarea dispozitivului de prehensiune – modelul CAD

Se stabilesc datele inițiale de proiectare pentru dimensiunile maxime a cărților ce vor fi manipulate (lungimea  $L_{max} = 290$  [mm]; lățimea  $l_{max} = 210$  [mm]; grosimea  $b_{max} = 20$  [mm]); greutatea maximă a cărților ( $m_{max} = 2$  [kg]).

În Figura 5.8 este prezentat modelul CAD al dispozitivului de prehensiune (realizat în mediul Solid Works) montat pe axa de translație corespunzătoare axei X a sistemului de coordonate atașat manipulatorului [Comsa, 2011b], [Modler, 2012].

Elementele componente ale modelului CAD din Figura 5.8 sunt: 1–cartea manipulată; 2–bacul mobil, 3–bacul fix (care face corp comun cu batiul dispozitivului de prehensiune; 4–cărucior cu bile al axei de translație; 5– bandă, pentru acționarea bacului mobil, 6–motor pas cu pas (m.p.p.); 7–role de ghidare a benzii de acționare a bacului mobil; 8–tambur cu fantă, montat pe arborele m.p.p.; 9–distanțier, pentru menținerea verticalității cărții în timpul manipulării.

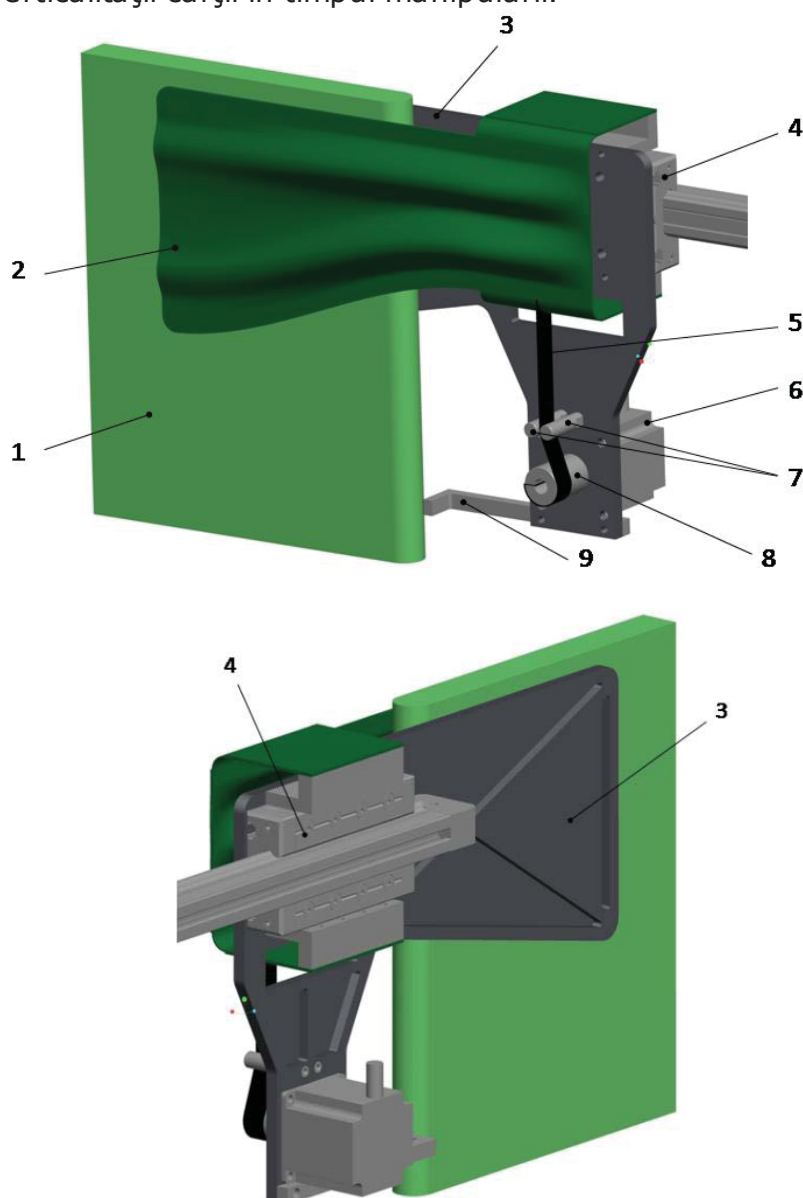


Figura 5.8 Modelul CAD al dispozitivului de prehensiune montat pe axa de translație X a manipulatorului



Motorul pas cu pas utilizat pentru acționarea dispozitivului de prehensiune este identic cu motoarele alese pentru manipulator (paragraful 4.3.3) [\*\*\*2]. Desenul de ansamblu și caracteristicile tehnice ale motorului pas cu pas sunt prezentate în Anexa 1.

## 5.5 Realizarea modelului experimental al dispozitivului de prehensiune

Elementele componente ale modelului experimental sunt prezentate în Figura 5.9: 1-bandă din material textil, pentru acționarea bacului mobil, 2-bacul mobil, 3-bacul fix (care face corp comun cu batiul dispozitivului de prehensiune, 4-cablu de alimentare a motorului pas cu pas, 5-motor pas cu pas Isel MS 135 HT-2, 6-role de ghidare a benzii de acționare a bacului mobil, 7-tambur cu fantă, montat pe arborele m.p.p., 8-distanțier, pentru menținerea verticalității cărții în timpul manipulării.

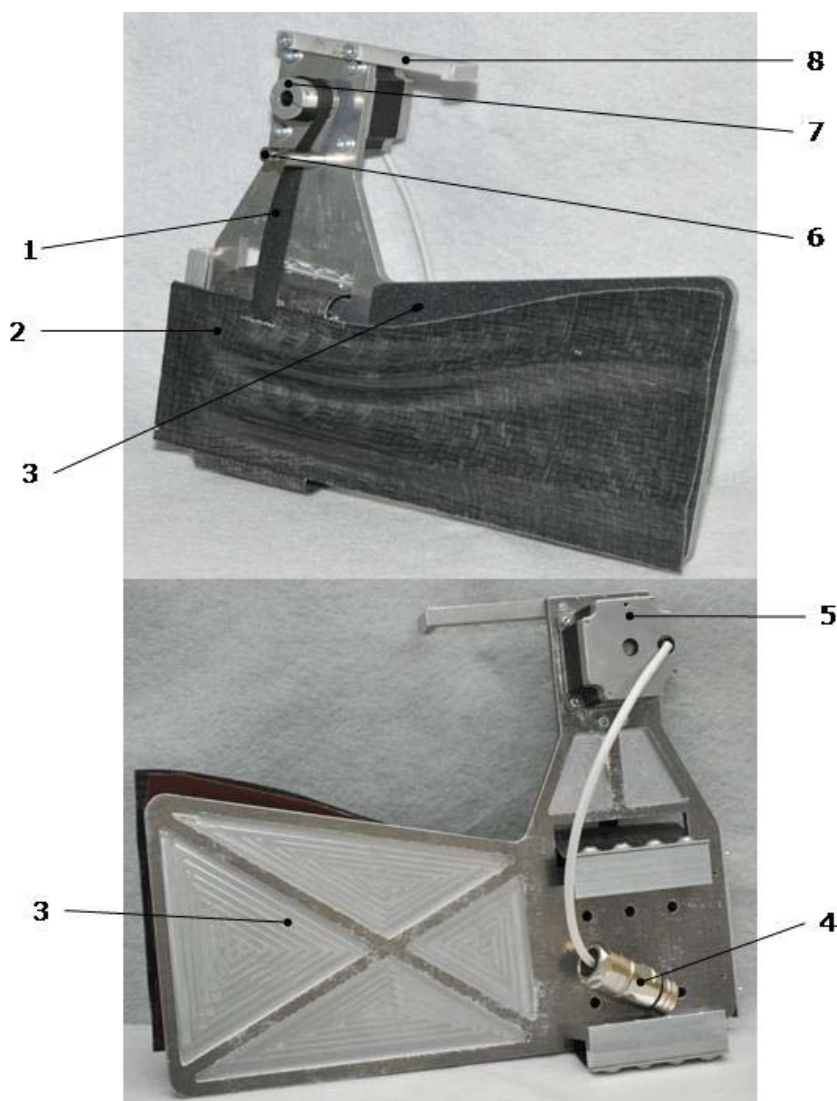


Figura 5.9 Modelul experimental al dispozitivului de prehensiune

Construcția dispozitivului de prehensiune este un prototip, fiind realizat pentru studiu experimental dedicat temei de cercetare a tezei. Se dorește simplificarea

majoră a mecanismului de acționare a bacului mobil, utilizând un material compozit ranforsat cu fibre [Modler, 2008] pentru fabricarea monobloc a conexiunii elastice și a bacului mobil. Bacul mobil este fixat de bacul fix al dispozitivului de prehensiune care face corp comun cu batiul efectorului final.

Bacul mobil prezintă două nervuri care îmbunătățesc deformarea și mularea acestuia pe suprafața cărții. Acesta este acționat de un motor pas cu pas cu moment mare prin intermediul unui mecanism paralelogram cu conexiuni elastice, care este acționat la rândul său printr-o bandă ce se rulează pe arborele motorului. Bacul mobil realizează o translație în planul cărții, se apropie de carte și o prehensează.

Realizarea dispozitivului de prehensiune se bazează pe ideea de proiectare în scopul reducerii masei (eng.: *lightweight design*) [\*\*\*1], [Breitinger, 1976] pentru a utiliza proprietățile intrinseci de flexibilitate și rigiditate a materialului din care este fabricat [Noveanu, 2009]. Pentru a respecta această ipoteză, se alege un material termoplastic ranforsat cu structură textilă din care se va fabrica bacul mobil și conexiunea elastică.

Acest tip de material termoplastic, ranforsat cu structură textilă, este proiectat pentru proprietăți mecanice ridicate, cum ar fi un raport excelent de rigiditate/greutate și proprietăți mecanice superioare la impact [\*\*\*4]. De asemenea, acest material asigură în condiții tehnologice eficiente și ecologice, o libertate mare pentru proiectare și este și reciclabil.

Utilizând această construcție specială a dispozitivului de prehensiune, s-au stabilit următoarele ipoteze de lucru și condiții pentru încercările experimentale ulterioare de manipulare a cărților:

- cărțile introduse în experiment vor avea dimensiunile impuse de deschiderea maximă între bacurile dispozitivului de prehensiune realizat.

Aceasta înseamnă că grosimea și greutatea cărților vor fi în concordanță cu capacitățile impuse prin proiectarea dispozitivului de prehensiune. De exemplu, în acest caz, dispozitivul de prehensiune poate manipula cărți între 0 și 20mm grosime.

- poziția cărților pe raft este verticală;
- datorită grosimii bacurilor dispozitivului de prehensiune, se presupune că, în cadrul încercărilor experimentale, cărțile nu exercită o presiune între ele, un interstițiu minim între cărți echivalent grosimii unui bac fiind necesar (9mm).

Soluționarea acestei cerințe ajutătoare se realizează printr-un raft dedicat dispozitivului de prehensiune realizat, a cărei descriere va fi tratată în paragraful 6.1.

## **5.6 Studiu comparativ al comportamentului bacului mobil prin analiză experimentală (măsurare digitală prin fotogrammetrie) și în mediu virtual (analiză FEM)**

### **5.6.1 Măsurarea digitală prin fotogrammetrie a bacului mobil al dispozitivului de prehensiune**

Dezvoltarea produselor tehnologice moderne necesită o înțelegere mai clară a comportamentului dinamic al acestora, cerință care este satisfăcută prin utilizarea unui sistem care implică un număr redus de iterații [\*\*\*5]. În cadrul tehnicilor de măsurare optică din care face parte această analiză, este nevoie de numeroase puncte de măsură aplicate pe piesa analizată și de o poziționare

eficientă a acesteia pentru a obține o precizie ridicată a deplasărilor rezultate prin deformarea piesei, sau a unor elemente ale piesei. Această analiză se utilizează cu precădere în industria construcțiilor de mașini și industria aeronautică unde sarcini complexe de măsurare se îndeplinesc în scurt timp și fără dificultate [\*\*\*5].

Timpul de pregătire a procesului de măsurare, de măsurare și de evaluare a datelor este redus considerabil în comparație cu metodele convenționale de măsurare a deplasărilor care utilizau accelerometre sau traductoare de deplasare [\*\*\*5], [\*\*\*6]. Manipularea simplă a sistemului robust de măsurare permite utilizarea acestuia direct în zona de interes astfel încât structura ce urmează a fi analizată își poate păstra poziția sa naturală de instalare/utilizare în mediu.

### Scopul măsurării digitale prin fotogrammetrie a bacului mobil

Măsurarea prin fotogrammetrie a bacului mobil al dispozitivului de prehensiune are ca scop determinarea deplasărilor datorită deformării conexiunii elastice a bacului mobil (din poziția inițială a dispozitivului de prehensiune-deschis până la poziția finală-închis), în funcție de forța necesară de acționare a bacului, pe cele trei axe de coordonate corespunzătoare sistemului cartezian atașat acestuia.

Pentru realizarea analizei digitale s-au utilizat două echipamente importante:

- sistemul Pontos 5M;
- mașină universală de încercări mecanice tip Zwick-Roel 1475.

Pontos 5M reprezintă un sistem optic stereo de camere, calibrat, care printr-o metodă non-contact, permite vizualizarea și înțelegerea în detaliu a deformării în timp real a componentelor sau a unor zone ale acestora, sub acțiunea solicitărilor dinamice asigurând o precizie a măsurărilor foarte ridicată și o rezoluție locală mare [\*\*\*6]. Pontos permite măsurarea coordonatelor spațiale și deplasările individuale ale punctelor marcate pe piesa măsurată. Sistemul este independent față de structura supusă analizei, iar rezultatele deformărilor și a deplasărilor sunt prelevate rapid prin metoda non-contact de fotogrammetrie.

Mașina de încercări mecanice este utilizată pentru a acționa dispozitivul de prehensiune, mai precis bacul mobil, prin acționarea benzii cu o forță cunoscută  $F_{b,exp}$ , care conduce la închiderea bacurilor. Se vor nota cu  $D_{z,exp}$ ,  $D_{y,exp}$  respectiv  $D_{x,exp}$  deplasările datorită deformării conexiunii elastice a bacului mobil (din poziția inițială a dispozitivului de prehensiune-deschis până la poziția finală-închis), la acționarea dispozitivului de prehensiune (Figura 5.10).

Sistemul Pontos înregistrează semnalul de forță  $F_{b,exp}$  de la mașina de încercări mecanice și sincronizează acest semnal cu rezultatele analizei digitale. Acest lucru garantează că deplasările prin deformație a bacului mobil sunt măsurate în raport cu parametrul corect de intrare  $F_{b,exp}$ .

Sistemul de analiză digitală a câmpului imagine utilizat este prezentat în Figura 5.11. În Figura 5.11a este prezentat sistemul Pontos alcătuit din două camere video ultrarapide Photron și două surse de lumină. Acuratețea pe care o oferă coordonatelor 3D măsurate este de 0.001mm.

Numerotarea componentelor din Figura 5.11 este: 1-trepied, ce permite reglarea înălțimii și orientării camerelor video și a surselor de lumină; 2-camere video ultrarapide Photron cu surse de lumină încorporate; 3-monitorul sistemului de calcul; 4-masă mobilă; 5-sistemul de calcul; 6-mașina de încercări mecanice Zwick-Roel 1475; 7-dispozitivul de prehensiune supus analizei.

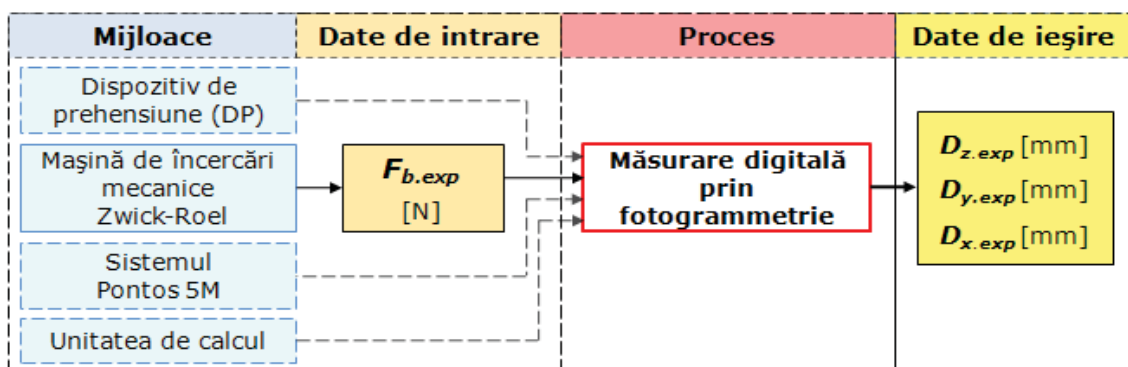


Figura 5.10 Stabilirea mijloacelor utilizate în proces, a datelor de intrare și a datelor de ieșire în procesul de analiză digitală a bacului mobil al dispozitivului de prehensiune

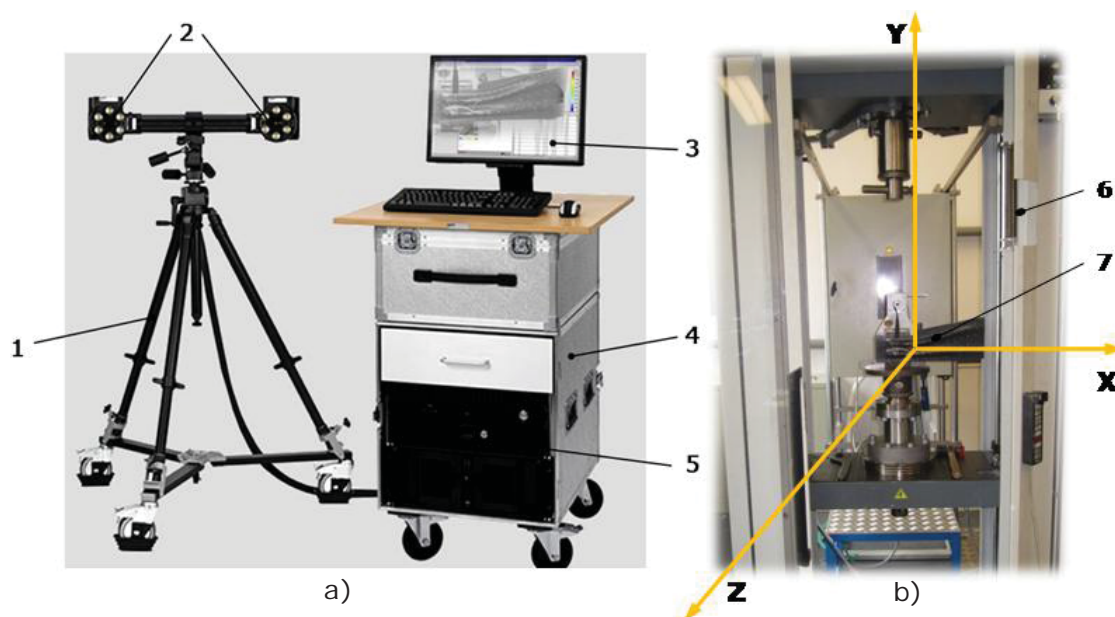


Figura 5.11 Sistemul de analiză digitală a câmpului imagine a) sistemul Pontos 5M [\*\*\*5], b) atașarea sistemului de coordonate dispozitivului de prehensiune supus analizei

Analiza digitală a dispozitivului de prehensiune presupune următoarele etape:

- se aplică marcaje pe bacul mobil și pe batiul de aluminiu al dispozitivului de prehensiune (Figura 5.12a),
- se fixează dispozitivul de prehensiune pe mașina de încercări Zwick-Roel 1475 (Figura 5.12b);
- se cuplează banda de acționare a bacului mobil la capul de lucru a mașinii de încercări mecanice;
- se acționează bacul mobil al dispozitivului de prehensiune cu o viteză de 20mm/minut, timp de 90 secunde, până când forța de acționare a benzii  $F_{b.exp}$  crește instantaneu din cauza realizării contactului între bacuri;
- reducerea forței de acționare a benzii și revenirea bacului mobil la poziția inițială.

În Figura 5.12b este prezentat dispozitivul de prehensiune marcat montat pe mașina de încercări mecanice. Numerotarea componentelor este: 1-dispozitivul de prehensiune; 2-bacul mobil al dispozitivului de prehensiune marcat; 3-flanșă cu

mandrină pentru prinderea dispozitivului de prehensiune în mașina de încercări mecanice; 4- masa de lucru a mașinii de încercări mecanice Zwick-Roel 1475.

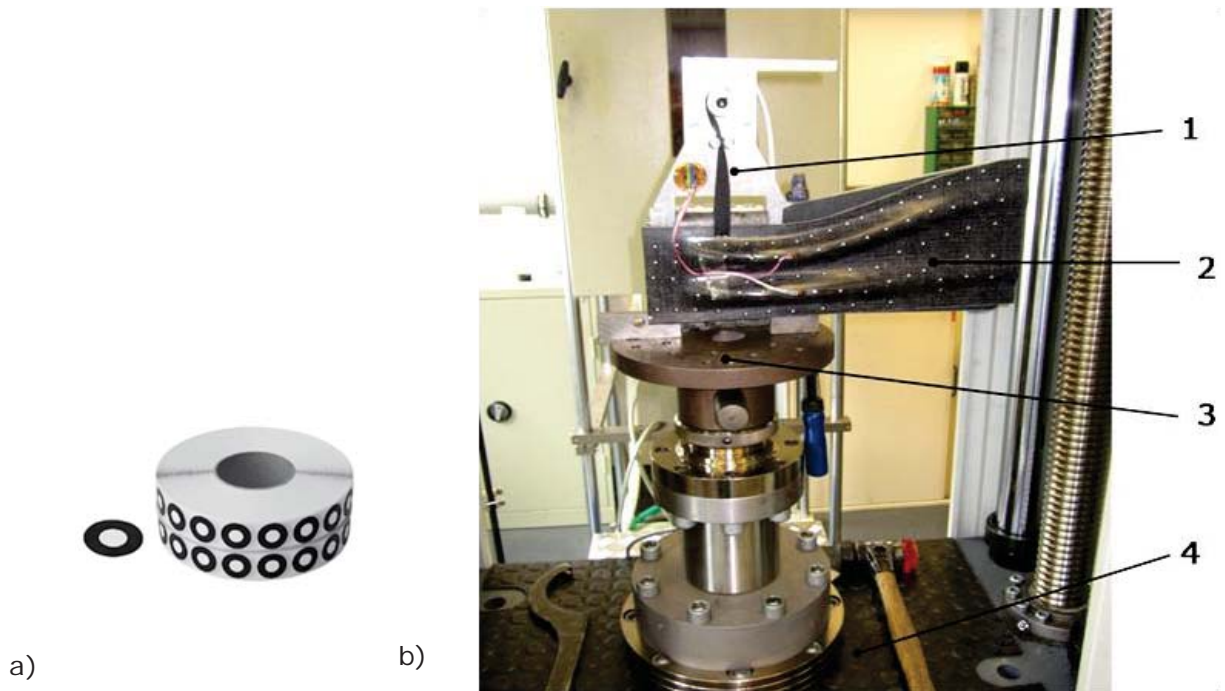


Figura 5.12 a) Marcajele auto-adezive aplicate pe bacul mobil al dispozitivului de prehensiune [\*\*\*5]; b) Fixarea dispozitivului de prehensiune marcat pe mașina de încercări mecanice

În Figura 5.13 este prezentată poziționarea sistemului Pontos față de dispozitivul de prehensiune analizat (DP – dispozitiv de prehensiune, Cam1 – camera video din stânga, Cam2 – camera video din dreapta, SL – sursă de lumină).

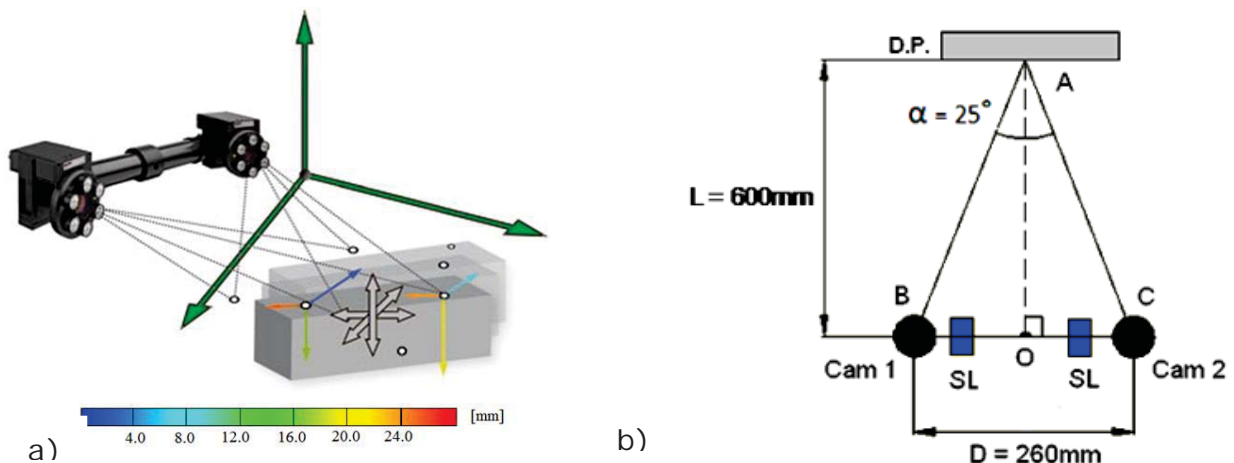


Figura 5.13 Poziționarea camerelor, a surselor de lumină și a obiectului analizat în cadrul analizei digitale utilizând sistemul Pontos 5M a) vedere spațială [\*\*\*5]; b) vedere în plan

## 70 Dezvoltarea unui dispozitiv de prehensiune destinat manipulării cărților - 5

Pentru realizarea analizei optice și pentru obținerea rezultatelor s-a utilizat pachetul software Pontos. Fereastra de program este prezentată în Figura 5.14.

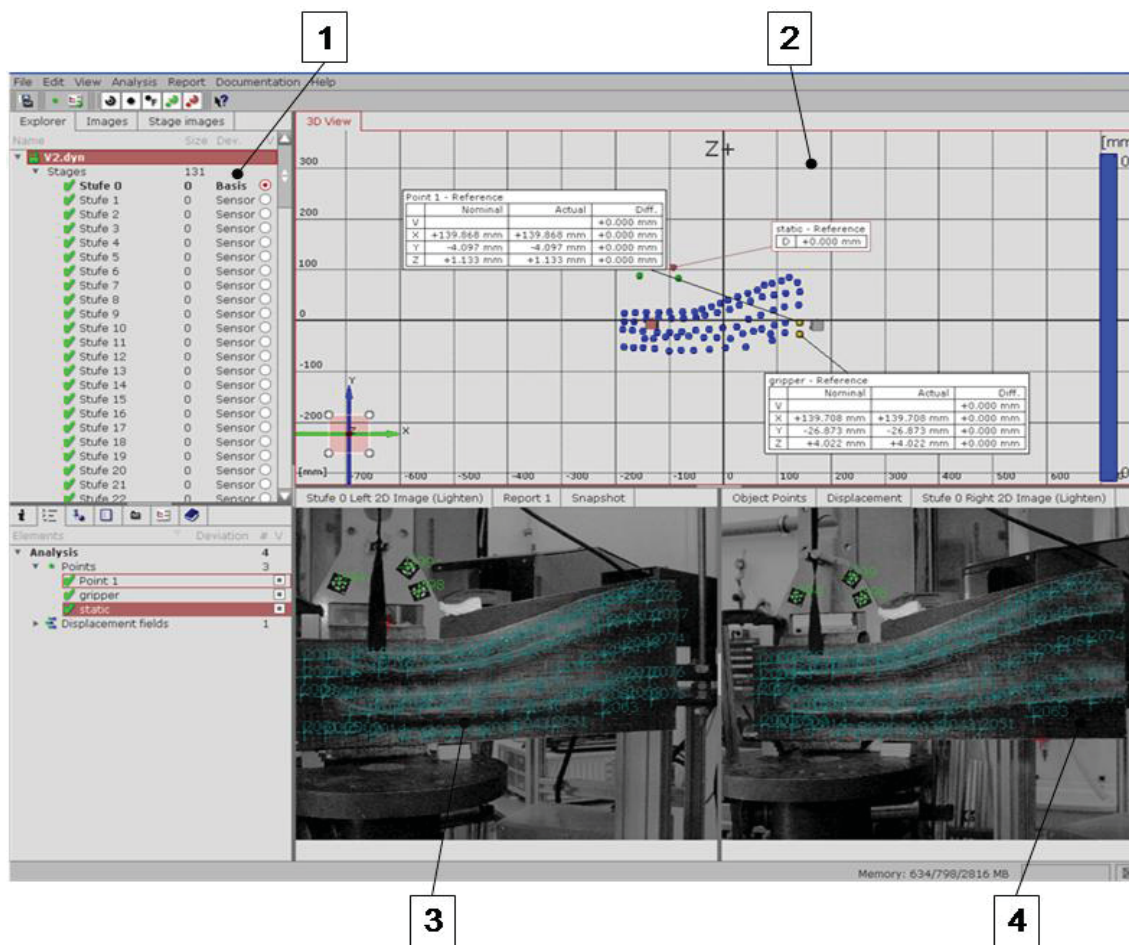


Figura 5.14 Fereastra de program pentru software-ul Pontos

Numerotarea componentelor este: 1-fereastra de vizualizare a cadrelor analizei digitale; 2-fereastra de vizualizarea a markerelor identificate prin analiza digitală; 3- imaginea dispozitivului de prehensiune provenită de la camera din stânga; 4- imaginea dispozitivului de prehensiune provenită de la camera din dreapta.

Pentru obținerea informațiilor de deplasare a bacului mobil al dispozitivului de prehensiune se stabilesc puncte de referință dintre marcajele aplicate astfel:

- un punct de referință fix, corespunzător unui marcaj de pe cadrul de aluminiu al dispozitivului de prehensiune;
- un punct de referință dinamic, corespunzător unui marcaj de pe bacul mobil al dispozitivului;
- un punct ales aleator, corespunzător unui marcaj aplicat pe bacul mobil al dispozitivului (de unde începe numerotarea numerelor de identificare).

În Figura 5.15 se prezintă stabilirea punctelor de referință pentru analiza optică a deplasărilor (a) și numerele de identificare (ID) corespunzătoare fiecărui marcaj aplicat pe dispozitivul de prehensiune (b).

În urma acestei analize, rezultatele obținute sunt:

- curba de dependență între forța de acționare a dispozitivului de prehensiune și deplasarea bacului mobil pe axa Y (Figura 5.16).

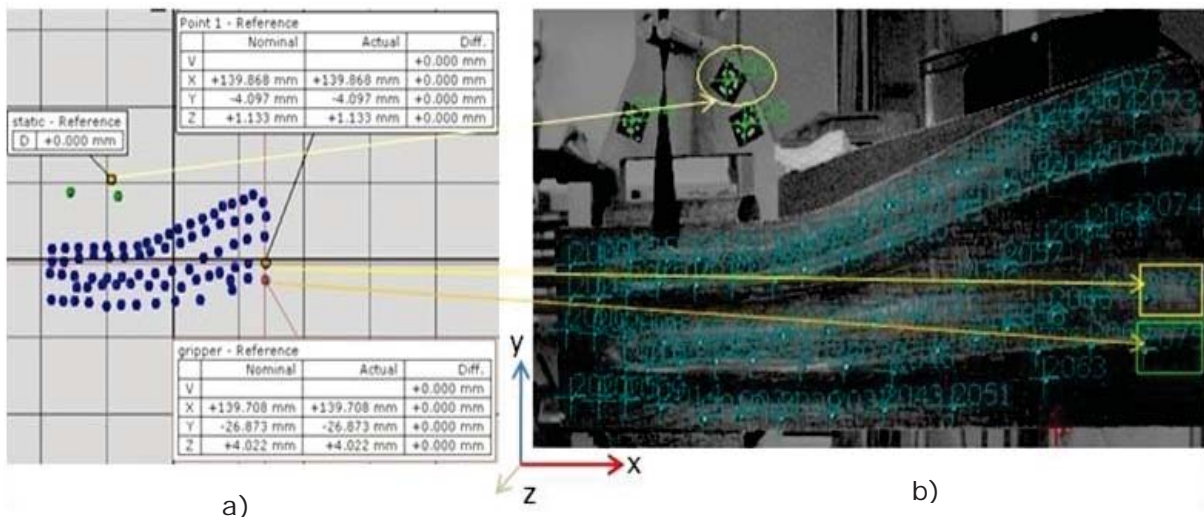


Figura 5.15 Stabilirea punctelor de referință pentru analiza optică a deplasărilor (a) și numerele de identificare (ID) corespunzătoare fiecărui marcaj aplicat pe dispozitivul de prehensiune (b)

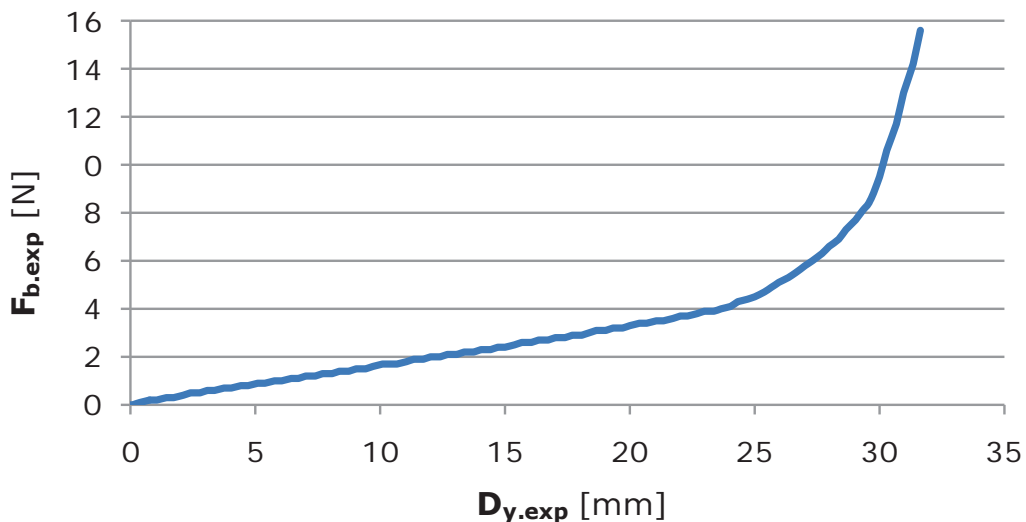


Figura 5.16 Graficul de dependență între forța de acțiune a dispozitivului de prehensiune și deplasarea bacului mobil (pe axa Y)

Din Figura 5.17 rezultă că deplasarea maximă a bacului mobil pe axa Z este de 19.1mm când deplasarea pe Y ajunge la valoarea maximă de 31.97mm.

Deplasarea de 19.1mm se realizează în sensul negativ al axei Z dar pentru reprezentarea grafică s-a utilizat valoarea absolută a acestei deplasări.

În Figura 5.18 se prezintă dispozitivul de prehensiune în poziția inițială (deschis), în poziția finală (închis) și evoluția vectorilor de deformare cu originea în fiecare marcaj aplicat pe bacul mobil.

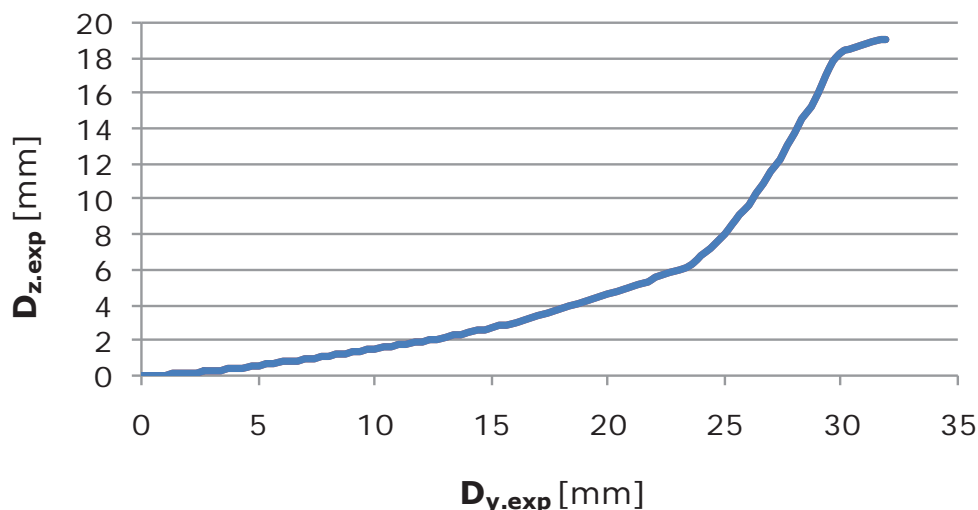


Figura 5.17 Graficul de dependență între deplasarea bacului mobil (pe axa Z) și deplasarea bacului mobil (pe axa Y)

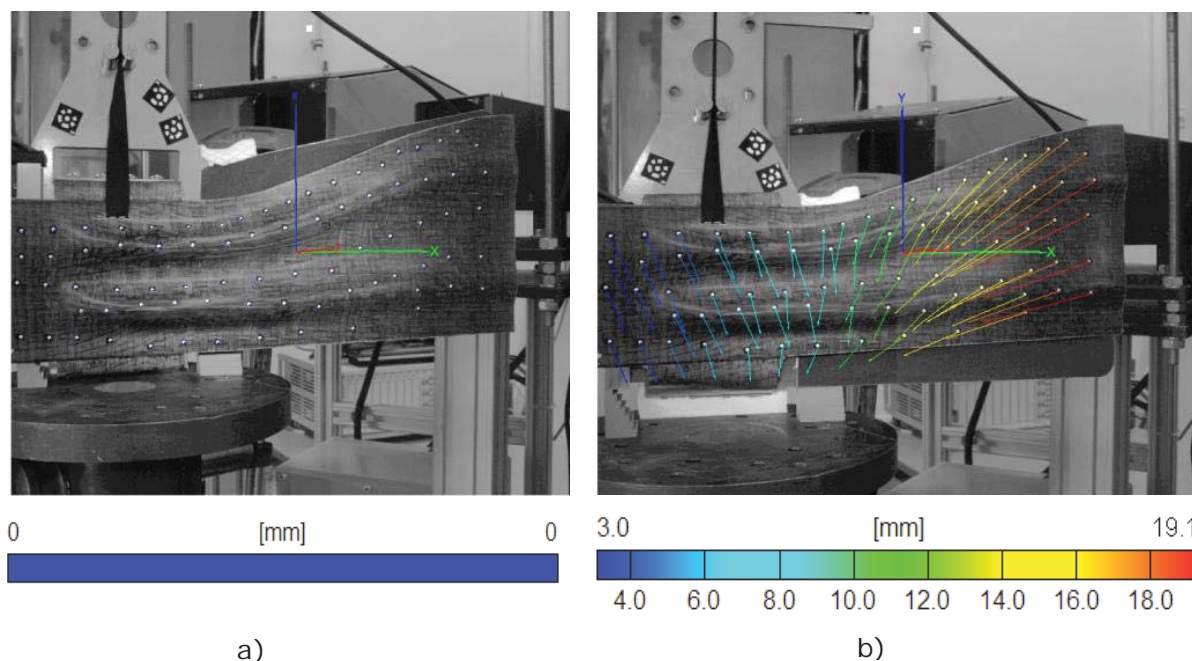


Figura 5.18 Dispozitivul de prehensiune în poziția inițială-deschis (a); în poziția finală-închis (b)

### 5.6.2 Analiza stării de deformație a conexiunii elastice de acționare a bacului mobil

#### Schema cinematică și elemente de geometrie a mecanismului de acționare a bacurilor

În Figura 5.19 este prezentat schematic mecanismul de acționare a bacurilor. Cadrul elastic  $A'ABB'$  este solicitat prin intermediul unui fir flexibil, care se desfășoară de pe roata de rază  $R$ , fixată pe axul unui motor de antrenare. Figura 5.19 evidențiază o secțiune a cadrului elastic încastrat în punctele  $A'$  și  $B'$ . Având în vedere simetria schemei și modul de solicitare, deplasarea elementului  $AB$  (corespunzător bielei) poate fi considerată liberă, iar deformațiile acestuia pot fi considerate neglijabile în raport cu deformațiile elementelor  $AA'$  și  $BB'$ .



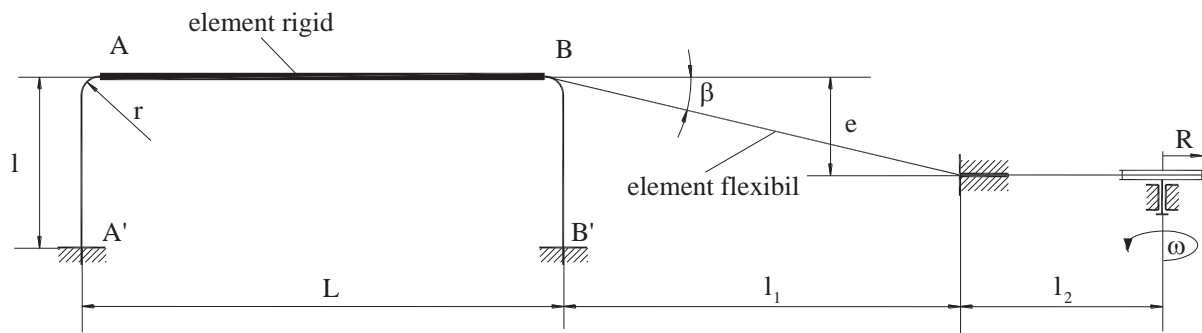


Figura 5.19 Schema cinematică a mecanismului de acționare a bacului mobil

În acest caz, se acceptă caracterul rigid al elementului AB. Elementele AA' și BB' au un caracter elastic, sunt identice geometric și se asimilează unei bare simplu încastrate, solicitate cu o forță înclinată, care prin descompunere conduce atât la încărcare axială, cât și tangențială. Având în vedere valoarea de ordinul gradelor a unghiului  $\beta$ , distanța  $e$  se poate neglija, iar solicitarea devine numai tangențială.

Geometria sistemului este definită de următoarele valori:

- $l = 52 \text{ mm}$
- $L = 116 \text{ mm}$
- $l_1 = 90 \text{ mm}$
- $l_2 = 30.5 \text{ mm}$
- $e = 0$
- $r = 9 \text{ mm}$
- $R = 12.5 \text{ mm}$

Elementele elastice prezintă deformații mari și tocmai datorită mărimii deformațiilor nu pot fi tratate pe baza modelelor tradiționale. Acestea sunt dezvoltate pe baza unor ipoteze simplificatoare, care în principal, au în vedere un caracter foarte redus al deformațiilor. Ca urmare, pentru studiul comportării elementelor elastice sunt necesare abordări diferite și modele matematice specifice.

### **Teorii de modelare matematică a elementelor elastice (a barelor cu deformații mari)**

Pentru evaluarea caracteristicii solicitare – deformație, în cazul elementelor cinemate de tip bară, care lucrează cu deformații mari, s-au dezvoltat o serie de teorii specifice. Aceste teorii sunt complementare procedurilor de calcul uzuale în construcția de mașini, proceduri rezultate prin particularizări ale teoriei generale a elasticității. Principala particularizare constă în acceptarea ipotezei comportamentului liniar al materialelor, precum și a limitării deformațiilor la valori care nu depășesc câteva procente din dimensiunile inițiale ale barei (5...6%). Ipotezele simplificatoare, dar justificate, din teoria tradițională a solicitărilor simple sau compuse ale barelor drepte, nu mai sunt valabile în domeniul deformațiilor mari, așa cum demonstrează diferențele foarte mari dintre rezultatele teoretice și cele experimentale.

În literatura de specialitate există diverse propuneri de abordare a barelor cu deformații mari, toate având la bază un comportament parțial sau total neliniar. Materialul din care este construit cadrul elastic din schema mecanismului de acționare a bacurilor este un material compozit care se încadrează în clasa materialelor

ortotropice, la care modulul de elasticitate longitudinal și, respectiv transversal, are valori diferite de-a lungul celor trei axe ale unui sistem de referință atașat.

Există, în unele cazuri particulare, abordări pur geometrice [Ohtzuki, 2001], dar majoritatea teoriilor urmăresc o modelare mai generală a comportamentului materialelor neliniare și apelează la energia de deformație acumulată în bară.

În [Howell, 2001], se pornește de la ideea că deformarea unei bare consumă un lucru mecanic, care se regăsește ca energie de deformație acumulată în materialul acesteia. În același timp, consideră foarte importantă componenta axială a solicitării, componentă cu caracter progresiv, determinat de caracterul larg al deformației. Considerând, spre exemplu, o bară orizontală simplu încastrată, asupra căreia acționează o forță verticală aplicată la capătul liber al barei, se poate deduce intuitiv faptul că în timpul deformării barei, solicitarea inițial tangențială devine complexă, prin descompunerea forței verticale în două componente: una perpendiculară pe capătul barei și una axială, orientată de-a lungul acesteia, în poziția considerată. Pe măsură ce deformația barei crește, magnitudinea componentei axiale este variabilă. Ca urmare, componenta axială nu poate fi neglijată, nici ca valoare, nici prin efectul suplimentar pe care îl introduce prin faptul că se crează un braț suficient de mare pentru manifestarea unui moment semnificativ. Forțele axiale și momentele date de aceste funcție de sensul încărcării verticale și condițiile de rezemare pot conduce fie la rigidizarea, fie la flexibilizarea axială a barei, efecte care imprimă un caracter neliniar comportării acesteia.

Teoria Howell acceptă ca valabilă ecuația fibrei medii deformate (fibre neutre) sub forma:

$$\frac{d\theta}{ds} = \frac{d^2y}{d^2x} \cdot \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (5.19)$$

unde  $d\theta/ds$  reprezintă curbura fibrei, exprimată prin derivata rotației  $\theta$ , măsurate în radiani, în raport cu arcul subîntins,  $s$ . Bara este orientată de-a lungul axei  $x$ , iar încovoierea are loc în jurul axei  $y$ , de-a lungul căreia se măsoară deformația.

Notând al doilea factor al termenului din dreapta ecuației (5.19) cu  $C$ :

$$C = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (5.20)$$

se pot face următoarele observații:

- pentru deformații mici, pătratul pantei la profilul deformat,  $(dy/dx)^2$  este neglijabil în raport cu unitatea, iar curbura fibrei medii deformate devine egală cu derivata a doua a deformației. În acest caz valoarea mărimii  $C$  este unitară. Ipoteza este utilizată cu succes în deducerea formulei lui Navier, apelată în calculul tensiunilor normale din barele drepte solicitate la încovoiere;
- pentru deformații mari, valoarea  $C$  scade, fiind dependentă de rotație, în raport de proporționalitate inversă și neliniară, așa cum rezultă din Tabelul 5.14 [Howell, 2001] și Figura 5.20. Se observă faptul că aproximarea  $C=1$  este rațională la valori mici ale rotațiilor, valori care nu depășesc  $(5...6)^\circ$ .

Tabelul 5.14 Variația mărimii C în raport cu rotația

| $dy/dx$ [rad] | $\theta$ [deg] | C [-]  |
|---------------|----------------|--------|
| 0.01          | 0.60           | 0.9999 |
| 0.05          | 2.90           | 0.9963 |
| 0.10          | 5.70           | 0.9852 |
| 0.25          | 14.00          | 0.9131 |
| 0.50          | 26.60          | 0.7155 |
| 1.00          | 45.00          | 0.3536 |
| 2.00          | 63.40          | 0.0894 |

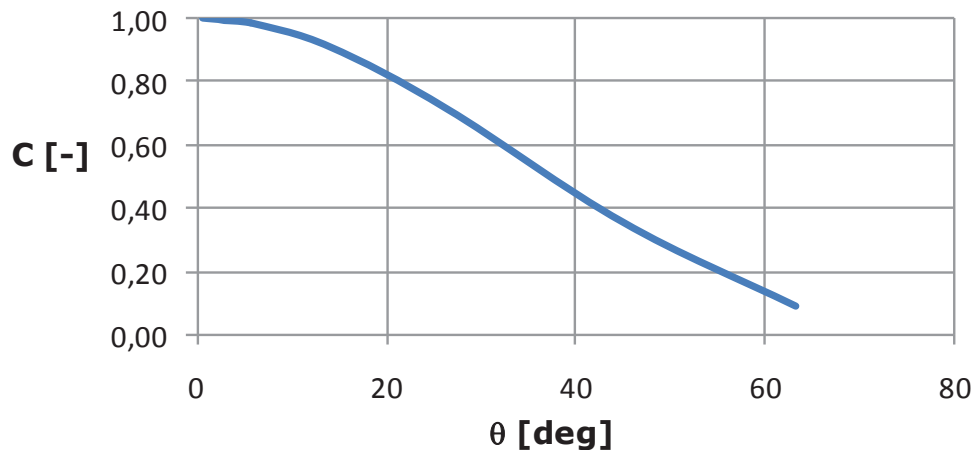


Figura 5.20 Variația mărimii C în raport cu rotația

Pentru deformații mai mari, Howell propune rezolvarea ecuației Bernoulli-Euler:

$$\frac{d\theta}{ds} = \frac{M_0}{EI} \quad (5.21)$$

(unde  $M_0$  reprezintă momentul încovoietor,  $E$  – modulul de elasticitate longitudinală și  $I$  – modulul de inerție al secțiunii barei) pentru diverse cazuri de încărcare a unei bare drepte simplu încastrate, prin utilizarea integralelor eliptice. În calculul deformațiilor mari sunt utilizate integralele eliptice de speța I (relația 5.22) și speța a II-a (relația 5.23), numite și integrale eliptice incomplete:

$$F(\varphi, k) = \int_0^{\varphi} \frac{d\theta}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}} \quad (5.22)$$

$$E(\varphi, k) = \int_0^{\varphi} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta} \, d\theta \quad (5.23)$$

unde funcțiile  $F$ , respectiv  $E$  sunt dependente de două variabile.

Pentru apelarea integralelor eliptice, ecuațiile diferențiale sunt supuse unor transformări care să conducă la forme în care se evidențiază forme specifice integralelor eliptice. Valorile numerice ale acestora se găsesc atașate tabelar în manuale de matematică dedicate.

Se prezintă în continuare două soluții pentru determinarea deformațiilor barelor drepte simplu încastrate, în diverse cazuri de solicitare [Howell 2001], cu utilizarea valorilor integralelor eliptice oferite în [Byrd, 1971].

1. Bara dreaptă simplu încastrată solicitată de o forță concentrată înclinată, cu punctul de aplicație la capătul liber al barei (Figura 5.21).

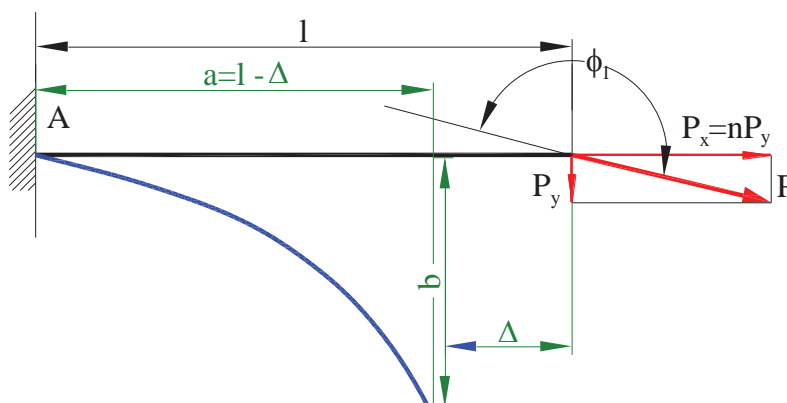


Figura 5.21 Bara dreaptă simplu încastrată solicitată de o forță înclinată aplicată la capătul liber al barei

Soluția problemei este sintetizată mai jos, prin expresiile deformației verticale unitare  $b/l$  și a deformației orizontale uniare  $a/l$ :

$$\frac{b}{l} = \frac{1}{5} \frac{\left\{ \eta [F(t) - F(y, t) + 2(E(y, t) - E(t))] + n\sqrt{2\eta(\eta + \lambda)} \cos \gamma \right\}}{a\eta^2} \quad (5.24)$$

unde:

$b$  – deformația barei de-a lungul axei  $y$ ,

$l$  – lungimea barei,

$$a = \frac{1}{\sqrt{\eta}} [F(t) - F(y, t)], \text{ pentru } \theta_0 < \varphi_1, \theta_0 = \theta_{max} \quad (5.25)$$

cu echivalența:

$$\alpha^2 = \frac{Pl^2}{EI} \quad (5.26)$$

$$\gamma = a \sin \sqrt{\frac{\eta - n}{\eta + \lambda}} \quad (5.27)$$

$$t = \sqrt{\frac{\eta + \lambda}{2\eta}} \quad (5.28)$$

$$\lambda = \eta \cos(\theta_0 - \varphi_1) \quad (5.29)$$

$$\eta = \sqrt{1 + n^2} \quad (5.30)$$

$$\varphi_1 = \operatorname{atan} \frac{1}{-n} \quad (5.31)$$

în care  $n$  = raportul dintre componentele  $x$  și  $z$  ale forței înclinată  $P$ .

$$\frac{a}{l} = \frac{1}{5} \frac{\left\{ -n\eta [F(t) - F(y, t) + 2(E(y, t) - E(t))] + n\sqrt{2\eta(\eta + \lambda)} \cos \gamma \right\}}{a\eta^2} \quad (5.32)$$

Pentru ilustrarea metodei se prezintă un exemplu numeric, la care se consideră cunoscute:

- lungimea barei,  $l = 52 \text{ mm}$
- modulul de elasticitate,  $E = 12450 \text{ MPa}$
- dimensiunile secțiunii:  $b \times h = 85 \times 0.4 \text{ mm} \times \text{mm}$
- modulul de inerție,  $I = 0.45333 \text{ mm}^4$
- forța înclinată aplicată la capătul barei:  $P = 15 \text{ N}$
- raportul între componentele  $x$  și  $y$  ale forței,  $n = 0.2$ .

Bara analizată este identică unui element elastic din structura prezentată în Figura 5.19. Poziția inițială a barei este astfel încât axa sa longitudinală este orientată de-al lungul axei  $y$ , iar încovoierea are loc în jurul axei  $x$ .

În scopul studiului deformațiilor s-a impus un increment de  $4.5^\circ$  la rotația de la capătul liber al barei, pentru care s-au calculat valorile forței tangențiale necesare, deformațiile verticală și axială. Intervalul de studiu s-a extins asupra domeniului de rotații  $[0...45]^\circ$ . Pentru efectuarea calculelor s-a utilizat o aplicație MathCAD originală, ca și în celălalt caz care urmează să fie discutat.

Rezultatele numerice prezentate în Tabelul 5.15 permit cunoașterea tripletelor [forță; rotație maximă; deformație totală] pentru 10 situații de încărcare a barei date. Valorile componentelor  $a$  și  $b$  ale deformațiilor au fost utilizate pentru trasarea grafică a traiectoriei descrisă de capătul liber al barei drepte simplu încastrată solicitată de o forță înclinată aplicată la capătul liber al barei (Figura 5.22).

Tabelul 5.15 Rezultatele numerice pentru 10 situații de încărcare a barei date

| Nr. increment | $\theta_0$ [deg] | $F_{t \text{ nec}}$ [N] | $b$ [mm] | $a$ [mm] |
|---------------|------------------|-------------------------|----------|----------|
| 0             | 0                | 0                       | 0        | 0        |
| 1             | 4.5              | 0.3243                  | 2.72     | 51.91    |
| 2             | 9.0              | 0.6447                  | 5.43     | 91.66    |
| 3             | 13.5             | 0.9655                  | 8.11     | 51.23    |
| 4             | 18.0             | 1.2911                  | 10.77    | 50.64    |
| 5             | 22.5             | 1.6261                  | 13.39    | 49.88    |
| 6             | 27.0             | 1.9751                  | 15.96    | 48.95    |
| 7             | 31.5             | 2.3436                  | 18.47    | 47.86    |
| 8             | 36.0             | 2.7378                  | 20.92    | 46.61    |
| 9             | 40.5             | 3.1648                  | 23.30    | 45.21    |
| 10            | 45.0             | 3.6336                  | 25.60    | 43.65    |

2. Bara dreapta simplu încastrată solicitată de o forță concentrată înclinată, cu punctul de aplicație la capătul liber al barei și moment încovoietor inițial (Figura 5.23).

În acest caz soluțiile pentru deformații sunt:

$$\frac{b}{l} = \frac{1}{5} \frac{\eta [F(y_2, t) - F(y_1, t) + 2(E(y_1, t) - E(y_2, t))]}{a\eta^2} + n\sqrt{2\eta(\eta + \lambda)}(\cos \gamma_1 - \cos \gamma_2), \quad (5.33)$$

$$\frac{a}{l} = \frac{1}{5} \left\{ -n\eta[F(\psi_2, t) - F(\psi_1, t) + 2(E(\psi_1, t) - E(\psi_2, t))] + \sqrt{2\eta(\eta + \lambda)}(\cos \psi_1 - \cos \psi_2) \right\} \quad (5.34)$$

pentru  $|\lambda| < \eta$  și  $\alpha \neq 0$ ,

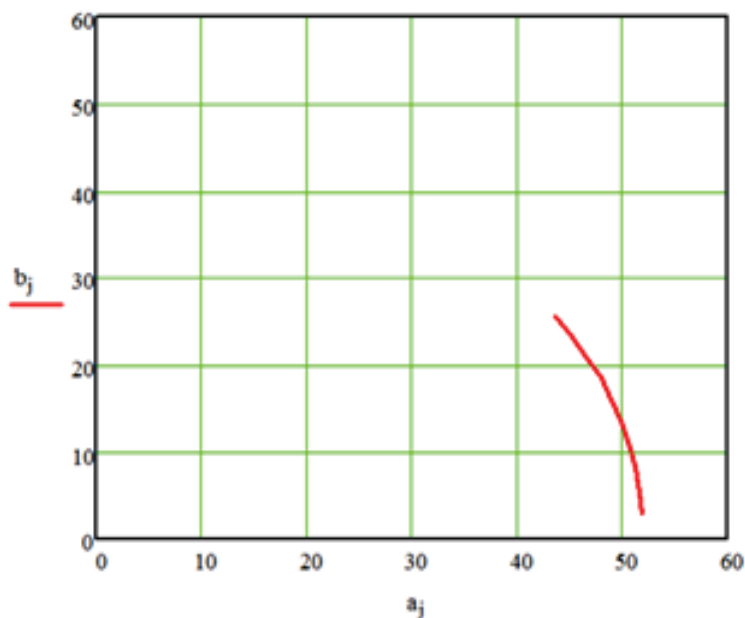


Figura 5.22 Traiectoria descrisă de capătul liber al barei drepte simplu încastrată solicitată de o forță înclinată aplicată la capătul liber al barei

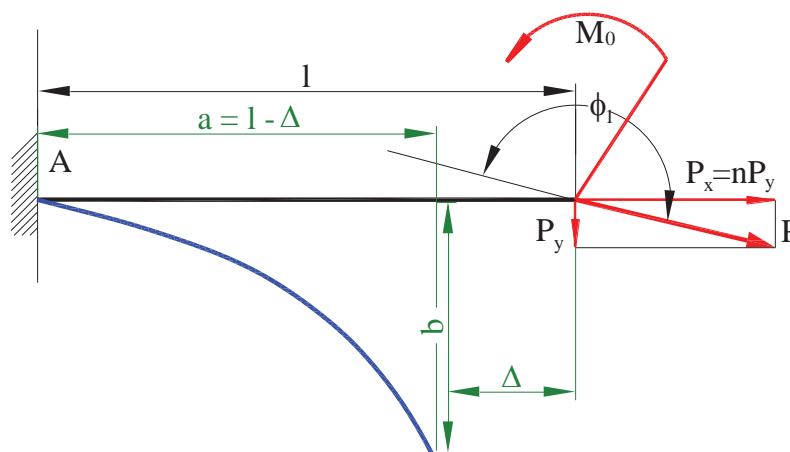


Figura 5.23 Bara dreaptă simplu încastrată solicitată de o forță înclinată și moment încovoietor inițial, aplicate la capătul liber al barei

sau:

$$\frac{b}{l} = \frac{\sqrt{2(\eta + \lambda)}}{a\eta^2} \left\{ \frac{\lambda}{\eta + \lambda} [F(\psi_2, r) - F(\psi_1, r)] + [E(\psi_1, r) - E(\psi_2, r)] + n \left[ \sqrt{1 - \frac{\eta - n}{n + \lambda}} - \sqrt{1 - \frac{\eta + \sin \theta_0 - n \cos \theta_0}{n + \lambda}} \right] \right\} \quad (5.35)$$

$$\frac{a}{l} = \frac{\sqrt{2(\eta + \lambda)}}{a\eta^2} \left\{ -\eta \left[ \frac{\lambda}{\eta + \lambda} (F(\psi_2, r) - F(\psi_1, r) + E(\psi_1, r) - E(\psi_2, r)) \right] + \left[ \sqrt{1 - \frac{\eta - n}{\eta + \lambda}} - \sqrt{1 - \frac{\eta + \sin \theta_0 - n \cos \theta_0}{\eta + \lambda}} \right] \right\} \quad (5.36)$$

pentru  $\lambda > \eta > 0$  și  $\alpha \neq 0$ ,  
unde:

$$a = \frac{1}{\sqrt{\eta}} [F(\psi_2, t) - F(\psi_1, t)] \quad (5.37)$$

pentru  $|\lambda| < \eta$ ;  $\phi - \arccos(-\lambda/\eta) \leq -\theta_0 < \phi'$  și  $\alpha \neq 0$   
sau:

$$a = \sqrt{\frac{2}{\lambda + \eta}} [F(\psi_2 r) - F(\psi_1, r)] \quad (5.38)$$

pentru  $\phi' - \pi \leq -\theta_0 < \phi'$  și  $\alpha \neq 0$ ,

$$t = \sqrt{\frac{\eta + \lambda}{2\eta}} \quad (5.39)$$

$$\eta = \sqrt{1 + n^2} \quad (5.40)$$

$$\phi' = \operatorname{atan} \frac{1}{n} \quad (5.41)$$

$$r = \sqrt{\frac{2\eta}{\eta + \lambda}} \quad (5.42)$$

$$\psi_1 = a \sin \sqrt{\frac{\eta - n}{\eta + \lambda}} \quad (5.43)$$

$$\psi_2 = a \sin \sqrt{\frac{\eta + \sin \theta_0 - n \cos \theta_0}{\eta + \lambda}} \quad (5.44)$$

$$\psi_1 = a \sin \sqrt{\frac{\eta - n}{2\eta}} \quad (5.45)$$

$$\psi_2 = a \sin \sqrt{\frac{\eta + \sin \theta_0 - n \cos \theta_0}{2\eta}} \quad (5.46)$$

$$\lambda = 0.5 \left( \frac{M_0}{EI} + \frac{1}{R_i} \right)^2 \frac{l^2}{a^2} + \sin \theta_0 - n \cos \theta_0 \quad (5.47)$$

unde,  $R_i$  – raza de curbură a fibrei în punctul curent  $i$ .

În exemplul numeric ilustrativ pentru caz se consideră cunoscute:

- lungimea barei,  $l = 52$  mm
- modulul de elasticitate,  $E_x = 12450$  MPa
- modulul de elasticitate,  $E_y = 13670$  MPa
- dimensiunile secțiunii:  $b \times h = 85 \times 0.4$  mm x mm
- modulul de inerție,  $I_x = 0.45333$  mm<sup>4</sup>
- modulul de inerție,  $I_y = 20470.8333$  mm<sup>4</sup>
- forța înclinată aplicată la capătul barei:  $P = 15$  N
- raportul între componentele  $x$  și  $y$  ale forței,  $n = 0.2$
- momentul încovoietor inițial,  $M_0 = 190$  Nmm.

## 80 Dezvoltarea unui dispozitiv de prehensiune destinat manipulării cărților - 5

S-a impus o rotație maximă cuprinsă în intervalul  $[0...90]^\circ$  și s-au efectuat calcule cu un increment de  $3.6^\circ$ .

În Tabelul 5.16 sunt prezentate valorile deplasărilor pe direcția axelor  $x$  și  $y$ , iar în Figura 5.24 poate fi urmărită traiectoria descrisă de capătul liber al barei drepte simplu încastrată solicitată de o forță înclinată și moment încovoietor inițial, aplicate la capătul liber al barei.

Tabelul 5.16 Valorile deplasărilor pe direcția axelor  $x$  și  $y$

| Nr. increment | $\theta_0$ [deg] | $b$ [mm] | $a$ [mm] |
|---------------|------------------|----------|----------|
| 0             | 0                | 0        | 0        |
| 1             | 3.6              | 1.67     | 51.96    |
| 2             | 7.2              | 3.39     | 51.85    |
| 3             | 10.8             | 5.14     | 51.67    |
| 4             | 14.4             | 6.92     | 51.40    |
| 5             | 18.0             | 8.70     | 51.05    |
| 6             | 21.6             | 10.49    | 50.62    |
| 7             | 25.2             | 12.27    | 50.10    |
| 8             | 28.8             | 14.03    | 49.50    |
| 9             | 32.4             | 15.78    | 48.82    |
| 10            | 36.0             | 17.50    | 48.06    |
| 11            | 39.6             | 19.19    | 47.21    |
| 12            | 43.2             | 20.85    | 46.30    |
| 13            | 46.8             | 22.46    | 45.30    |
| 14            | 50.4             | 24.03    | 44.23    |
| 15            | 54.0             | 25.55    | 43.08    |
| 16            | 57.6             | 27.02    | 41.87    |
| 17            | 61.2             | 28.43    | 40.60    |
| 18            | 64.8             | 29.79    | 39.26    |
| 19            | 68.4             | 31.08    | 37.86    |
| 20            | 72.0             | 32.31    | 36.41    |
| 21            | 75.6             | 33.47    | 34.90    |
| 22            | 79.2             | 34.56    | 33.34    |
| 23            | 82.8             | 35.58    | 31.73    |
| 24            | 86.4             | 36.53    | 30.08    |
| 25            | 90.0             | 37.41    | 28.40    |

În cazul unei structuri complexe, cum este cea a mecanismului de acționare a bacurilor (Figura 5.25), aplicarea modelelor matematice Howell este posibilă, dar conduce la un sistem de ecuații dificil sau chiar imposibil de rezolvat analitic.

Primele trei ecuații ale acestui sistem rezultă scriind ecuațiile de echilibru pentru componenta rigidă (echivalent bielă) a conexiunii elastice:

$$\sum M_A : M_{01} + M_{02} + P_1 \cdot L - F \cdot L \cdot \sin\beta = 0 \quad (5.48)$$

$$\sum M_B : M_{01} + M_{02} - P_2 \cdot L = 0 \quad (5.49)$$



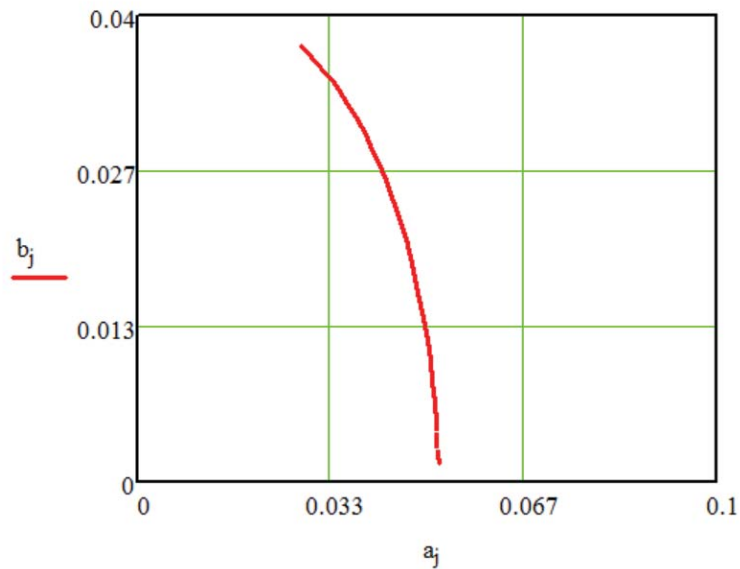


Figura 5.24 Traectoria descrisă de capătul liber al barei drepte simplu încastrată solicitată de o forță înclinată și moment încovoietor inițial, aplicate la capătul liber al barei

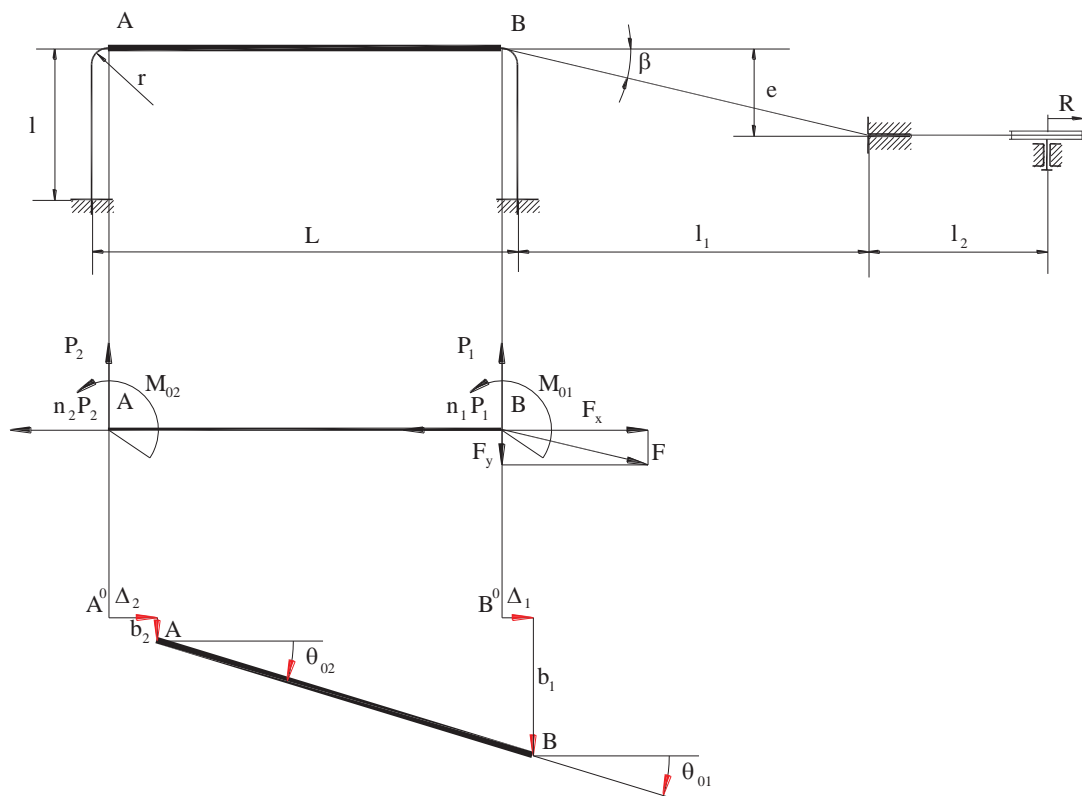


Figura 5.25 Schema cinematică, de încărcare și a deformațiilor structurii cu elemente elastice

$$\sum F_x : -n_1 P_1 - n_2 P_2 + F_x = 0 \quad (5.50)$$

Necunoscutele din acest sistem sunt  $M_{01}$ ,  $M_{02}$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $n_1$  și  $n_2$ .

Pentru rezolvarea sistemului se mai pot scrie următoarele ecuații referitoare la sagețile și rotirea componentelor elastice ale conexiunii, care mai introduc încă 6 necunoscute  $q_{01}$ ,  $q_{02}$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ :

$$\theta_{01}(n_1, P_1, M_{01}) = \theta_{02}(n_2, P_2, M_{02}) = \theta_0 \quad (5.51)$$

$$L + [l - a_1(n_1, P_1, M_{01})] = L \cdot \cos \theta + [l - a_2(n_2, P_2, M_{02})] \quad (5.52)$$

$$b_1(n_1, P_1, M_{01}) + L \cdot \sin \theta = b_2(n_2, P_2, M_{02}) \quad (5.53)$$

Se mai adăuga ecuațiile implicite și explicite ale rotirilor și ale săgeților fiecărei bare elastice:

$$P_1 = EI \int_0^{\theta_{01}} \frac{d\theta}{\sqrt{2 \left[ \frac{EI}{P_1} (n \cos \theta - \sin \theta) + \frac{M_{01}^2}{2P_1^2} - \frac{EI}{P_1} (n \cos \theta_{01} - \sin \theta_{01}) \right]}} \quad (5.54)$$

$$P_2 = EI \int_0^{\theta_{02}} \frac{d\theta}{\sqrt{2 \left[ \frac{EI}{P_2} (n \cos \theta - \sin \theta) + \frac{M_{02}^2}{2P_2^2} - \frac{EI}{P_2} (n \cos \theta_{02} - \sin \theta_{02}) \right]}} \quad (5.55)$$

$$a_1 = \int_0^{\theta_{01}} \frac{\sin \theta \cdot d\theta}{\sqrt{2 \left[ \frac{P_1}{EI} (n \cos \theta - \sin \theta) + \frac{M_{01}^2}{2(EI)^2} - \frac{P_1}{EI} (n \cos \theta_{01} - \sin \theta_{01}) \right]}} \quad (5.56)$$

$$b_1 = \int_0^{\theta_{01}} \frac{\cos \theta \cdot d\theta}{\sqrt{2 \left[ \frac{P_1}{EI} (n \cos \theta - \sin \theta) + \frac{M_{01}^2}{2(EI)^2} - \frac{P_1}{EI} (n \cos \theta_{01} - \sin \theta_{01}) \right]}} \quad (5.56)$$

$$a_2 = \int_0^{\theta_{02}} \frac{\sin \theta \cdot d\theta}{\sqrt{2 \left[ \frac{P_2}{EI} (n \cos \theta - \sin \theta) + \frac{M_{02}^2}{2(EI)^2} - \frac{P_2}{EI} (n \cos \theta_{02} - \sin \theta_{02}) \right]}} \quad (5.57)$$

$$b_2 = \int_0^{\theta_{02}} \frac{\cos \theta \cdot d\theta}{\sqrt{2 \left[ \frac{P_2}{EI} (n \cos \theta - \sin \theta) + \frac{M_{02}^2}{2(EI)^2} - \frac{P_2}{EI} (n \cos \theta_{02} - \sin \theta_{02}) \right]}} \quad (5.58)$$

Având în vedere complexitatea și dificultatea rezolvării sistemului de mai sus, se consideră adecvată o abordare numerică a problemei, respectiv apelarea metodei elementului finit.

## Analiza stării de deformație a conexiunii elastice de acționare a bacurilor prin MEF

MEF (Metoda Elementului Finit) are la bază ideea că structura materială continuă a corpului real, având o infinitate de grade de libertate, poate fi divizată într-un număr finit de subdomenii cu statut geometric și fizico-mecanic propriu și

având atașate un număr, de asemenea, finit, de grade de libertate. Aceste subdomenii, numite elemente finite, prin reasamblare, reconstituie corpul de la care s-a pornit și redau comportarea acestuia cu un anumit grad de aproximație.

Din punct de vedere matematic, procesele care definesc comportarea solidului real sunt exprimate prin funcții care rezultă ca soluții ale unor ecuații diferențiale. Prin MEF, funcția necunoscută este aproximată printr-un set de funcții simple, continue pe elemente și având ca puncte de precizie, valorile din nodurile rețelei de discretizare.

Fundamentul matematic al metodei se bazează pe principiile calculului variațional. În problemele mecanice de elasticitate, acesta implică o mărime scalară, funcționala  $\Pi$ , definită prin formula integrală:

$$\Pi = \int_{\Omega} F\left(u, \frac{\partial}{\partial x} u, \dots\right) d\Omega + \int_{\Gamma} E\left(u, \frac{\partial}{\partial x} u, \dots\right) d\Gamma \quad (5.59)$$

unde  $u$  este funcția necunoscută,  $E, F$  – operatori,  $\Omega, \Gamma$  - domenii,  $x, \dots$  - variabile independente.

Soluția problemelor de continuitate este o funcție care se bazează pe caracterul staționar al funcționalei  $\Pi$  față de variații mici  $\delta u$ . Ca urmare, pentru o soluție a unei probleme de continuitate expresia principială fenomenologică este:

$$\delta \Pi = 0 \quad (5.60)$$

În general, dacă unei probleme  $i$  se poate aplica un principiu variațional, atunci se poate găsi o funcție  $\underline{u}$ , care să aproximeze funcția  $u$ , sub forma:

$$u \cong \underline{u} = \sum N_i a_i \quad (5.61)$$

unde,  $N_i$  reprezintă funcții numite funcții de formă, dependente de variabile independente și de toate sau numai de unele mărimi necunoscute  $a_i$ . Relația (5.60) conduce la un sistem de ecuații având necunoscutele  $a_i$ .

Metodele găsirii staționarității cu ajutorul funcțiilor care depind de parametrii  $a_i$  poartă numele lui Rayleigh și Ritz. În problemele de elasticitate, funcționala care se minimizează este energia potențială a elementului finit.

Rezolvarea prin MEF a unei aplicații urmărește, principial, următoarele etape:

- discretizarea domeniului de analiză
- constituirea ecuațiilor elementelor și asamblarea lor în sistemul de ecuații al structurii
- rezolvarea sistemului de ecuații
- postprocesarea rezultatelor.

Prin discretizare, solidul real se divide în subdomenii cât mai simple ca formă și care, prin reasamblare, redau cu un grad ridicat de aproximare, forma de la care s-a pornit. Aceste subdomenii, prin modelare matematică devin elemente finite. Elementele finite pot fi liniare, bi- sau tridimensionale, funcție de cerințele aplicației. În cazul aplicațiilor de analiză a stării de tensiune și deformație funcțiile necunoscute de bază sunt deplasările. Se definește un vector al deplasărilor pe element  $\{f\}$  și un vector al deplasărilor nodale  $\{d_e\}$  (relațiile 5.62 și 5.63):

$$\{f\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} \quad (5.62)$$

$$\{d_e\} = \begin{Bmatrix} u_j \\ v_j \\ w_j \\ u_j \\ v_j \\ w_j \\ u_m \\ v_m \\ w_m \\ u_p \\ v_p \\ w_p \end{Bmatrix} \quad (5.63)$$

Pentru determinarea deplasărilor nodale se utilizează teorema energiei potențiale minime, funcționala minimizată fiind energia potențială a elementului finit. Într-o formulare generală, teorema energiei potențiale minime arată că dintre toate configurațiile posibile de deplasări, care satisfac condițiile de compatibilitate internă și condițiile la limită, numai cele pentru care energia potențială este staționară, corespund poziției de echilibru. În acest sens, se definește funcționala  $\Pi$ :

$$\Pi = U - W \quad (5.64)$$

unde  $U$  este energia de deformație,  $W$  – lucrul mecanic al forțelor exterioare.

Pentru un element se poate scrie:

$$U_e = \int_{V_e} \left( \frac{1}{2} \{\varepsilon\}^T [E] \{\varepsilon\} + \{\varepsilon\}^T \{\sigma_0\} \right) dV \quad (5.65)$$

$$W_e = \int_{V_e} \{f\}^T \{F\} dV + \int_{S_e} \{f\}^T \{Q\} dS + \{d_e\}^T \{p_n\} \quad (5.66)$$

unde  $\{\varepsilon\}$  este vectorul deplasărilor specifice,  $[E]$  – matricea de elasticitate,  $\{\sigma_0\}$  – vectorul tensiunilor inițiale,  $\{f\}$  – vectorul deplasărilor elementale,  $\{F\}$  – vectorul forțelor volumice care acționează pe element,  $\{Q\}$  – vectorul forțelor de suprafață care acționează pe element,  $\{p_n\}$  – vectorul forțelor concentrate care acționează pe element,  $\{d_e\}$  – vectorul deplasărilor nodale ale elementului.

Deformațiile specifice și deplasările elementale se exprimă funcție de deplasările nodale:

$$\{\varepsilon\} = [B] \{d_e\} \quad (5.67)$$

$$\{f\} = [N] \{d_e\} \quad (5.68)$$

Pentru o structură care conține  $M$  elemente, energia potențială va fi:

$$\Pi = \sum_1^M \Pi_e \quad (5.69)$$

Minimizarea funcționalei  $\Pi$  este echivalentă, din punct de vedere matematic, cu impunerea condiției de anulare a derivatelor parțiale ale funcționalei în raport cu deplasările  $d_i$  ale elementelor:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial d_i} = 0, \quad i = \overline{1, n} \quad (5.70)$$

unde  $n$  reprezintă numărul gradelor de libertate ale sistemului și este egal cu produsul dintre numărul nodurilor și numărul gradelor de libertate pe nod.

Rezultă un sistem de  $M$  ecuații de forma:

$$\left( \sum_1^M \int_{V_e} [B]^T [E][B] dV \right) \{d\} = \sum_1^M \left( - \int_{V_e} [B]^T \{\sigma_0\} dV + \int_{V_e} [N]^T \{F\} dV + \right. \\ \left. + \int_{S_e} [N]^T [Q] dS \right) + \{P\} \quad (5.71)$$

unde  $\{d\}$  este vectorul deplasărilor nodale ale structurii:

$$\{d\} = \sum_1^M \{d_e\} \quad (5.72)$$

$\{P\}$  – vectorul forțelor nodale ale structurii:

$$\{P\} = \sum_1^M \{p_n\} \quad (5.73)$$

Se definesc matricea de rigiditate a elementului,  $[k]$  și a sistemului,  $[K]$ :

$$[k] = \int_{V_e} [B]^T [E][B] dV \quad (5.74)$$

$$[K] = \sum_1^M \int_{V_e} [B]^T [E][B] dV \quad (5.75)$$

În final se obține forma canonică a ecuației matriceale a elementelor finite (ecuația fundamentală):

$$[K]\{d\} = \{R\} \quad (5.76)$$

unde  $\{R\}$  reprezintă în forma cea mai concisă vectorul solicitărilor volumice, de suprafață și concentrate.

Matricea deformațiilor specifice se dezvoltă sub forma:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \end{Bmatrix} = [B]\{d_e\} \quad (5.77)$$

unde  $[B]$  se numește matrice de transformare a deplasărilor în deformații specifice și conține elemente care reprezintă coeficienții funcțiilor de formă specifici fiecărui tip de element.

Matricea de elasticitate [E] în cazul materialelor ortotropice are forma:

$$[E] = \begin{bmatrix} 1/E_x & -\nu_{xy}/E_x & -\nu_{xx}/E_x & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_y & 1/E_x & -\nu_{yz}/E_y & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_x & \nu_{zy}/E_z & 1/E_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{xz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} \end{bmatrix} \quad (5.78)$$

Vectorul tensiunilor se scrie cu ajutorul legii lui Hooke generalizate, matriceal:

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = [E]\{\varepsilon\} \quad (5.79)$$

Vectorul forțelor care acționează pe element poate fi:

- $\{f_0\}_e$  - vectorul forțelor datorate unor tensiuni inițiale:

$$\{f_0\}_e = - \int_{V_e} [B]^T \{\sigma_0\} dV \quad (5.80)$$

- $\{f_m\}_e$  - vectorul forțelor volumice (masice):

$$\{f_m\}_e = \int_{V_e} [N]^T \{F\} dV = \int_{V_e} [N]^T \begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{Bmatrix} dV \quad (5.81)$$

- $\{f_s\}_e$  - vectorul forțelor de suprafață:

$$\{f_s\}_e = \int_{S_e} [N]^T [Q] dS = \int_{S_e} [N]^T \begin{Bmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \end{Bmatrix} dS \quad (5.82)$$

- $\{r\}_e$  - vectorul forțelor concentrate:

$$\{r\}_e = \begin{Bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{Bmatrix} \quad (5.83)$$

Se scrie astfel un sistem conținând ecuațiile tuturor elementelor finite, în forma canonică:

$$[k]\{d\}_e = \{f\}_e \quad (5.84)$$

Având determinate ecuațiile elementelor finite ale structurii, urmează asamblarea acestora, ca proces invers discretizării. Geometric, se reface structura solidului de la care s-a pornit, iar matematic, rezultă un model global al sistemului.

Asamblarea se face separat, pe matrici de rigiditate, deplasări și forțe, urmărind două operații: expandarea matricilor elementale și însumarea matricilor expandate. Matricea de rigiditate a sistemului este o matrice pătrată de dimensiuni  $n \times n$  ( $n$  – numărul nodurilor rețelei  $\times$  numărul gradelor de libertate pe nod).

Matricile expandate, de dimensiuni  $n \times n$ , se obțin introducând submatricile  $k_{ij}$  în locurile pe care urmează să le ocupe în matricea sistemului, pe baza unei matrici de conexiuni. Celelalte elemente ale matricilor expandate sunt nule.

Matricea de rigiditate a sistemului rezultă prin însumarea matricilor expandate.

Vectorul deplasărilor sistemului,  $U$  ( $1 \times 3M$ ), cuprinde toate componentele deplasărilor nodale:

$$\{U\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ \vdots \\ u_M \\ v_M \\ w_M \end{Bmatrix} \quad (5.85)$$

În aceeași manieră se construiește vectorul forțelor nodale:

$$\{R\} = \begin{Bmatrix} R_{x1} \\ R_{y1} \\ R_{z1} \\ \vdots \\ R_{xM} \\ R_{yM} \\ R_{zM} \end{Bmatrix} \quad (5.86)$$

În final rezultă ecuația matriceală:

$$[K]\{U\} = \{R\} \quad (5.87)$$

În această ecuație se introduc condițiile la limită (condiții de rezemare). Acestea implică, în general, valori nule sau date ale unor deplasări sau rotații. În matricea de rigiditate a sistemului, liniile și coloanele aferente deplasărilor cunoscute se anulează. Spre exemplu dacă valoarea deplasării  $u_i$  este cunoscută, relația (5.87) se scrie sub forma:

$$\begin{bmatrix} k_{1,1} & \cdots & k_{1,i-1} & k_{1,i+1} & \cdots & k_{1,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{i-1,1} & \cdots & k_{i-1,i-1} & k_{i-1,i+1} & \cdots & k_{i-1,n} \\ k_{i+1,1} & \cdots & k_{i+1,i-1} & k_{i+1,i+1} & \cdots & k_{i+1,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{n,1} & \cdots & k_{n,i-1} & k_{n,i+1} & \cdots & k_{n,n} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_{i-1} \\ u_{i+1} \\ \vdots \\ u_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_1 \\ \vdots \\ R_{i-1} \\ R_{i+1} \\ \vdots \\ R_n \end{Bmatrix} - u_i \begin{Bmatrix} k_{1,i} \\ \vdots \\ k_{i-1,i} \\ k_{i+1,i} \\ \vdots \\ k_{n,i} \end{Bmatrix} \quad (5.88)$$

În acest mod dimensiunile matricii de rigiditate a sistemului și lungimea vectorilor se reduc. Formal, ecuația structurii în forma redusă se scrie:

$$[K_r]\{U_r\} = \{R_r\}. \quad (5.89)$$

### Determinarea forței necesare pentru obținerea unei deplasări impuse conexiunii elastice prin MEF

Modelul proiectat asistat pe calculator (CAD) a fost analizat cu ajutorul metodei elementului finit, cu ajutorul programului Ansys. Simularea s-a efectuat pentru situația fără carte între bacuri. Se urmărește determinarea deplasării totale a bacului mobil până la contactul cu bacul rigid, precum și a componentelor aferente fiecărei axe de coordonate a sistemului de referință atașat efectorului final.

Pentru modelarea cu element finit a dispozitivului de prehensiune se impune ca deplasarea în sensul axei Y a bacului mobil să fie de 32mm, valoare obținută prin analiza digitală prin fotogrammetrie din paragraful anterior. De asemenea, se introduc valorile pentru parametri de material corespunzători bacului mobil al dispozitivului de prehensiune urmărindu-se în final forța care este necesară pentru prehensare  $F_{b.mod}$  (Figura 5.26).

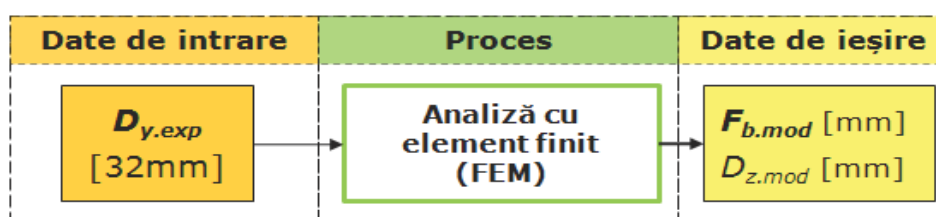


Figura 5.26 Stabilirea mijloacelor utilizate în proces, a datelor de intrare și a datelor de ieșire în procesul de analiză digitală a bacului mobil al dispozitivului de prehensiune

În Figura 5.27 este prezentat modelul CAD preluat în Ansys în vederea analizei. Sunt evidențiate prin culori diferite elementele componente ale ansamblului (bac mobil – roșu, conexiune elastică – albastru și element fix – verde). În partea stângă a imaginii sunt înscrise alături de simbolurile cromatice grosimile aferente fiecărei piese.

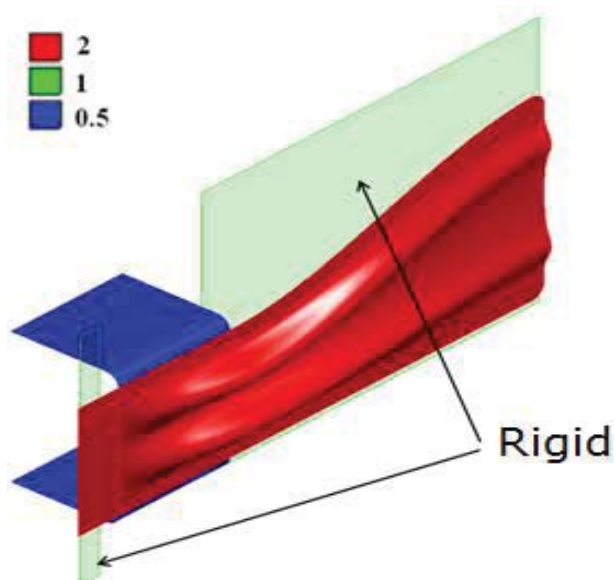


Figura 5.27 Modelul CAD al mecanismului cu conexiuni elastice, preluat în Ansys

Pentru fiecare componentă este necesară introducerea caracteristicilor de material, care contribuie la scrierea ecuațiilor constitutive ale sistemului. În Figura



5.28 este prezentat modulul proprietăților conexiunii elastice. Materialul acesteia este încadrat în categoria materialelor ortotropice, la care valorile modulelor de elasticitate diferă pe cele trei direcții ortogonale ale sistemului de referință atașat structurii. Pentru discretizarea componentelor, având în vedere grosimea lor constantă, s-a considerat oportună alegerea elementului finit de tip shell.

| Eigenschaften von Überblickzeile 4: Twintex |                         |         |                        |
|---|-------------------------|---------|------------------------|
|   | A                       | B       | C                      |
| 1   | Eigenschaft             | Wert    | Einheit                |
| 2   | Dichte                  | 1,5E-09 | tonne mm <sup>-3</sup> |
| 3   | Orthotrope Elastizität  |         |                        |
| 4   | E-Modul - X-Richtung    | 13670   | MPa                    |
| 5   | E-Modul - Y-Richtung    | 12450   | MPa                    |
| 6   | E-Modul - Z-Richtung    | 1700    | MPa                    |
| 7   | Querkontraktionszahl XY | 0,15    |                        |
| 8   | Querkontraktionszahl YZ | 0,3     |                        |
| 9   | Querkontraktionszahl XZ | 0,3     |                        |
| 10  | Schubmodul XY           | 1400    | MPa                    |
| 11  | Schubmodul YZ           | 1000    | MPa                    |
| 12  | Schubmodul XZ           | 1000    | MPa                    |

Figura 5.28 Fereastra proprietăților de material pentru conexiunea elastică, al cărui material se consideră ortotrop

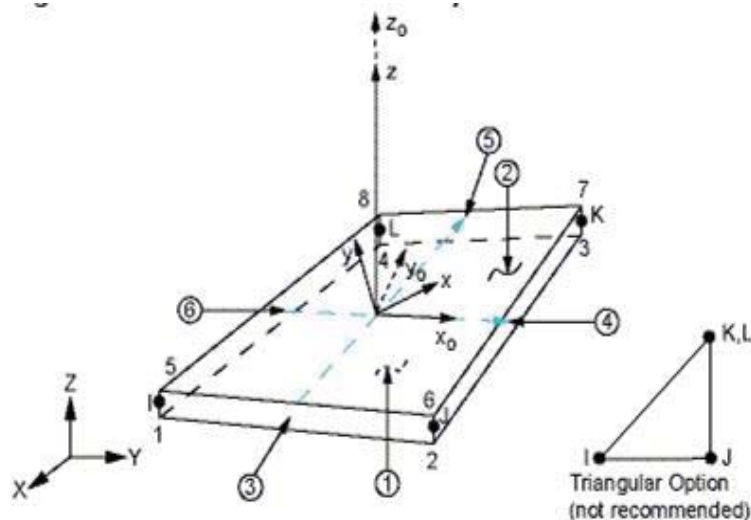


Figura 5.29 Element de tip shell – poziționarea nodurilor și sistemul local de referință (x, y, z) raportat la geometria elementului și sistemul de referință global (X, Y, Z)

Elementul shell este un element plan, de formă dreptunghiulară (cu patru noduri), care poate fi utilizat în discretizarea structurilor spațiale, dacă grosimea acestora este constantă și de valoare mică în raport cu celelalte două dimensiuni. Pentru discretizarea bacului fix și a conexiunii elastice a fost suficientă utilizarea elementelor *Shell181* din biblioteca Ansys (Figura 5.29).

Pentru zonele de contact dintre piese s-au utilizat elemente de contact de diferite forme (Figura 5.30) din biblioteca programului Ansys. Elementele tip target sunt pregătite pentru introducerea constrângerilor impuse structurii.

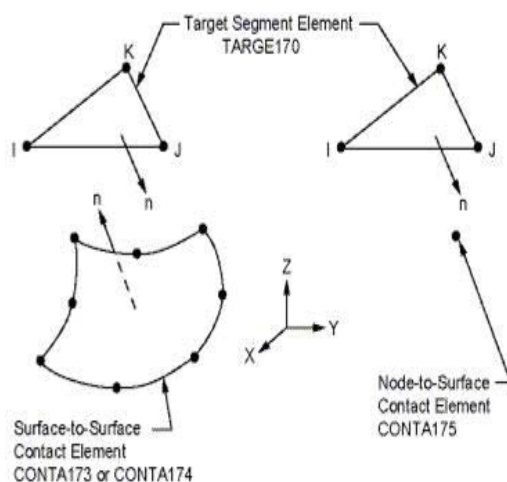


Figura 5.30 Elemente de contact și elemente de tip target utilizate la discretizarea structurii

O vedere de ansamblu rețelei de discretizare este redată în Figura 5.31.

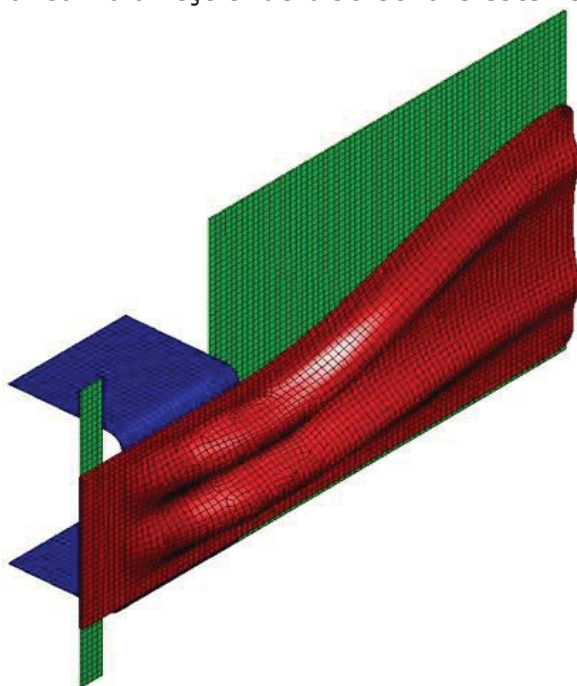


Figura 5.31 Modelul structurii discretizat cu elemente de tip shell

Problema fiind de tipul *Displacement Controlled Finit Element Analyses* [Zheng, 2005], [Zhong, 2009]., s-a impus punctului A (Figura 5.30) o deplasare de 32 mm, urmând să se determine forța verticală necesară realizării acestei deplasări. Pentru modelarea completă a structurii, în punctele B și C s-au introdus constrângeri de tipul fixării, corepunzătoare încastrărilor (Figura 5.32) [Davidescu, 2011].

Rularea programului a condus la o soluție convergentă, din mai multe iterații, așa cum rezultă din Figura 5.33.

Figurile următoare pun în evidență deformațiile structurii (deformația totală – Figura. 5. 34, deformațiile pe direcțiile x, y și z – Figura 5.35, Figura 5.36 și Figura 5.37).

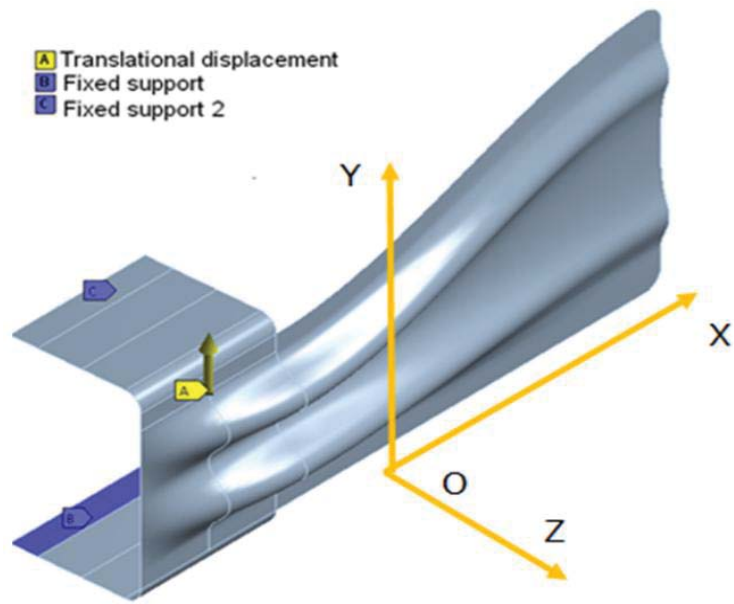


Figura 5.32 Condițiile la limită impuse structurii analizate

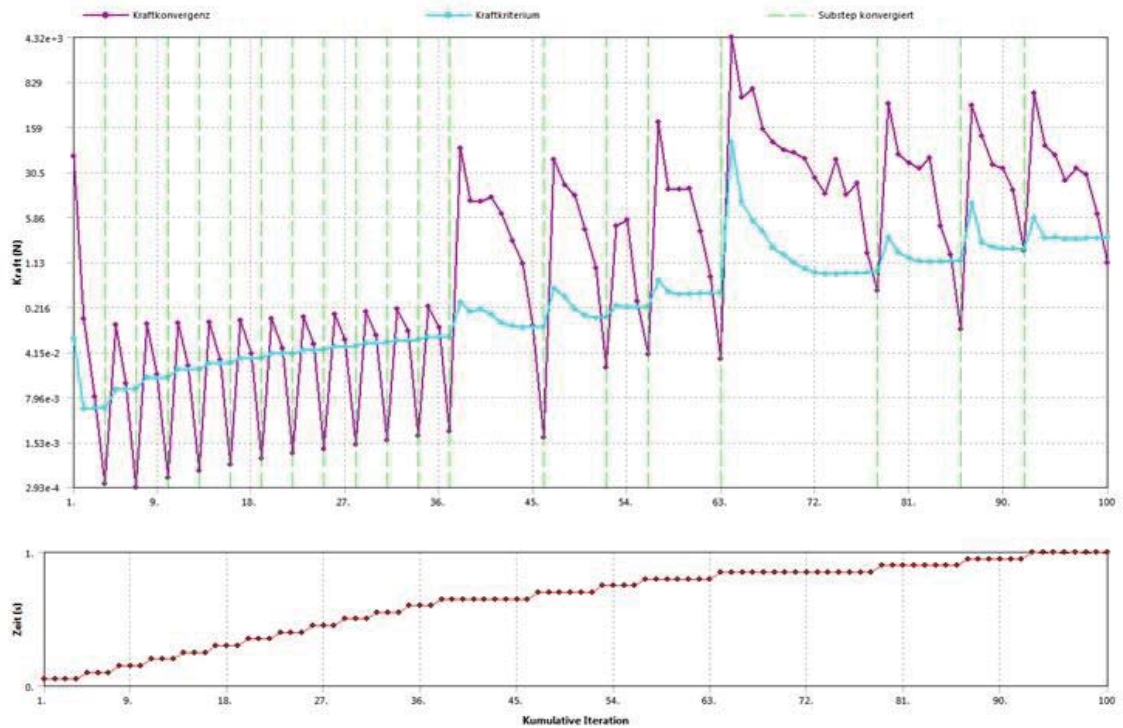


Figura 5.33 Evoluția calculului iterativ spre soluția convergentă finală

Scările cromatice atașate imaginilor au atașate valorile minime și maxime măsurate în milimetri.

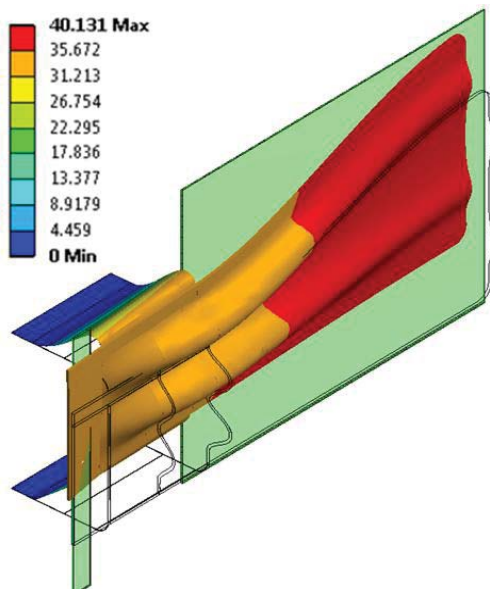


Figura 5.34 Deplasările totale ale componentelor structurii

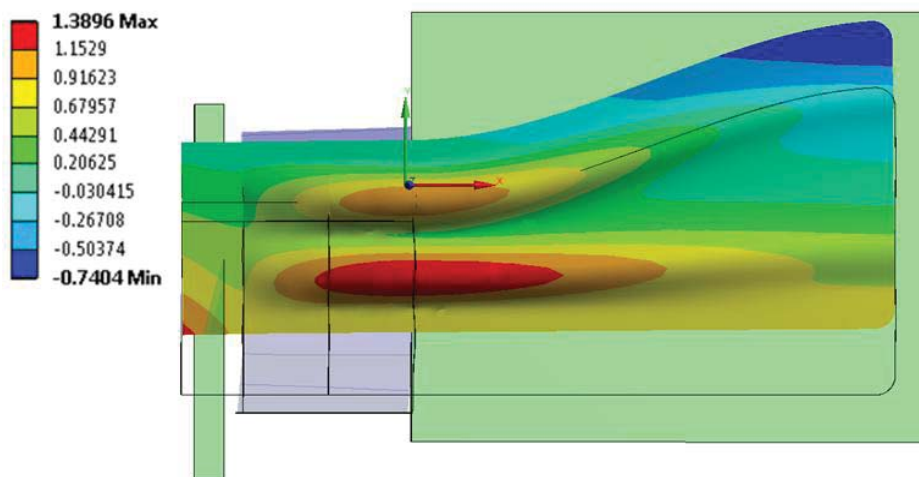


Figura 5.35 Componenta deplărilor pe axa X

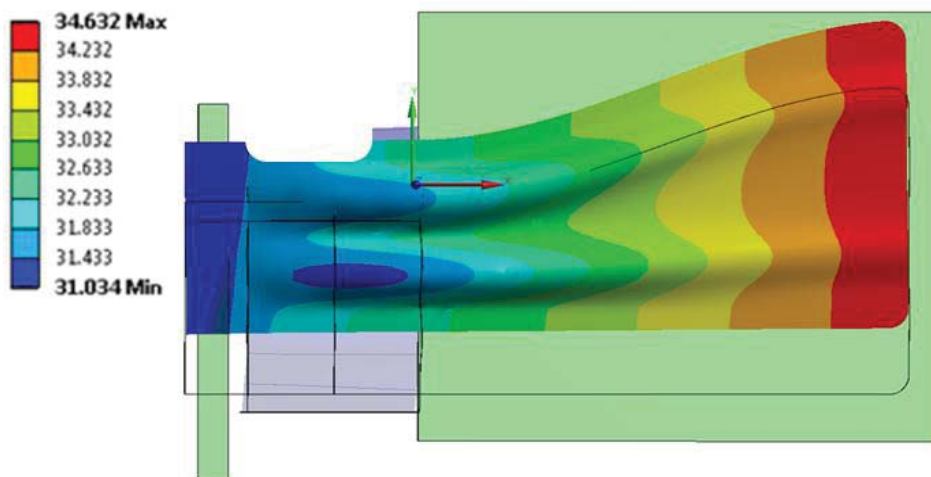


Figura 5.36 Componenta deplărilor pe axa Y

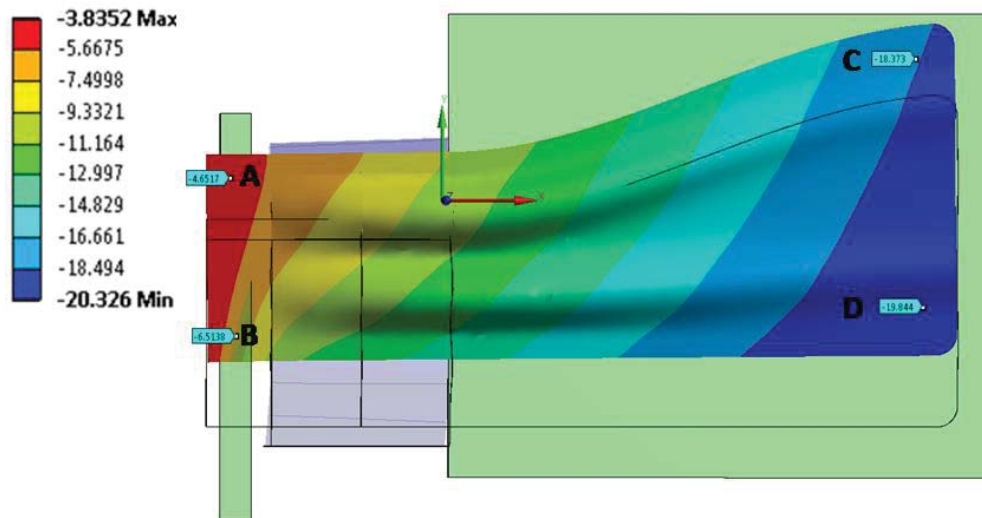


Figura 5.37 Componenta deplasărilor pe axa Z (punctul A: -4.65mm, punctul B: -6.51mm, punctul C: -18.37mm, punctul D: -19.84mm)

În Figura 5.38 se prezintă curba de dependență între forța de acționare a dispozitivului de prehensiune și deplasarea bacului mobil (pe axa Y), rezultată în urma modelării cu element finit.

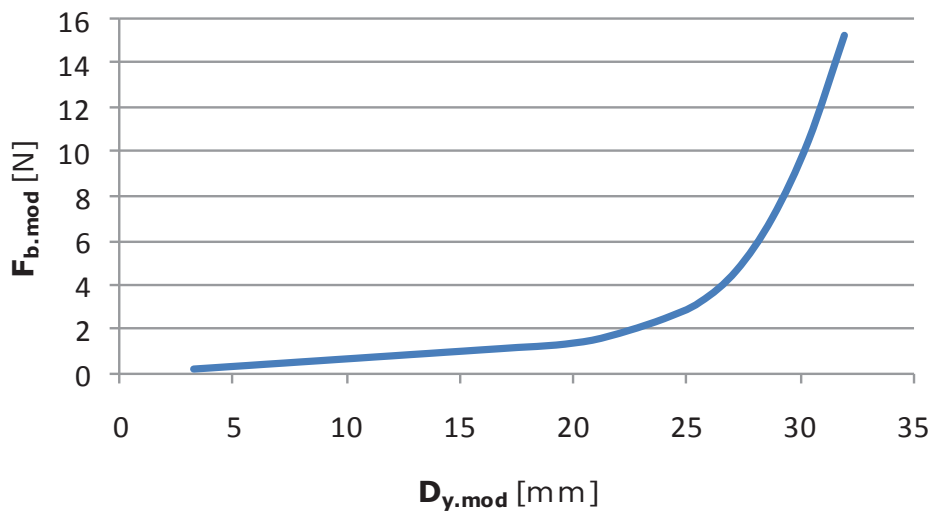


Figura 5.38 Curba de dependență între forța de acționare a dispozitivului de prehensiune și deplasarea bacului mobil (pe axa Y), rezultată în urma simulării cu element finit

În Figura 5.39 se prezintă curba de dependență între deplasarea pe axa Z și axa Y a bacului mobil.

## 5.7 Compararea rezultatelor și confirmarea soluției alese

După realizarea modelului experimental al dispozitivului de prehensiune, autorul și-a propus modelarea și verificarea deformării bacului mobil într-un mediu de simulare asistat de calculator.

Scopul analizei digitale prin interferometrie a fost determinarea deplasării prin deformarea bacului mobil pe axa Z și Y a sistemului cartezian de coordonate atașat dispozitivului de prehensiune, în timpul apropierii, până la contact a bacurilor,

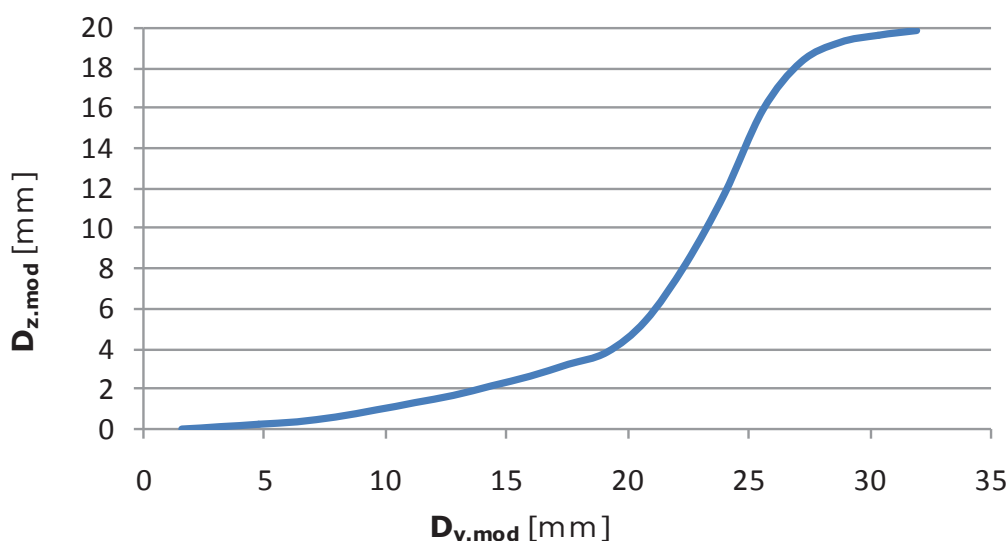


Figura 5.39 Curba de dependență între deplasarea pe axa Z și axa Y a bacului mobil rezultată în urma simulării cu element finit

în funcție de forța necesară acționării benzii. Conform Figura 5.16 și Figura 5.17, rezultă că:

- deplasarea maximă prin deformare a bacului mobil, în direcția axei Y este  $D_{y.exp} = 31.68\text{mm}$ ;
- deplasarea maximă prin deformare a bacului mobil, în direcția axei Z este  $D_{z.exp} = 19.1\text{mm}$
- forța maximă de acționare a benzii este de  $F_{b.exp.} = 15.6\text{N}$ .

Pentru analiza cu element finit a dispozitivului de prehensiune se impune ca deplasarea prin deformare a bacului mobil în sensul axei Y să fie de 32mm (valoare obținută prin analiza digitală din paragraful 5.6) și se urmăresc deplasările prin deformare a bacului mobil și forța de acționare a benzii. Această metodă constituie un tip de analiză cu element finit prin controlul deplasărilor și urmărirea forțelor și deformațiilor procesului (*Displacement Controlled Finit Element Analyses*). Cu alte cuvinte, se deplasează milimetru cu milimetru bacul mobil și se măsoară forța de acționare a benzii și modul de deformare a bacului mobil. Rezultatele obținute prin modelare cu element finit a bacului mobil sunt:

- deplasarea maximă prin deformare a bacului mobil, în direcția axei Z este  $D_{z.mod} = 19,81\text{mm}$ ;
- forța maximă de acționare a benzii este de  $F_{b.mod} = 15,32\text{N}$ .

Se poate observa că rezultatele obținute prin cele două metode de analiză au valori similare pentru parametrii urmăriți, ceea ce dovedește că modelul experimental validează modelul proiectat pe calculator și poate fi utilizat pentru îndeplinirea scopului propus al tezei.

## 5.8 Concluzii

Acest capitol prezintă în detaliu modelul experimental prototip al unui dispozitiv de prehensiune paralel destinat manipulării cărților, care utilizează un mecanism inovativ cu conexiuni elastice (fabricate din material termoplastice ranforsat cu fibră textilă) pentru acționarea unuia dintre bacuri, în scopul reducerii

masei și a simplificării constructive. Modelul CAD al dispozitivului de prehensiune a fost realizat în mediul de proiectare Solid Works. A fost impusă dimensiunea, greutatea și grosimea maximă a cărților ce pot fi manipulate cu acest prehensor, dintre care se amintesc doar grosimea maximă de 20mm și greutatea maximă de 2kg. Pentru acționarea bacului mobil s-a utilizat același motor pas cu pas Isel, identic celor pentru reciprocator, în scopul menținerii unei compatibilități în sistemul de comandă a motoarelor și de reducere a costurilor prin folosirea aceluiași tip de acționare pentru manipulator. Grosimea de 9mm a bacurilor impune existența unui interstițiu între cărți, când sunt așezate pe raft, pentru îndeplinirea procesului de extragere și manipulare a acestora.





## 6 Realizarea prototipului manipulatorului și încercări experimentale ale acestuia

Acest capitol prezintă soluția constructivă a sistemului de manipulare propus utilizând structura de reciprocator realizat și dispozitivul de prehensiune prezentate în capitolele anterioare. Se descrie structura modelului experimental realizat, etapele de manipulare a cărților din interiorul unui raft deservit de manipulator și așezarea acestora într-un spațiu de depozitare.

### 6.1 Determinarea gradului de dezordine a cărților în biblioteci

Într-un proces automatizat de manipulare a anumitor obiecte, modul de așezare a acestora în spațiu este un factor determinant în vederea alegerii complexității robotului [Roșculeț, 1982]. În cele ce urmează, se descriu anumite situații de așezare-ordonare a cărților în spațiu (într-o bibliotecă) și alegerea unei variante de ordonare pentru încercările experimentale ulterioare.

Cărțile pot avea în formația de situare, diferite grade de neuniformitate a orientării relative și a poziționării relative (distanțele dintre două obiecte vecine aleatoare din formație). Cu alte cuvinte, ele reprezintă diferite grade de dezordine, caracterizate de doi parametri: orientarea cărților și poziționarea lor relativă.

Astfel se definește gradul de dezordine efectiv  $D$ , pe care cărțile aflate în formație îl prezintă la un moment dat. Acest grad de dezordine efectiv  $D$  poate varia între o valoare maximă a dezordinii  $D_M$  și o valoare minimă  $D_m$ . Prin urmare se poate scrie:

$$D \in [D_m, D_M] \quad (6.1)$$

Gradul de dezordine minim are valoarea minimă zero când cărțile dintr-o formație oarecare se găsesc în stare complet ordonată (de exemplu într-un depozit).

Gradul de dezordine maxim a cărților este îndeplinit în situația în care cărțile sunt în vrac, aruncate aleator pe o masă, una peste alta, fără a exista nici o relație de dependență între coordonatele relative ale acestora. Gradul de dezordine maximă caracterizează dificultatea procesului de ordonare prin numărul maxim de orientări și reglări relative distincte pe care le prezintă cărțile dintr-o formație oarecare. Dacă se notează gradul de neuniformitate maxim posibil a orientării relative a cărților cu  $N_{MO}$ , și neuniformitatea maximă a pozițiilor relative cu  $N_{MR}$ , atunci se poate scrie gradul de dezordine  $D_M$  astfel:

$$D_M = N_{MO} + N_{MR} \quad (6.2)$$

În funcție de numărul de coordonate implicate pentru calculul distanței relative a două cărți vecine, neuniformitatea maximă a reglării relative este:

- $N_{MR} = 1$ , pentru cărți care sunt dispuse în linie. În acest caz distanțele relative dintre două cărți vecine pot diferi după o singură coordonată  $x$ ;
- $N_{MR} = 2$ , pentru cărți care sunt dispuse în plan. În acest caz distanțele relative dintre două cărți vecine pot diferi după două coordonate  $x$  și  $y$ ;

- $N_{MR} = 3$ , pentru cărți care sunt dispuse în spațiu. În acest caz distanțele relative dintre două cărți vecine pot diferi după trei coordonate  $x$ ,  $y$  și  $z$ .

Această ultimă valoare reprezintă și neuniformitatea maximă posibilă a pozițiilor relative.

Considerând cartea obiect paralelipipedic, atunci  $N_{MO}$  este egal cu numărul suprațelor plane exterioare distincte, pe care cartea are o așezare stabilă.

În continuare se prezintă câteva moduri posibile de așezare a cărților în bibliotecă și alegerea unei variante de aranjare a cărților în concordanță cu dexteritatea sistemului de manipulare a cărților utilizând structura de reciprocator realizat (paragraful 4.4) și dispozitivul de prehensiune dezvoltat (paragraful 5.5).

Prin urmare, în Figura 6.1 se prezintă câteva moduri de depozitare și aranjare posibile a cărților în biblioteci:

Situația a): cărțile sunt aruncate într-o navetă și au o poziție aleatoare unele față de altele. Prin urmare distanțele relative dintre două cărți vecine pot diferi după trei coordonate  $x$ ,  $y$  și  $z$  ( $N_{MR} = 3$ ).

Situația b): cărțile sunt așezate aleator pe o masă, având o coordonată relativă egală ( $N_{MR} = 2$ ).

Situația c): cărțile sunt așezate pe o bandă de transport, având o coordonată relativă egală ( $N_{MR} = 2$ ).

Situația d): cărțile sunt așezate pe o bandă de transport, iar mijlocul lățimii benzii corespunde cu mijlocul fiecărei lungimi a cărților. Prin urmare, coordonatele relative a două cărți vecine diferă după o singură axă ( $N_{MR} = 1$ ).

Situația e): cărțile sunt așezate pe un raft, deci coordonatele relative a două cărți vecine diferă după o singură axă ( $N_{MR} = 1$ ).

Situația f): cărțile sunt așezate pe un raft de tip rastel (compartimentat), fiind delimitate mecanic prin bare în scopul obținerii unui interstițiu între ele. De asemenea, deci coordonatele relative a două cărți vecine diferă după o singură axă ( $N_{MR} = 1$ ).

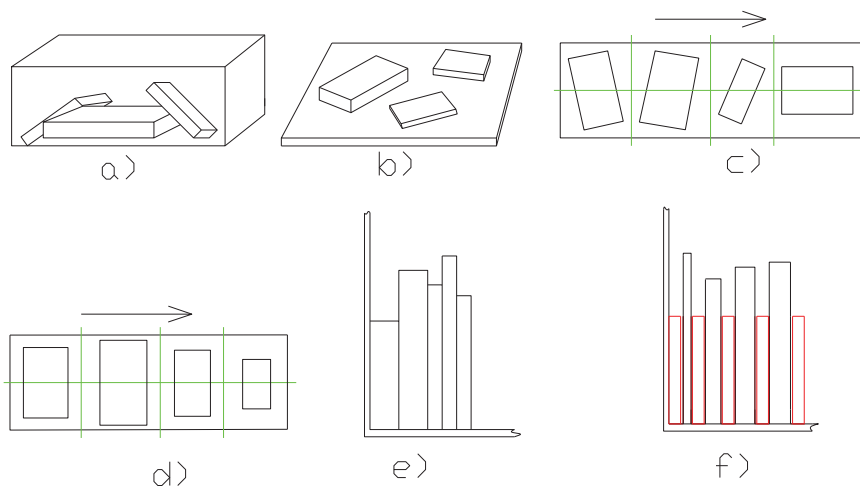


Figura 6.1 Moduri de depozitare și aranjare posibile a cărților în biblioteci

Aceste moduri de depozitare implică două situații:

- nu există nici o relație de dependență între coordonatele relative ale acestora (pentru modul de așezare în vrac, cărțile având o poziție aleatoare în navetă – Figura 6.2a).

- există relație de dependență între coordonatele relative ale cărților (pentru modurile de așezare pe o masă, pe o bandă rulantă sau pe un raft, cărțile având un plan de așezare comun – Figura 6.2b,c,d,e,f).

Datorită grosimii bacurilor dispozitivului de prehensiune și a construcției manipulatorului, se alege ca mod optim de depozitare și aranjare a cărților pentru modelul experimental propus, situația *f*) din Figura 6.2. În acest scop, s-a realizat un raft, cu locașuri de diferite grosimi, delimitate mecanic, pentru obținerea unui interstițiu între cărți, necesar poziționării acestora.

## 6.2 Modelul experimental al manipulatorului

Așa cum s-a specificat în paragraful 4.3, modelul experimental permite mișcarea de translație doar pe axele X și Y ale sistemului de coordonate atașat modelului experimental (Figura 6.2).

Elementele componente ale modelului experimental sunt prezentate în Figura 6.3:

- 1- spațiu pentru depozitarea cărților;
- 2- motorul pas cu pas de acționare a axei de translație corespunzătoare axei X;
- 3- sistemul de calcul, pe care rulează programul de comandă a motoarelor manipulatorului;
- 4- controlerul motoarelor de acționare a manipulatorului;
- 5- cadru-suport realizat din profile de aluminiu;
- 6- compresor pentru alimentarea cu aer a mușchiului pneumatic 12, prin circuitul pneumatic care conține elementele pneumatice 7;
- 7- montaj pneumatic pentru reglarea presiunii aerului de încărcare a mușchiului pneumatic 12;
- 8- căruciorul axei de translație corespunzătoare axei de coordonate X atașată manipulatorului (pe care este montat profilul de aluminiu 11, axa de translație 14 corespunzătoare axei de coordonate Y atașată manipulatorului și dispozitivul de prehensiune 13);
- 9- motorul pas cu pas de acționare a axei de translație corespunzătoare axei Y;
- 10- raft, cu locașuri de diferite grosimi pentru cărți;
- 11- profil de aluminiu;
- 12- mușchi pneumatic;
- 13- dispozitiv de prehensiune;
- 14- axa de translație corespunzătoare axei de coordonate Y atașată manipulatorului.

## 6.3 Fazele de manipulare a unei cărți

În Figura 6.3 sunt prezentate fazele necesare manipulatorului realizat, de a extrage o carte din raft și de a o așeza la capătul raftului, într-un spațiu dedicat depozitării temporare a cărților:

*Faza A:* alegerea cărții de manipulat din raftul dedicat;

*Faza B:* poziționarea dispozitivului de prehensiune de către căruciorul cu bile în lungul axei de translație Y, din poziția „home position” în dreptul cărții de manipulat (în prealabil s-a ales suprafața de referință interioară a bacului fix al dispozitivului de prehensiune, care să se suprapună cu suprafața interioară corespunzătoare a locașului în care se găsește cartea de manipulat), care are poziția memorată într-o bază de date ;

*Faza C:* introducerea dispozitivului de prehensiune în raft;

## 100 Realizarea prototipului manipulatorului și încercări experimentale ale acestuia -6

*Faza D:* acționarea motorului pas cu pas al dispozitivului de prehensiune, care prin deformarea conexiunii elastice a mecanismului de acționare al bacului mobil permite prehensia cărții de manipulat;

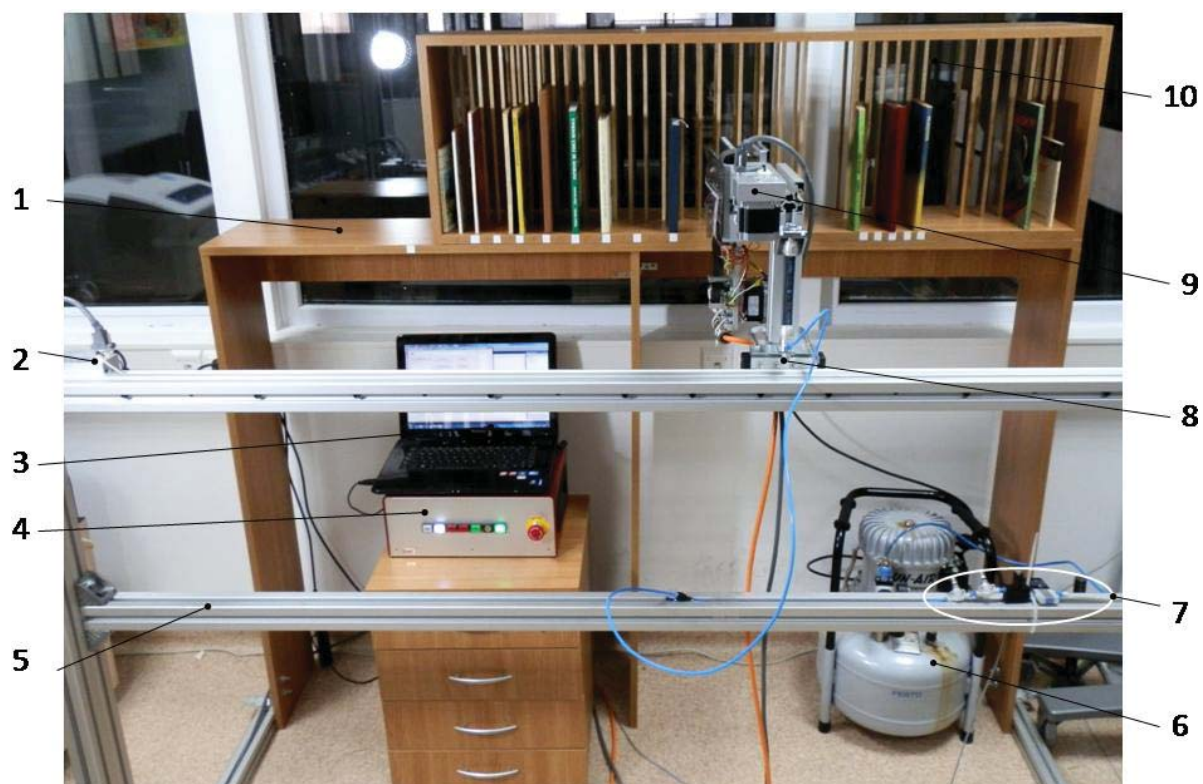
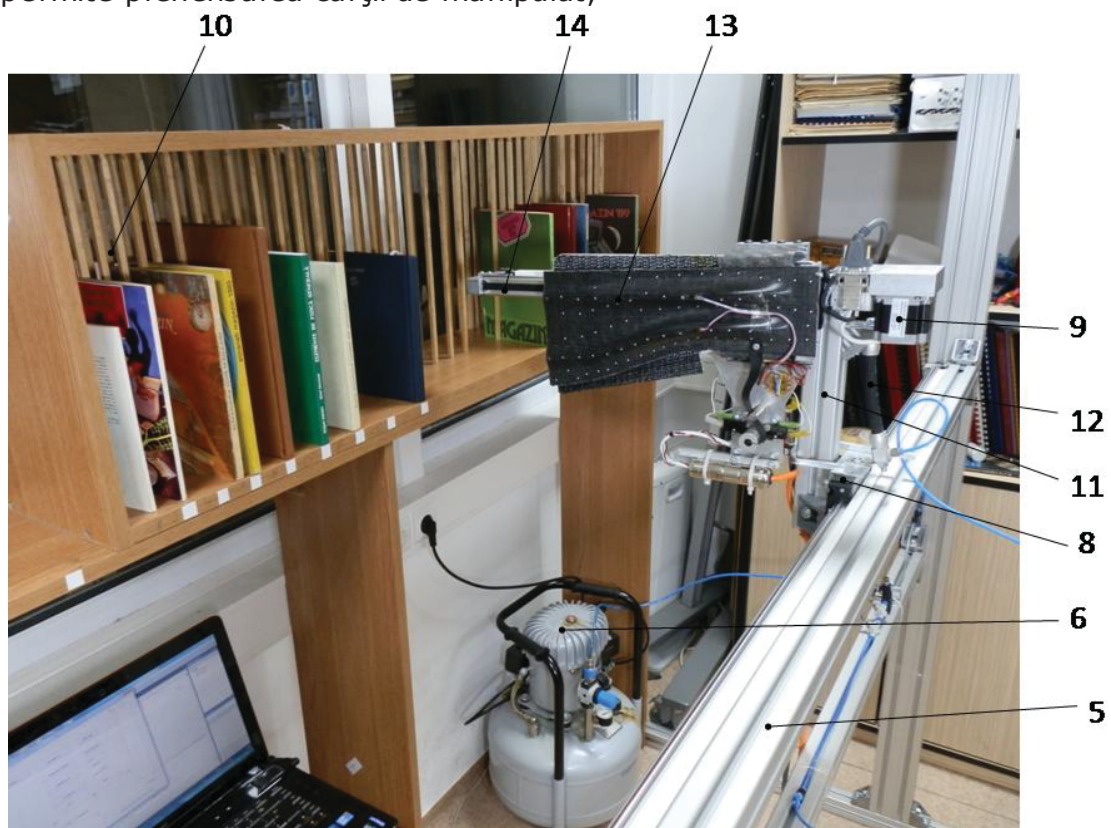


Figura 6.2 Modelul experimental al manipulatorului

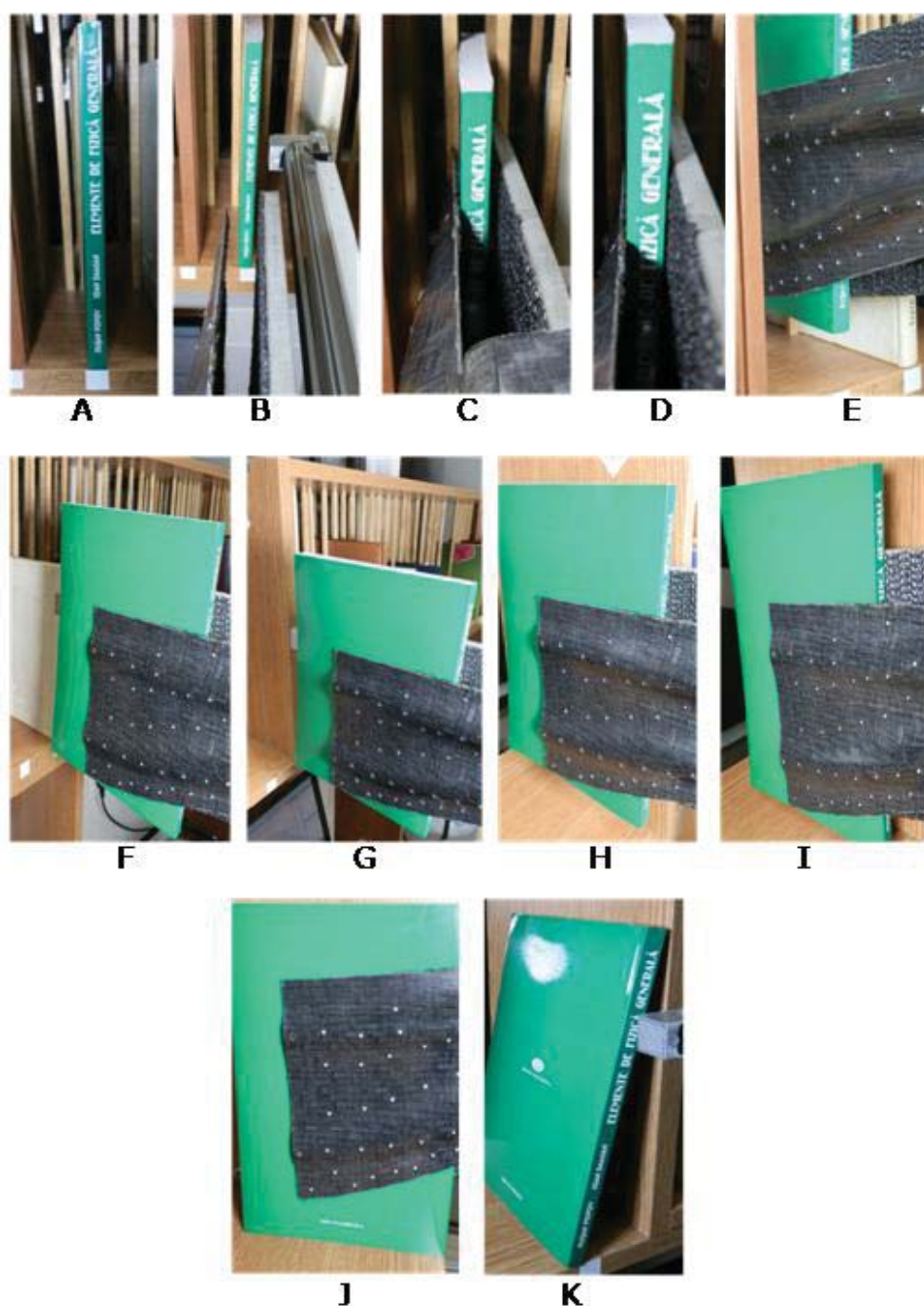


Figura 6.3 Etapele necesare manipulatorului realizat de a extrage o carte din raft și de a o așeza la capătul raftului, într-un spațiu dedicat depozitării temporare a cărților

*Faza E:* rotirea dispozitivului de prehensiune împreună cu cartea de manipulat după axa Y cu ajutorul mușchiului pneumatic Festo acționat de un circuit pneumatic propriu (în acest mod forțele de frecare dintre carte și suprafața inferioară a raftului se anulează, cartea se ridică de pe raft și nu se produce deteriorarea acesteia);

*Faza F:* extragerea cărții din raft;

*Faza G:* poziționarea cărții în dreptul spațiului de depozitare (temporară) a acesteia (în cazul modelului experimental aflată la capătul raftului);

*Faza H:* introducerea cărții în spațiul dedicat depozitării temporare a acesteia;

## 102 Realizarea prototipului manipulatorului și încercări experimentale ale acestuia -6

*Faza I:* relaxarea mușchiului pneumatic ceea ce duce la sprijinirea suprafeței laterale inferioare a cărții pe raft;

*Faza J:* eliberarea cărții prin deschiderea bacului mobil până la poziția inițială;

*Faza K:* revenirea efectorului final din poziția corespunzătoare depozitării temporare a cărții în poziția de „home position”.

Instrucțiunile de program pentru comanda motoarelor manipulatorului în Visual Basic se regăsesc în Anexa 2.

### **6.4 Determinarea experimentală a erorii de poziționare pe axa Y**

Pentru realizarea acestui experiment s-a utilizat un comparator mecanic 0-10 mm cu valoarea diviziunii de 0.01 mm. În Figura 6.4, s-au notat cu 1- suprafața de măsurare, 2-tija palpatorului, 3-ceasul comparator, 4- suportul rigid.



Figura 6.4 Stand experimental pentru determinarea experimentală a erorii de repetabilitate a axei Y

Comparatorul a fost montat pe tije de legătură în raport cu un suport rigid (Figura 6.5). S-a fixat suportul rigid pe masa de măsurare și tija palpatorului a fost adusă în contact direct cu suprafața de măsurare. S-a reglat comparatorul pentru a defini poziția de „zero”. Cu ajutorul comparatorului se vor măsura erorile de poziționare pentru trei categorii de curse ale căruciorului în lungul axei de translație Y ( $D_1$ ,  $D_2$  respectiv  $D_3$ ). Categoriile de curse ale căruciorului sunt: deplasări pe curse scurte, deplasări pe curse medii și deplasări pe curse lungi. Cele trei curse de translație impuse de controler, corespunzătoare a trei poziții memorate pentru cărți din raft, sunt:

- $D_1 = (0-473)$  mm,
- $D_2 = (0-1025)$  mm,
- $D_3 = (0-1406)$  mm.

Tabelul 6.1 Eroarea medie de poziționare pentru  $D_i$

| Distanța pe axa Y [mm]            | 0-473 | 0-1025 | 0-1406 |
|-----------------------------------|-------|--------|--------|
| Eroarea medie de poziționare [mm] | 0.14  | 0.18   | 0.19   |

Pentru fiecare categorie de deplasări s-au realizat 50 de încercări. La fiecare determinare experimentală, acul indicator al comparatorului indică eroarea de

poziționare (de repetabilitate) a axei Y. Aceste determinări experimentale s-au înscris în fișa de încercări.

În Tabelul 6.1 sunt indicate erorile medii de poziționare calculate pentru fiecare categorie de cursă.

## **6.5 Concluzii**

În acest capitol se prezintă modelul experimental propus utilizând reciprocatorul și dispozitivul de prehensiune dezvoltat prezentate în capitolele anterioare.

Datorită grosimii bacurilor, pentru a se putea realiza extragerea și introducerea cărților, s-a construit un raft, care permite așezarea acestora după diverse grosimi în locașuri delimitate mecanic, pe baza observațiilor rezultate din multiple încercări experimentale cu manipulatorul echipat cu dispozitivului de prehensiune dezvoltat și a dimensiunilor spațiului de lucru deservit.

Se descrie structura standului experimental realizat, etapele de manipulare a cărților în interiorul unui raft deservit de manipulator și de așezare a cărților într-un spațiu de depozitare a acestora.

De asemenea, s-a determinat experimental eroarea de poziționare a axei Y pentru trei categorii de curse ale căruciorului, corespunzătoare a trei poziții memorate pentru cărți din raft, care se încadrează în marja de eroare specificată de constructor.





## 7 Concluzii finale. Contribuții personale. Direcții viitoare de cercetare.

### 7.1 Concluzii finale

Studiul inițial asupra stadiului actual al cercetărilor cu privire la automatizarea proceselor de manipulare a cărților în biblioteci au scos în evidență tendințele actuale de cercetare, necesitatea, avantajele și anumite limitări care intervin în acest context.

Pomind de la acest studiu bibliografic, lucrarea de față și-a propus ca obiectiv central aducerea de contribuții în domeniul automatizării procesului de manipulare a cărților.

Teza este rezultatul unei colaborări și cooperări deosebite între *Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik* (ILK) din cadrul Universității Tehnice Dresda (Germania) și Departamentul de Mecatronică al Universității „Politehnica” Timișoara, din care autorul face parte. În urma stagiului de cercetare a autorului la acest institut, proiectarea și construcția manipulatorului a fost orientată spre utilizarea materialelor compozite în fabricarea unor componente mecanice, în vederea reducerii maselor în mișcare (eng.: *lightweight design*).

În urma studiului bibliografic, al proiectului thinkMotion și a direcției de cercetare rezultate în urma stagiului, s-a dorit dezvoltarea unui model experimental robust și compact, având la bază o structură serială simplă (pentru construcția reciprocatorului) și conexiuni elastice în cadrul mekansimului de acționare a unuia din bacurile dispozitivului de prehensiune, în scopul unei proiectări constructive simple și a reducerii numărului componentelor mecanice. Manipulatorul dezvoltat este ușor de controlat și sigur în exploatare. Teza reprezintă o simbioză între cercetarea teoretică și cea aplicativă, demonstrând importanța integrării principiilor teoretice în realizarea unui model experimental viabil.

Lucrarea prezintă toate etapele realizării modelului experimental dedicat aplicației prezentate în teză, începând de la schemele cinematice ale variantelor constructive propuse, proiectare asistată de calculator, sinteza structurală a mecanismelor cu element elastic, analiză comparativă experimentală (analiză digitală prin fotogrammetrie) și virtuală (analiză cu element finit) a deplasărilor bacului mobil al dispozitivului de prehensiune (ce include conexiuni elastice), până la realizarea unui model experimental viabil ce asigură îndeplinirea scopului propus al tezei.

Cu alte cuvinte, *obiectivul principal al tezei* a constat în automatizarea procesului de manipulare a cărților, utilizând un dispozitiv de prehensiune a cărei mișcare de închidere a bacurilor este realizată cu ajutorul unui mecanism cu conexiuni elastice, realizat din material compozit.

Studiile efectuate și rezultatele obținute răspund atât obiectivului principal al tezei cât și obiectivelor secundare specificate în Capitolul 3.

## 7.2 Contribuții personale

În conformitate cu obiectivele propuse, a cercetărilor efectuate și a rezultatelor obținute pe parcursul tezei de doctorat, autorul a adus următoarele contribuții personale la dezvoltarea unui sistem automat de manipulare a cărților în bibliotecă:

- Prezentarea unei sinteze bibliografice ce tratează stadiul actual al cercetărilor cu privire la automatizarea proceselor de manipulare a cărților în bibliotecă, pe baza căreia s-au identificat principalele direcții de cercetare în domeniu, aplicațiile diverse, limitările sistemelor existente și tendințele viitoare de cercetare.
- Proiectarea CAD a două variante constructive de reciprocator adaptate cerințelor specifice din bibliotecă și identificarea variantei constructive optime din punct de vedere tehnic și economic.
- Dezvoltarea unei structuri de reciprocator specializat destinat manipulării cărților într-un spațiu de lucru paralelipedic (plan de lucru) și deservirii acestora din rafturile depozitelor din bibliotecă.
- Realizarea analizei structurale a mecanismelor cu conexiuni elastice. Dezvoltarea relației de calcul a gradului de mobilitate pentru cazul mecanismelor cu conexiuni elastice.
- Sinteza structurală a mecanismelor cu conexiuni elastice pentru cazurile mecanismelor care conțin o conexiune elastică ( $K_A$ ) și două elemente rigide, o conexiune elastică ( $K_B$ ) și un element rigid, respectiv o conexiune elastică ( $K_C$ ) și o cuplă cinematică, sau nici o cuplă cinematică.
- Propunerea unei metode de analiză a deplasărilor bacului mobil al dispozitivului de prehensiune, care materializează o biela (componenta rigidă) a unui mecanism patruleter cu conexiuni elastice. Metoda permite determinarea unui sistem neliniar de 12 ecuații cu 12 necunoscute, care poate fi rezolvat doar numeric.
- Studiul soluțiilor constructive de dispozitive de prehensiune specializate pentru manipulare cărților și identificarea variantei constructive optime din punct de vedere al dinamicii manipulatorului.
- Realizarea unei analize cinetostatice a dispozitivului de prehensiune în funcție de fazele de manipulare a cărților de pe un raft de bibliotecă.
- Proiectarea CAD a soluției constructive alese pentru dispozitivul de prehensiune, ținând cont de restricțiile tehnologice de fabricație a acestuia din materiale compozite termoplastice ranforsate cu fibră textilă.
- Dezvoltarea unui dispozitiv de prehensiune dedicat care conține un mecanism de acționare a bacului mobil cu conexiuni elastice realizat din materiale compozite termoplastice ranforsate cu fibră textilă.
- Studiul experimental al deplasărilor bacului mobil al dispozitivului de prehensiune bazat pe măsurarea digitală prin fotogrammetrie, în scopul determinării graficului de dependență dintre forța de acționare a bacului mobil și deplasarea acestuia, după axele de coordonate atașate acestuia.
- Determinarea forței motoare necesare pentru deplasarea impusă mecanismului cu conexiunii elastice prin metoda elementului finit (FEM).
- Compararea rezultatelor obținute în urma celor două analize și confirmarea soluției alese pentru dispozitivului de prehensiune.

- Realizarea unei interfețe grafice în mediul de programare Visual Basic pentru comanda și controlul manipulatorului și a dispozitivului de prehensiune.
- Construcția unui raft care permite așezarea cărților după diverse grosimi în locașuri delimitate mecanic, pe baza observațiilor rezultate din multiple încercări experimentale cu manipulatorul echipat cu dispozitivului de prehensiune dezvoltat și a dimensiunilor spațiului de lucru deservit.
- În vederea reducerii frecării dintre suprafața laterală inferioară a cărții și suprafața inferioară a raftului s-a conceput un modul care utilizează un mușchi pneumatic ce permite ridicarea cărții în faza de extragere a acesteia din locaș.
- Studiul factorilor care influențează prehensarea optimă a cărților din raftul construit și descrierea fazelor de manipulare a unei cărți din locașurile raftului într-un spațiu de depozitare.
- Determinări experimentale ale erorii de poziționare pentru diferite categorii de curse ale manipulatorului.
- Asigurarea unei structuri mecanice și a unei interfețe de comandă care să permită un grad ridicat de versatilitate, existând posibilități diverse de testare experimentală a sistemului și integrare în final într-un ciclu de operații specifice bibliotecii.

### 7.3 Direcții viitoare de cercetare

Realizarea cercetărilor teoretice și experimentale dezvoltate în prezenta teză de doctorat constituie un punct de plecare în studiul automatizării procesului de manipulare a cărților în biblioteci.

În acest moment manipulatorul permite extragerea, introducerea, manipularea cărților din raft în spațiul de lucru propus și de a așeza cărțile într-un punct de deservire. De asemenea, extragerea și introducerea cărților din/în raft se realizează cu ajutorul unor simplificări constructive a dispozitivului de prehensiune.

Astfel se conturează următoarele direcții de cercetare viitoare:

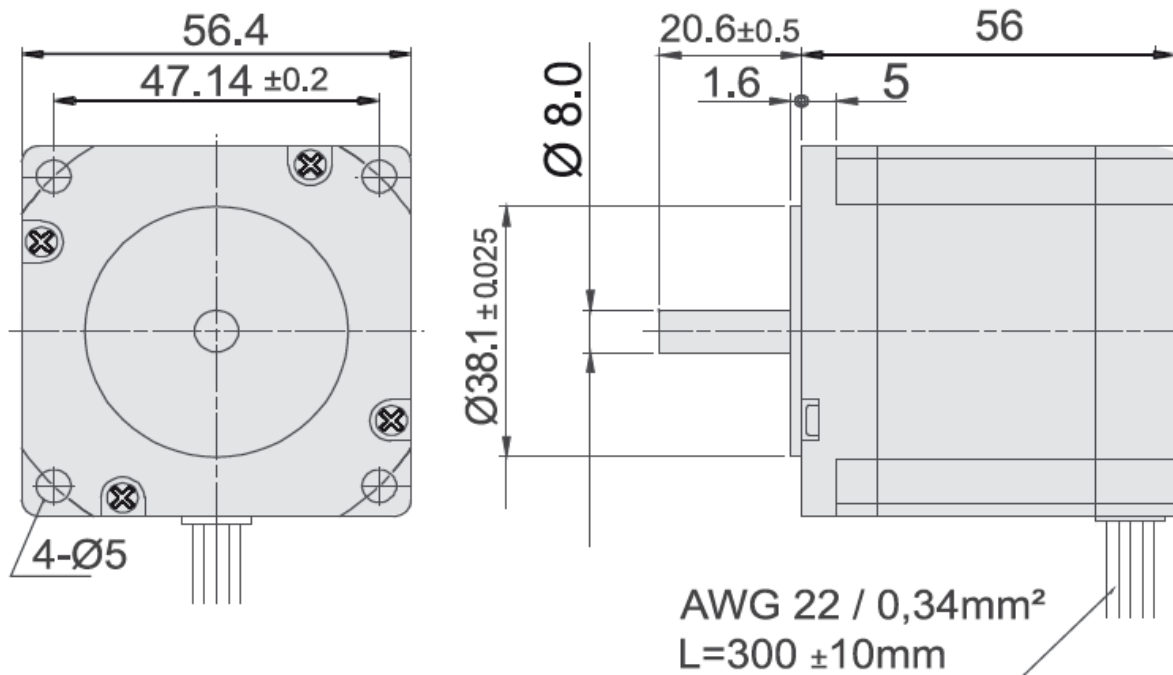
- Introducerea unei axe de translație pe direcția Z a sistemului de coordonate atașat modelului experimental al manipulatorului pentru deservirea unui spațiu de lucru paralelipedic.
- Introducerea unei cuple cinematice de rotație care va permite rotirea cărții pentru o așezare pe față laterală a acesteia.
- Optimizarea constructivă a dispozitivului de prehensiune:
  - Reducerea grosimii bacurilor, pentru reducerea lățimii rosturilor între cărți;
  - Atașarea unei pâlnii de dirijare a cărților între bacuri în cazul schimbării orientării cărții în locașul raftului.
- Cercetări experimentale cu privire la modul de fixare a conexiunii lastice a bacului mobil pe batiul dispozitivului de prehensiune (prin încastrare, prin cuplă cinematică de rotație).
- Implementarea unei funcții în interfața de comandă pentru recunoașterea cărților prin coduri de bare.
- Controlul forței de prehensare a dispozitivului de prehensiune.



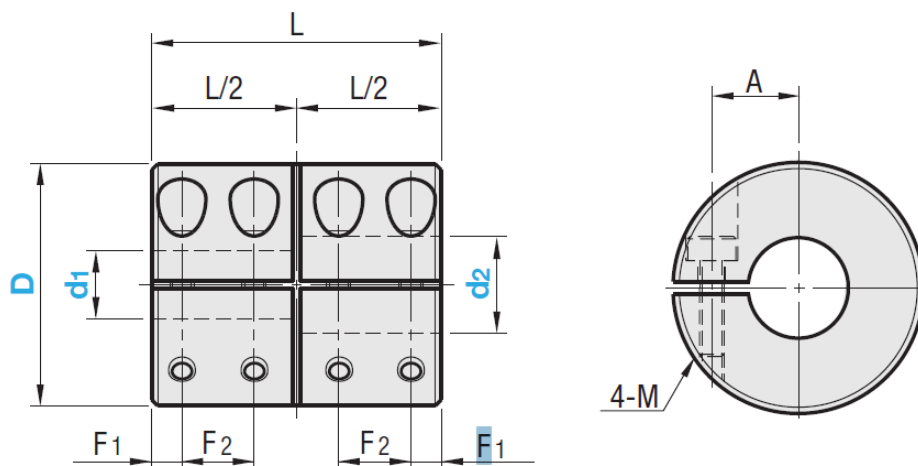
# Anexe

## Anexa 1

### Caracteristici dimensionale ale motorului pas cu pas ISEL MS-135 HT2



### Caracteristici dimensionale ale tamburului Misumi



| D [mm] | d1 [mm] | d2 [mm] | L [mm] | F1 [mm] | F2 [mm] | A [mm] | M [mm] |
|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|
| 25     | 8       | 10      | 36     | 4.5     | 9       | 9      | M2.5   |

## Anexa 2

### Instrucțiunile de program pentru comanda motoarelor manipulatorului în Visual Basic

```
Public Class Form1
    Public a As String
    Public but, bec_st As Boolean
    Public nrcrt As Integer
    Public poz(100) As Long
    Dim poznr As Integer

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Button1.Click
        SerialPort1.PortName = ComboBox1.Text
        SerialPort1.Open()

    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Button2.Click
        SerialPort1.Write(TextBox1.Text & Chr(13))
    End Sub

    Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Timer1.Tick

        TextBox2.Text = a
    End Sub

    Private Sub SerialPort1_DataReceived(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs) Handles SerialPort1.DataReceived
        TextBox3.Text = SerialPort1.ReadLine
    End Sub

    Private Sub Button3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Button3.Click
        SerialPort1.Close()
    End Sub

    Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Button4.Click
        SerialPort1.Write("@07" & Chr(13)) ' pentru 3 axe se incluieste @03 cu @07
    End Sub

    Private Sub Button5_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Button5.Click
        TrackBar1.Value = 0
        TrackBar2.Value = 0
        TrackBar3.Value = 3000
        TrackBar4.Value = 0
        SerialPort1.Write("@0R7" & Chr(13)) ' pentru 3 axe se incluieste @0R3 cu @0R7
    End Sub

    Private Sub TrackBar2_MouseUp(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles TrackBar2.MouseUp
        Call ajax()
    End Sub
End Class
```

```
End Sub
```

```
Private Sub TrackBar1_MouseUp(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles TrackBar1.MouseUp
    Call axay()
End Sub
```

```
Private Sub TrackBar3_MouseUp(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles TrackBar3.MouseUp
    Label7.Text = TrackBar3.Value / 300 & "%"
End Sub
```

```
Private Sub TrackBar4_MouseUp(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles TrackBar4.MouseUp
    Call gripper()
End Sub
```

```
Private Sub PictureBox1_MouseDown(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles PictureBox1.MouseDown
    nr crt += 1
    PictureBox1.CreateGraphics.Clear(Color.White)
    PictureBox1.CreateGraphics.DrawLine(Pens.Red, 0, e.Y, 90, e.Y)
    PictureBox1.CreateGraphics.DrawLine(Pens.Blue, e.X, 0, e.X, 410)
    TrackBar2.Value = e.X * 100
    TrackBar1.Value = e.Y * 100
    Call axax()
    Call axay()
    TextBox2.Text = nr crt & ") X=" & Label5.Text & ", Y=" & Label6.Text & vbCrLf &
TextBox2.Text
End Sub
```

```
Private Sub axax()
    SerialPort1.Write("@0M" & TrackBar2.Value & "," & TrackBar3.Value & "," &
TrackBar1.Value & "," & TrackBar3.Value & "," & (-1 * TrackBar4.Value).ToString & "," &
TrackBar3.Value & ",0," & TrackBar3.Value & Chr(13))
    TextBox3.Text = ("@0M" & TrackBar2.Value & "," & TrackBar3.Value & "," &
TrackBar1.Value & "," & TrackBar3.Value & "," & (-1 * TrackBar4.Value).ToString & "," &
TrackBar3.Value & ",0," & TrackBar3.Value & Chr(13))
    Label5.Text = Math.Round(TrackBar2.Value * 0.0375, 1) & " mm"
End Sub
```

```
Private Sub axay()
    SerialPort1.Write("@0M" & TrackBar2.Value & "," & TrackBar3.Value & "," &
TrackBar1.Value & "," & TrackBar3.Value & "," & (-1 * TrackBar4.Value).ToString & "," &
TrackBar3.Value & ",0," & TrackBar3.Value & Chr(13))
    TextBox3.Text = ("@0M" & TrackBar2.Value & "," & TrackBar3.Value & "," &
TrackBar1.Value & "," & TrackBar3.Value & "," & (-1 * TrackBar4.Value).ToString & "," &
TrackBar3.Value & ",0," & TrackBar3.Value & Chr(13))
    Label6.Text = Math.Round(TrackBar1.Value * 0.0375, 1) & " mm"
End Sub
```

```
Private Sub gripper()
    SerialPort1.Write("@0M" & TrackBar2.Value & "," & TrackBar3.Value & "," &
TrackBar1.Value & "," & TrackBar3.Value & "," & (-1 * TrackBar4.Value).ToString & "," &
TrackBar3.Value & ",0," & TrackBar3.Value & Chr(13))
    TextBox3.Text = ("@0M" & TrackBar2.Value & "," & TrackBar3.Value & "," &
TrackBar1.Value & "," & TrackBar3.Value & "," & (-1 * TrackBar4.Value).ToString & "," &
TrackBar3.Value & ",0," & TrackBar3.Value & Chr(13))
```

```
Label10.Text = Math.Round((TrackBar4.Value * 180) / 400, 1) & " grd"  
End Sub
```

```
Private Sub PictureBox1_MouseUp(ByVal sender As Object, ByVal e As  
System.Windows.Forms.MouseEventArgs) Handles PictureBox1.MouseUp  
    but = False  
End Sub
```

```
Private Sub Button6_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)  
Handles Button6.Click  
    Timer2.Enabled = True  
    bec_st = True  
End Sub
```

```
Private Sub Timer2_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)  
Handles Timer2.Tick  
    If bec_st = True Then  
        SerialPort1.Write("@0B101,64" & Chr(13))  
        bec_st = False  
        Exit Sub  
    End If  
    If bec_st = False Then  
        SerialPort1.Write("@0B101,0" & Chr(13))  
        bec_st = True  
        Exit Sub  
    End If  
End Sub
```

```
Private Sub Button7_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)  
Handles Button7.Click  
    Timer2.Enabled = False  
    SerialPort1.Write("@0B101,0" & Chr(13))  
End Sub
```

```
Private Sub CheckBox1_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As  
System.EventArgs) Handles CheckBox1.CheckedChanged  
    If CheckBox1.Checked = False Then  
        SerialPort1.Write("@0B101,0" & Chr(13))  
        SerialPort1.Write("@0B0,0" & Chr(13))  
    Else  
        SerialPort1.Write("@0B101,64" & Chr(13))  
        SerialPort1.Write("@0B0,1" & Chr(13))  
    End If  
End Sub
```

```
Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)  
Handles MyBase.Load  
    poz(0) = 8850  
    poz(1) = 11473  
    poz(3) = 12627  
    poz(4) = 13565  
    poz(5) = 13863  
    poz(7) = 15092  
    poz(9) = 16787  
    poz(11) = 18239  
    poz(12) = 19370  
    poz(14) = 21203  
    poz(16) = 27334
```



```
poz(24) = 34439
poz(25) = 21912
poz(26) = 35990
poz(28) = 37501
End Sub
```

```
Private Sub Button8_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Button8.Click
    SerialPort1.Write("@0M" & TrackBar2.Value & "," & TrackBar3.Value & "," &
poz(Val(TextBox4.Text)) & "," & TrackBar3.Value & "," & (-1 * TrackBar4.Value).ToString & ","
& TrackBar3.Value & ",0," & TrackBar3.Value & Chr(13))
    TrackBar1.Value = poz(Val(TextBox4.Text))
End Sub
```

```
Private Sub ComboBox2_SelectedIndexChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ComboBox2.SelectedIndexChanged
```

```
    If ComboBox2.Text = "Pozitia 0" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 0 a fost selectata"
        poznr = 0
    ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 1" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 1 a fost selectata"
        poznr = 1
    ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 2" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 2 a fost selectata"
        poznr = 2
    ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 3" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 3 a fost selectata"
        poznr = 3
    ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 4" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 4 a fost selectata"
        poznr = 4
    ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 5" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 5 a fost selectata"
        poznr = 5
    ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 6" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 6 a fost selectata"
        poznr = 6
    ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 7" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 7 a fost selectata"
        poznr = 7
    ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 8" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 8 a fost selectata"
        poznr = 8
    ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 9" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 9 a fost selectata"
        poznr = 9
    ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 10" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 10 a fost selectata"
        poznr = 10
    ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 11" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 11 a fost selectata"
        poznr = 11
    ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 12" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 12 a fost selectata"
        poznr = 12
    ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 13" Then
        TextBox5.Text = "Pozitia 13 a fost selectata"
```

```
    poznr = 13
ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 14" Then
    TextBox5.Text = "Pozitia 14 a fost selectata"
    poznr = 14
ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 15" Then
    TextBox5.Text = "Pozitia 15 a fost selectata"
    poznr = 15
ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 16" Then
    TextBox5.Text = "Pozitia 16 a fost selectata"
    poznr = 16
ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 24" Then
    TextBox5.Text = "Pozitia 24 a fost selectata"
    poznr = 24
ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 33" Then
    TextBox5.Text = "Pozitia 33 a fost selectata"
    poznr = 14
ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 26" Then
    TextBox5.Text = "Pozitia 26 a fost selectata"
    poznr = 26
ElseIf ComboBox2.Text = "Pozitia 28" Then
    TextBox5.Text = "Pozitia 28 a fost selectata"
    poznr = 28
End If
```

End Sub

```
Private Sub Button9_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
Handles Button9.Click
```

```
    SerialPort1.Write("@0M" & TrackBar2.Value & "," & TrackBar3.Value & "," & poz(poznr) &
"," & TrackBar3.Value & "," & (-1 * TrackBar4.Value).ToString & "," & TrackBar3.Value & ",0,"
& TrackBar3.Value & Chr(13))
    TrackBar1.Value = poz(poznr)
```

End Sub

End Class

## Bibliografie

- Angeles, J. 2003. *Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods, and Algorithms* (Second Edition). Springer-Verlag. ISBN 0-387-95368-X.
- Barkat, B., Zeghloul, S., Gazeau, J.P. *Optimization of grasping forces in handling of brittle objects*. Robotics and Autonomous Systems archive, Volume 57, Issue 4, pp. 460-468, 2009.
- Batt, C. *Information technology in public libraries*. London: Library Association Publishing, 1998.
- Bogdanov, I., Dolga, V., Varga, Ș., Maniu, I., Rădulescu, C., Ciupe, V., 2009. *Robotică – Sistemul de conducere* (Vol. III). Editura Politehnica, Timișoara, ISBN 978-973-625-903-6.
- Breitinger, R., 1976. *Lösungskataloge für Sensoren. Teil I – Federführungen und Federgelenke*. Otto Krausskopf-Verlag GmbH, Mainz.
- Brogardh, T. *Present and future robot control development-An industrial perspective*, ABB Robotics, 31 (2007), pp. 69–79.
- Byrd, P.F., Friedman, M.D. (1971). *Handbook of elliptic integrals for engineers and scientists*.
- Chao, C.C., Yang, J.M., Jen, W.Y., 2007. *Determining technology trends and forecasts of RFID by a historical review and bibliometric analysis from 1991 to 2005*. Technovation 27(5), 268–279.
- Chong, N.Y, T.Kotoku, K.Ohba, K.Komoriya, F.Ozaki, H. Hashimoto, J.Oaki, K.Maeda, N.Matsuhira, K.Tanie. 2000. *Development of a Multi-telerobot System for Remote Collaboration*. Proceedings of IROS'00, pp.1002-1007.
- Ciupe, V., Lovasz, E.-Ch., Gruescu, C.M., 2012. *High Quality Document Digitization Equipment*. Applied Mechanics and Materials, ISBN: 978-3-03785-395-5, Vol. 162 (2012), pp. 589-596.
- Comsa, A., 2011. *Development of a library 3D book handling manipulator CAD model*; Workshop-ul nr.2, „Interdisciplinaritatea și Managementul Cercetării - Prezentarea Rezultatelor obținute de Doctoranzi”, Universitatea „Politehnica” din Timișoara.
- Comsa, A., Maniu, I., Modler, N., Hufenbach, W., Lovasz, E.-Ch., Ciupe, V., 2012. *An Overview of Library Automation*. Applied Mechanics and Materials, ISBN: 978-3-03785-395-5, Vol. 162 (2012), pp. 583-588.
- Corbin, J., 1989. *Directory of automated library systems*. New York, Neal-Schuman Publishers. ISBN 1555700500.
- Coyle, K., 2006. *Mass Digitization of Books*. The Journal of Academic Librarianship, Vol. 32, Number 6, pp. 641–645.
- Crișan, I., N. Dobre, *Automatizarea montajului în construcția de mașini*, Editura Tehnică, București, 1979.
- Davidescu, A., Sticlaru, C., 2011. *Metoda elementului finit în mecatronică – aplicații*

- în *Ansys Workbench*. Editura Politehnica, Timișoara.
- del Pobil, A., Prats, M., Ramos-Garijo, R., Sanz, P., Cervera, E. 2005. *The UJI librarian robot: An autonomous service application*. In Video Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain.
- DEX. (2009). *Dicționarul explicativ al limbii române* (ed. ediția a II-a revăzută și adăugită). Editura Univers Enciclopedic Gold.
- Dolga, V., 2007. *Proiectarea sistemelor mecatronice*. (Mechatronics systems design), Politehnica, Timișoara, 2007.
- Drăgulescu, D., 1997. *Dinamica roboților*. Editura Didactică și Pedagogică, București. ISBN 973-30-5870-X.
- Dumitriu, A., 2006. *Bazele sistemelor mecatronice*. Universitatea „Transilvania” din Brașov.
- Garijo, R., M. Prats, P.J. Sanz, A.P. Del Pobil, *An Autonomous Assistant Robot for Book Manipulation in a Library*, IEEE International Conference Systems on Manipulation and Cybernetics, 2003, vol. 4, pp. 3912 – 3917.
- Garijo, R., M. Prats, P. Sanz, A. del Pobil. *Recent progress in the UJI librarian robot*. In IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics, pp. 3912–3917, The Hague, The Netherlands, 2004.
- Geleijnse, H., 1994. *Human and Organizational Aspects of Library Automation*. Tilburg, 1994.
- Hansson, R., 1995. *Robot lends a hand in a Swedish library*. Industrial Robot: An International Journal, Vol. 22 Iss: 5 pp. 34 - 35.
- Heilala, J., Ropponen, T., Airila, M., 1992. *Mechatronic design for industrial grippers*. Mechatronics Journal, Vol. 2, No. 3, pp. 239-255, 1992.
- Hopkinson, A. *Library Automation in Developing Countries: the last 25 years*. Information Development. Volume 25, Issue 4, pp. 304-312, 2009.
- Howell, L., 2001. *Compliant Mechanisms*, John Wiley & Sons, New York, NY, 2001.
- Kim, B.K., Tanikawa, T., Ohba, K., Hirai S. Ubiquitous function services based approach to the design of the u-RT Space with ambient intelligence. Proc. 2006 Int. Conf. U-IT Based Construction Automation, pp. 236-242, 2006.
- Kim, B.K., Ohara, K., Kitagaki, K., Ohba, K. *Design of Obiquitous Space for the Robotic Library System and its Application*, Proceedings of the 17th World Congress (IFAC), 2008, pp. 8221-8225.
- Kim, B.K., Ohara, K., Kitagaki, K., Ohba, K. *Design and Control of Librarian Robot System Based on Information Structured Environment*. J. Robotics and Mechatronics, vol. 21, no. 4, pp. 507-514, 2009.
- Kovacs, F., Perju, D., Savii, G., 1976. *Metode noi în sinteza mecanismelor*. Editura Facla, Timișoara.
- Kovacs, F., Perju, D., Văcărescu, I., Mesaroș-Anghel, V., Savii, G., Văcărescu, V., 1992. *Sinteza Mecanismelor*. Curs, partea I și II, Litografia Universității Tehnice din Timișoara.
- Kovacs, F., Rădulescu, C., 1992. *Roboți industriali* (Vol.1). Editura Institutului Politehnic „Traian Vuia”, Timișoara.
- Kovacs F., Rădulescu C., Varga Ș., Grigorescu S., Diaconu A., 2001. *Sisteme de Fabricație Flexibilă – Robotică*. Editura Orizonturi Universitare, ISBN 973-8109-61-2.

- Lass, A., Quandt, R., 2000. *Library Automation in Transitional Societies. Lessons from Eastern Europe*, Oxford University Press. ISBN: 0195132629.
- Lee, D. J., Chang, Y., Archibald, J. K., Pitzak, C., 2008. *Matching Book-Spine Images for Library Shelf-Reading Process Automation*. 2008 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, pp. 738 - 743.
- Lovasz, E. C., 2009. *Mecanisme de tip centroidal*. Editura Politehnica, Timișoara, Colecția "Monografii", ISBN 978-973-625-920-3.
- Lovasz, A. E., 2011. *Dezvoltarea unei biblioteci digitale de mecanisme*. (Teză de doctorat). Universitatea Politehnica din Timișoara. Editura Politehnica, Timișoara. ISBN 978-606-554-383-6.
- Lovasz, E. C., Perju, D., Modler, K. H., Lovasz, A.E., Maniu, I., Gruescu, C.M., Mărgineanu, D., Ciupe, V., Comsa, A., 2012. *Demonstrative Digital Mechanisms Library*. Applied Mechanics and Materials, Vol. 162 (2012) pp 37-46.
- Luck, K., Modler, K.-H., 1995. *Getriebetechnik - Analyse, Synthese, Optimierung*. Springer-Verlag, 2. Auflage.
- Maniu, I., Dolga, V., Pommersheim, A., Maniu, I.C., 2001. *Acționări de mecanică fină*. Editura Orizonturi Universitare, Timișoara. ISBN 973-8109-66-3.
- Maniu, I., Dolga, V., 2003. *Sisteme de acționare*. Editura Politehnica, Timișoara. ISBN 973-625-075-X.
- Maniu<sup>1</sup>, I., Ciupe, V., Rădulescu, C., Dolga, V., Bogdanov, I., Varga, Ș., 2009. *Robotică – Sistemul de acționare (Vol. II)*. Editura Politehnica, Timișoara, ISBN 978-973-625-610-3.
- Maniu<sup>2</sup>, I., Rădulescu, C., Bogdanov, I., Varga, Ș., Dolga, V., Ciupe, V., 2009. *Robotică - Aplicații robotizate (Vol. IV)*. Editura Politehnica, Timișoara, ISBN 978-973-625-842-8.
- Mehta, V., Goswami, S., Kumar, A., Singh, M. *Radio Detection System for Information Handling*. Bulletin of Information Technology, Vol. 24, No.4, July 2004, pp. 19-23, 2004.
- Mesaroș, V.A., Perju, D., 1998. *Despre acționarea mecanismelor cu conexiuni elastice*. Proceedings of Comefim-5, Timișoara, România, pp. 219-223. ISSN 1220-6830.
- Modler, N., 2008. *Nachgiebigkeitsmechanismen aus Textilverbunden mit integrierten aktorischen Elementen*. (Teză de doctorat). Facultatea de Mecanică. Universitatea Tehnică Dresden.
- Modler, N., Hufenbach, W., Comsa, A., Maniu, I., Zichner, M., Friedrich, J., 2012. *Compliant Structures in Book Handling Applications*. Applied Mechanics and Materials, ISBN: 978-3-03785-395-5, Vol. 162 (2012), pp. 543-548
- Noveanu, S., 2009. *Contribuții privind studiul mecanismelor compliante specifice sistemelor mecatronice*. (Teză de doctorat). Universitatea Tehnică din Cluj Napoca.
- Ogura, T., Yuta, S. *Map and Planning Module for Autonomous Mobile Robot*. Proceedings of the 15th Annual Conference of Robotics Society Japan, pp.239-240, 1997 (în japoneză).
- Ohtzuki, A., 2001. *Analysis of the Characteristics of Fishing Rods Based on the Large-Deformation Theory*. Materials and Science in Sports. The Minerals, Metals @ Materials Society, p. 161-170.

- Ohya, A., 2002. *Human Robot Interaction in Mobile Robot Applications*, Robot and Human Interactive Communication.
- Pastine, M., Kacena, C., *Library automation, networking and other online and new technology costs in academic libraries*, Library Trends. 42 (1994). 524-536.
- Perju, D., 1971. *Contribuții la sinteza mecanismelor plane pentru conducerea unui punct pe o curba dată* (Teza de doctorat). I.P. Bucuresti.
- Perju, D., 1986/1990. *Mecanisme de mecanică fină*. Vol.1-2, Litografia IPTV Timișoara/ UTT, Timișoara.
- Perju, D., 1998. *Mecanisme cu conexiuni elastice în mecanică fină și mecatronică*. Proceedings of Comefim-5, Timișoara, România, pp. 213-219. ISSN 1220-6830.
- Prats, M., Ramos-Garijo, R., Sanz, P., del Pobil., A. (2004). *Autonomous localization and extraction of books in a library*. In: Groen F, et al., Intelligent autonomous systems, vol 8. IOS Press, Amsterdam, pp. 1138-1145.
- Prats<sup>1</sup>, M., Sanz, P.J., del Pobil, A.P. (2005). *Model-based tracking and hybrid force/vision control for the UJI librarian robot*. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Canada, pp. 1090 - 1095.
- Prats<sup>2</sup>, M., Sanz, P.J., del Pobil, A.P. (2005). Perception-based search and manipulation in a semi-structured environment. Advanced Robotics, 2005. ICAR '05. pp. 749-754.
- Prats<sup>3</sup>, M., Sanz, P.J., del Pobil, A.P., 2005. *Recent progress in the UJI librarian robot*. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Vol. 6, pp. 5227 - 5232.
- Prats, M., Sanz, P.J., del Pobil, A.P., Martínez, E., Marín, R. (2007) *Towards multipurpose autonomous manipulation with the UJI service robot*. Robotica J 25(2): 245-256.
- Rasmussen, E. *Information Retrieval Challenges for Digital Libraries*. Digital Libraries: International Collaboration and Cross-Fertilization Lecture Notes in Computer Science, Volume 3334, pp. 95-103, 2005.
- Rădulescu, C., 2000. *Robocare și sisteme de robocare.*, Editura Mirton, Timișoara, ISBN 973-585-258-6.
- Rădulescu, C., Vatau, S., 2008. *Roboți mobili* (Vol. 1) – *Vehicule ghidate automat*. Editura Politehnica, Timișoara, ISBN 978-973-625-664-6.
- Roșculeț, S. V., Gojinețchi, N., Andronic, C., Șelariu, M., Gherghel, N., 1982. *Proiectarea dispozitivelor*. Editura didactică și pedagogică, București.
- Rowley, J. *The electronic library*. 4th ed. London: Facet Publishing, 1998.
- Safaric, R., Jezernik, K., Calkin D.W., Parkin, R.M., *Telerobot control via Internet*, Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics. 1 (1999). 298-303.
- Sahbani, A., El-Khoury, S., Bidaud, P. An overview of 3D object grasp synthesis algorithms. Robotics and Autonomous Systems 01/2012; 60:326-336.
- Sanz, P.J., del Pobil A.P., Iñesta J.M., Recatalá, G. *Vision-Guided Grasping of Unknown Objects for Service Robots*. In Proc. IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, 3018-3025, Leuven, Belgium, 1998.
- Suthakom, J., Lee, S., Zhou, Y., Thomas, R., Choudhury, S. et. al. *A Robotic Lybrary System for an Off-Site Shelving Facility*. IEEE International Conference

- on Robotics and Automation, 2002. Proceedings ICRA '02, vol.4, pp. 3589 – 3594
- Suthakorn, J., Lee, S., Zhou, Y., Thomas, R., Choudhury, S. et. al. *An Enhanced Robotic Library System for an Off-Site Shelving Facility*. Field and Service Robotics, 2006. Springer Tracts in Advanced Robotics, vol. 24, pp 437-446.
- Talabă, D., 2000. *Bazele Proiectării Asistate de Calculator*. Editura Universității Transilvania, Braşov. ISBN 973-8124-24-7.
- Tomizawa, T., Ohya, A., Yuta, S. 2002. *Book Browsing System using an Autonomous Mobile Robot Teleoperated via the Internet*, IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol.2, pp. 1284-1289.
- Tomizawa<sup>1</sup> T, Ohya A., Yuta, S. 2003. *Motion Design of Behavior Components in Remote Book Browsing Robot System*. Proceedings of FIRA Robot World Congress.
- Tomizawa<sup>2</sup>, T., Ohya, A., Yuta, S. 2003. *Object posture recognition for remote book browsing robot system*. Intelligent Robots and Systems, (IROS 2003).
- Tomizawa<sup>3</sup>, T., Ohya, A., Yuta, S. 2003. *Remote Book Browsing System using a Mobile Manipulator*. Vol. 1, pp. 256 - 261 Vol.1, Proceedings of ICRA'03.
- Tomizawa, T., Ohya, A., Yuta, S 2004. *Book Extraction for the Remote Book Browsing Robot System*. Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.16, No.3 pp. 264-270.
- Varga, Ş., Perju, D., 1998. Considerații privitoare la precizia mecanismelor cu conexiuni elastice. Proceedings of Comefim-5, Timișoara, România, pp. 223-227. ISSN 1220-6830.
- Varga, Ş., Rădulescu, C., Bogdanov, I., Maniu, I., Dolga, V., Ciupe, V., 2008. *Robotică – Sistemul mecanic* (Vol. I). Editura Politehnica, Timișoara, ISBN 978-973-625-996-8.
- Volmer, J., 1968. *Getriebetechnik Lehrbuch*. VEB Verlag Technik, Berlin.
- Young, J., Nourbakhsh, I., 2004. *Low Overhead Manipulation of Bound Book Pages*. Vol.5, pp. 4326 - 4331 Vol.5 Proceedings of ICRA '04. 2004.
- Zheng, H., Liu, D.F., Lee, C.F., Tham, L.G., 2005. *Displacement controlled method and its applications to material non-linearity*. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 01/2005; 29(3):209 - 226. DOI:10.1002/nag.410.
- Zhong, Z.C., Chen, S.H., Hung, C.H., 2009. *Load- and displacement-controlled finite element analyses on fusion and non-fusion spinal implants*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine February 1, 2009 vol. 223 no. 2 143-157
- [\*\*\*1]\*\*\*, [http://www.tu-dresden.de/die\\_tu\\_dresden/fakultaeten/fakultaet\\_maschinenwesen/ilk/](http://www.tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_maschinenwesen/ilk/) (accesat 01.12.2012)
- [\*\*\*2]\*\*\*, <http://www.isel.com/> (accesat 04.04.2012).
- [\*\*\*3]\*\*\*, <http://www.misumi.com/> (accesat 04.04.2012).
- [\*\*\*4]\*\*\*, <http://www.ocvreinforcements.com/solutions/Twintex.aspx> (accesat 5.04.2012).
- [\*\*\*5]\*\*\*, <http://www.gom.com/> (accesat 01.05.2012).
- [\*\*\*6]\*\*\*, <http://www.scanare3d.com/> (accesat 01.05.2012).

- [\*\*\*7] \*\*\*, <http://www.festo.com/> (accesat 01.05.2012).
- [\*\*\*8] \*\*\*, <http://www.minitec.com/> (accesat 01.05.2012).
- [\*\*\*9] \*\*\*, <http://www.boschrexroth.com/> (accesat 01.05.2012).
- [\*\*\*10] \*\*\*, [http://ro.wikipedia.org/wiki/Benjamin\\_Franklin](http://ro.wikipedia.org/wiki/Benjamin_Franklin) (accesat 01.11.2012).
- [\*\*\*11] \*\*\*, <http://www.ifr.org/service-robots/statistics/> (accesat 20.01.2013).
- [\*\*\*12] \*\*\*, <http://www.rollsoft.ro/> (accesat 20.01.2013).
- [\*\*\*13] \*\*\*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Barcode> (accesat 20.01.2013).
- [\*\*\*14] \*\*\*, <http://ro.wikipedia.org/wiki/RFID> (accesat 20.01.2013).