



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2023 00404

(22) Data de depozit: 26/07/2023

(41) Data publicării cererii:
29/11/2023 BOPI nr. 11/2023

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL DE MECANICA SOLIDELOR
AL ACADEMIEI ROMÂNE,
STR.CONSTANTIN MILLE NR.15,
SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• PANDELEA MARIUS, DRUMUL TABEREI,
NR.38, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;
• VLADAREANU LUIGE, STR. GOLOVIȚA
NR. 34-36, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO

(54) METODĂ ȘI DISPOZITIV DE STABILIZARE A MIȘCĂRII UNUI
ROBOT ANTROPOMORF PENTRU NAVIGARE ÎN MEDIU
AMBIANT

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un dispozitiv de stabilizare a mișcării unui robot antropomorf pentru navigare în mediu ambiant. Metoda, conform invenției constă în opt faze de realizare și anume de realizare a unui ansamblu bazin (AB), unui ansamblu articulație (AȘ) șold, unui ansamblu coapsă (AC), unui ansamblu articulație (AG) genunchi, unui ansamblu gambă (AM), unui ansamblu articulație (AL) gleznă, unui ansamblu labă (LP) picior și a unui sistem (SCR) de comandă a unui robot antropomorf. Dispozitivul, conform invenției este alcătuit din șapte module (MAB, MAȘ, MAC, MAG, MAM, MAL și MLP) ansamblu bazin, șold, coapsă, genunchi, gambă, gleznă și labă picior și un sistem (SCR) de comandă a unui robot antropomorf.

Revendicări: 2
Figuri: 16

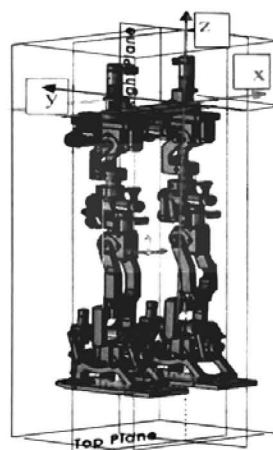
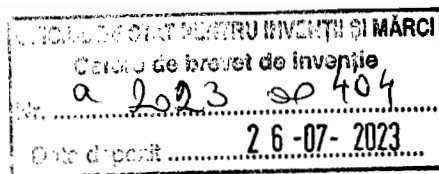
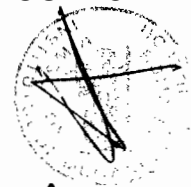


Fig. 1





RO 137758 A0



48

Metodă și dispozitiv de stabilizare a mișcării a unui robot antropomorf pentru navigare în mediu ambiant

Invenția se referă la o metodă și dispozitiv de stabilizare a mișcării a unui robot antropomorf pentru navigare în mediu ambiant care are din punct de vedere constructiv o structură mecanică modularizată complexă ce asigură locomotia stabilă pas cu pas printre obstacolele și pe teren denivelat în mediu ambiant.

Roboții antropomorfi și cercetările cu privire la ansamblul elementelor acestora reprezintă subiectul cel mai fierbinte și mai studiat la nivel mondial în ultimii ani. Acestea vizează în principal tehnicile și structuri mecanice avantajoase pentru controlul traiectoriei de mers, navigării și stabilității, mobilitatea, continuitatea și uniformitatea mișcărilor, minimizarea șocurilor, etc. [1]. Controlul stabilității roboților pășitori antropomorfi este dirijorul procesului dinaintea eșecului, când parametrii caracteristici sunt adaptați la sarcini și la mediul înconjurător și apar perturbații sau anomalii.

Articolele științifice cuprind tipuri și modele de roboți reali, precum: Nao [2], HRP-2/5 [3], DRC-HUBO 2 [4], etc., dar care au reale probleme de stabilitate a mișcării în medii necunoscute, cu ocolire sau depășire de obstacole.

Stabilitatea posturală a robotului antropomorf în timpul mersului este de importanță capitală în atingerea scopului și se realizează numai prin control posturii robotului [1]. Stabilitatea insuficientă în timpul mișcării dinamice impune mișcări speciale compensatorii pentru păstrarea echilibrului [5]. Sunt modele simple cu cinci legături și articulațiile aferente [6], șapte legături [7] sau nouă legături [8], fie mult mai complexe cu 11 legături și articulațiile aferente [9] sau mai multe. Mai toate modelele au la bază pendulul ideal inversat care neglijează, pentru început, multe dintre condițiile și fenomenele reale din timpul mișcării. Unele modele ale robotului antropomorf includ trunchiul corpului și picioarele [6], altele cuprind și brațele, dar multe se rezumă numai la sistemul de locomotie [9, 10].

Dezavantajele acestor metode și soluțiile tehnice, cu referire la sistemele prezentate, constau în principal, în faptul, că structurile sunt modele simple raportate la necesitățile de stabilitate ale unui robot antropomorf, respectiv partea de locomotie nu este suficient de complexă și modularizată pentru a permite realizarea de posturi tranzitorii dificile care să asigure stabilitatea mișcării robotului în situații de navigare în mediu ambiant necunoscut și nediferențiat, cu evitarea sau depășirea obstacolelor.

Problema pe care o rezolvă invenția constă în aceea ca permite robotului să adopte stări posturale de poziționare tranzitorii dificile, prin care oferă posibilități de control a stabilității mișcării robotului în situații de navigare în mediu ambiant necunoscut și nediferențiat, cu evitarea sau depășirea obstacolelor.

1. Metoda conform invenției înlătură dezavantajele de mai sus prin aceea că adaugă robotului posturi tranzitorii dificile prin care se menține stabilitatea și deplasarea în siguranță față de obstacolele existente în mediul ambiant, care nu pot fi atinse de elementele de legatură ale altor roboți, printr-o structură mecanică complexă alcătuită din bazin, coapsă, gambă și labă picior, alături de articulațiile aferente conforme invenției prin care întregul mecanism dispune de mobilitatea și flexibilitatea legăturilor rigide ale structurii mecanice cu capacitate sporită de distribuție a maselor ansamblurilor, stabilitate în timpul orientării și navigării bipede și soluționează performant micile imperfecțiuni ale suprafeței de sprijin pe care se face deplasarea robotului, cu realizarea acestor secvențe într-o succesiune prezentată mai jos, respectiv:

(i) *se realizează* Ansamblul Bazin **AB**- asimilat trunchiului uman cu centură pelviană, conform *modului* Ansamblul Bazin din prezenta invenție astfel ca mișcările ansamblului Bazin sunt disponibile în toate cele trei planuri, respectiv: oscilații înainte și înapoi în raport cu planul sagital, înclinări laterale, stânga/dreapta, în plan frontal și rotații scurte față de planul transversal;

(ii) *se realizează* Ansamblul Articulația Șold **AȘ**- asimilat șoldului corpului uman, conform *modului* Ansamblul Articulația Șold din prezenta invenție astfel ca mișcările Ansamblul Articulația Șold să permită trei grade de libertate, toate de rotație în jurul axelor sistemului de coordonate, practic membrul inferior se rotește în jurul punctului central al articulației în raport cu ansamblul Bazin;

(iii) *se realizează* Ansamblul Coapsă **AC** – asimilat coapsei corpului uman, conform *modului* Ansamblul Coapsă din prezenta invenție care are în principal sarcina de a transmite în plan sagital mișcarea de balans a piciorului către gambă și laba piciorului prin intermediul articulației Genunchi și articulației Gleză în raport cu ansamblul Bazin;

(iv) *se realizează* Ansamblul Articulația Genunchi **AG** – asimilat genunchiului corpului uman, conform *modului* Ansamblul Articulația Genunchi din prezenta invenție care execută două mișcări de rotație în jurul axelor Ox și Oy amplificând considerabil combinatorica posturilor Ansamblului Gambă și a ansamblului Labă Picior, dar și a Ansamblului Coapsă.

(v) *se realizează* Ansamblul Gambă **AM** – asimilat gambei corpului uman, conform *modului* Ansamblul Gambă din prezenta invenție în care mișcările de rotație ale gambei se produc în jurul axei Ox și în jurul axei Oy;

(vi) *se realizează* Ansamblul Articulația Gleză **AL** – asimilat gleznei corpului uman, conform *modului* Ansamblul Articulația Gleză din prezenta invenție care permite rotația relativă a celor două ansambluri de legătură, astfel că ansamblul Labă Picior se poate roti în plan sagital în jurul axei Ox și în plan frontal în jurul axei Oy, cu rolul de a asigura mobilitate robotului antropomorf la nivelul labei piciorului, dar și a tuturor celorlate elemente constructive de deasupra sa;

(vii) *se realizează* Ansamblul Labă Picior **LP** – asimilat labei piciorului corpului uman, conform *modului* Ansamblul Labă Picior din prezenta invenție cu două grade de libertate, rotația în plan sagital în raport cu axa Ox și rotația în plan frontal în raport cu axa Oy; este compus din cinci subansamble: subansamblul Călcâi **SC** (asimilat zonei tarsului la om), subansamblul Piciorul propriu-zis **PZ** (asimilat zonei metatarsului la om), subansamblul Deget picior **DP** (asimilat cu falangele piciorului la om), subansamblul Articulația Degetului piciorului **SD** și subansamblul Articulația Călcâi **SL**; talpa membrului inferior a robotului antropomorf se realizează din trei părți articulate: subansamblul Piciorul propriu-zis **PZ** și subansamblul Deget picior **DP**, legate prin Articulația Degetului piciorului **SD** de rotație, de tip pasiv; Ansamblul Labă Picior **LP** include doi senzori amplasați la partea inferioară, aplicați pe călcâi și pe degetul piciorului, cu rolul de a oferi informații sistemului de comandă a robotului antropomorf cu privire la valoarea și poziția centrului de presiune dezvoltat odată cu deplasarea robotului antropomorf.

(viii) *se realizează și dezvoltarea unui sistem de comandă SCR al* robotului antropomorf, care recepționează semnalele analogice și generează comenzile conform invenției menționate, în fazele (i) - (vii).

2. Dispozitivul conform invenției înlătură dezavantajele menționate prin aceea că pentru stabilizarea mișcării de navigare a robotului printr-o structură mecanică complexă, este alcătuit:

(i) *dintr-un modul* Ansamblul Bazin **MAB**, care reprezintă partea de structură de care se leagă partea inferioară a robotului antropomorf, respectiv membrele inferioare care asigură funcția de deplasare bipedă; este alcătuit dintr-un subansamblu metalic suport de care sunt fixate în partea superioară două motoare electrice, câte unul pentru fiecare picior, care aparțin Articulației Șold **AȘ**; mișcările ansamblului Bazin **AB** sunt disponibile în toate cele trei planuri, respectiv: oscilații înainte și înapoi în

raport cu planul sagital, înclinări laterale, stânga/dreapta, în plan frontal și rotații scurte față de planul transversal, prin mișcări combinatorii ale celorlalte ansamble, controlate de un *sistem de comanda SCR al* robotului antropomorf.

(ii) *un modul* Ansamblul Articulația Șold **MAȘ**, reprezintă elementul de legătură al piciorului care face conexiunea între ansamblul Bazin **AB** și ansamblul Coapsă **AC**; ansamblul Articulația Șold **AȘ** are trei grade de libertate, toate de rotație în jurul axelor sistemului de coordonate, practic membrul inferior se rotește în jurul punctului central al articulației în raport cu ansamblul Bazin **AB**; mișcarea de rotație relativă a elementelor sale este furnizată de trei motoare electrice către Ansamblul Coapsă **AC**; motoarele amplasate pe ansamblul Bazin **AB** transmit simultan, în sens invers, mișcarea de rotație în jurul axei Oz prin reductor planetar și cuplă elastică către picior pentru înaintare; al doilea motor se rotește în jurul axei Ox și transmite mișcarea direct articulației făcând posibilă pendularea piciorului în plan sagital; cel de-al treilea motor transmite mișcarea prin angrenaj cu pinioane și curea sincron în jurul axei Oy pentru a realiza balansul în planul frontal; rotația pinionului conducător este urmărită de un encoder, controlată de reductorul planetar și transmisă prin curea sincron către mecanismul melc-roata melcată.

(iii) *un modul* Ansamblul Coapsă **MAC** – are în principal sarcina de a transmite în plan sagital mișcarea de balans a piciorului către gambă și laba piciorului prin intermediul articulației Genunchi **AG** și articulației Gleză **AL** în raport cu ansamblul Bazin **AB**; execută mișcare de re poziționare conform deciziilor *unui sistem de comanda SCR al robot* antropomorf pentru a înainta și a menține starea de stabilitate sau a reveni la cea mai apropiată postură stabilă ori pentru a ocoli un obstacol; se compune dintr-o furcă extrudată conectată cu ansamblul Articulația Șold **AȘ**, o tijă cilindrică tip țevă prinsă prin intermediul unui colier metalic de suportul unuia dintre motoarele ansamblului Articulația Genunchi **AG** și are fixat de el un motor electric necesar uneia dintre cele două tipuri de rotație ale genunchiului;

(iv) *un modul* Ansamblul Articulația Genunchi **MAG** – pune în legătură ansamblul Coapsă **AC** cu ansamblul Gambă **AM**; poate executa două mișcări de rotație în jurul axelor Ox și Oy amplificând considerabil combinatorica posturilor ansamblului Gambă **AM** și a ansamblului Labă Picior **LP**, dar și a ansamblului Coapsă **AC**; articulația Genunchi **AG** dispune de două motoare electrice fără perii, ambele secondate de câte un encoder, care transmit mișcarea de rotație prin reductor către gamba piciorului; elementul central al articulației îl reprezintă lagărul, care ghidează mișcarea de rotație a gambei și se rotește în raport cu Ox pentru a satisface necesitatea de poziționare a labei piciorului în cazul denivelărilor și obstacolelor; se compune din două motoare electrice; mișcările fine ale pinioanelor conducătoare controlate de encodere produc rotații în plan sagital în jurul axei Ox și în plan frontal în jurul axei Oy; turația mare a motoarelor este ameliorată prin mecanismul melc-roata melcată care asigură un spor de putere absolut necesar pentru rotirea în jurul axei Ox.

(v) *un modul* Ansamblul Gambă **MAM** – este o porțiune rigidă a piciorului, intercalată între articulațiile genunchi și gleznă; constructiv, pornind de la genunchi avem reperul furcă care prin intermediul unei tije metalice se fixează de o a doua furcă ce face legătura cu ansamblul Articulația Gleză **AL**; mișcările de rotație ale gambei se produc în jurul axei Ox și în jurul axei Oy.

(vi) *un modul* Ansamblul Articulația Gleză **MAL** – este localizat în partea inferioară a structurii piciorului și face legătura între ansamblul Gambă **AM** și ansamblul Labă Picior **LP**; acesta permite rotația relativă a celor două ansambluri de legătură, astfel că ansamblul Labă Picior **LP** se poate roti în plan sagital în jurul axei Ox și în plan frontal în jurul axei Oy; rolul ansamblului Articulația Gleză **AL** este de a asigura mobilitate robotului antropomorf la nivelul labei piciorului, dar și a tuturor celorlate elemente constructive de deasupra sa în vederea funcționării în deplină siguranță în mediul ambiant; Articulația Gleză **AL** se compune din două motoare electrice fără perii care transmit mișcarea prin angrenaj melc-roată melcată sau prin reductor planetar și curea sincronă la comanda

generata de sistemul de comanda robot *SCR al* robotului antropomorf; elementele centrale ale articulației sunt reprezentate de lagărul care ghidează mișcarea de rotație a labei piciorului și reperele, tip nucă, care fixează mecanic articulația.

(vii) **un modul** Ansamblul Labă Picior **MLP** – este capătul lanțului cinematic al subsistemului de locomoție propus, fiind legat de ansamblul Gambă **AM** prin intermediul articulației Gleznă **AG**; mișcarea ansamblului Labă Picior **LP** a robotului antropomorf în spațiul de lucru are două grade de libertate, rotația în plan sagital în raport cu axa Ox și rotația în plan frontal în raport cu axa Oy; ansamblul Labă Picior **LP** se compune din cinci subansamble: subansamblul Călcâi **SC** (asimilat zonei tarsului la om), subansamblul Piciorul propriu-zis **PZ** (asimilat zonei metatarsului la om), subansamblul Deget picior **DP** (asimilat cu falangele piciorului la om), subansamblul Articulația Degetului piciorului **SD** și subansamblul Articulația Călcâi **SC**. Practic, talpa membrului inferior a robotului antropomorf care asigură contactul ciclic cu terenul pe care se face deplasarea este alcătuită din trei părți articulate; subansamblul Piciorul propriu-zis **PZ** și subansamblul Deget picior **DP** care sunt legate prin Articulația Degetului piciorului **SD** de rotație, de tip pasiv, realizată printr-un ax asigurat la capete contra translației și un arc de torsiune cu dimensiune mică, ușor de montat, special pentru reperi plate; subansamblul Călcâi **SC** și subansamblul Piciorul propriu-zis **PZ** sunt legate prin Articulația Călcâi **SL** realizată prin două legături de rotație, de tip pasiv; subansamblul Călcâi **SC** are în componență reperi care alcătuiesc structura de amortizare la aterizarea piciorului pe sol, respectiv: arc de compresiune montat pe tija unui piston între corpul amortizorului și buca de ghidare cu poziție reglabilă din partea inferioară; laba piciorului, primul ansamblu care ia contact cu terenul nestructurat cu denivelări, are montați doi senzori, unul la nivelul subansamblului Călcâi **SC**, respectiv la subansamblul Deget picior **DP** care oferă informații astfel ca robotului antropomorf să ia decizii referitoare la ciclul de mers optim, adaptându-se la realitatea fizică a oricărui mediu de sprijin; întreaga talpă a labei piciorului este acoperită cu un strat subțire de silicon, de grosime între 0,10 – 0,50 mm, pentru a crește aderența la suprafața de mers și a prelua o mică parte din șocul de la aterizare; Ansamblul Labă Picior **LP** include cei doi senzori amplasați la partea inferioară, aplicați pe călcâi și pe degetul piciorului, cu rolul de a oferi informații sistemului de comanda robot cu privire la valoarea și poziția centrului de presiune dezvoltat odată cu deplasarea robotului antropomorf.

(viii) **un sistem de comanda SCR al** robotului antropomorf, care recepționează semnalele analogice și generează comenzile conform invenției menționate, unde a fost cazul, în fazele (i) - (vii).

Invenția prezintă avantajul ca permite o structură mecatronică originală și inovativă proiectată pentru sistemul de locomoție bipedă a robotului antropomorf cu următoarele principale avantaje: (i) soluție simplă, rigidă și eficientă, accesibilă financiar, cu comportament sigur și mișcări line, (ii) existența de reperi aproximativ identice în ansamblele și subansamblele robotului, (iii) păstrează simetria și corelațiile cu proporțiile antropomorfe, (iv) număr redus de reperi mecatronice, (v) poate fi extrapolată dimensional și adaptată unei game largi ale robotului antropomorf, (vi) sporirea abilităților comportamentale în toate planurile cu 14 grade de libertate, (vii) flexibilitate și mobilitate a posturilor prin suplețe articulară, (viii) mentenanță ușor de realizat.

Se da în continuare un exemplu de realizare a invenției, în legătura cu figurile 1-10 care prezintă scheme tehnice ale modulelor ansamblu sau subansambru menționate în dispozitivul pentru navigare în mediu ambiant a unui robot antropomorf conform invenției.

Exemplul de realizare a invenției conține o structură mecanică complexă alcătuită din bazin, coapsă, gambă și labă picior, alături de articulațiile aferente. Întregul mecanism dispune de mobilitate și flexibilitate ridicată și este realizat în mare parte din reperi standardizate. Sistemul de coordonate atașat robotului la proiectare este prezentat în figura 1.

➤ Ansamblul Bazin este asimilat jumătății superioare a corpului omenesc, practic trunchiul cu centură pelviană, mâini și cap. Ansamblul reprezintă partea de structură de care se leagă partea

inferioară a **robotului antropomorf**, respectiv membrele inferioare care asigură funcția de deplasare bipedă.

Ansamblul Bazin (figura 2) este alcătuit dintr-un subansamblu metalic suport de care sunt fixate în partea superioară două motoare electrice, câte unul pentru fiecare picior, care aparțin Articulației Șold. Mișcările ansamblului Bazin sunt disponibile în toate cele trei planuri, respectiv: oscilații înainte și înapoi în raport cu planul sagital, ușoare înclinări laterale, stânga/dreapta, în plan frontal și rotații scurte față de planul transversal, datorită combinatoriciei de mișcări ale celorlalte ansamble.

➤ Ansamblul Articulația Șold AȘ (figura 3) este elementul de legătură al piciorului care face conexiunea între ansamblul Bazin și ansamblul Coapsă. Structura mecanică a unui picior cuprinde trei motoare electrice supravegheate de encodere care asigură mișcări de rotație precise, două reductoare planetare și un cuplaj elastic. Ansamblul Articulația Șold are trei grade de libertate, toate de rotație în jurul axelor sistemului de coordonate, practic membrul inferior se rotește în jurul punctului central al articulației în raport cu ansamblul Bazin. Este de mare importanță pentru mersul biped și stabilitatea robotului antropomorf prin configurarea posturii în lanțul cinematic al piciorului. Mișcările sunt raportate fie la ansamblul Bazin, fie la ansamblul Coapsă, după cum o impune controlul stabilității robotului antropomorf.

Mișcarea de rotație relativă a elementelor sale este furnizată de trei motoare electrice către ansamblul Coapsă. Motoarele amplasate pe ansamblul Bazin transmit simultan, în sens invers, mișcarea de rotație în jurul axei Oz prin reductor planetar și cuplă elastică către picior pentru înaintare. Al doilea motor se rotește în jurul axei Ox și transmite mișcarea direct articulației făcând posibilă pendularea piciorului în plan sagital. Cel de-al treilea motor transmite mișcarea prin angrenaj cu pinioane și curea sincron în jurul axei Oy pentru a realiza balansul în planul frontal. Rotația pinionului conducător este urmărită de encoder, controlată de reductorul planetar și transmisă prin curea sincron către mecanismul melc-roata melcată. Detalii constructive ale ansamblului Articulația Șold sunt prezentate în figura 4.

➤ Ansamblul Coapsă AC (figura 5) are în principal sarcina de a transmite în plan sagital mișcarea de balans a piciorului către gambă și laba piciorului prin intermediul articulației Genunchi și articulației Glezna în raport cu ansamblul Bazin. Execută mișcare de re poziționare conform deciziilor SSC pentru a înainta și a menține starea de stabilitate sau a reveni la cea mai apropiată postură stabilă ori pentru a ocoli un obstacol.

Construcția este reprezentată de o suită de repere formată dintr-o furcă extrudată conectată cu ansamblul Articulația Șold, o tijă cilindrică tip țevă prinsă prin intermediul unui colier metalic de suportul unuia dintre motoarele ansamblului Articulația Genunchi. Are fixat de el un motor electric necesar uneia dintre cele două tipuri de rotație ale genunchiului.

Dintre mișcările ansamblului, amplitudinea cea mai mare o are oscilația în plan sagital. Celalaltă mișcare posibilă de rotație în jurul axei Oy are un interval unghiular de valoare redusă comparativ cu oscilația în plan sagital.

➤ Ansamblul Articulația Genunchi AG (figura 6) pune în legătură ansamblul Coapsă cu ansamblul Gambă (figura 6 a). Poate executa două mișcări de rotație în jurul axelor Ox și Oy amplificând considerabil combinatorica posturilor ansamblului Gambă și a ansamblului Labă Picior, dar și a ansamblului Coapsă. Mișcările genunchiului sunt necesare pentru poziționarea elementelor rigide ale lanțului cinematic al **robotului antropomorf** în vederea menținerii stabilității și parcurgerii traseului prin mers către țintă.

Articulația Genunchi dispune de două motoare electice fără perii, ambele secondate de encodere, care transmit mișcarea de rotație fie prin reductor, fie prin curea sincron către gamba piciorului. Elementul central al articulației îl reprezintă lagărul (figura 6 b), care ghidează mișcarea de rotație a gambei și se rotește în raport cu Ox pentru a satisface necesitatea de poziționare a labei piciorului în cazul denivelărilor și obstacolelor. Figura 7 prezintă patru etape în procesul de demontare a ansamblului Articulația Genunchi și oferă informații tehnice cu privire la construcția acestuia.

Mișcarea de intrare pentru ansamblul Articulația Genunchi provine de la ansamblul Coapsă și se transmite către ansamblul Gambă căruii îi sunt adăugate suplimentar mișcări de rotație produse de motoare electrice. Construcția mecanică (figura 7 c) și figura 7 d) cuprinde două motoare electrice. Mișcările fine ale pinioanelor conducătoare controlate de encodere produc rotații în plan sagital în jurul axei Ox și în plan frontal în jurul axei Oy. Turația mare a motoarelor este ameliorată prin mecanismul melc-roata melcată care asigură totodată un spor de putere absolut necesar pentru rotirea în jurul axei Ox.

Ansamblul Gambă **AM** (figura 8 a) și b)) este o porțiune rigidă a piciorului, intercalată între articulațiile genunchi și gleznă. Constructiv, pornind de la genunchi avem reperul furcă (figura 8 c), care prin intermediul unei tije metalice se fixează de o a doua furcă ce face legătura cu ansamblul Articulația Gleznă. Ansamblul Gambă este primul afectat de șocul transmis prin intermediul gleznei de la contactul călcâiului cu terenul. Astfel de solicitări mari, repetate, produc vibrații ansamblelor și uzură prematură articulațiilor superioare, începând cu glezna și terminând cu șoldul. Mișcările de rotație ale gambei se produc în jurul axei Ox și în jurul axei Oy.

➤ Ansamblul Articulația Gleznă **AL**, este localizat în partea inferioară a structurii piciorului (figura 9 a) și face legătura între ansamblul Gambă și ansamblul Labă Picior (figura 9 b). Acesta permite rotația relativă a celor două ansambluri de legătură, astfel că ansamblul Labă Picior se poate roti în plan sagital în jurul axei Ox și în plan frontal în jurul axei Oy.

Rolul ansamblului Articulația Gleznă este de a asigura mobilitate robotului antropomorf la nivelul labei piciorului, dar și a tuturor celorlate elemente constructive de deasupra sa în vederea funcționării în deplină siguranță.

Constructiv, Articulația Gleznă (figura 10) are două motoare electrice fără perii care transmit mișcarea controlat de encodere fie prin angrenaj melc-roată melcată, fie prin reductor planetar și curea sincronă.

Elementele centrale ale articulației sunt reprezentate de lagărul care ghidează mișcarea de rotație a labei piciorului și reperele, tip nucleu, care fixează mecanic articulația

Construcția ansamblului Articulația Gleznă este una solidă și oferă tuturor celorlate ansamble ale piciorului flexibilitate în vederea obținerii posturilor de echilibru, menținere a stabilității și modificării traiectoriei de mers la întâlnirea unui obstacol.

Detalii constructive ale ansamblului Articulația Gleznă pot fi văzute în figura 11, figura 12.

➤ Ansamblul Labă Picior **LP** (figura 13 a) este capătul lanțului cinematic al subsistemului de locomoție propus, fiind legat de ansamblul Gambă prin intermediul ansamblului Articulația Gleznă (figura 13 b). Ansamblul Labă Picior este compus din cinci subansamble. Prin poziționare controlată asigură posturi de echilibru, menținerea stabilității pe durata deplasării bipede, schimbă traiectoria de mers când situația o impune și facilitează ocolirea/pășirea peste în cazul întâlnirii pe traiectorie a unui obstacol.

Mișcarea ansamblului Labă Picior a robotului antropomorf în spațiul de lucru are două grade de libertate. Posibilitățile de mișcare sunt următoarele: rotația în plan sagital în raport cu axa Ox și rotația în plan frontal în raport cu axa Oy.

Rolul ansamblului Labă Picior este de a susține robotului antropomorf, respectiv toată structura aflată deasupra acestui ansamblu, de a asigura mersul pășit, prin balans alternativ al membrilor inferioare, de a propulsa mersul prin subansamblul Deget picior, de a oferi informații cu privire la suportul de sprijin, respectiv tipul terenului (lis, orizontal, înclinat, accidentat, nestructurat, denivelat), de a oferi indirect informații cu privire la parametrii caracteristici ai deplasării, de a oferi informații cu privire la forța de presiune exercitată asupra terenului.

Constructiv, ansamblul Labă Picior este compus din cinci subansamble (figura 14), astfel: subansamblul Călcâi (asimilat zonei tarsului la om), subansamblul Piciorul propriu-zis (asimilat zonei

metatarsului la om), subansamblul Deget picior (asimilat cu falangele piciorului la om), subansamblul Articulația Degetului piciorului și subansamblul Articulația Călcâi. Practic, talpa membrului inferior a robotului antropomorf care asigură contactul ciclic cu terenul pe care se face deplasarea este alcătuită din trei părți articulate. Subansamblul Piciorul propriu-zis și subansamblul Deget picior sunt legate prin Articulația Degetului piciorului de rotație, de tip pasiv, realizată printr-un ax asigurat la capete contra translației și un arc de torsiune cu dimensiune mică, ușor de montat, special pentru repere plate. Subansamblul Călcâi și subansamblul Piciorul propriu-zis sunt legate prin Articulația Călcâi realizată prin două legături de rotație, de tip pasiv. Subansamblul Călcâi are în componență repere care alcătuiesc structura de amortizare la aterizarea piciorului pe sol, respectiv: arc de compresiune montat pe tija unui piston între corpul amortizorului și bucușă de ghidare cu poziție reglabilă din partea inferioară.

Amortizarea șocurilor reprezintă un proces care se întâlnește la finalul fazei de sprijin unic, când piciorul balansat atinge solul. Contactul brusc și uneori violent între laba piciorului și teren are influență negativă asupra legăturilor, articulațiilor, lagărelor și angrenajelor. Datorită controlului greu de cunoscut și stăpânit, șocurile și vibrațiile induse produc deformații mecanice (alungiri, comprimări, forfecări), solicitări suplimentare (forțe, momente), dezechilibre, căderi sau modificări valorice (toleranțe, uzură, poziții, viteze, accelerații). Amortizarea șocurilor mecanice preîntâmpină degradarea sau distrugerea elementelor mecanice ale roboților și pierderea totală sau parțială a echilibrului. Având în vedere toate acestea, s-a proiectat ansamblul Labă Picior prezentat în figura 13.

Laba piciorului este primul ansamblu care ia contact cu terenul nestructurat cu denivelări. Existența senzorilor la nivelul subansamblului Călcâi și subansamblului Deget picior (figura 15) este absolut necesară și oferă informații astfel ca robotului antropomorf să ia decizii referitoare la ciclul de mers optim, adaptându-se la realitatea fizică a oricărui mediu de sprijin.

Întreaga talpă a labei piciorului este acoperită cu un strat subțire de silicon, de 0,1mm la 0,50 mm grosime, pentru a crește aderența la suprafața de mers și a prelua o mică parte din șocul de la aterizare. Ansamblul Labă Picior include doi senzori amplasați la partea inferioară, aplicați pe călcâi și pe degetul piciorului, cu rolul de a oferi informații cu privire la valoarea și poziția centrului de presiune dezvoltat odată cu deplasarea robotului antropomorf. Fiecare sensor are suprafață mare pentru a depista cât mai multe din neconformitățile terenului de sub laba piciorului. Am utilizat senzori cu suprafață mare de detecție, care funcționează pe baza variației valorii la contactul călcâiului/degetului cu suprafața de sprijin. Sensibilitatea bună indică tipul de teren, existența unui obstacol/denivelări sau contactul violent cu solul.

Exemplu de realizare a invenției evidențiază posibilitățile robotului pentru a asigura stări posturale tranzitorii, prezentate în figura 16, care ofera posibilitati de control a stabilitatii in timp scazut.

Brevetul propus are la baza numeroase cercetari multidisciplinare cu contributii de cercetare fundamentala si capabilitati tehnologie in numeroase domenii : transport materiale nucleare, asistenta medicala pentru persoane handicapate, agricultura si silvicultura, inspectii in zone greu accesibile, etc.

Bibliografie

1. Katić, D. and Vukobratović, M., 2005. „Survey of intelligent control algorithms for humanoid robots”. IFAC Proceedings Volumes, 38(1), pp.31-42
2. Ding, J., et. all., 2018, „Walking stabilization control for humanoid robots on unknown slope based on walking sequences adjustment”. J. Intell. & Robotic Systems, 90, pp.323-338.
3. Benallegue, et. all., 2020. „Lyapunov-stable orientation estimator for humanoid robots”. IEEE Robotics and Automation Letters, 5(4), pp.6371-6378.
4. Cho, B.K., 2019, „A posture balance controller for a humanoid robot using state and disturbance-observer-based state feedback”. J. Intell. & Robotic Systems, 95, pp.331-349.

5. Vukobratović, M. and Stepanenko, J., 1972. „On the stability of anthropomorphic systems”. *Mathematical biosciences*, 15(1-2), pp.1-37.
6. Aldair, et. all., 2018. „Neurofuzzy Control Applied to Five Links Biped Robot using Particle Swarm Optimization Algorithm”. *I. J. of Computer Applications*, 975, p.8887.
7. Al-Shuka, et. all., 2019. „Dynamics of biped robots during a complete gait cycle: Euler-Lagrange vs. Newton-Euler formulations”. Doctoral dissertation, Shandong University.
8. Hernández-Santos, et. all., 2012. „Kinematics and dynamics of a new 16 DOF humanoid biped robot with active toe joint”. *I. J. of Advanced Robotic Systems*, 9(5), p.190.
9. Xhevahir, et. all., 2018. „Dynamic modelling and analyzing of a walking of humanoid robot”. *Strojnícky časopis-Journal of Mechanical Engineering*, 68(3), pp.59-76.
10. Fallon, M., 2018. „Accurate and robust localization for walking robots fusing kinematics, inertial, vision and LIDAR”. *Interface focus*, 8(4), p.20180015.

REVENDICARI

1. Metoda de stabilizare a mișcării unui robot antropomorf pentru navigare în mediu ambiant care permite adăugarea robotului de posturi tranzitorii dificile, printr-o structură mecanică complexă, prin care se menține stabilitatea și deplasarea în siguranță față de obstacolele existente în mediul ambiant, **caracterizează prin aceea că** are în alcătuire etapele:

(i) **se realizează** Ansamblul Bazin (**AB**) - asimilat trunchiului uman cu centură pelviană, conform *modului* Ansamblul Bazin (**MAB**) din prezenta invenție astfel ca mișcările ansamblului Bazin (**AB**) sunt disponibile în toate cele trei planuri, respectiv: oscilații înainte și înapoi în raport cu planul sagital, înclinări laterale, stânga/dreapta, în plan frontal și rotații scurte față de planul transversal;

(ii) **se realizează** Ansamblul Articulația Șold (**AȘ**) – asimilat șoldului corpului uman, conform *modului* Ansamblul Articulația Șold (**MAȘ**) din prezenta invenție astfel ca mișcările Ansamblul Articulația Șold (**AȘ**) să permită trei grade de libertate, toate de rotație în jurul axelor sistemului de coordonate, practic membrul inferior se rotește în jurul punctului central al articulației în raport cu ansamblul Bazin (**AB**);

(iii) **se realizează** Ansamblul Coapsă (**AC**) – asimilat coapsei corpului uman, conform *modului* Ansamblul Coapsă (**MAC**) din prezenta invenție care are în principal sarcina de a transmite în plan sagital mișcarea de balans a piciorului către gambă și laba piciorului prin intermediul articulației Genunchi (**AG**) și articulației Gleză (**AL**) în raport cu ansamblul Bazin (**AB**);

(iv) **se realizează** Ansamblul Articulația Genunchi (**AG**) – asimilat genunchiului corpului uman, conform *modului* Ansamblul Articulația Genunchi (**MAG**) din prezenta invenție care execută două mișcări de rotație în jurul axelor Ox și Oy amplificând considerabil combinatorica posturilor Ansamblului Gambă (**AM**) și a ansamblului Labă Picior (**LP**), dar și a Ansamblului Coapsă (**AC**).

(v) **se realizează** Ansamblul Gambă (**AM**) – asimilat gambei corpului uman, conform *modului* Ansamblul Gambă (**MAM**) din prezenta invenție în care mișcările de rotație ale gambei se produc în jurul axei Ox și în jurul axei Oy;

(vi) **se realizează** Ansamblul Articulația Gleză (**AL**) – asimilat gleznei corpului uman, conform *modului* Ansamblul Articulația Gleză (**MAL**) din prezenta invenție care permite rotația relativă a celor două ansambluri de legătură, astfel că ansamblul Labă Picior (**LP**) se poate roti în plan sagital în jurul axei Ox și în plan frontal în jurul axei Oy, cu rolul de a asigura mobilitate robotului antropomorf la nivelul labei piciorului, dar și a tuturor celorlalte elemente constructive de deasupra sa;

(vii) **se realizează** Ansamblul Labă Picior (**LP**) – asimilat labei piciorului corpului uman, conform *modului* Ansamblul Labă Picior (**MLP**) din prezenta invenție cu două grade de libertate, rotația în plan sagital în raport cu axa Ox și rotația în plan frontal în raport cu axa Oy; este compus din cinci subansamble: subansamblul Călcâi (**SC**) (asimilat zonei tarsului la om), subansamblul Piciorul propriu-zis (**PZ**) (asimilat zonei metatarsului la om), subansamblul Deget picior (**DP**) (asimilat cu falangele piciorului la om), subansamblul Articulația Degetului piciorului (**SD**) și subansamblul Articulația Călcâi (**SL**); talpa membrului inferior a robotului antropomorf se realizează din trei părți articulate: subansamblul Piciorul propriu-zis (**PZ**) și subansamblul Deget picior (**DP**), legate prin Articulația Degetului piciorului (**SD**) de rotație, de tip pasiv; Ansamblul Labă Picior (**LP**) include doi senzori amplasați la partea inferioară, aplicați pe călcâi și pe degetul piciorului, cu rolul de a oferi informații sistemului de comandă a robotului antropomorf cu privire la valoarea și poziția centrului de presiune dezvoltat odată cu deplasarea robotului antropomorf.

(viii) **se realizează și dezvoltarea unui sistem de comandă robot SCR al** robotului antropomorf, care recepționează semnalele analogice și generează comenzile conform invenției menționate, unde a fost cazul, în fazele (i) - (vii).

2. Dispozitiv, pentru aplicarea metodei de la revendicarea 1, care permite printr-o structură mecanică complexă, stabilizarea mișcării unui robot antropomorf pentru navigare în mediu ambiant, **caracterizează prin aceea că are în alcătuire:**

(i) **dintr-un modul** Ansamblul Bazin (**MAB**), care reprezintă partea de structură de care se leagă partea inferioară a robotului antropomorf, respectiv membrele inferioare care asigură funcția de deplasare bipedă; este alcătuit dintr-un subansamblu metalic suport de care sunt fixate în partea superioară două motoare electrice, câte unul pentru fiecare picior, care aparțin Articulației Șold (**AȘ**); mișcările ansamblului Bazin (**AB**) sunt disponibile în toate cele trei planuri, respectiv: oscilații înainte și înapoi în raport cu planul sagital, înclinări laterale, stânga/dreapta, în plan frontal și rotații scurte față de planul transversal, prin mișcări combinatorii ale celorlalte ansamble, controlate de un **sistem de comanda SCR al** robotului antropomorf.

(ii) **un modul** Ansamblul Articulația Șold (**MAȘ**), reprezintă elementul de legătură al piciorului care face conexiunea între ansamblul Bazin (**AB**) și ansamblul Coapsă (**AC**); ansamblul Articulația Șold (**AȘ**) are trei grade de libertate, toate de rotație în jurul axelor sistemului de coordonate, practic membrul inferior se rotește în jurul punctului central al articulației în raport cu ansamblul Bazin (**AB**); mișcarea de rotație relativă a elementelor sale este furnizată de trei motoare electrice către Ansamblul Coapsă (**AC**); motoarele amplasate pe ansamblul Bazin (**AB**) transmit simultan, în sens invers, mișcarea de rotație în jurul axei Oz prin reductor planetar și cuplă elastică către picior pentru înaintare; al doilea motor se rotește în jurul axei Ox și transmite mișcarea direct articulației făcând posibilă pendularea piciorului în plan sagital; cel de-al treilea motor transmite mișcarea prin angrenaj cu pinioane și curea sincron în jurul axei Oy pentru a realiza balansul în planul frontal; rotația pinionului conducător este urmărită de un encoder, controlată de reductorul planetar și transmisă prin curea sincron către mecanismul melc-roata melcată.

(iii) **un modul** Ansamblul Coapsă (**MAC**) – are în principal sarcina de a transmite în plan sagital mișcarea de balans a piciorului către gambă și laba piciorului prin intermediul articulației Genunchi (**AG**) și articulației Glezna (**AL**) în raport cu ansamblul Bazin (**AB**); execută mișcare de re poziționare conform deciziilor **unui sistem de comanda SCR al robot** antropomorf pentru a înainta și a menține starea de stabilitate sau a reveni la cea mai apropiată postură stabilă ori pentru a ocoli un obstacol; se compune dintr-o furcă extrudată conectată cu ansamblul Articulația Șold (**AȘ**), o tijă cilindrică tip țevă prinsă prin intermediul unui colier metalic de suportul unuia dintre motoarele ansamblului Articulația Genunchi (**AG**) și are fixat de el un motor electric necesar uneia dintre cele două tipuri de rotație ale genunchiului;

(iv) **un modul** Ansamblul Articulația Genunchi (**MAG**) – pune în legătură ansamblul Coapsă (**AC**) cu ansamblul Gambă (**AM**); poate executa două mișcări de rotație în jurul axelor Ox și Oy amplificând considerabil combinatorica posturilor ansamblului Gambă (**AM**) și a ansamblului Labă Picior (**LP**), dar și a ansamblului Coapsă (**AC**); articulația Genunchi (**AG**) dispune de două motoare electrice fără perii, ambele secondate de câte un encoder, care transmit mișcarea de rotație prin reductor către gamba piciorului; elementul central al articulației îl reprezintă lagărul, care ghidează mișcarea de rotație a gambei și se rotește în raport cu Ox pentru a satisface necesitatea de poziționare a labei piciorului în cazul denivelărilor și obstacolelor; se compune din două motoare electrice; mișcările fine ale pinioanelor conducătoare controlate de encodere produc rotații în plan sagital în jurul axei Ox și în plan frontal în jurul axei Oy; turația mare a motoarelor este ameliorată prin mecanismul melc-roata melcată care asigură un spor de putere absolut necesar pentru rotirea în jurul axei Ox.

(v) **un modul** Ansamblul Gambă (**MAM**) – este o porțiune rigidă a piciorului, intercalată între articulațiile genunchi și gleznă; constructiv, pornind de la genunchi avem reperul furcă care prin

intermediul unei tije metalice se fixează de o a doua furcă ce face legătura cu ansamblul Articulația Gleză AL; mișcările de rotație ale gambei se produc în jurul axei Ox și în jurul axei Oy.

(vi) **un modul** Ansamblul Articulația Gleză (MAL) –este localizat în partea inferioară a structurii piciorului și face legătura între ansamblul Gambă (AM) și ansamblul Labă Picior (LP); acesta permite rotația relativă a celor două ansambluri de legătură, astfel că ansamblul Labă Picior (LP) se poate roti în plan sagital în jurul axei Ox și în plan frontal în jurul axei Oy; rolul ansamblului Articulația Gleză (AL) este de a asigura mobilitate robotului antropomorf la nivelul labei piciorului, dar și a tuturor celorlate elemente constructive de deasupra sa în vederea funcționării în deplină siguranță în mediul ambiant; Articulația Gleză (AL) se compune din două motoare electrice fără perii care transmit mișcarea prin angrenaj melc-roată melcată sau prin reductor planetar și curea sincronă la comanda generată de sistemul de comanda robot **SCR al** robotului antropomorf; elementele centrale ale articulației sunt reprezentate de lagărul care ghidează mișcarea de rotație a labei piciorului și reperate, tip nucă, care fixează mecanic articulația.

(vii) **un modul** Ansamblul Labă Picior (MLP) –este capătul lanțului cinematic al subsistemului de locomoție propus, fiind legat de ansamblul Gambă (AM) prin intermediul ansamblului Articulația Gleză (AG); mișcarea ansamblului Labă Picior (LP) a robotului antropomorf în spațiul de lucru are două grade de libertate, rotația în plan sagital în raport cu axa Ox și rotația în plan frontal în raport cu axa Oy; ansamblul Labă Picior (LP) se compune din cinci subsansamble: subsansamblul Călcâi (SC) (asimilat zonei tarsului la om), subsansamblul Piciorul propriu-zis (PZ) (asimilat zonei metatarsului la om), subsansamblul Deget picior (DP) (asimilat cu falangele piciorului la om), subsansamblul Articulația Degetului piciorului (SD) și subsansamblul Articulația Călcâi (SL). Practic, talpa membrului inferior a robotului antropomorf care asigură contactul ciclic cu terenul pe care se face deplasarea este alcătuită din trei părți articulate; subsansamblul Piciorul propriu-zis (PZ) și subsansamblul Deget picior (DP) care sunt legate prin Articulația Degetului piciorului (SD) de rotație, de tip pasiv, realizată printr-un ax asigurat la capete contra translației și un arc de torsione cu dimensiune mică, ușor de montat, special pentru reperate plate; subsansamblul Călcâi (SC) și subsansamblul Piciorul propriu-zis (PZ) sunt legate prin Articulația Călcâi (SL) realizată prin două legături de rotație, de tip pasiv; subsansamblul Călcâi (SC) are în componență reperate care alcătuiesc structura de amortizare la aterizarea piciorului pe sol, respectiv: arc de compresiune montat pe tija unui piston între corpul amortizorului și bușca de ghidare cu poziție reglabilă din partea inferioară; laba piciorului, primul ansamblu care ia contact cu terenul nestructurat cu denivelări, are montați doi senzori, unul la nivelul subsansamblului Călcâi (SC), respectiv la subsansamblul Deget picior (DP) care oferă informații astfel ca robotului antropomorf să ia decizii referitoare la ciclul de mers optim, adaptându-se la realitatea fizică a oricărui mediu de sprijin; întreaga talpă a labei piciorului este acoperită cu un strat subțire de silicon, de grosime între 0,10 – 0,50 mm, pentru a crește aderența la suprafața de mers și a prelua o mică parte din șocul de la aterizare; Ansamblul Labă Picior (LP) include cei doi senzori amplasați la partea inferioară, aplicați pe călcâi și pe degetul piciorului, cu rolul de a oferi informații sistemului de comanda robot cu privire la valoarea și poziția centrului de presiune dezvoltat odată cu deplasarea robotului antropomorf.

(viii) **un sistem de comanda SCR al** robotului antropomorf, care recepționează semnalele analogice și generează comenzile conform invenției menționate, unde a fost cazul, în fazele (i) - (vii).

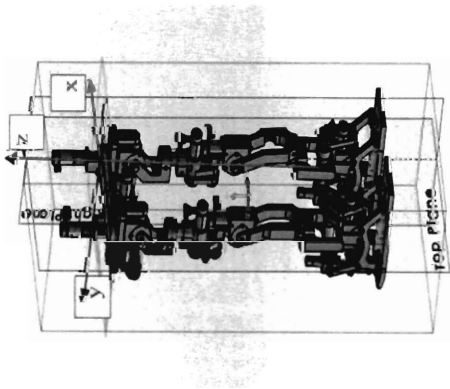


Figura 1. Sistemul axelor de coordonate atașat robotului.

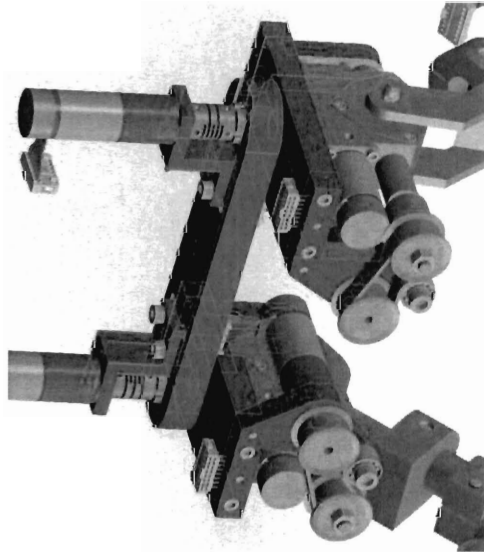


Figura 2. Ansamblul Bazin AB

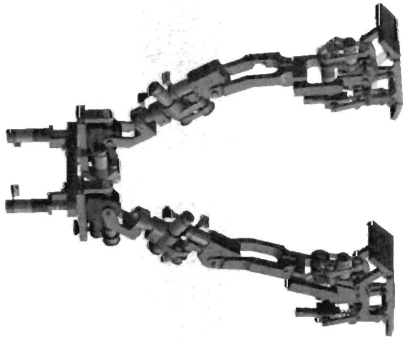


Figura 3. Localizare ansamble Articulația Șold AȘ

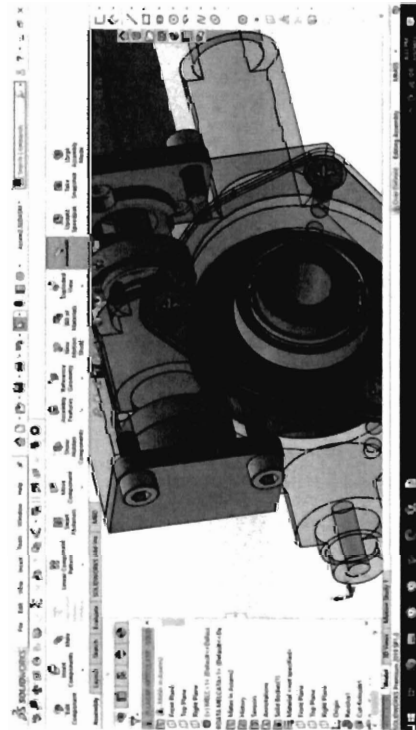


Figura 4. Detalii constructive ale ansamblului Articulația Șold

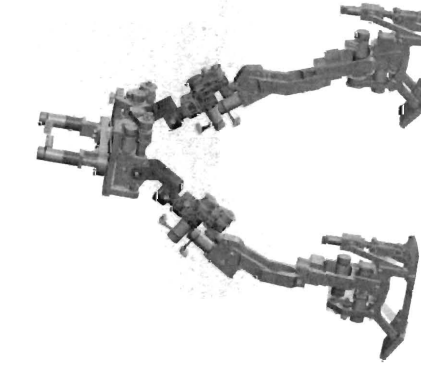
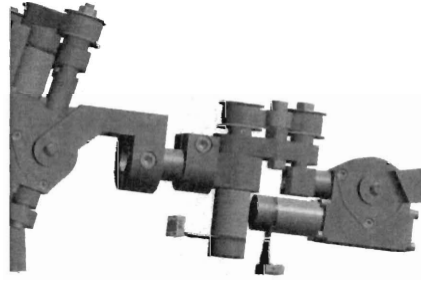


Figura 5. Ansamblul Coapsă AC: a) Localizare; b) Detalii constructive



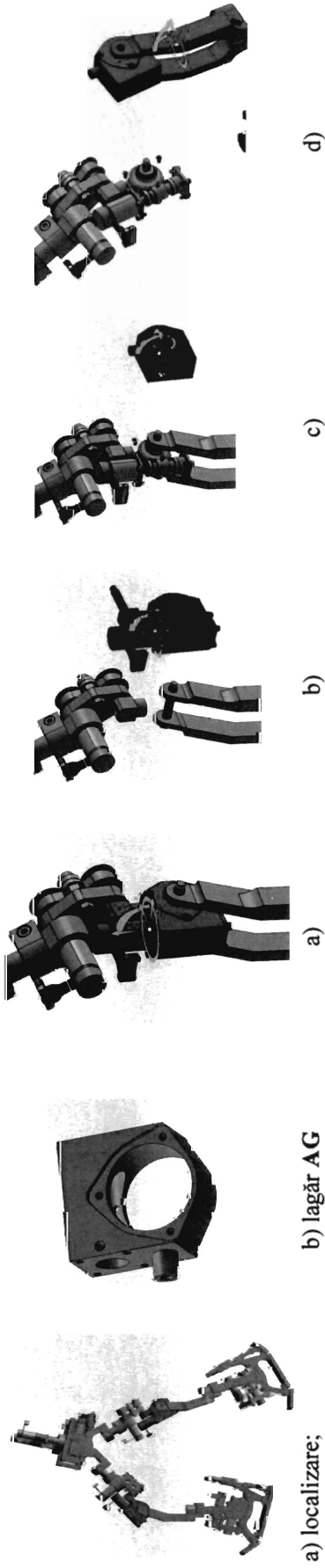


Figura 6. Ansamblul Articulația Genunchi AG

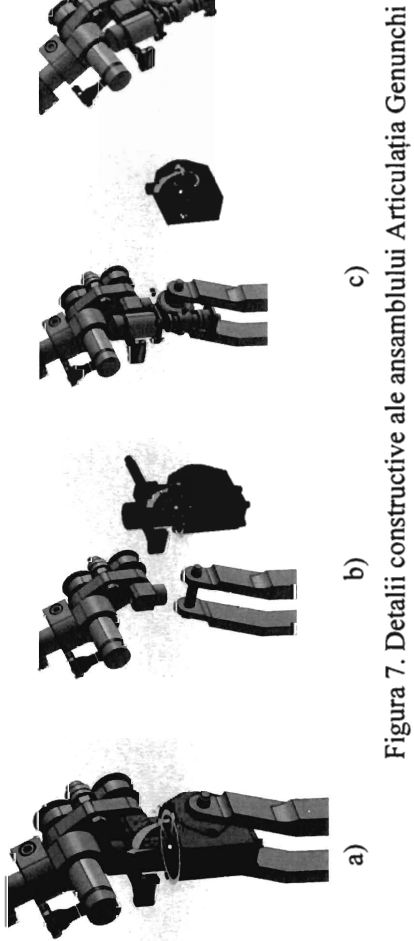


Figura 7. Detalii constructive ale ansamblului Articulația Genunchi

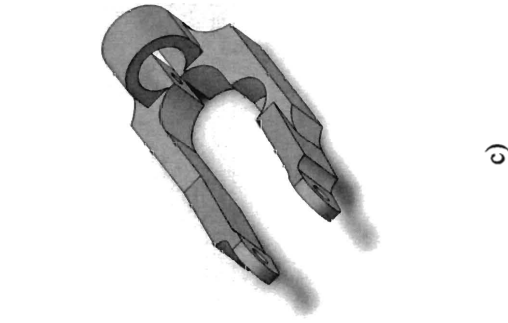
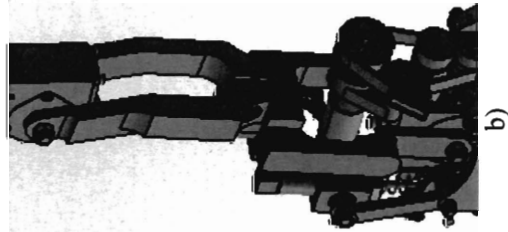
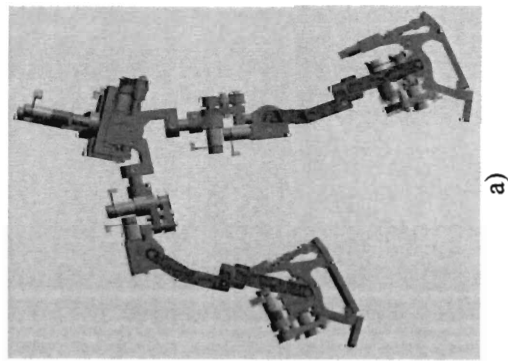
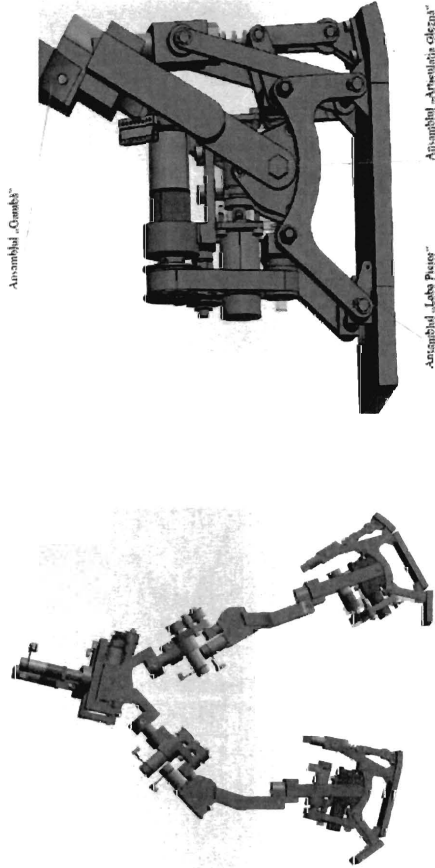


Figura 8. Ansamblul Gambă AM: a) localizare; b) vedere generală; c) furca superioară



a) b)
 Figura 9. Ansamblul Articulația Gleză AL: a) localizare; b) legături



Figura 10. Ansamblul Articulația Gleză AL

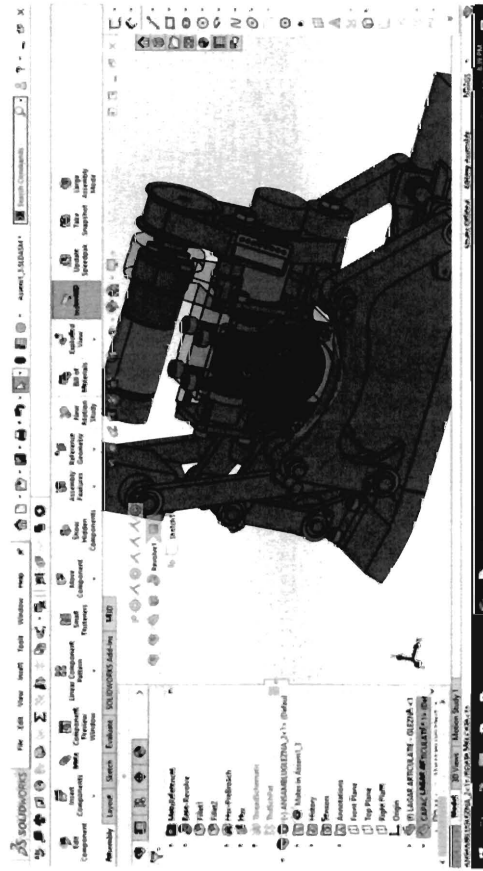


Figura 11. Detalii constructive 3D ale ansamblului Articulația Gleză AL în plan sagital

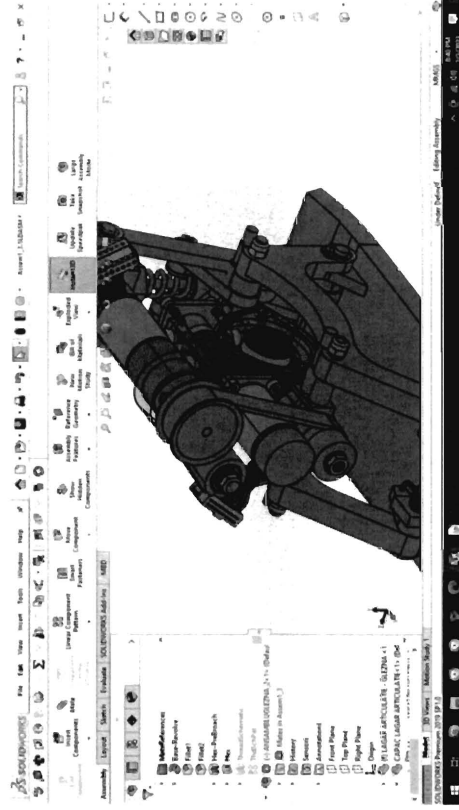


Figura 12. Detalii constructive 3D ale ansamblului Articulația Gleză AL în perspectivă

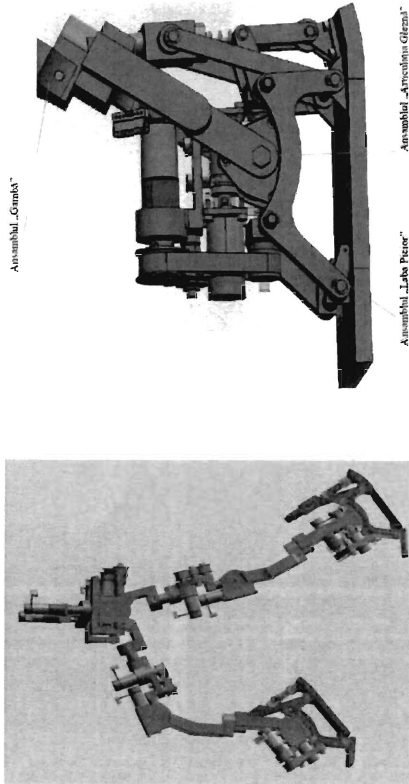


Figura 13. Ansamblul Labă Picioare LP: a) localizare; b) legăturile

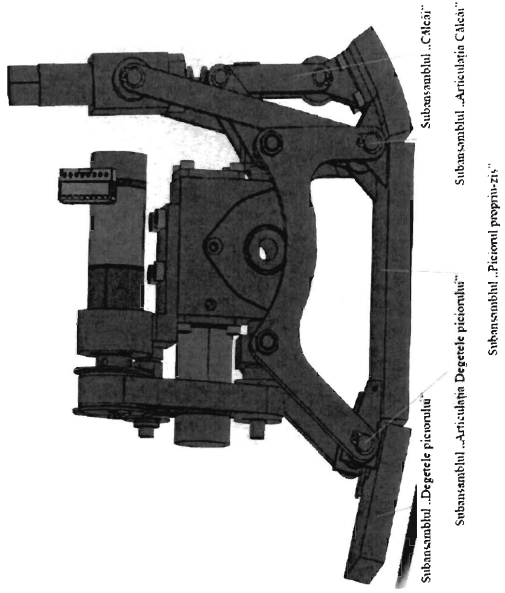


Figura 14. Subansamblele componente ale ansamblului Labă Picioare LP

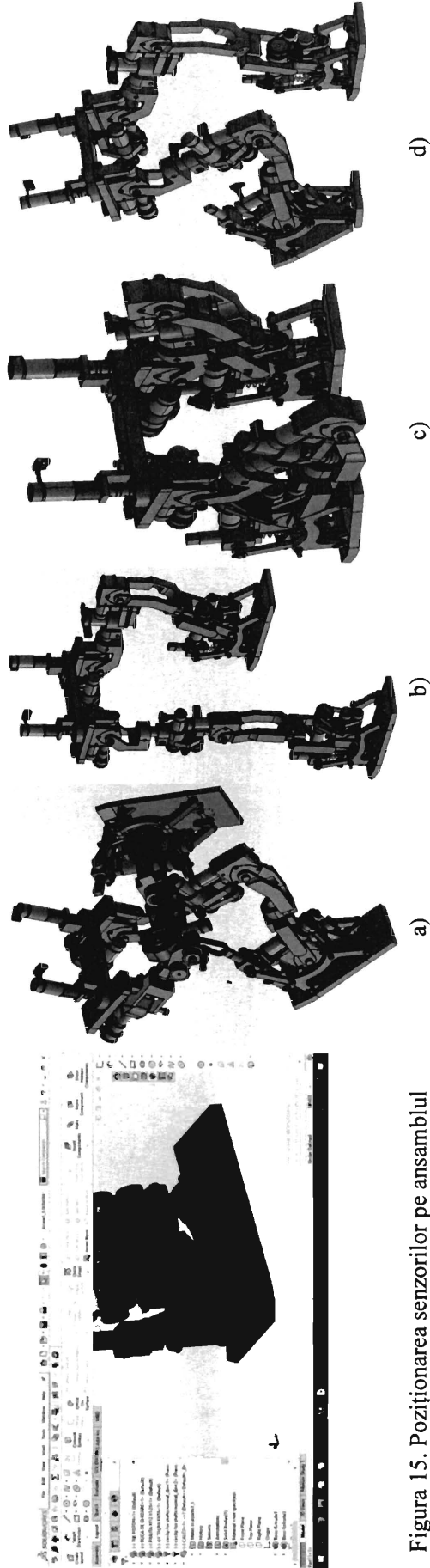


Figura 15. Poziționarea senzorilor pe ansamblul Labă Picioare LP

Figura 16. Posturi de poziționare dificile executate de robot