



Universitatea POLITEHNICA din București

Vlad C. GHEORGHIȚĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

**Cercetări privind optimizarea sistemelor mobile pentru
persoane cu dizabilități**

**Researches on the optimization of mobile systems for
disabled people**

*** Rezumatul tezei de doctorat ***

**Conducător științific,
Prof.univ.dr.ing. Cristian-Vasile DOICIN**

Cuprins

<i>Cuvânt înainte</i>	5/7
Introducere	6/8
<i>Partea I. Stadiul actual al cercetărilor privind dezvoltarea unor sisteme mobile pentru persoane cu dizabilități</i>	7/11
<i>Capitolul 1. Metodologii privind dezvoltarea unui produs nou</i>	7/11
1.1. Introducere	7/11
1.2. Modele ale procesului de dezvoltare a unui produs	7/12
1.2.1. Modelul lui Pahl și Beitz	7/12
1.2.2. Directivele VDI 2221	7/15
1.2.3. Modelul lui Ulrich și Eppinger	8/16
1.2.4. Modelul lui Cavalluci	8/17
1.2.5. Modelul lui Ullman	8/17
1.2.6. Modelul lui Cross	9/18
1.2.7. Procedura de dezvoltare de produs aplicată	9/20
<i>Capitolul 2. Dezvoltarea sistemelor mobile autonome</i>	9/23
2.1. Istoricul sistemelor mobile	9/23
2.2. Sisteme mobile pentru depășirea obstacolelor	10/26
2.3. Echipamente pentru depășirea continuă a obstacolelor	10/29
2.3.1. Echipamente cu mecanism planetar	10/29
2.3.2. Echipamente cu mecanism cu șenile	10/30
2.3.3. Echipamente cu grup de roți	10/31
2.4. Echipamente pentru depășirea intermitentă a obstacolelor	11/32
2.4.1. Sisteme mobile cu mecanism de tip picior	11/32
2.4.2. Sisteme mobile autonome combinate picior-roată	11/33
2.5. Echipamente pentru depășirea auxiliară a obstacolelor	11/34
2.6. Soluții de mobilitate existente	11/35
2.7. Brevete pentru sisteme de putere atașate sistemelor mobile	12/38
<i>Capitolul 3. Concluzii privind stadiul actual al cercetărilor referitoare la dezvoltarea unor sisteme mobile pentru persoane cu dizabilități</i>	12/40
<i>Partea a II - a. Contribuții privind optimizarea sistemelor mobile pentru persoane cu dizabilități</i>	14/43
<i>Capitolul 4. Direcțiile, obiectivul principal și metodologia de cercetare-dezvoltare a sistemului mobil pentru persoane cu dizabilități</i>	14/45
4.1. Obiectivul principal al activității de cercetare - dezvoltare	14/45

4.2. Direcții de cercetare - dezvoltare	14/45
4.3. Metodologia de cercetare - dezvoltare	14/46
<i>Capitolul 5. Contribuții privind optimizarea unui sistem de acționare atașabil unui scaun cu roțile manual</i>	<i>15/47</i>
5.1. Procesul și obiective de proiectare	15/47
5.2. Specificațiile produsului	15/48
5.3. Stabilirea funcțiilor produsului	15/50
5.4. Analiza impactului roții cu un obstacol fix	16/56
5.4.1. Modelarea geometrică a impactului cu un obstacol.....	19/56
5.4.2. Analiza variantelor de păstrare a poziției orizontale pe durata traversării obstacolului.....	19/58
5.4.2.1. Aplicație pentru analiza și sinteza mecanismelor cu 6 bare	19/58
5.4.2.2. Aplicație pentru analiza cinematică a mecanismelor cu 6 bare	20/64
5.4.3. Abordare matriceală pentru studiul modulelor produsului	21/73
5.5. Generarea conceptelor	21/76
5.6. Selectarea conceptelor	22/80
<i>Capitolul 6. Contribuții privind proiectarea constructivă a unui sistem de acționare atașabil unui scaun cu roțile manual.....</i>	<i>22/87</i>
6.1. Etapele proiectării constructive	23/87
6.2. Subansambluri achiziționate	23/88
6.2.1. Alegerea motorului	23/89
6.2.2. Calculul și dimensionarea transmisiei cu curele	23/90
6.3. Proiectare constructivă a unor componente din sistemul atașabil	24/91
6.4. Alegerea materialelor	24/96
6.5. Stabilirea formei indicelui de material	25/103
<i>Capitolul 7. Contribuții privind realizarea proiectării detaliate a unui sistem de acționare atașabil unui scaun cu roțile manual</i>	<i>25/112</i>
7.1. Optimizarea topologică a sistemului	25/112
7.2. Eco-audit și impactul sistemului asupra mediului înconjurător	27/117
7.3. Proiectarea detaliată a unor componente ale sistemului pentru un scaun cu roțile manual	27/122
7.4. Modelarea 3D a sistemului atașabil unui scaun cu roțile.....	29/128
7.5. Prototipare rapidă	31/130
<i>Capitolul 8. Concluzii finale, contribuții principale și direcții de dezvoltare viitoare.....</i>	<i>34/135</i>
Bibliografie	38/139

Cuvânt înainte

Teza de doctorat are drept scop principal optimizarea unui sistem mobil acționat manual, pentru persoane cu dizabilități, urmărind creșterea autonomiei, adăugarea unei funcții de depășire a unor obstacole de înălțime mică/medie și a uneia de păstrare a orizontalității bazei în timpul traversării obstacolelor, prin intermediul unui mecanism cu bare. Toate acestea s-au obținut în urma unui proces de cercetare - dezvoltare care a dus la realizarea unui sistem de acționare atașabil scaunului cu roțile manual pentru persoane cu dizabilități și la proiectarea unui de păstrare a orizontalității bazei.

Programul de doctorat a constat din pregătirea, prezentarea și susținerea examenelor și a rapoartelor științifice, aprofundarea studiului, analiza metodologiilor de dezvoltare a produselor noi și optimizarea unui sistem mobil autonom pentru transportul persoanelor cu dizabilități, transformând un scaun cu roțile manual într-un scaun acționat electric (având autonomie egală cu a scaunelor acționate electric, capabil să depășească obstacole și să-și păstreze orizontalitatea bazei, la un preț competitiv), realizarea și publicarea de lucrări științifice, precum și elaborarea prezentei teze de doctorat privind optimizarea sistemelor mobile pentru persoane cu dizabilități.

În primul rând, adresez profunde mulțumiri domnului Prof.univ.dr.ing. Cristian DOICIN, pentru îndrumarea științifică și coordonarea activității de parcurgere a programului de doctorat, deplina încredere și disponibilitatea totală acordate în acești ani. În mod deosebit, adresez mulțumiri tatălui meu, Cătălin GHEORGHITĂ, care m-a susținut și încurajat, acordându-mi sfaturi pentru aspectele practice a problematicei.

De asemenea, țin să îmi exprim recunoștința și aprecierea pe care le port față de cadrele didactice cu care am interacționat în mod constructiv, atât pe parcursul studiilor doctorale, cât și a celor de masterat și, implicit, licență. Acestora le mulțumesc pentru intervențiile constructive și pentru îndrumare, și îi asigur că sprijinul lor m-a ghidat într-o mare măsură în formarea carierei mele academice. Doresc în mod deosebit să îi mulțumesc familiei mele care m-a susținut, încurajat și totodată suportat pe parcursul întregii acestei perioade. Încrederea lor că pot atinge acest deziderat personal și profesional a reprezentat principalul meu sprijin în momentele dificile ale procesului de cercetare. Lucrând la publicarea acestei teze mi-am întrecut limitele, mi-am setat noi obiective profesionale și am descoperit atât sacrificiile, cât și mulțumiile pe care munca de cercetare le aduce cu sine.

La obținerea acestor rezultate am beneficiat de suportul conducătorului științific, precum și a profesorilor din comisiile de îndrumare a activității de doctorat. Adresez sincere mulțumiri domnilor Prof. dr. ing. Nicolae IONESCU, Prof. Univ. dr. ing. Marian GHEORGHE, Prof. univ. dr. ing. Tom SAVU de la Universitatea POLITEHNICA din București, pentru comentariile și recomandările constructive în cadrul comisiilor de evaluare a examenelor și rapoartelor științifice de doctorat, precum și tuturor profesorilor care m-au îndrumat și format profesional în cadrul departamentului TCM al Facultății de Inginerie Industrială și Robotică. Vreau să le prezint sincere mulțumiri tuturor membrilor comisiei de doctorat, atât pentru răbdarea cu care au analizat prezenta lucrare, cât și pentru sugestiile și observațiile constructive care vor reprezenta fundația viitoarelor mele proiecte academice.

Vlad Gheorghita

Introducere

Tema de cercetare aleasă tratează un subiect de actualitate, a cărui abordare a permis obținerea unei soluții inovatoare pentru o problemă des întâlnită la persoanele cu probleme locomotorii sau cu dizabilități care nu pot acționa manual, prin utilizarea ambelor brațe, un scaun cu roțile. În plus, abordarea a deschis calea unor cercetări ulterioare și va putea conduce în viitor la obținerea unor rezultate mai performante, în scopul rezolvării altor probleme practice ale persoanelor care se deplasează cu ajutorul cărucioarelor cu roțile.

* * *

Prima parte a tezei cuprinde 3 capitole și evidențiază stadiul actual al cercetărilor privind dezvoltarea unor sisteme mobile pentru persoane cu dizabilități. În capitolul 1, intitulat **METODOLOGII PRIVIND DEZVOLTAREA UNUI PRODUS NOU**, pe baza studiului critic al bibliografiei se analizează cercetările în domeniul dezvoltării de produse noi. În capitolul al 2-lea, intitulat **DEZVOLTAREA SISTEMELOR MOBILE AUTONOME**, se efectuează o analiză a aspectelor referitoare la scaunele rulante manuale sau electrice și modalitățile prin care acestea oferă soluții pentru depășirea unor obstacole apărute în calea scaunului cu roțile. Se prezintă evoluția scaunelor cu roțile, domeniile de aplicație ale acestora și tendințele viitoare de dezvoltare. Capitolul al 3-lea prezintă concluzii referitoare la stadiul actual al cercetărilor.

Partea a-II-a a tezei de doctorat cuprinde 5 capitole (4-8), după cum este prezentat în continuare.

Capitolul al 4-lea, care prezintă direcțiile de cercetare ale tezei de doctorat, cercetările proprii, contribuțiile originale aduse, rezultatele și interpretările acestora. Capitolul al 5-lea, denumit **CONTRIBUȚII PRIVIND OPTIMIZAREA UNUI SISTEM DE ACȚIONARE ATAȘABIL UNUI SCAUN CU ROTILE**, prezintă atât justificarea și actualitatea temei, enunțarea obiectivului principal și a celor secundare, cât și analize și dezvoltări în vederea realizării tezei de doctorat. În capitolul al 6-lea, intitulat **CONTRIBUȚII PRIVIND PROIECTAREA CONSTRUCTIVĂ A UNUI SISTEM DE ACȚIONARE ATAȘABIL UNUI SCAUN CU ROTILE MANUAL**, sunt prezentate etapele proiectării constructive a ansamblului, reperele care au fost fabricate și cele achiziționate, dar și simulări multiple realizate în mediul Matlab și Ansys cu scopul de a enunța aspectele pozitive sau negative rezultate din acest proces complex. Capitolul al 7-lea, denumit **CONTRIBUȚII PRIVIND REALIZAREA PROIECTĂRII DETALIATE A UNUI SISTEM ATAȘABIL**, îmbunătățește procesul de dezvoltare prin alegerea materialelor componentelor, realizarea modelelor 3D folosind aplicații software CAD dedicate, imprimarea 3D a acestora, analiza cu elemente finite și analiza impactului asupra mediului înconjurător. În capitolul al 8-lea, **CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PRINCIPALE LA DEZVOLTAREA SISTEMULUI AUTONOM**, sunt sintetizate observațiile care rezultă din cercetările efectuate, se evidențiază dezvoltările aduse de autor și se stabilesc direcțiile viitoare de cercetare.

În partea de final a tezei am reluat contribuțiile originale ale lucrării și am evidențiat concluziile generale ale fiecărui capitol, însă elaborând de această dată aspecte precum relevanța, complexitatea și actualitatea problematicii abordate. Bibliografia cuprinde lucrări din domeniul cercetării efectuate și este formată din 91 titluri. Sunt prezentate și lucrările autorului care tratează probleme legate de obiectivul tezei. Anexa cuprinde identificarea brevetelor din literatura de specialitate.

Capitolul 1. Metodologii privind procesul de dezvoltare a unui produs

1.1. Introducere

Metodologiile particulare folosite în dezvoltarea de proces sau produs au potențialul de a stimula obținerea de soluții creative și inventive la probleme, de a asigura luarea în considerare a fiecăruia dintre elementele necesare pentru realizarea unei dezvoltări de succes, de a se asigura că toate consecințele dezvoltării unui produs sau proces de-a lungul duratei sale de viață sunt luate în considerare [O1].

Într-o accepțiune mai largă, dezvoltarea de noi produse este descrisă drept transformarea unei oportunități de piață într-un produs disponibil spre vânzare [U3]. Un proces este o succesiune de etape care transformă un set de intrări într-un set de ieșiri [P1]. Procesul de dezvoltare a unui produs este descris de ansamblul activităților pe care o companie le parcurge pentru a concepe, proiecta și comercializa un produs nou. Procesul începe cu o etapă de planificare după care urmează componenta de cercetare și dezvoltare [U3]. Rezultatul final al procesului de dezvoltare este produsul, pregătit pentru a fi vândut.

Intrările procesului de dezvoltare sunt reprezentate de obiective, oportunități strategice, tehnologii disponibile, platforme de produs și sisteme de producție. Procesul se încheie atunci când toate informațiile necesare pentru a sprijini producția și vânzările au fost create și comunicate [U3].

1.2. Modele ale procesului de dezvoltare a unui produs

În literatura de specialitate sunt propuse mai multe modele ale procesului de dezvoltare a unui produs [C2, P1, U1, U2, V1]. Această diversitate se datorează aspectului multidimensional al procesului care face posibilă reprezentarea sub diferite forme. În cadrul metodologiilor existente, se regăsesc adesea trei etape importante: (1) definirea problemei, rezultate în urma analizării cerințelor impuse de către clienți; (2) proiectarea conceptuală, al cărei rezultat este propunerea unor concepte; (3) proiectarea detaliată, care oferă o descriere a conceptelor.

1.2.1. Modelul lui Pahl și Beitz

Conform abordării sistematice descrise de Pahl&Beitz [P2], scopul este de a pune în aplicare o metodologie pentru toate etapele dezvoltării sistemelor tehnice. Metoda, dezvoltată la începutul anilor 70, este bazată pe rezolvarea problemelor și a fost denumită SAPB (Systematic Approach to Engineering Design). Acest model derivă din directivele VDI (The Association of German Engineers) și este reprezentativ pentru școala europeană de concepție, dar totodată cu nivelul de acceptare cel mai ridicat la nivel european.

1.2.2. Directivele VDI 2221

Directivele VDI 2221, propuse de către Societatea Inginerilor Germani, sugerează o abordare sistematică în care procesul de concepție este împărțit în 7 etape. Aceste directive descriu toate etapele care trebuie urmate pe parcursul procesului de concepție, dar nu indică ce mijloace pot fi utilizate pentru luarea deciziilor. Directiva VDI 2222 definește o abordare individuală și metode pentru proiectarea conceptuală de produse tehnice și de aceea este potrivită pentru dezvoltarea de noi produse. Această Directivă propune o abordare generică a proiectării sistemelor tehnice și a

produselor, punând accentul pe aplicabilitatea generală a abordării în domeniile mecanică, mecanică fină, control, software și ingineria de proces [V1].

1.2.3. Modelul lui Ulrich și Eppinger

Karl Ulrich și Steven Eppinger descriu procesul de dezvoltare ca fiind o succesiune de șase etape (Fig. 1.5). Această evoluție a produsului corespunde cu o evoluție în paralel a definirii procesului de producție. Fiecare etapă corespunde cu realizarea unor activități stabilite în prealabil de către membrii echipei de dezvoltare [U3].



Fig. 1.5. Procesul de dezvoltare în viziunea lui Ulrich și Eppinger [U3]

1.2.4. Modelul lui Cavalluci

În teza sa de doctorat „Contribuții la elaborarea unei strategii de integrare metodologică”, Denis Cavalluci consideră procesul de concepție ca fiind o succesiune de 4 etape, precum este descris în Fig. 1.6.

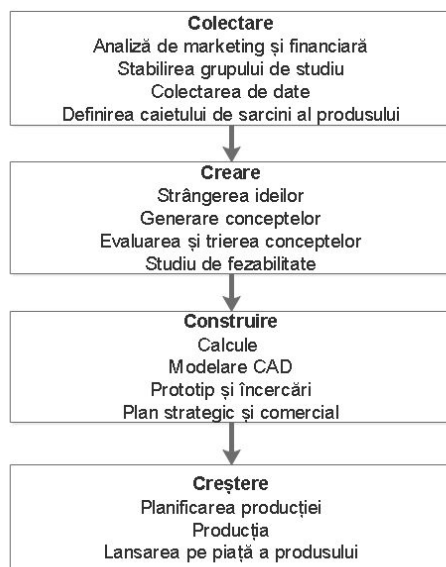


Fig. 1.6. Procesul de dezvoltare în viziunea lui Cavalluci [D3]

1.2.5. Modelul lui Ullman

Un proces de proiectare se aplică în cazul sistemelor, subsistemelor, ansamblurilor și componentelor. Este folosit pentru produse noi, inovatoare și pentru modificările aduse unor produse existente. Chiar dacă un produs este dezvoltat sau doar modificat, există etape care trebuie să fie parcurse pentru toate proiectele. Fazele ciclului de viață al unui produs care prezintă interes pentru proiectant trebuie să fie îmbunătățite. Pentru fiecare fază, există o serie de activități care trebuie îndeplinite. Modelul procesului de concepție propus de David Ullman este compus din 5 etape. Fiecare dintre aceste etape implică realizarea unor sarcini, iar reușita realizării uneia este aprobată printr-o analiză a concepției [U1].

1.2.6. Modelul lui Cross

Există o gamă largă de metode de proiectare raționale, care să acopere toate aspectele procesului de proiectare de la clarificarea problemei la detalii de proiectare. Setul selectat este detaliat în continuare, cu etapele din procesul de proiectare și metodele relevante pentru aceste etape [C2].

1.2.7. Procedura de dezvoltare de produs aplicată

În urma analizei tuturor metodelor anterioare, se constată că profesorii Ulrich și Eppinger propun o metodologie ale cărei etape le include pe toate celelalte, drept pentru care a fost selectată a fi utilizată în cadrul demersului doctoral.

Etapă de proiectare conceptuală a procesului de dezvoltare cere o coordonare mai bună între funcțiile produsului. Rareori întregul proces decurge secvențial, adică completarea unei activități și apoi începerea următoarei. În practică, activitățile pot fi suprapuse și repetarea lor este adesea necesară. În aproape orice etapă, informații noi pot deveni disponibile și pot determina un pas înapoi pentru a repeta o activitate trecută.

Procesul de dezvoltare conceptuală include activitățile prezentate în Fig. 1.9:

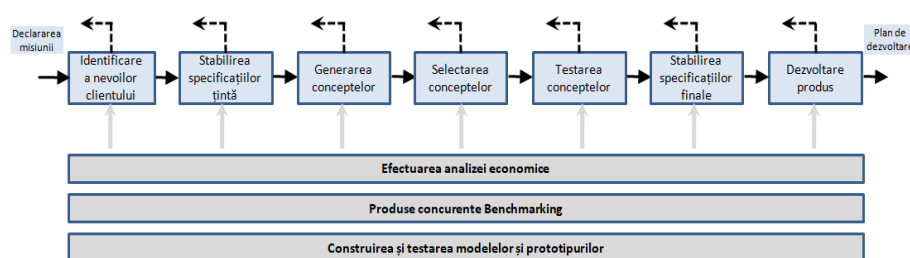


Fig. 1.9. Activitățile etapei de dezvoltare a conceptului [U3]

Capitolul 2. Dezvoltarea sistemelor mobile autonome

2.1. Istoricul sistemelor mobile

Scaunele cu roțile au evoluat foarte puțin în ultimii 1000 de ani. Cele mai multe dintre modificările de proiectare au apărut în ultimele decenii. Primul scaun cu roțile este cunoscut ca fiind conceput pentru asigurarea mobilității și a fost numit „scaun de invalid” (Fig. 2.1.b). Acesta a fost inventat în 1595, special pentru regele Filip al II-lea al Spaniei. Scaunul avea roți mici atașate la capătul picioarelor unui scaun normal și includea o platformă pentru picioare și un spătar reglabil. Nu a putut fi însă autopropulsat, pentru deplasare fiind necesar ajutorul altei persoane.



Fig. 2.1.a Primele scaune cu roțile [W9]



Fig. 2.1.b Scaun pentru Filip al II-lea [W9]

Există două tipuri de scaune cu roțile, acestea fiind diferențiate în funcție de modul de acționare utilizat pentru deplasare [A1]:

- scaun cu roțile acționat manual;
- scaun cu roțile acționat electric.

2.2. Sisteme mobile pentru depășirea obstacolelor

Scaunul cu roțile care funcționează cu ajutorul motorului electric necesită comenzi de navigație, precum un joystick montat pe cotieră, aceasta fiind de obicei cea mai folosită comandă. Pe de altă parte, pentru utilizatorii care nu pot gestiona un joystick manual pot fi folosite switch-uri pentru cap, joystick-uri operate cu bărbia sau alte mijloace de control specialitate care permit funcționarea independentă a scaunului cu roțile. Scaunele cu roțile motorizate sunt utile pentru cei care nu îl pot propulsa manual sau care au nevoie de deplasare pe o distanță lungă, fapt ce creează dificultăți în cazul operării manuale.

2.3. Echipamente pentru depășirea continuă a obstacolelor

Principala proprietate a echipamentelor pentru depășirea continuă a obstacolelor este că au un singur set de dispozitive asistive prin care scaunul realizează o mișcare continuă. Conform mecanismelor de mișcare există două categorii: echipament cu mecanism planetar și echipament cu mecanism cu șenile.

2.3.1. Echipamente cu mecanism planetar

Mecanismul planetar este format din roți mici care sunt distribuite în mod egal pe un element de legătură de formă „Y” sau „+”. Roțile mici se pot roti în jurul axelor proprii, dar pot realiza și o mișcare de revoluție în jurul arborelui principal. Fiecare roată mică se rotește în jurul propriei axe când scaunul se mișcă pe sol, iar fiecare roată mică se rotește în jurul axei centrale când scaunul urcă sau coboară scări. Acest tip de echipament poate evita supraîncărcarea și se poate deplasa fluent, însă are o autonomie redusă.

2.3.2. Echipamente cu mecanism cu șenile

Analizând comparativ echipamentele cu mecanism planetar cu cele cu mecanism cu șenile, cele din urmă folosesc un mod de mișcare continuu și au o eficiență de transmitere a mișcării ridicată. Mișcarea centrului de greutate al scaunului cu mecanism cu șenile se realizează întotdeauna paralel cu linia de legătură a muchiilor obstacolelor, când scaunul urcă și coboară. Scaunele funcționează lin, însă există și dezavantaje destul de mari și anume rezistența mare alături de lipsa de flexibilitate atunci când se mișcă pe sol. O presiune mare va fi exercitată pe muchiile scărilor în momentul în care mecanismul cu șenile le accesează, fapt ce ar putea conduce la deteriorarea acestora. Datorită fiabilității sale, mecanismul cu șenile este folosit mai des în urcarea scărilor.

2.3.3. Echipamente cu grup de roți

Dintre caracteristicile unui scaun cu grup de roți pentru urcat obstacole putem enumera: abilitatea de a depăși obstacole; potrivirea cu toate tipurile de scări; funcționarea similară cu cea a scaunelor cu roțile electrice; masă scăzută; nevoia de asistență a unei persoane pentru deplasare; asigurarea unui nivel de confort mai redus pentru utilizatori în momentul realizării unei mișcări orbitale precum urcatul scărilor.

2.4. Echipamente pentru depășirea intermitentă a obstacolelor

Principala caracteristică a scaunelor pentru depășire intermitentă a obstacolelor este prezența a două dispozitive suport, unul cu rol de ridicare și altul cu rol de susținere. Ambele dispozitive asistive sunt utilizate pentru funcția de urcare și coborâre a scărilor. Primele scaune cu roțile au folosit această metodă, la fel ca primul scaun care urcă scări dezvoltat în 1892. Aceste scaune funcționează intermitent pentru îndeplinirea funcției lor, au o eficiență de transmisie scăzută și au unele dificultăți în păstrarea echilibrului.

2.4.1. Sisteme mobile cu mecanism de tip picior

Institutul de Tehnologie din Tokyo a început cercetările pe un echipament pășitor cu patru picioare încă din anii 1970, care au condus la realizarea seriilor TITAN, sisteme tipice de accesat obstacole și care au fost dezvoltate în mod succesiv.

2.4.2. Sisteme mobile autonome combinate picior-roată

Bazat pe caracteristicile unui sistem mobil, pe simplitatea mecanismului și eficiența mișcării tip roată și tip șenile, pe adaptabilitatea la diferite suprafețe și compactarea construcției, multe sisteme combinate au fost dezvoltate pentru a îmbunătăți performanța de locomoție [G1]. Sistemele cu șenile au multe aspecte negative precum deteriorarea marginilor scărilor sau pericolul alunecării, iar sistemele cu picioare nu oferă îmbunătățiri în domeniul siguranței și fiabilității când sunt accesate scările.

Utilizând mecanisme de tip roată sau de tip picior în cadrul sistemelor mobile se elimină multe puncte negative.

2.5. Echipamente auxiliare pentru depășirea obstacolelor

Acest tip de echipament se bazează, pentru a realiza funcția de accesat obstacole, pe un dispozitiv asistiv, precum accesorii ale scaunelor cu roțile sau un lift-scară. Accesoriile scaunelor cu roțile se sprijină pe un alt dispozitiv montat pe scaun și necesită un asistent pentru a ajuta la realizarea funcției de depășire a obstacolelor.

2.6. Soluții de mobilitate existente

Datorită diferitelor specificații de proiectare, scaunele cu roțile pot fi clasificate în 4 categorii. Fiecare din aceste tipuri de scaune cu roțile este specializat fie pentru medii interne, fie pentru medii externe. Scaunul cu roțile cu autopropulsie este specializat pentru mediul intern, iar soluția de mobilitate tip scuter este specializată pentru mediul extern. Tabelul următor prezintă avantajele comparative ale diferitelor tipuri de scaune.

Tabel 2.2. Comparații între diferite tipuri de scaune cu roțile și caracteristicile lor [L2]

Model	Scaun cu roțile de interior 	Scaun cu roțile electric a) 	Scaun cu roțile electric b) 	Scuter 	Sistem de atașare a puterii 
Dimensiune	4	2	2	1	4
Masă	4	1	1	2	3

Rază întoarcere	4	2	3	1	4
Stabilitate	2	3	3	4	2
Domeniul de viteză	1	3	3	4	3
Preț	4	1	1	1	1

unde: 1 = slab, 2 = mediu, 3 = bun, 4 = excelent

În concluzie, nu există o configurație ideală care să maximizeze simultan stabilitatea, manevrabilitatea și controlul. Fiecare aplicație de sistem mobil impune constrângeri unice cu privire la problema de proiectare, iar sarcina proiectantului este de a alege cea mai potrivită configurație posibilă din acest spațiu de compromisuri.

2.7. Brevete pentru sisteme de putere atașate sistemelor mobile

Brevetele sunt o sursă bogată și ușor de obținut de informații tehnice detaliate care conțin desene și explicații privind multe produse. Principalul dezavantaj al unui brevet este faptul că protejarea se întinde pe o perioadă limitată de la depunerea cererii de brevet, astfel încât este posibil să existe o redevență implicată în utilizarea lui. Cu toate acestea, brevetele sunt utile pentru a vedea ce concepte sunt deja protejate și care trebuie să fie evitate sau licențiate. Conceptele conținute în brevete străine, fără acoperire la nivel mondial și în brevetele expirate pot fi utilizate fără plata drepturilor de autor. Căutările de brevete au fost efectuate pentru a stabili problemele cheie ale sistemului care au condus la rezolvarea problemei [P1] și sunt prezentate în Anexă. Influențele externe ale soluțiilor de mobilitate similare ajută la dezvoltarea produsului.

Observațiile generale sunt că sistemele de furnizare ale puterii pot fi reprezentate de:

- un sistem atașabil pe roțile din față (Nr. 3912032);
- unitate de antrenare prin frecare plasată pe roțile din spate (Nr. WO2017131292A1);
- un sistem plasat în spatele scaunului cu roțile (Nr. 1136052).

Capitolul 3. Concluzii privind stadiul actual al cercetărilor referitoare la dezvoltarea unor sisteme mobile pentru persoane cu dizabilități

Din analiza stadiului actual al cercetării - dezvoltării unor sisteme mobile pentru persoane cu dizabilități, se desprind următoarele:

- Vor exista întotdeauna mai multe modalități de rezolvare a problemelor și o soluție a unei probleme va reprezenta un optim local (v. § 1.1).
- Metodologia pentru o problemă de proiectare trebuie să țină seama de nevoile și cerințele utilizatorului și de nevoia soluționată prin dezvoltarea produsului (v. § 1.1).
- Un proces este o succesiune de etape care transformă un set de intrări într-un set de ieșiri (v. § 1.1).

- Sunt propuse mai multe modele ale procesului de dezvoltare a unui produs. În cadrul metodologiilor existente, se regăsesc trei etape importante: definirea problemei rezultate în urma analizării cerințelor impuse de către clienți, proiectarea conceptuală, al cărei rezultat este propunerea unor concepte și proiectarea detaliată, care oferă o descriere a conceptului (v. § 1.2).
- În urma analizării literaturii de specialitate în domeniul metodologiilor de dezvoltare a unui produs deja existent sau al proiectării unui produs nou, s-au stabilit etapele și activitățile care vor fi parcurse cu scopul dezvoltării unui sistem mobil autonom pentru transportul persoanelor cu dizabilități, transformând un scaun cu roțile manual într-un scaun acționat electric.
- Metodologia care va fi folosită pentru dezvoltarea produsului presupune parcurgerea următoarelor etape: planificare, dezvoltarea conceptului, proiectare la nivel de sistem, proiectare detaliată, testare și îmbunătățire, producția zero (v. § 1.2.7).
- Procesul de dezvoltare conceptuală include activitățile: identificarea nevoilor clienților, stabilirea specificațiilor-țintă, generarea conceptului, selectarea conceptului, testarea conceptului, stabilirea specificațiilor finale, planificarea proiectului, analiza economică, benchmarking al produselor concurente, modelare și prototipare (v. § 1.2.7).
- Pentru realizarea obiectivelor de proiectare trebuie să fie detaliate și clarificate cerințele utilizatorilor: siguranță în utilizare, risc scăzut la greșelile utilizatorului, fiabilitate, ușurință în utilizare, robustețe, rezistență la solicitări mecanice externe, ușurință la montare și demontare, reducerea dimensiunilor, utilizarea elementelor standardizate.
- Din punct de vedere constructiv, scaunele cu roțile au evoluat foarte puțin în ultimii 1000 de ani, cele mai multe dintre modificările de proiectare au apărut în ultimele decenii. Rezultatul a fost un produs mai puțin voluminos, însă nu ușor de transportat (v. § 2.1).
- Scaunele cu roțile electrice nu permit utilizarea propulsiei manuale (v. § 2.6).
- Scaunele cu roțile disponibile cu sursă de energie proprie oferă asistență, folosind combinații între următoarele funcții: evitarea obstacolelor și coliziunii, manevrarea în locuri înguste, navigarea prin urmărirea unui drum și a unor repere. Aceste produse nu sunt însă accesibile tuturor din cauza prețului ridicat (v. § 2.6).
- Scaunele cu roțile folosesc diferite căi pentru a transmite puterea (v. § 2.7).
- Nu există o configurație ideală care să maximizeze simultan stabilitatea, manevrabilitatea și controlul.
- Un principiu cheie de proiectare care rezultă din luarea în considerare a îndeplinirii tuturor obiectivelor stabilite este creșterea mobilității utilizatorilor scaunelor cu roțile.

Capitolul 4. Direcțiile, obiectivul principal și metodologia de cercetare-dezvoltare a sistemului mobil pentru persoane cu dizabilități

4.1. Obiectivul principal al activității de cercetare - dezvoltare

Pe baza analizei bibliografice critice asupra cercetărilor privind îmbunătățirea performanțelor sistemelor mobile autonome, prin prezentarea stadiului actual privind utilizarea sistemelor mobile autonome, prin clasificarea acestora în funcție de diferite criterii și prin analiza modelelor brevetate, se determină ca obiectiv principal al activității de doctorat: optimizarea unui sistem mobil autonom prin dezvoltarea unui modul atașabil acestuia, care să ofere funcții noi: mobilitate și stabilitate sporite, capacitate de a depăși obstacole de înălțime mică și de a păstra orizontalitatea bazei.

4.2. Direcții de cercetare - dezvoltare

Din analiza stadiului actual, se stabilesc următoarele direcții de cercetare - dezvoltare privind optimizarea unui scaun cu roțile manual prin dezvoltarea unui modul atașabil acestuia, care să-i confere funcții suplimentare:

- Generarea unui set cât mai larg de concepte pentru îndeplinirea specificațiilor sistemului mobil;
- Dezvoltarea unor variante constructive care să permită depășirea de către un sistem mobil a obstacolelor întâlnite în timpul deplasării;
- Modelarea 3D/simularea unor mecanisme adaptabile sistemului mobil care să conducă la creșterea mobilității și a capacității de a depăși obstacole de înălțime mică;
- Proiectarea detaliată a tuturor componentelor sistemelor anterior modelate, atașabile în funcție de amplasarea pe scaunul cu roțile;
- Utilizarea unui sistem de comandă adaptabil unui scaun cu roțile manual standard;
- Optimizarea topologică a unor componente din cadrul sistemului mobil;
- Realizarea componentelor proiectate prin prototipare rapidă și testarea produsului;
- Realizarea unor analize și optimizări pentru minimizarea impactului pe care produsul îl are asupra mediului înconjurător (inclusiv prin utilizarea unei cantități cât mai mici de material);
- Validarea rezultatelor simulării prin metode analitice implementate numeric în programe software precum Matlab, LabVIEW și Ansys.

4.3. Metodologia de cercetare - dezvoltare

Metodologia de cercetare - dezvoltare este concepută ca succesiune logică a etapelor pentru acțiunile care vor fi parcurse pentru a realiza obiectivul principal al activității de doctorat, precum și pentru eventualele dezvoltări viitoare. Se dorește asigurarea unei gândiri deschise pentru o căutare cât mai largă posibilă a soluțiilor și pentru a evita erorile prin generarea conceptelor pentru sistemul dezvoltat.

Elementele de referință metodologice sunt după cum urmează:

- (1) Definirea obiectivului general, a sub-obiectivelor și a importanței acestora, asigurându-se motivația și instrumentele pentru a rezolva tema;

- (2) Analiza sistematică a sistemelor mobile, cu sau fără acționare suplimentară electrică;
- (3) Clarificarea condițiilor limită de funcționare, stabilirea listei de cerințe, a specificațiilor și a funcțiilor produsului dezvoltat, ca modul atașabil unui sistem mobil acționat manual;
- (4) Proiectarea conceptuală a produsului;
- (5) Modelarea/simularea funcționării produsului;
- (6) Proiectarea detaliată a variantei alese;
- (7) Fabricarea unor componente ale sistemului dezvoltat;
- (8) Testarea sistemului.

Capitolul 5. Contribuții privind optimizarea unui sistem de acționare atașabil unui scaun cu roțile manual

5.1. Procesul și obiectivele de proiectare

Procesul de proiectare presupune o abordare sistematică, pe care proiectanții o pot urma, indiferent de specialitatea lor. În acest proces se avansează de la calitativ la cantitativ, fiecare etapă fiind mult mai concretă decât cea anterioară [P4]. Definirea problemelor esențiale într-o formă cât mai abstractă, pentru fixarea obiectivelor și constrângerilor principale, permite găsirea soluțiilor, deoarece o formulare abstractă încurajează o cercetare mai amănunțită a soluțiilor neconvenționale.

Metodologia de proiectare utilizată încearcă să restrângă opțiunile, pornind de la un domeniu de probleme inițial mare, reprezentat de soluții și nevoi neclare de utilizare, economice și de mediu.

Pe măsură ce sunt obținute mai multe informații, procesul de proiectare începe să se restrângă și se filtrează informații pentru a ghida proiectul către o soluție finală.

Obiectivul central în cadrul proiectării oricărui dispozitiv de asistență pentru mobilitate trebuie să fie siguranța. Ușurința de manevrare este esențială pentru utilizator cu deficiențe de mobilitate, persoane cu handicap sau vârstnice și va fi punctul central în ceea ce privește acceptabilitatea soluției finale. Funcționarea în zone fără bariere trebuie să fie asemănătoare cu cea a unui scaun standard cu roțile acționat electric.

Următorul obiectiv este reprezentat de realizarea unui mecanism care nu depășește dimensiunile fizice ale produselor existente. Acest deziderat este atins în cadrul proiectării constructive, iar unele dimensiuni exagerate ale prototipului se pot datora utilizării componentelor mecanice care nu sunt disponibile la o scară corespunzătoare.

Alt obiectiv este o structură bazată pe utilizarea unor componente de dimensiuni reduse. Acest lucru poate fi realizat datorită disponibilității unei game de dispozitive de acționare liniară de dimensiuni mici, scopul fiind să nu aducă un aport suplimentar masei inițiale a produsului. În practică, adăugarea oricărei funcții va conduce la creșterea masei.

5.2. Specificațiile produsului

Pentru a asigura un avantaj din punct de vedere funcțional și tehnic al produsului, caracteristicile acestuia se stabilesc pe baza analizei produselor concurente [H2]. Proiectarea conceptuală se bazează pe specificațiile stabilite pentru scaunul cu roțile, caracteristicile principale fiind prezentate în continuare. Cele mai multe dintre acestea au fost stabilite în urma unor discuții cu persoane care utilizează frecvent asemenea sisteme mobile și cu medici de specialitate. Unele dintre caracteristici au fost indicate de autor, pe baza analizei produselor existente.

5.3. Stabilirea funcțiilor produsului

Un sistem tehnic poate fi inițial modelat ca o „cutie neagră” [P1] cu intrări de energie, material, semnal și ieșiri din sistem. De regulă, la modelarea cutiei negre, energia este reprezentată cu o linie subțire, fluxurile de materiale cu o linie groasă și fluxurile de control și semnalele de feedback în cadrul sistemului cu o linie punctată. Sistemul tehnic presupune, prin urmare, o relație funcțională între intrări și ieșiri.

În Fig. 5.2. este prezentată cutia neagră pentru produsul care urmează a fi dezvoltat.

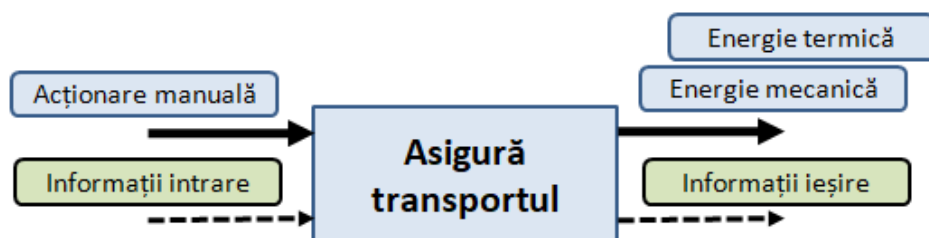


Fig. 5.2. Cutia neagră pentru un sistem mobil pentru transportul persoanelor cu dizabilități

Un produs este un ansamblu de elemente componente.

Descompunerea funcțională este tehnica care identifică funcțiile critice pentru produs și atributele care descriu funcțiile cu fluxurile de intrare și ieșire definite ca material, informație și energie [P1].

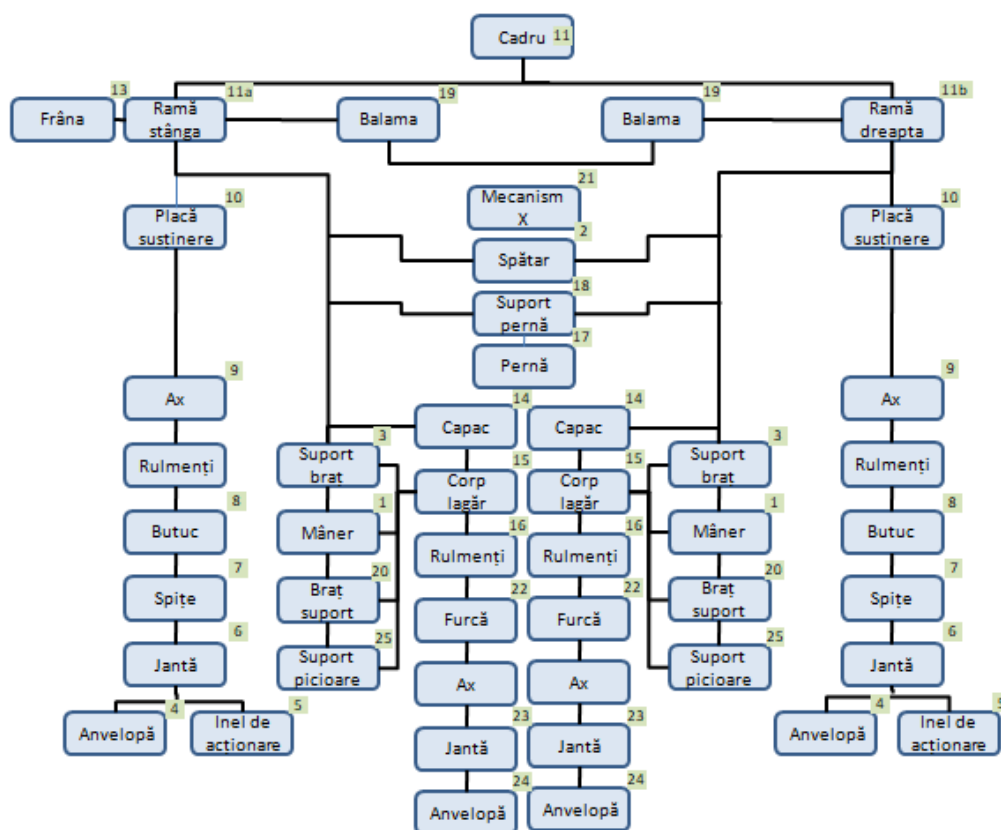


Fig. 5.3 b.

Componentele unui scaun cu roțile manual

O analiză funcțională completă presupune [U1]: identificarea componentelor produsului și a funcțiilor acestora; descrierea interacțiunii funcționale a componentelor cu fiecare din celelalte; clarificarea celei mai bune soluții pentru satisfacerea nevoilor clienților prin descrierea cerințelor funcționale ale componentei; folosirea descrierilor funcționale pentru generarea și selectarea seturilor de componente tehnologice care satisfac cerințele funcționale de bază.

Pentru identificarea funcțiilor se parcurg următoarele etape [P1]:

- exprimarea funcțiilor în mod intuitiv;
- identificarea funcțiilor prin analiza relației produsului cu mediul;
- identificarea funcțiilor pe baza studiului elementelor componente ale unui produs de referință;
- identificarea restricțiilor pe baza analizei normelor în vigoare.

În urma analizei funcționale efectuate asupra elementelor scaunelor cu roțile acționate manual din punct de vedere al funcțiilor și interacțiunilor, au fost determinate componentele scaunului cu roțile, funcțiile și interacțiunile dintre acestea, s-a identificat ce componente realizează fiecare funcție în parte și s-a detaliat modul de îndeplinire a nevoilor clienților prin descrierea produsului sau componentei.

Modelul „cutie neagră” al sistemelor existente care urmează să fie reproiectate descompune sistemul existent în subsisteme, care apoi sunt transpuse în subfuncții. Combinația subfuncțiilor reprezintă o soluție care realizează funcția generală dorită.

Următoarea etapă în descompunerea funcțională este de a diviza fluxurile din cutia neagră în funcții secundare pentru o descriere mai exactă a funcției generale a produsului, cea de a asigura transportul. Fiecare subfuncție poate fi împărțită în continuare în subfuncții mai simple. Pentru un sistem mobil, funcțiile sale pot fi definite conform Fig. 5.5.

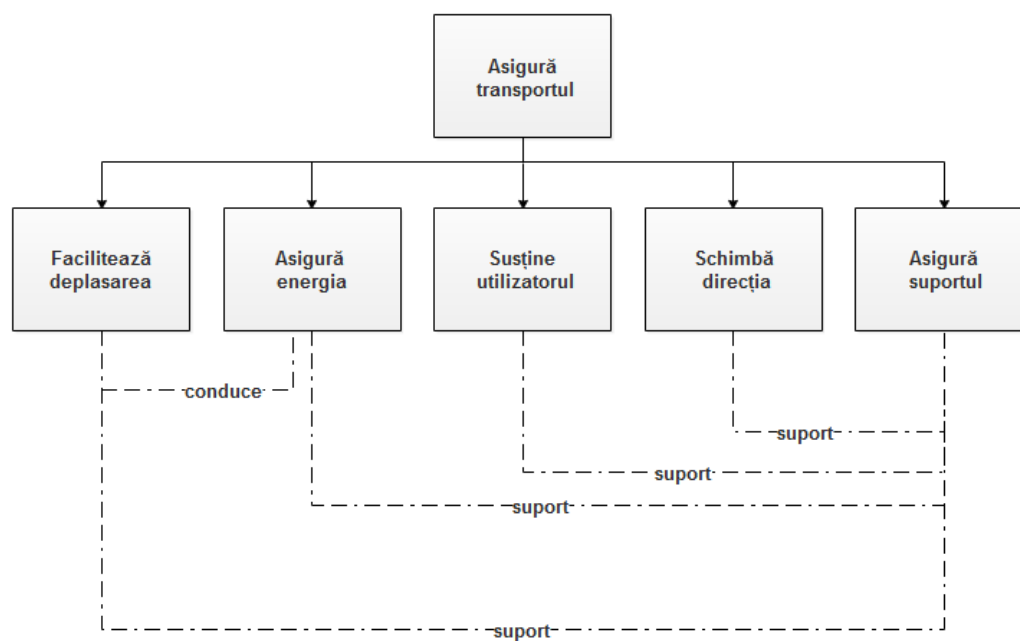


Fig. 5.5. Funcțiile sistemului mobil autonom

Rezultatul final este o diagramă care conține funcția și subfuncțiile legate de fluxul de materiale, energie și semnal. Obiectivul este de a descrie elementele funcționale ale produsului fără a presupune un principiu de lucru tehnologic specific pentru conceptul de produs [P1].

Descompunerea nevoilor se folosește pentru produsele în care forma este problema principală, nu principiile de lucru sau tehnologia [P1]. După ce problema este complet descompusă, vor fi identificate subproblemele care sunt critice pentru succesul produsului și care sunt cele susceptibile de a beneficia de noi soluții conform Fig. 5.6.

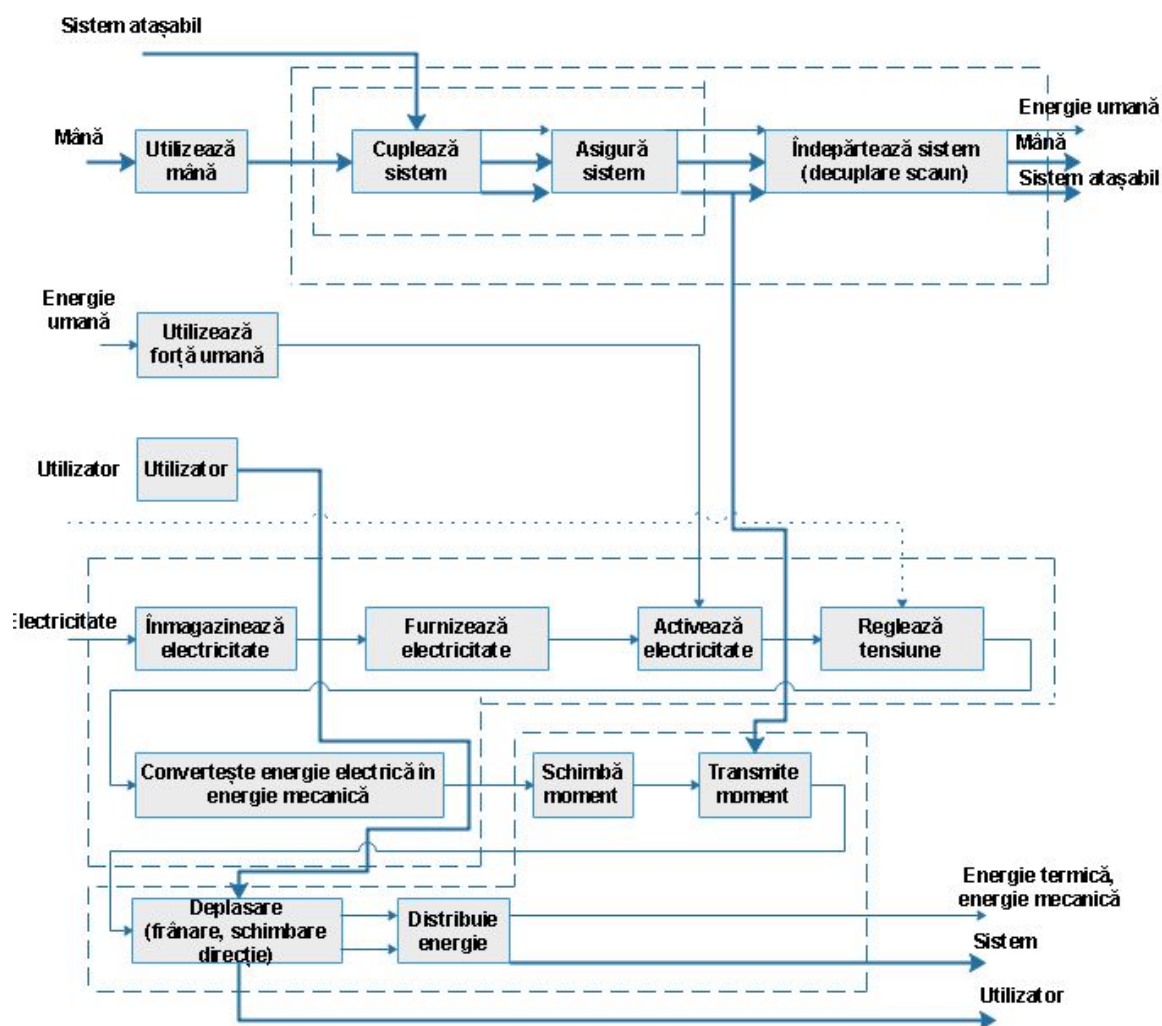


Fig. 5.6. Structura funcțională a sistemului atașabil [G10]

În urma analizei schemei prezentate în Fig. 5.6 rezultă că soluția constructivă optimă care poate îndeplini caracteristicile de optimizare asumate (creșterea mobilității, depășirea unor obstacole și păstrarea orizontalității platformei pe întregul parcurs) este a unui sistem atașabil scaunului cu roțile obișnuit, care să aducă autonomie sporită datorită acționării electrice, păstrând masa redusă și posibilitatea de pliere - caracteristici scaunelor acționate manual. În continuare, procesul de dezvoltare se va concentra pe realizarea acestui produs nou atașabil unui scaun cu roțile standard.

5.4. Analiza impactului roții cu un obstacol fix

5.4.1. Modelarea geometrică a impactului cu un obstacol

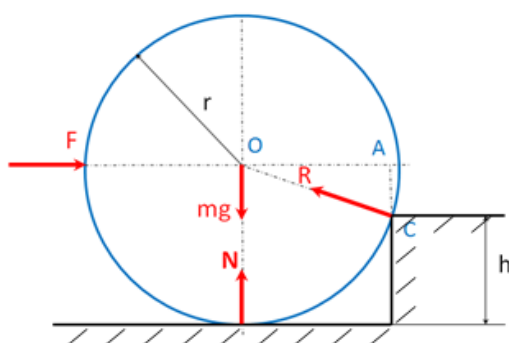
Mișcarea roții la depășirea unui obstacol poate fi împărțită în două componente, exemplificate în Fig. 5.7: impactul în punctul C de contact cu obstacolul și trecerea, apoi, peste obstacolul întâlnit. Când contactul are loc în punctul C, roata pivotează peste obstacol în acel punct și frecarea F dintre roată și sol dispare. În timpul și imediat după impact, o forță de impuls necunoscută R acționează asupra roții pe o perioadă scurtă de timp $\Delta t \cong 0$.

Când roata e pe punctul de a pivota în jurul obstacolului, momentul net este 0, astfel încât forța minimă necesar să fie aplicată pentru a ridica roata pe obstacol este dată de relația:

$$F = m \cdot g \cdot \left(\frac{\sqrt{2 \cdot r \cdot h - h^2}}{r - h} \right) \text{ [N]} \quad (5.1)$$

$$\tau_w = m \cdot g \cdot \sqrt{2 \cdot r \cdot h - h^2}$$

$$\tau_F = -F \cdot (r - h)$$



unde:

m = masa [kg];

g = accelerație gravitațională [m/s^2];

r = rază roată [m];

h = înălțime obstacol [m];

τ_w = moment determinat de greutate [$\text{N} \cdot \text{m}$];

F = forța necesară depășirii obstacolului [N];

τ_F = moment determinat de forța aplicată [$\text{N} \cdot \text{m}$].

Fig. 5.7. Schema solicitării la impact

5.4.2. Analiza variantelor de păstrare a poziției orizontale pe durata traversării obstacolului

5.4.2.1. Aplicație pentru analiza și sinteza mecanismelor cu 6 bare

Scaunul cu roțile poate avea mai multe module: de ridicare la nivelul altei persoane și de control al direcției. Unul dintre obiectivele de proiectare pentru ca produsul scaun cu roțile să devină modular este acela de a realiza funcția de menținere a orizontalității utilizatorului, astfel încât s-au realizat analize pentru a defini un mecanism care va fi cel mai important în îndeplinirea acestei sarcini. Mecanisme secundare au fost analizate, incluzând adăugarea de bare pentru stabilitate, extinderea ampatamentului și frânarea automată.

Pentru a putea modifica configurația unor elemente componente ale mecanismului în vederea încadrării în dimensiunile de gabarit ale scaunelor cu roțile cu menținerea orizontalității platformei de așezare a utilizatorului, s-au analizat performanțele unui mecanism cu 6 bare, potrivit a realiza o asemenea funcție. Este necesar să se stabilească criteriile pe care mecanismul trebuie să le îndeplinească, cel mai important fiind susținerea unei greutăți. La depășirea unui obstacol, platforma unui scaun manual cu roțile își modifică poziția orizontală, ceea ce determină schimbarea centrului de greutate, scaunul devenind instabil. Menținerea poziției orizontale a platformei de

așezare se realizează prin intermediul unui mecanism care se montează pe părțile laterale ale scaunului. Schimbarea poziției platformei la depășirea unui obstacol se va face cu un sistem de acționare separat a cărui poziție orizontală variază cu un unghi θ determinat de valoarea inițială și finală a mărimii de intrare (Fig. 5.8).

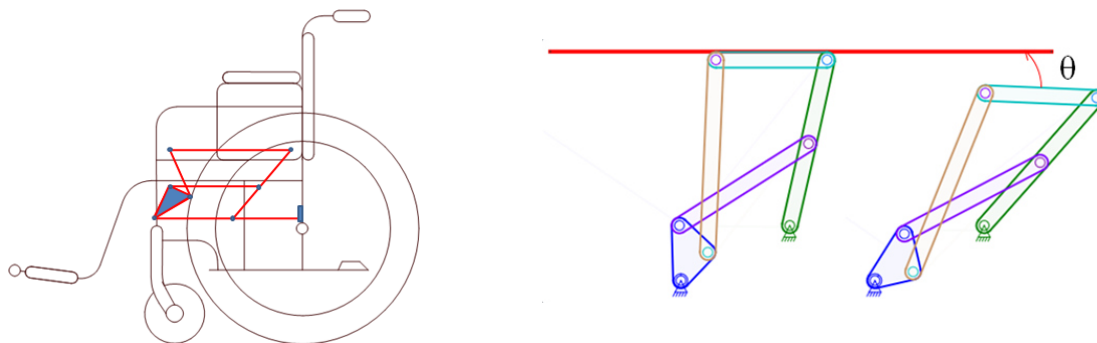


Fig. 5.8. Poziția mecanismului

Pentru un astfel de mecanism este necesară analiza poziției acestuia pentru a stabili influența unghiurilor articulațiilor asupra poziției orizontale a elementului atașabil platformei de așezare. O astfel de analiză poate fi făcută pentru un mecanism cu 6 bare [A3].

Rezolvarea problemei s-a efectuat cu ajutorul unei aplicații Matlab care generează lungimi aleatoare pentru barele mecanismului folosind un set de valori pentru unghiul θ_2 . Au fost considerate unele mărimi constante θ_2 , θ_3 , θ_4 , θ_5 și θ_6 (inițializate cu valoarea zero), θ_0 (15°) între elementul R_1 și verticală, iar pentru variația de la orizontalitate a platformei s-a definit un domeniu ($\pm 15^\circ$). Pentru a găsi lungimile brațelor mecanismului care satisfac o eroare acceptabilă este necesar un număr mare de iterații.

5.4.2.2. Aplicație pentru analiza cinematică a mecanismelor cu 6 bare

În mecanismele plane, analiza cinematică poate fi efectuată fie analitic, fie grafic. Cinematica analitică se bazează pe proiectarea ecuațiilor unor bucle vectoriale ale unui mecanism pe axele unui sistem cartezian fix. Această proiectie transformă o ecuație vectorială în două ecuații algebrice. Pentru o valoare dată a poziției sau orientării elementelor de intrare, ecuațiile algebrice sunt rezolvate pentru poziția, respectiv orientarea legăturilor rămase. Prima și a doua derivată în funcție de timp a ecuațiilor algebrice de poziție furnizează ecuații pentru viteza și accelerația mecanismului [H1].

Folosind mediul Matlab R2015a, s-a realizat și o aplicație cu ajutorul căreia s-au analizat viteza și accelerația (Fig. 5.18). Din grafice se observă existența unei diferențe între valorile vitezei și accelerației pentru cele două puncte P3 și P5 de care se prinde platforma de așezare. Modificând lungimile elementelor mecanismului s-a găsit o combinație care să conducă la valori aproximativ egale pentru parametrii punctelor P3 și P5.

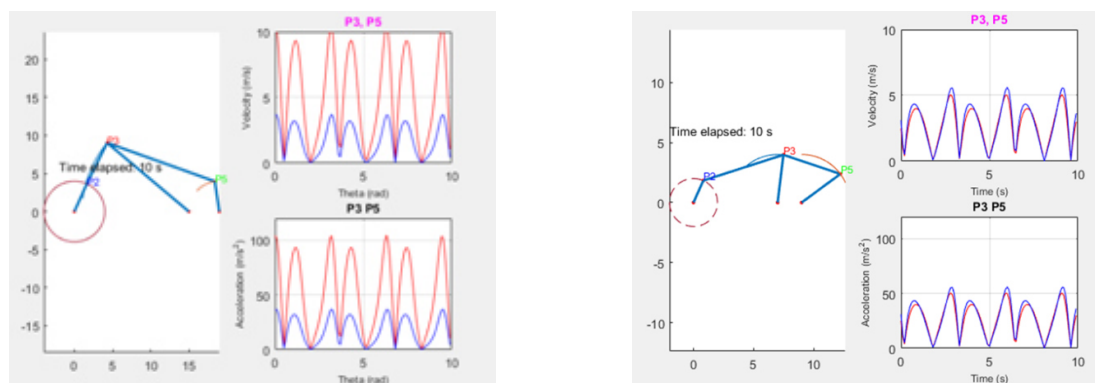


Fig. 5.18. Reprezentarea grafică a vitezei și accelerației

5.4.3. Abordare matriceală pentru studiul modulelor unui produs

O abordare pentru dezvoltarea unui nou produs poate fi o proiectare modulară care împarte produsul în module create independent și apoi utilizate în diferite sisteme [B1], cum deja s-a considerat în secțiunea anterioară. Proiectarea dispozitivului de acționare electrică atașat scaunului cu roțile s-a realizat utilizând metoda de modelare propusă de Mocho [M5], care folosește abordarea matriceală și stabilește următoarele activități și etape pentru dezvoltarea și modelarea unui produs: modelarea cerințelor, modelarea funcțiilor, modelarea componentelor, modelarea caracteristicilor testate, analiza cerințelor și funcțiilor, analiza funcțiilor și componentelor, analiza componentelor și caracteristicilor tehnice, analiza cerințelor și componentelor, analiza dintre cerințe și ansamblu, analiza dintre funcție și ansamblu. Matricele oferă un mijloc de modelare a relațiilor dintre domeniile de proiectare și analiză a sistemului folosind funcții matematice. Bazat pe algoritmul propus, a fost elaborată o aplicație software Matlab pentru a rezolva structura unui scaun cu roțile manual

5.5. Generarea conceptelor

Procesul de generare a conceptului începe cu identificarea unui set al nevoilor clienților și cu stabilirea specificațiilor obiectiv, care vor fi grupate într-un ansamblu de concepte de produse din care se va face o selecție finală. O bună generare a conceptului presupune explorarea întregului spațiu de alternative [P1].

Noul sistem atașabil va fi conceput astfel încât să aibă următoarele caracteristici:

1. Să fie un produs ieftin.
2. Să se poată atașa de un scaun cu roțile cu intervenții minime.
3. Să se mențină manevrabilitatea scaunului, permițând acestuia să se întoarcă cât mai mult posibil, fără a mări dimensiunile generale ale scaunului cu roțile.
4. Să se mențină stabilitatea scaunului cu roțile.
5. Să se mențină tracțiunea pe suprafețe neuniforme.
6. Să se păstreze portabilitatea scaunului și posibilitatea de a fi transportat într-o mașină.
7. Să se direcționeze scaunul cu roțile în orice direcție cu un mecanism simplu de direcție și inversare.
8. Să se permită sincronizarea dispozitivului cu aproape toate scaunele cu roțile standard, cu modificări simple ale extensiilor și accesoriilor de prindere.

Organizarea și combinarea soluțiilor alternative pentru fiecare funcție se realizează folosind o matrice morfologică [G14]. Aceasta constă dintr-un tabel având în prima coloană funcțiile relevante ale produsului, iar pe fiecare rând soluțiile posibile care permit realizarea funcției respective. Se utilizează texte pentru a reprezenta soluțiile posibile. Matricea morfologică a produsului dezvoltat se prezintă în Fig 5.25.

	1	2	3	4	5	6
Tip motor	Motor pas cu pas	Motor curent continuu	Motor hidraulic	Motor pneumatic		
Tip acumulator	NiCd	NiMh	LiCoO ₂	LiNiMnCoO ₂		
Transmitere moment	Roți dințate conice	Diferențial	Mecanism planetar	Melc-roată melcată	Prin frecare	Pinion-coroană dințată
Sistem de comandă	Butoane	Joystick	Vocal	Touch Screen		
Sistem de frânare	Pe disc	Pe tambur	Frână pe anvelopă	Frână pe jantă		
Controlul direcției	Cu motor suplimentar	Roți acționate separat				
Zona plasare motor	În butuc	Pe spătarul scaunului	Pe axa scaunului	În spatele scaunului	Sub scaun	
Tip roata	Șenilă	Roată clasică	Roată sudează			

■ Concept A
 ■ Concept B
 ■ Concept C
 ■ Concept D
 ■ Concept E
 ■ Concept F

Fig. 5.25. Matrice morfologică pentru produsul scaun cu roțile

Generarea conceptelor s-a realizat eliminând de la început tipurile de motoare de acționare care pentru funcționare necesită surse de alimentare care îngreunează scaunul. Se combină câte o soluție pentru fiecare funcție a scaunului cu roțile, rezultând mai multe concepte candidate.

5.6. Selectarea conceptelor

Selectarea conceptului se va realiza prin parcurgerea etapelor de triere care permite o reducere inițială a setului de variante și de evaluare cu utilizarea unor filtre mai detaliate care permit păstrarea a 1-3 concepte în vederea dezvoltării ulterioare. În pasul de selectare a conceptului optim, s-au luat în considerare conceptele rezultate la etapa anterioară (cea de generare de concepte).

Conceptele integrale sunt prezentate sub formă tabelară. Se recomandă ca și conceptul de referință să fie o soluție simplă care implică costuri reduse și care se regăsește în cadrul unor produse similare existente pe piață [U3]. Evaluarea și selectarea conceptului se poate realiza pe baza unei matrice de evaluare sau a unei metodologii mai avansate [W3].

În urma analizei efectuate, s-a ajuns la conceptul C care va fi dezvoltat în continuare și care presupune utilizarea următoarelor componente: motor de curent continuu, acumulator LiCoO₂, mecanism planetar, control cu joystick, frânare pe anvelopă, direcția ghidată printr-un joystick, motor amplasat pe axa scaunului și roți clasice.

Capitolul 6. Contribuții privind proiectarea constructivă a unui sistem de acționare atașabil unui scaun cu roțile manual

Proiectarea constructivă este acea parte a procesului de proiectare în care, pornind de la conceptul unui produs tehnic, se definesc forme și se atribuie dimensiuni și materiale, în conformitate cu criteriile economice și tehnice.

6.1. Etapele proiectării constructive

Conform unuia din principiile de proiectare constructivă prezentat de Pahl&Beitz [P1], soluțiile cunoscute sau componentele existente (părți care se repetă sau componente normalizate și standardizate) vor fi achiziționate.

Structura sistemului atașabil (Fig. 6.1) a fost împărțită în trei subsisteme (de control, pentru furnizarea puterii și pentru transmiterii puterii) tran pentru realizarea cărora au fost folosite componente achiziționate sau proiectate de către autor.

6.2. Subansambluri achiziționate

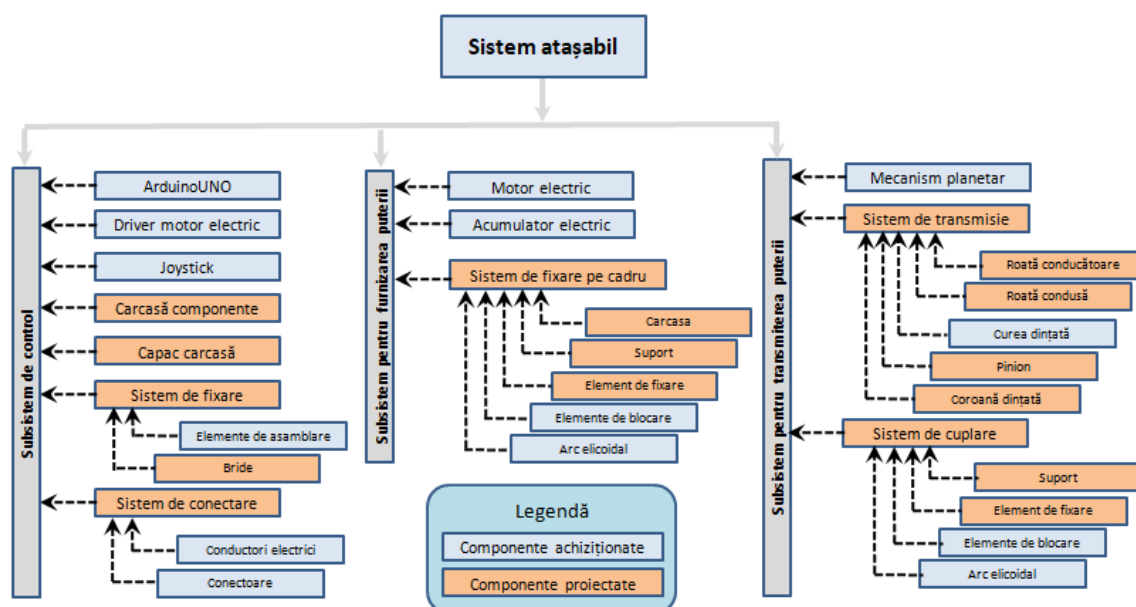


Fig. 6.1. Structura sistemului atașabil

6.2.1. Alegerea motorului

Elementele importante pentru alegerea motorului sunt cuplul, viteza, consumul de putere, mărimea. Presupunem, pentru simplitate, că există o responsabilitate a utilizatorului de a frâna sau de a controla viteza, astfel încât viteza maximă a unui scaun alimentat să nu depășească 5 km/h [W8].

6.2.2. Calculul și dimensionarea transmisie cu curele

Transmisia cu curea dințată are drept componente 2 roți dințate și o curea dințată. Dimensiunile sistemului sunt determinate de modul său de asamblare pe scaun. În acest sens, dimensiunea roții conducătoare, a roții conduse și distanța dintre axe au cel mai important rol în alegerea curelei achiziționate [W21].

Astfel, alegerea motorului se va face pe baza următoarelor restricții: să fie ușor de controlat, mic și ușor, să fie durabil și ușor de întreținut, să prezinte zgomot redus în funcționare, să aibă cost redus, să poată fi utilizat în diferite condiții de mediu, inclusiv în condiții de umiditate. Componentele achiziționate includ motorul, cutia de viteze (mecanism planetar), sistemul de comandă și sursa de alimentare.

6.3. Proiectare constructivă a unor componente ale sistemului atașabil

Sistemul atașabil pentru acționarea scaunului cu roțile manuale cu două părți simetrice are următoarele componente (Fig. 6.4):

- Subsistem pentru furnizarea puterii (acumulator + motor);
- Subsistem pentru transmiterea puterii (transmisie cu curea, mecanism planetar, subsistem de cuplare roată);
- Subsistem de control;

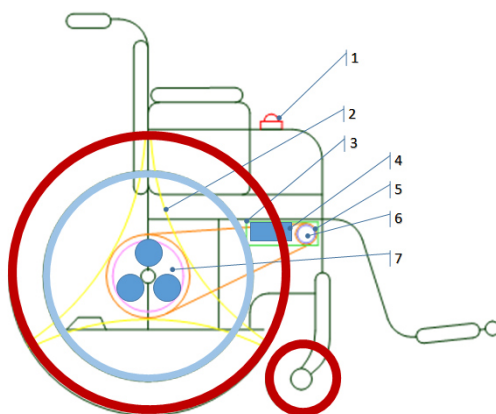


Fig. 6.4. Sistem atașat de scaunul cu roțile manual (1- joystick, 2 - dispozitiv de cuplare, 3 - suport, 4 - acumulator, 5 - transmisie cu curea dințată, 6 - motor electric, 7 - mecanism planetar)

Diferențele dimensionale dintre cele două sisteme luate în considerare pentru cutia de viteze se pot observa în Fig. 6.11. Utilizarea unui mecanism planetar cu două trepte conduce la reducerea diametrului coroanei dințate de la 130 mm la 50 mm și ajută astfel la diminuarea masei sistemului.

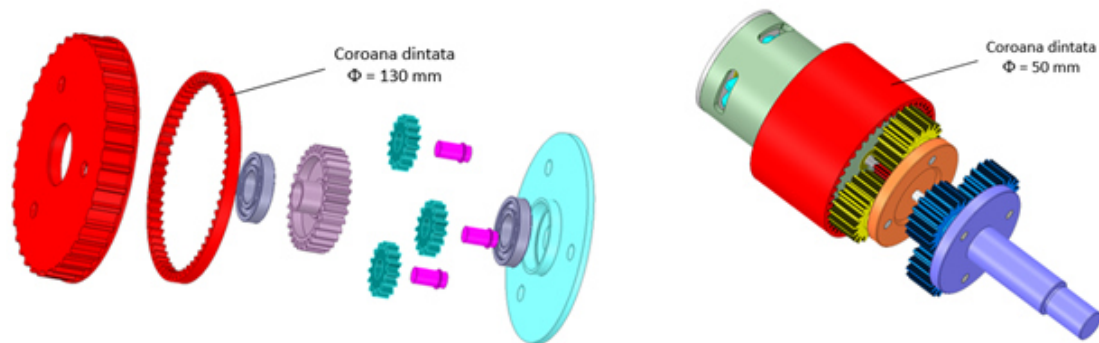


Fig. 6.11. Comparație între mecanismele utilizate

6.4. Alegerea materialelor

Metodologia de alegere a materialelor stabilită de Ashby [A4] a fost aplicată în cazul sistemului atașabil scaunului cu roțile pentru stabilirea materialului în cazul unei componente simple, suportul din sistemul de fixare pe roată. În acest caz, se alege materialul pentru o singură componentă, reprezentată de spița suportului de fixare pe roată, fiind considerată o bară încastrată la un capăt de lungime L și solicitată la celălalt capăt de o forță F .

6.5. Stabilirea formei indicelui de material

Etapele procesului de selectare a unui material pentru un anumit reper din componența produsului scaun cu roțile sunt definite în continuare.

1. Definirea cerințelor;
 - a. Stabilirea funcțiilor reperului;
 - b. Stabilirea funcției obiectiv – criteriul de optimizare (cost minim, profit maxim);
 - c. Stabilirea variabilelor independente și a celor dependente;
 - d. Definirea restricțiilor: caracteristici mecanice necesare;
2. Dezvoltarea unor relații de dependență între variabilele independente și variabilele dependente;
3. Dezvoltarea unei relații de definire a funcției obiectiv în corelație cu cerințele funcționale;
4. Gruparea variabilelor în trei grupe: cerințele funcționale F, geometria G și proprietățile materialelor M;
5. Determinarea indicelui materialului, exprimat ca o cantitate M, drept criteriu al excelenței care optimizează valoarea de performanță.

Este ușor de identificat grupul de materiale care optimizează performanța maximă pentru fiecare mod de solicitare. Toate materialele care sunt situate pe dreapta corespunzătoare indicelui de material se comportă la fel pentru modul de solicitare considerat. Dreapta reprezentată pe grafic izolează o zonă de căutare care conține un număr mic de materiale candidate. Caracteristici limită pot fi adăugate, micșorând zona de căutare. Numărul de materiale candidate poate fi mărit sau micșorat prin deplasarea drepte corespunzătoare indicelui de material, în sus sau în jos.

Folosind graficele lui Ashby și factorul de formă, se ajunge la alegerea altor materiale pentru componenta studiată, indicele materialului fiind același deoarece toate materialele sunt pe o dreaptă cu aceeași pantă.

Capitolul 7. Contribuții privind proiectarea detaliată a unui sistem de acționare atașabil unui scaun cu roțile manual

Proiectarea detaliată este acea parte a procesului de proiectare care completează proiectele tehnice cu instrucțiunile finale în legătură cu aspectul, forma, dimensiunile și proprietățile suprafeței fiecărei componente, selectarea definitivă a materialelor, a proceselor de fabricare și a costurilor [P1].

O componentă importantă a etapei de proiectare detaliată este elaborarea documentației tehnologice și constructive. Aceste activități sunt susținute de aplicații software CAD/CAPP/CAM/CAE, ceea ce permite folosirea directă a informațiilor constructive și tehnologice privind planificarea producției și controlul mașinilor CNC.

7.1. Optimizarea topologică a sistemului

Optimizarea topologică este o metodă matematică care îmbunătățește forma materialului într-un anumit spațiu de proiectare, pentru un set de sarcini, condiții de limitare și restricții, cu scopul maximizării performanței sistemului [B3]. Scopul optimizării topologice este de a găsi cea

mai bună utilizare a materialului unei piese astfel încât funcția obiectiv (rigiditate, frecvență proprie etc.) să atingă valoarea maximă sau minimă, supusă restricțiilor date (reducerea volumului sau a masei).

Software-ul Ansys SpaceClaim 18.1 a fost utilizat pentru a crea geometria componentei (Fig. 7.2), reducând masa acesteia prin modificarea formei astfel încât componenta să nu cedeze.

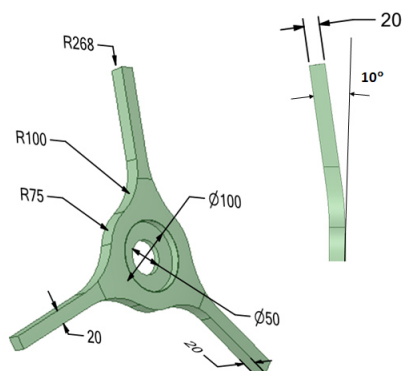


Fig. 7.2. Geometria inițială a componentei

Valorile mai mari ale deformației totale indică faptul că materialul trebuie păstrat, valori mai mici indicând zonele cu material care trebuie eliminat. Partea evidențiată este materialul de îndepărtat, partea gri este materialul critic, partea înnegrită este materialul care va fi păstrat. Pentru această optimizare topologică, suporturile și încărcările au fost amplasate pe un volum de material și iterativ s-a modificat forma componentei până când coeficientul de reducere a masei a atins valoarea de 60 % (Fig. 7.6).

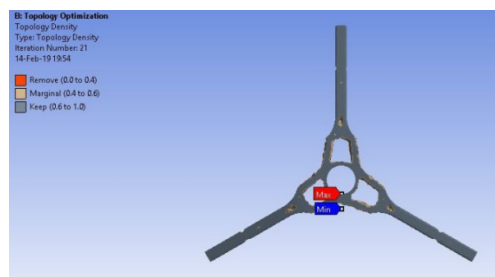


Fig. 7.6. Optimizare topologică

Profilul inițial și profilul obținut după o iterație sunt prezentate în Fig. 7.7.

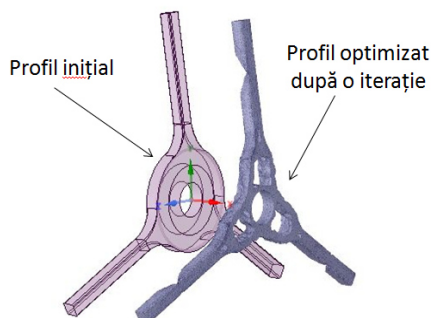


Fig. 7.7. Noua formă obținută după optimizarea topologică

Volumul formei inițiale a componentei analizate este $6,07 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ și volumul formei finale obținute după optimizarea topologică este $2,25 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$, rezultând o reducere a masei cu 55,58% în cazul materialului luat în considerare, aluminiu. Modificările adoptate au dus la eliminarea zonelor mai puțin solicitate și la obținerea unei configurații a structurii corespunzătoare modului de solicitare.

7.2. Eco-audit și impactul sistemului asupra mediului înconjurător

Orice produs este realizat în urma parcurgerii unui proces de producție. Ciclul de viață al unui produs cuprinde un interval de timp mai larg decât cel al procesului de producție, incluzând etapele de identificarea unei nevoi, proiectarea conceptuală, proiectarea detaliată, proiectarea proceselor tehnologice, fabricarea, operare/utilizare, retragerea din funcțiune. Dacă se dorește evaluarea impactului asupra mediului al unui produs, trebuie studiate toate etapele ciclului său de viață. Scopul este de a măsura impactul asupra mediului al produsului în toate etapele ciclului de viață și de a identifica toate aspectele problemelor potențiale de la extracția de materii prime până la producție, distribuție, utilizare și eliminare.

Scopul analizei impactului asupra mediului al unui produs este de a stabili energia folosită, consumul de apă, cantitatea de CO_2 eliminată anual în atmosferă, amprenta de carbon, fracțiunea de reciclare (procentul de material care se poate recupera din masa unei componente), toxicitatea și energia aproximativă de procesare. Metoda eco-audit permite analiza opțiunilor alternative de proiectare pentru a îndeplini cerințele impuse și pentru a reduce impactul asupra mediului a sistemului atașat scaunului [G5].

O descompunere detaliată a energiei și amprentei de CO_2 pentru fazele ciclului de viață (semifabricare, fabricare, transport și sfârșitul ciclului de viață) este arătată în Fig 7.9.

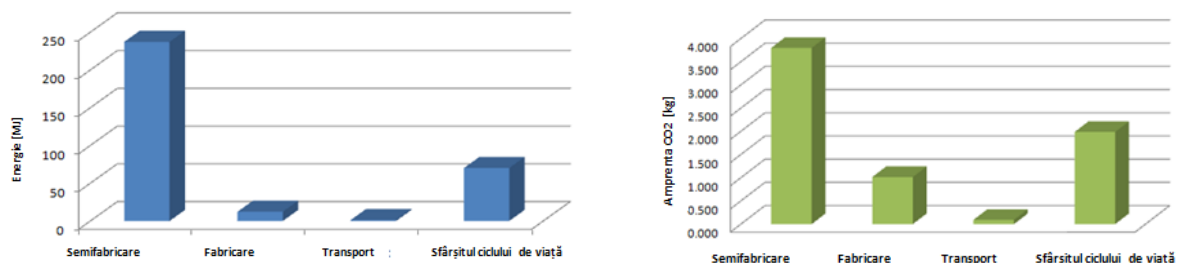


Fig. 7.9. Analiza ciclului de viață

7.3. Proiectarea detaliată a unor componente ale sistemului pentru un scaun cu roțile manual

Obiectivul principal al procesului de proiectare a fost realizarea unui sistem atașabil care să transforme un scaun cu roțile manual într-un scaun cu roțile controlat, cu propulsie. Dispozitivul proiectat se poate monta pe un scaun cu roțile acționat manual utilizat de persoanele care temporar sau permanent nu se mai pot deplasa.

Dispozitivul proiectat caută să elimine dezavantajele prezentate și să permită utilizatorului să depășească ușor, fără un efort considerabil, obstacole și să permită plierea scaunului cu roțile pentru transport, fără a fi necesară demontarea dispozitivului înainte de pliere (Fig. 7.10).

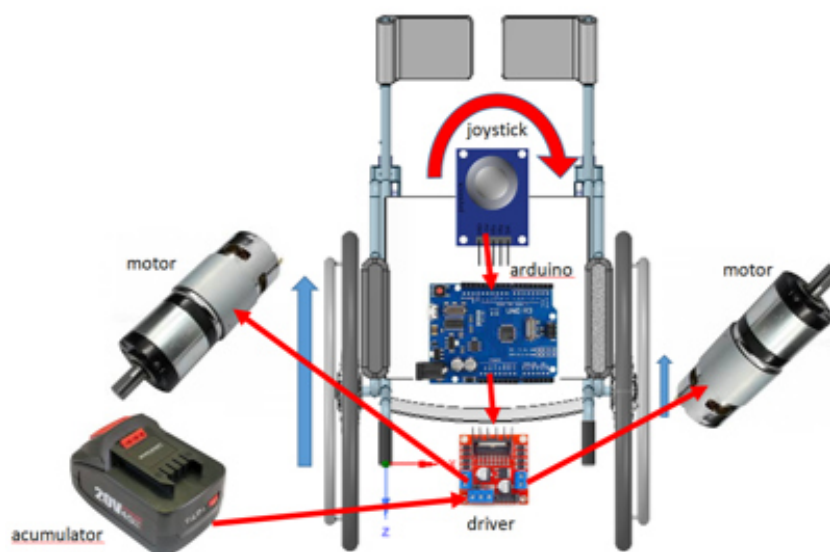


Fig. 7.10. Schema generală a unui sistem de control

Sistemul include un motor electric, care constituie elementul de intrare al acționării unui mecanism planetar pentru demultiplicare, un cuplaj pentru transmiterea mișcării către angrenajul pinion-coroană dințată.

În cazul sistemului proiectat pentru controlul scaunului cu roțile, s-a folosit placa Arduino Uno.

Schema circuitului rezultat cu componentele electronice asamblate este prezentată în Fig. 7.13. Elementele se montează într-o unitate fixată pe brațul scaunului cu roțile. Pentru a verifica funcționarea montajului Arduino, driver, joystick și motor, s-a realizat un VI (Virtual Instrumentation), un instrument virtual programat în mediul de programare grafică LabVIEW).

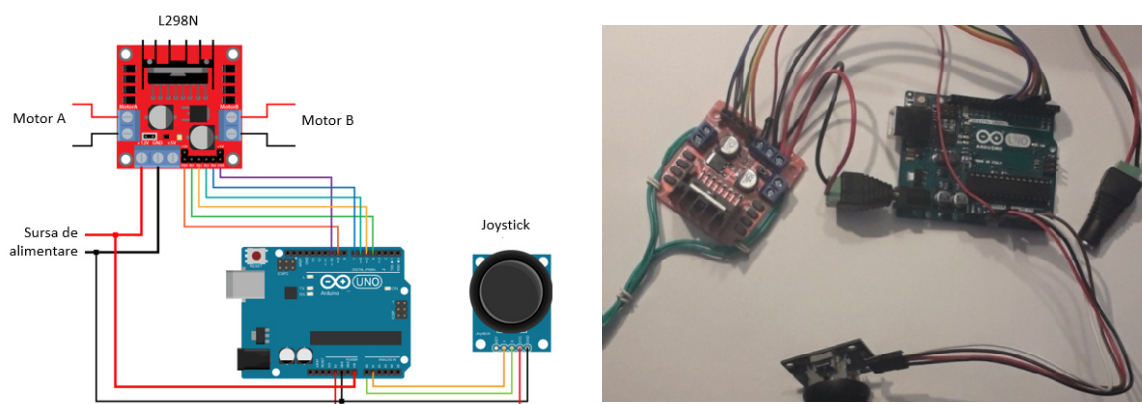


Fig. 7.13. Schema circuitului cu componente electronice și varianta reală

Instrumentul virtual este creat pentru a simula funcționarea întregului sistem.

Proiectarea sistemului atașabil s-a făcut alegând un scaun cu roțile cu un design obișnuit/standard. Scaunul cu roțile ales are un cadru din oțel, cu suport pentru picioare și

posibilitatea de a fi pliat. Mecanismul de pliere al cadrului scaunului în X (Fig. 7.16) este alcătuit din două elemente tubulare fixate într-o articulație astfel încât atunci când scaunul este pliat, elementele se orientează aproape paralel, alăturând roțile scaunului.

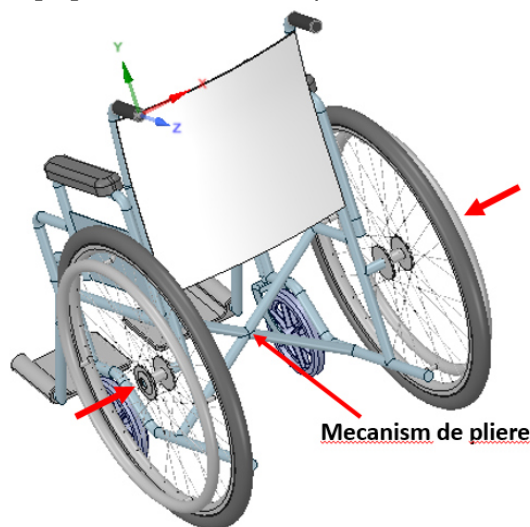


Fig. 7.16. Mecanism de pliere

Componentele sistemului atașabil au fost achiziționate sau proiectate pentru a se încadra în dimensiunile cadrului și au fost verificate în ceea ce privește interferențele în timpul plierii pe baza dimensiunilor și constrângerilor derivate din analiza statică și dinamică. Este esențial să existe o astfel de viziune asupra mecanismului, deoarece astfel pot fi interpretate mai ușor cerințele dimensionale și constrângerile, iar apoi se iau în considerare îmbunătățirile generale.

7.4. Modelarea 3D a sistemului atașabil unui scaun cu roțile

Prin proiectarea 3D a componentelor sistemului atașabil pot fi cunoscute următoarele: masă, volum, centru de greutate, date care pot fi folosite mai târziu în cadrul procesului de fabricare a componentelor. Alegerea unui cadru de scaun cu roțile ca o bază pentru montarea celorlalte componente a dat posibilitatea vizualizării modului în care componentele ar putea fi adaptate la alte cadre. Pentru că adaptabilitatea era importantă, interfața dintre roată și cadru trebuie proiectată astfel încât să se potrivească oricărei variante constructive.

Designul elementelor care facilitează atașarea sau detașarea dispozitivului dezvoltat la/de la scaunul cu roțile este de o importanță critică pentru funcționarea mecanismului și pentru succesul produsului. Tehnicile avansate de analiză structurală, inclusiv dezvoltarea modelelor de mecanisme solicitate prin metoda elementelor finite, au fost utilizate pentru a optimiza eficiența operațională a noului dispozitiv atașat.

În Fig. 7.19 este prezentată prima variantă de proiectare detaliată. S-a decis ca prin reproiectare să se reducă numărul de componente ale dispozitivului care va fi atașat pe scaunul cu roțile. Componentele mecanice proiectate ale sistemului atașabil au fost modelate pentru a asigura alegeri adecvate în procesul de proiectare, asigurând alinierea elementelor și detectarea interferențelor. S-au proiectat următoarele subansambluri: de cuplare, de atașare, de transmisie și de montaj.

Sistemul de atașare (Fig. 7.20) asigură montarea dispozitivului pe cadrul scaunului cu roțile prin intermediul unui sistem de tip brățară, format din suport exterior și suport interior, poziționat în zona axului roții și fixat prin intermediul unor șuruburi. Adaptarea la diverse grosimi ale cadrului se face cu ajutorul unor elemente intermediare plasate în zona curbă a celor doi suporti.

Mecanismul planetar se montează într-o carcasă care, prin construcție, blochează coroana circulară și împiedică mișcarea de rotație a acesteia, precum în Fig. 7.21. Motorul electric se assemblează pe mecanismul planetar, întreg sistemul cuplându-se cu suportul interior prin intermediul unor zone elastice, poziția fiind stabilită de un element de ghidare.

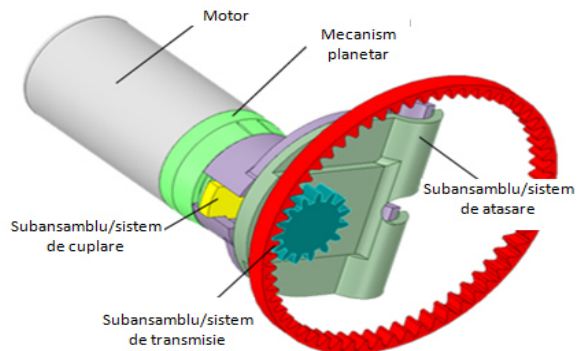


Fig. 7.19. Sistem proiectat atașabil pe scaunul cu roțile

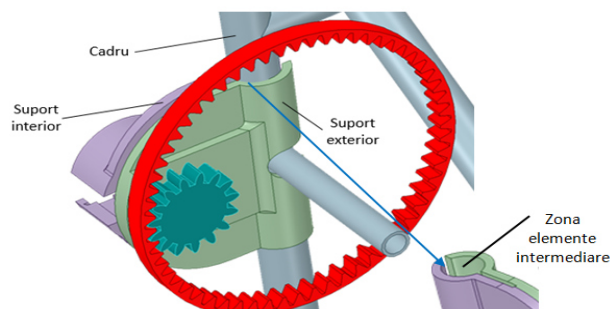


Fig. 7.20. Sistem de atașare

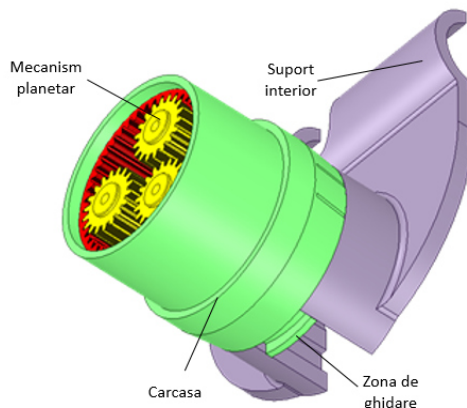


Fig. 7.21. Asamblarea mecanismului planetar cu sistemul de atașare

Mișcarea de rotație din mecanismul planetar este transmisă către un angrenaj pinion - coroană dințată cu ajutorul unui sistem de cuplare format dintr-o bucă cu hexagon interior și un element mobil de acționare care, prin deplasare axială, rigidizează arborele de ieșire cu arborele pinionului. Rolul sistemului de cuplare (Fig. 7.22) este acela de a permite trecerea la acționarea manuală a scaunului fără demontarea dispozitivului.

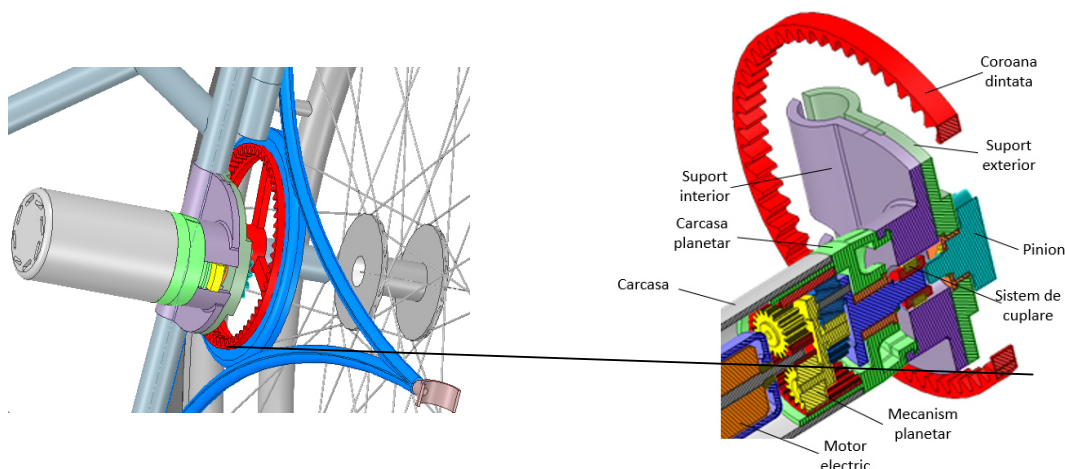


Fig. 7.22. Sistemul de cuplare

Transmiterea mișcării la roțile scaunului cu roțile se realizează printr-un angrenaj pinion - coroană dințată. Pinionul este lăgăruit în suportul exterior, iar coroana dințată este fixată în sistemul de atașare pe jantă. Raportul total de demultiplicare al sistemului este de 1:144 și se obține din produsul dintre raportul de transmisie al mecanismului planetar și cel al angrenajului pinion - coroană dințată.

7.5. Prototipare rapidă

Pentru a valida sistemul care va transforma scaunul cu roțile manual pentru persoanele cu dizabilități într-unul electric și pentru a putea fi efectuate testele de validare, s-a creat prin prototipare rapidă, un model fizic. Se vor face cercetări ulterioare privind asigurarea cuplării pe roată, preluarea transmiterii mișcării de la motor și cuplarea elementelor pentru modul electric. Neavând posibilitatea de a printa sistemul de cuplare pe janta scaunului cu roțile, s-a căutat o altă soluție constructivă, fixând coroana dințată de spițele roții, conform Fig. 7.23.

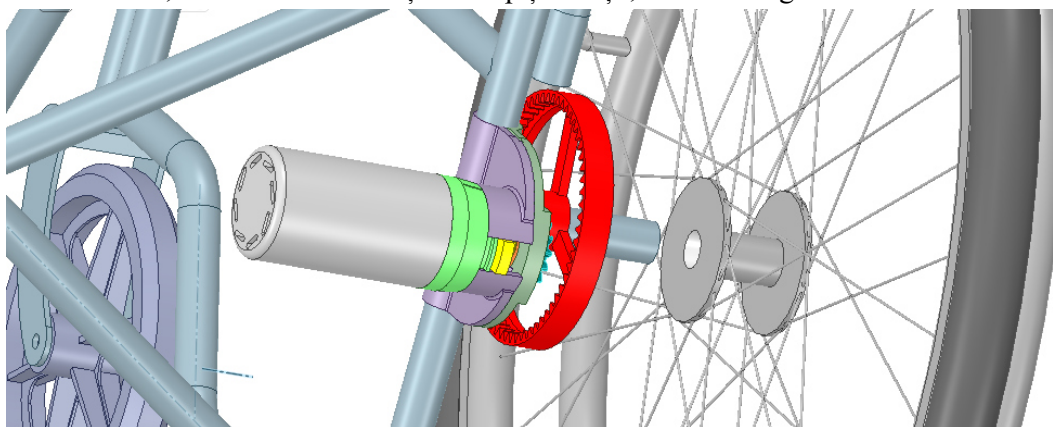


Fig. 7.23. Soluție constructivă alternativă de cuplare

Pentru prototipare s-a ales o tehnologie de fabricație aditivă (FA) ieftină și versatilă, capabilă să utilizeze materiale plastice biodegradabile și să permită obținerea de repere, posibil a fi utilizate în cadrul unui prototip, tehnologia FDM (FusedDepositionModeling).

Tehnologia FDM este caracterizată prin simplitate și accesibilitate. Ca toate tehnologiile de FA, FDM construiește obiecte strat cu strat. Modelul 3D realizat într-o aplicație CAD este exportat în format STL (Standard Tessellation File) și apoi „feliat” de către un software special, în straturi cu grosimi de câteva zeci de micrometri, în funcție de echipamentul de imprimare 3D utilizat. Folosind fișierul STL, modelul fizic se realizează prin aplicarea uniformă, strat peste strat, a unui filament din material plastic încălzit până la punctul de topire.

Componentele printate 3D pentru produsul dezvoltat sunt reprezentate în Fig. 7.24.

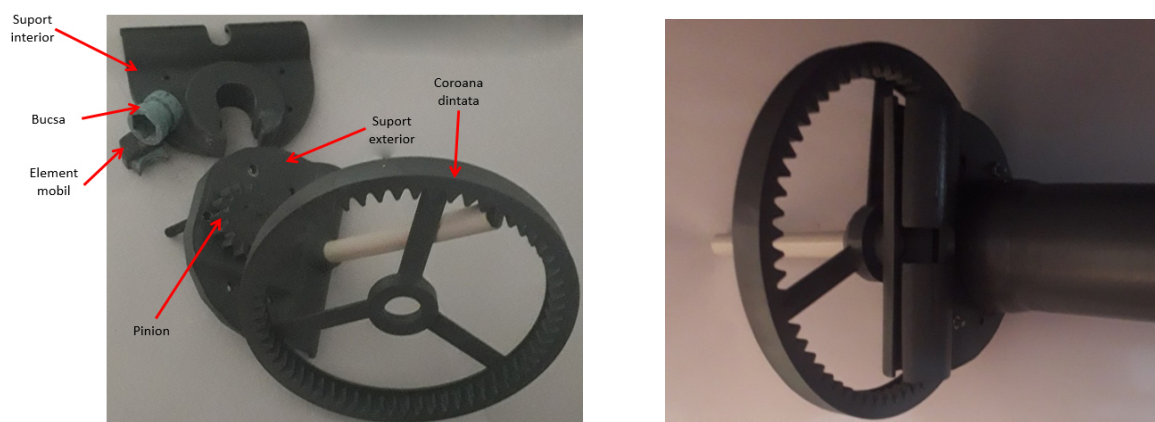


Fig. 7.24. Componente imprimate 3D

Pentru acționarea unui scaun cu roțile sunt necesare două module identice plasate pe fiecare parte a scaunului. În situația în care se dorește menținerea posibilității de pliere a scaunului, unul dintre aceste module se poate plasa în fața axei roții, astfel încât la pliere modulele se vor deplasa unul pe lângă celălalt, sensul de rotație al celor două module stabilindu-se prin modificarea conexiunilor. Conform metodologiei aplicate în proiectarea sistemului atașabil folosind componente achiziționate pentru partea mecanică (motorul de acționare și mecanismul planetar) și componentele fabricate prin tehnologie FDM de imprimare 3D, s-a realizat ansamblul unui modul al sistemului atașabil pentru scaunul cu roțile. Aceste componente, împreună cu sistemul de comandă și sursa de energie, au fost montate și testate pentru a stabili comportamentul sistemului dezvoltat. S-a ales modalitatea de printare 3D a unor componente ale sistemului pentru a verifica modul de atașare pe cadru, transmiterea mișcării de rotație de la motor la coroana dințată și soluția tehnică de atașare a coroanei pe roata scaunului. Pentru testarea sistemului s-a montat coroana dințată pe discul de frână a unei roți cu spițe, iar încărcarea roții s-a făcut prin atașarea unor contra-greutăți (Fig 7.25).

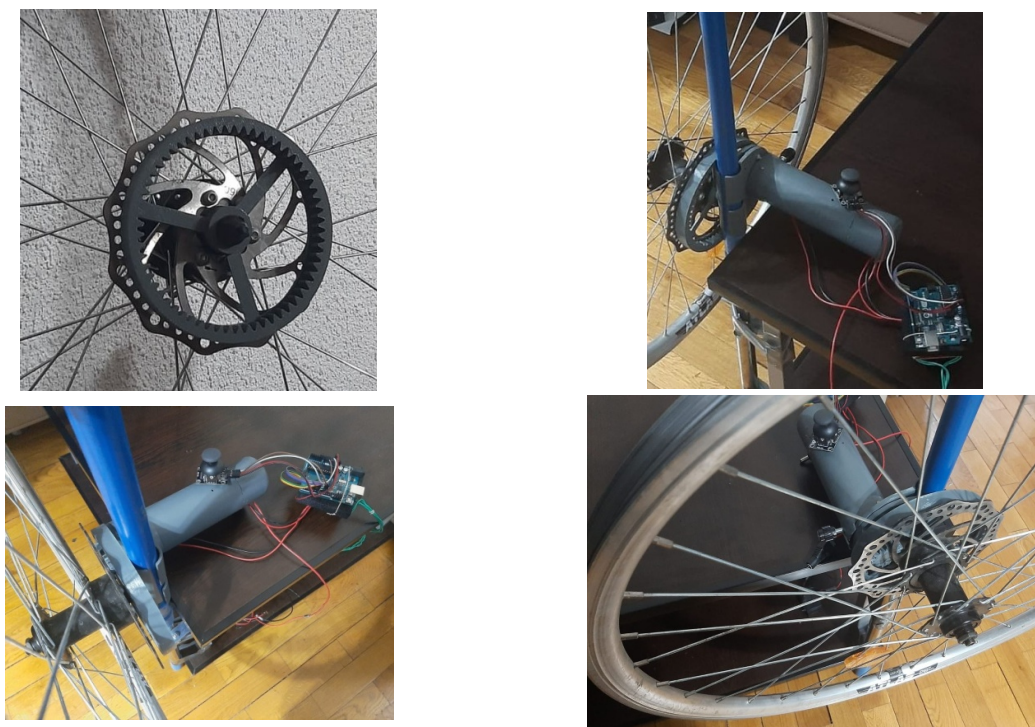


Fig. 7.25. Testarea sistemului atașabil

În urma testării, ținând seama că diametrul țevii cadrului variază pentru diferite modele de scaune cu roțile (25,7 - 31,9 mm) pentru a permite utilizarea sistemului dezvoltat pe o gamă diversă de scaune manuale, s-a decis modificarea dimensiunii suportilor de atașare și folosirea unor elemente suplimentare care să compenseze diferența de diametru a țevii cadrului. S-a constatat că, din punct de vedere constructiv, subansamblul format din motor electric - mecanism planetar - sistem de cuplare - pinion trebuie să permită reglarea jocului din angrenajul pinion - coroană dințată pentru o funcționare corespunzătoare. În acest caz, se decide modificarea configurației produsului astfel încât sistemul format din motor, mecanism planetar și pinion să fie plasat pe un ghidaj care să îi permită o deplasare radială și utilizarea unor bușe anti-fricțiune pentru lărguirea pinionului și a coroanei dințate. Prin această soluție se compensează diferențele care apar din cauza variantelor constructive diferite de scaune cu roțile (Fig. 7.26).

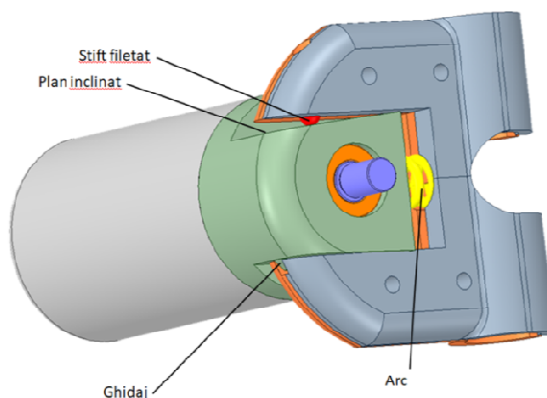


Fig. 7.26. Modificare constructivă

A fost testat codul aplicației dezvoltate pentru comanda sistemului verificându-se direcția și sensul de deplasare, sistemul de comutare manual - electric, precum și variația turației motorului de acționare. Varianta următoare va include îmbunătățiri care să elimine potențialele surse de zgomot.

Capitolul 8. Concluzii finale, contribuții principale și direcții de dezvoltare viitoare

Obiectivul tezei de doctorat a fost de a realizacercetări cu privire la optimizarea unui sistem mobil autonom prin dezvoltarea unui modul atașabil acestuia, care să ofere funcții noi: mobilitate și stabilitate sporite, capacitate de a depăși obstacole de înălțime mică și de a păstra orizontalitatea bazei.

În urma parcurgerii etapelor de elaborare a tezei s-a proiectat, fabricat și testat un sistem de acționare electrică atașabil scaunelor cu roțile manuale în scopul creșterii autonomiei, creșterii energiei de acționare, oferirea posibilității de depășire a unor obstacole de dimensiuni mici/medii și creșterii confortului utilizatorului, prin păstrarea poziției orizontale a bazei, cu costuri minime. Lucrarea conține 8 capitole și Anexe, după cum este prezentat în continuare. Partea I, care prezintă stadiul actual al cercetărilor privind dezvoltarea unor sisteme mobile pentru persoane cu dizabilități, include capitolele 1, 2 și 3. Restul capitolelor fac parte din contribuțiile la dezvoltarea unui sistem de acționare atașabil scaunului cu roțile.

În capitolul 1 s-au analizat etapele și activitățile propuse de mai multe metodologii pentru dezvoltarea unui produs nou și s-au realizat comparații aprofundate între acestea. În capitolul al 2-lea s-au studiat sisteme și echipamente asistive pentru persoanele cu dizabilități. S-au analizat soluțiile de mobilitate existente pentru depășirea diferitelor obstacole, modalitățile tehnice de realizare și brevete pentru sisteme de putere atașate scaunelor cu roțile.

Pe parcursul capitolului al 5-lea s-a definit procesul de proiectare al noului produs reprezentat de un sistem atașabil scaunului cu roțile manual pentru a-l transforma într-unul mobil și autonom prin impunerea obiectivelor care urmează să fie atinse, stabilirea specificațiilor produsului, stabilirea funcțiilor și subfuncțiilor produsului, identificând ce componente din cadrul produsului le realizează. Au fost apoi generate diferite concepte prin utilizarea schițelor și au fost selectate cele potrivite obiectivelor propuse.

Capitolul al 6-lea a definitivat metodologia de proiectare constructivă, respectând constrângerile impuse de proiectare prin generarea matricei morfologice a produsului cu funcțiile și soluțiile tehnice pentru îndeplinirea acestora. S-au stabilit tipurile de motor și de acumulator care vor fi utilizate, s-a calculat puterea necesară a motoarelor, s-au determinat caracteristicile tehnice ale transmisiei cu curele pentru un caz de transmitere al mișcării, s-a definit tipul de mecanism planetar folosit stabilindu-se elementele de intrare și de ieșire a mișcării. S-au realizat mai multe aplicații software în Matlab și LabVIEW pentru a facilita proiectarea constructivă a produsului prin stabilirea modulelor sale, analiza cinematică și cineto-statică unor mecanisme componente, sinteza unui mecanism cu 6 bare pentru care s-au determinat dimensiunile elementelor componente cu scopul păstrării orizontalității bazei.

În urma capitolului al 7-lea s-a realizat proiectarea detaliată a sistemului atașat scaunului cu roțile care îl va transforma într-un sistem mobil autonom prin alegerea materialelor optime, determinarea formei corespunzătoare a componentelor, analiză cu elemente finite și optimizare

topologică, eco-audit și analiza efectelor asupra mediului înconjurător și printarea 3D. Totodată, s-a definit modul de control al scaunului, prin realizarea unei interfețe pentru un mod ușor de control al produsului.

Prototipul poate fi testat în mediul său de utilizare în timp real. A fost esențial să se dezvolte un produs care să poată oferi confort, stabilitate, siguranță și mobilitate completă. Scopul dezvoltării unui scaun cu roțile este de a oferi viitorului utilizator sentimentul complet al libertății și o șansă de a progresa în viață pe cont propriu. Ținând seama de costul componentelor achiziționate (motor electric de curent continuu, mecanism planetar, acumulator, placă ArduinoUno, driver L298N, joystick, cabluri, conectori etc.) și de costul realizării prin imprimare 3D a celorlalte repere din cadrul sistemului (material și manoperă), valoarea totală pentru sistemul atașabil scaunului cu roțile manual este aproximativ 600 RON.

Contribuții personale

În urma cercetărilor prezentate, autorul și-a adus contribuții personale în domeniul dezvoltării unui sistem atașabil unui scaun cu roțile manual, după cum este prezentat în continuare:

1. Realizarea unui studiu bibliografic în care s-a analizat critic stadiul actual al metodologiilor de dezvoltare de produs (Capitolul 1);
2. Realizarea unei analize privind evoluția sistemelor mobile pentru persoane cu dizabilități și progresele tehnologice realizate (Capitolul 2);
3. Stabilirea, pe baza analizei sistemelor existente, a unei liste de cerințe pe baza cărora s-a fost proiectat noul produs (Capitolul 5);
4. Modelarea 3D în întregime a unui scaun cu roțile acționat manual (Capitolul 5);
5. Întocmirea structurii de descompunere constructivă și a celei funcționale pentru scaunul cu roțile cu acționare manuală (Capitolul 5);
6. Generarea a 6 concepte originale pentru un sistem de acționare electric atașabil scaunului cu roțile manual (Capitolul 5);
7. Elaborarea unei aplicații Matlab pentru analiza și sinteza unui mecanism cu 6 bare care să permită păstrarea orizontalității bazei (Capitolul 5);
8. Analiza cinematică a mecanismului cu 6 bare, determinarea graficelor, calculul vitezelor și a accelerațiilor (Capitolul 5);
9. Realizarea unei aplicații în Matlab pentru descrierea matriceală a modulelor produsului dezvoltat (Capitolul 5);
10. Selectarea materialelor componentelor produsului prin utilizarea graficelor de material adecvate pentru fabricarea unor componente (Capitolul 6);
11. Optimizarea topologică a formei unor componente ale sistemului folosind aplicații software specializate (SpaceClaim, Ansys) (Capitolul 6);
12. Proiectarea detaliată a conceptului ales, cu realizarea unor variante diferite pentru sistemul de prindere pe cadru și pentru cel de fixare pe roată (Capitolul 7);

13. Dimensionarea componentelor și elaborarea documentației constructive pentru fabricarea noului produs (Capitolul 7);
14. Efectuarea unui eco-audit cu privire la impactul asupra mediului înconjurător a procesului de fabricație a produsului (Capitolul 7);
15. Fabricarea componentelor proiectate printr-o tehnologie de fabricare aditivă (Capitolul 7);
16. Testarea dispozitivului atașat pe un scaun cu roțile manual standard ce a condus la adaptarea unor componente pentru a permite atașarea la orice tip de scaun. În urma acestei testări s-a verificat eficiența motorului utilizat, autonomia acumulatorului, stabilitatea la depășirea unor obstacole obișnuite și eficiența sistemului de comandă utilizat. (Capitolul 7).

Diseminarea rezultatelor

Contribuțiile originale efectuate constau în cercetările experimentale realizate. Rezultatele obținute au fost valorificate în articole din reviste de specialitate ISI, articole publicate în reviste indexate în baze de date internaționale (BDI), precum și în volumele unor conferințe științifice. O parte din rezultatele obținute în urma cercetărilor desfășurate în cadrul școlii doctorale au fost diseminate după cum urmează:

a) Publicarea a 13 articole științifice (10 BDI, 3 ISI):

1. „Application of Multiobjective Methods for Optimization of Machining Process Parameters”, International Journal of Modern Manufacturing Technologies ModTech Volume 7 Number 1/2015, ISSN 2067-3604.
2. „Materials Selection for an Engineering Application using Multiple-Criteria Decision Analysis”, ICMAS 2015 International Conference on Manufacturing Systems Volume 10 Issue 3 2015, ISSN 2343-7472.
3. „Eco-audit and Environmental Impacts of Products”, ICAMAT 2015 8th International Conference on Advanced Manufacturing Technologies, 2015, ISSN:1662-7482 Vol.834, pp. 34-39, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.834.34.
4. „Optimization of the Mechanism from an equipment for Overcoming Obstacles with Design of Experiments”, IMANE Innovative Manufacturing Engineering & Energy International Conference, Iași, 25-26 Mai, 2017, doi:10.1051/mateconf/201711206006.
5. „Determining the Optimal Dimensions for a Mechanism from a Wheelchair using LabVIEW”, International Journal of Research – Granthaalayah Vol.6 Issue 1, 25-27 Ianuarie, 2018, doi: 10.5281/zenodo.1164122.
6. „Matlab Application for The Analysis of Existing Systems with the Purpose of Developing New Products”, 6th Conference on Modern Technologies in Industrial Engineering (ModTech), IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 400 (2018) 062011, 13 - 16 Iunie, 2018, doi:10.1088/1757-899X/400/6/062011, WOS:000461147400153.
7. „Applying Regression Analysis to Optimize the Length of Components of a Six Bar Mechanism”, 6th International Conference on Modern Technologies in Industrial Engineering ModTech, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 400 (2018) 042024, Constanța, 13-16 Iunie, 2018, doi:10.1088/1757-899X/400/4/042024, WOS:000461147400096.

8. „Applying of a Design Methodology for a New Mobility Product”, 22nd International Conference on Innovative Manufacturing Engineering and Energy (ImanE&E), Chișinău, Moldova, 31 Mai – 2 Iunie 2018 , doi:10.1051/mateconf/201817805002.
9. „Influence of Cutting Parameters on Surface Quality when machining a CoCrWNI alloy”, 22nd International Conference on Innovative Manufacturing Engineering and Energy (ImanE&E 2018), Chișinău, Moldova, MATEC Web of Conferences 178, 01009 (2018), ISSN:2261236X, 31 Mai-2 Iunie, 2018, doi:10.1051/mateconf/201817801009.
10. „Determining the Materials and Shape of Components within a System Attached to a Wheelchair”, ICAMAT 9th International Conference on Advanced Manufacturing Technologies, București, Noiembrie, 2018, Materials Science Forum Volume 957, pp. 15-22, doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.957.15.
11. „Research on the Design and Testing of a New Product Development Methodology”, Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2018 - Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional expansion to Global Growth, pp. 5479-5490, Sevilla, Noiembrie, 2018.
12. „Dimensions of Customer-Based Assistive Technology Innovation: Exploring Marketing Strategy through Developing a Wheelchair for People with Disabilities in Romania”, 34th International Business-Information-Management-Association Conference IBIMA, Madrid, 13-14 Noiembrie, 2019.
13. „Project Planning for the Development of an E-learning Interactive Educational Platform in Industrial Engineering-based Applications”, 36th Conference IBIMA, Noiembrie, 2020.

b) Participarea la două conferințe științifice:

1. ICAMAT 2018 - ICAMAT 9th International Conference on Advanced Manufacturing Technologies, Romania.
2. IBIMA 2019 - 34th International Business-Information-Management-Association Conference, Spania.

Direcții viitoare de cercetare

Cercetările prezentate în cadrul tezei de doctorat contribuie la dezvoltarea sistemului atașabil scaunului cu roțile, iar ca viitoare direcții de cercetare pot fi identificate și testate alte soluții tehnice adecvate:

- Identificarea posibilelor deficiențe ale prototipului și îmbunătățirea acestuia prin implementarea unei structuri de control mai avansate.
- Reproiectarea mecanismului planetar pentru a reduce dimensiunea, greutatea și costurile aferente.
- Proiectarea detaliată a mecanismului de menținere a orizontalității.
- Îmbunătățirea interfeței sistem atașabil - scaun cu roțile pentru a dezvolta opțiunile de interfață necesare pentru montarea pe diferite cadre ale scaunelor cu roțile.
- Realizarea controlului scaunului cu roțile prin intermediul unei aplicații pe telefonul mobil și introducerea unui controler de urmărire a traiectoriei.