



Raport științific și tehnic

NR. 1

345PED | HoPE | 2020

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Director Prof.dr.ing. Mihai Dragomir

Preambul

Proiectul 345PED – Pat de spital inteligent – HoPE urmărește creșterea gradului de maturitate din punct de vedere tehnic al unui concept inovativ de pat de spital, cu scopul de a contribui la avansarea procesului de dezvoltare a acestui produs în direcția pieței de specialitate. Propunerea se încadrează în domeniul strategic de CDI "sănătate" din cadrul PNIII și se pliază pe nevoile complexe ale sistemului medical românesc, aflat în plin proces de transformare. Scopul principal al propunerii este de a crește gradul de complexitate tehnologică (TRL) de la nivelul 2 la nivelul 3.

Principalele direcții inovative de dezvoltare de produs sunt:

- realizarea unui sistem de acționare care să permită transformarea pat - fotoliu și pivotarea în jurul axei verticale folosind un singur actuator;
- realizarea componentelor din materiale bio-compozite ce conțin ioni de argint ce permit reducerea masei produsului, asamblarea, mentenanța și transportul facile și care contribuie la dezinfectarea mediului intraspitalicesc și reducerea răspândirii infecțiilor nosocomiale;
- integrarea la nivelul produsului a unor sisteme inteligente cu rol în monitorizarea unor parametri ai stării de sănătate a pacienților, precum și de asigurare a unui mediu izolat, relaxat și personalizat, propice convalescenței.

Proiectul HoPE a primit codul de program PN-III-P2-2.1-PED-2019-5430 și a fost declarat admis la finanțare în cadrul competiției PN III – PED 2019, contractul de finanțare începând să se deruleze cu data de 10.08.2020. Activitățile vor dura 24 de luni, până la data de 09.08.2022, și se va încheia prin realizarea sistemului final demonstrativ de nivel TRL4 și verificarea performanțelor acestuia în vederea unor dezvoltări viitoare la niveluri de complexitate mai ridicate.

Cele (aproape) 5 luni de proiect cuprinse în anul 2020 au fost marcate de provocările aduse de derularea activității de cercetare în condiții de pandemie COVID-19, dar acestea au fost depășite, fiind realizate toate acțiunile planificate și obținându-se rezultatele preconizate. Obiectivul științific urmărit în această perioadă este Obiectul 1 din cadrul propunerii și anume "Dezvoltarea unei structuri mecanice a unui pat de spital care permite plierea patului sub forma unui fotoliu folosind un singur motor electric". Rezultatele asociate acestui obiectiv includ: studiul mecanic asupra mecanismelor și acționării, testarea rezistenței componentelor și studiul sistemului, testarea ergonomică privind interacțiunea patului cu pacienții și personalul medical, costurile materialelor și studiul impactului asupra mediului, simulări de prelucrare și asamblare, proiecte detaliate și specificații de execuție, necesar de materiale, un prototip de laborator. La această direcție se adaugă activitățile de management de proiect: angajarea personalului, derularea achizițiilor, demararea unui site de prezentare a proiectului, monitorizarea activităților, raportarea către UEFISCDI etc.

Principalele activități și rezultate

Procesul de dezvoltarea a produsului nou pat de spital a urmat un algoritm specific de proiectare pentru Six Sigma (Design for Six Sigma), care a integrat cerințele venite din partea a trei categorii de părți interesate, ierarhizate folosind metoda Analytical Hierarchy Process, și le-a transformat în caracteristici tehnice inovative cu ajutorul metodei Quality Function Deployment aplicată în cascadă (modelul lui Hauser și Clausing, 1988¹) combinată cu rezolvarea conflictelor de natură tehnică cu metoda TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) și a celor de natură conceptuală cu ajutorul abordării Design Thinking.

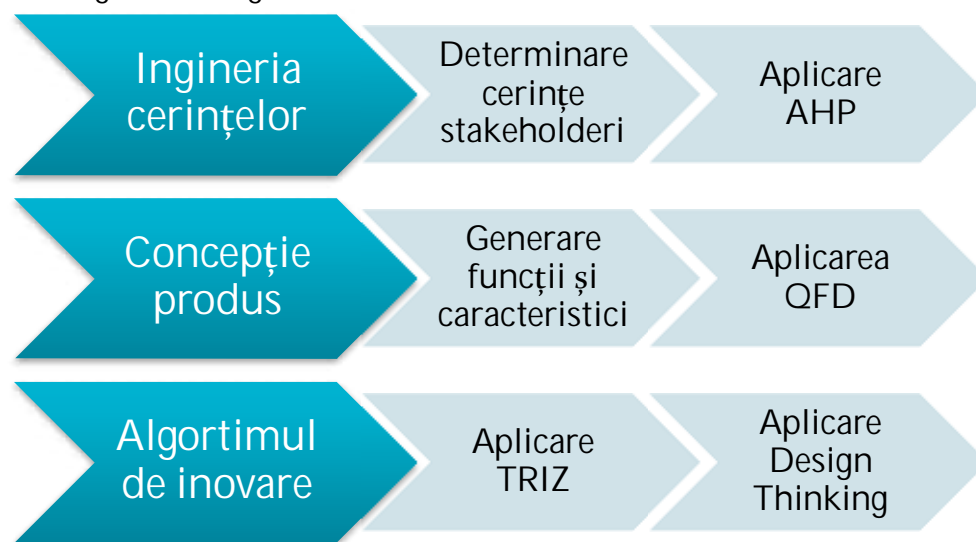


Fig. 1 Metodologia utilizată pentru dezvoltarea patului de spital HoPE

Calea urmată de echipa de implementare a proiectului se bazează pe bunele practici în domeniu și este prezentată mai sus (vezi figura 1), iar rezultatele principale obținute atât la nivelul proiectării sistemului, cât și al modelării și simulării acestuia înainte de prototipizare și realizare propriu-zisă (care va urma în faza de proiect ce se va derula în anul 2021) sunt detaliate în următoarele subcapitole.

STUDIUL MECANIC

Pentru realizarea studiului mecanic s-a pornit de la dezvoltarea, cu ajutorul tehnicilor brainstorming și mind-map, a unui mecanism inovativ de acționare a patului de spital inteligent care are următoarele caracteristici principale:

¹ John R. Hauser and Don Clausing, The House of Quality, Harvard Business Review, May 1988, <https://hbr.org/1988/05/the-house-of-quality>

- permite realizarea cu ajutorul unei singure cuple de mișcare a celor două grade de libertate indicate ca fiind necesare de literatura de specialitate și de personalul medical, pentru a facilita tratamentul și/sau convalescența pacienților care folosesc patul (transformare din pat în fotoliu, respectiv mișcare de rostogolire/rulare pentru a minimiza sau elimina principala problemă a utilizării îndelungate – apariția și infectarea escarelor);
- este compact și de dimensiuni reduse, putând fi instalat în spațiul disponibil la nivelul produsului complet (pat de spital);
- are cerințe reduse de energie, precum și necesități reduse de mentenanță și consumabile;
- este robust din punct de vedere al controlului prin intermediul componentelor de automatizare și software-ului pentru interfațarea cu pacientul și/sau personalul medical.

Prezentăm mai jos cele mai importante aspecte din cadrul procesului de modelare 3D și de studiere a structurii mecanice a patului de spital HoPE.

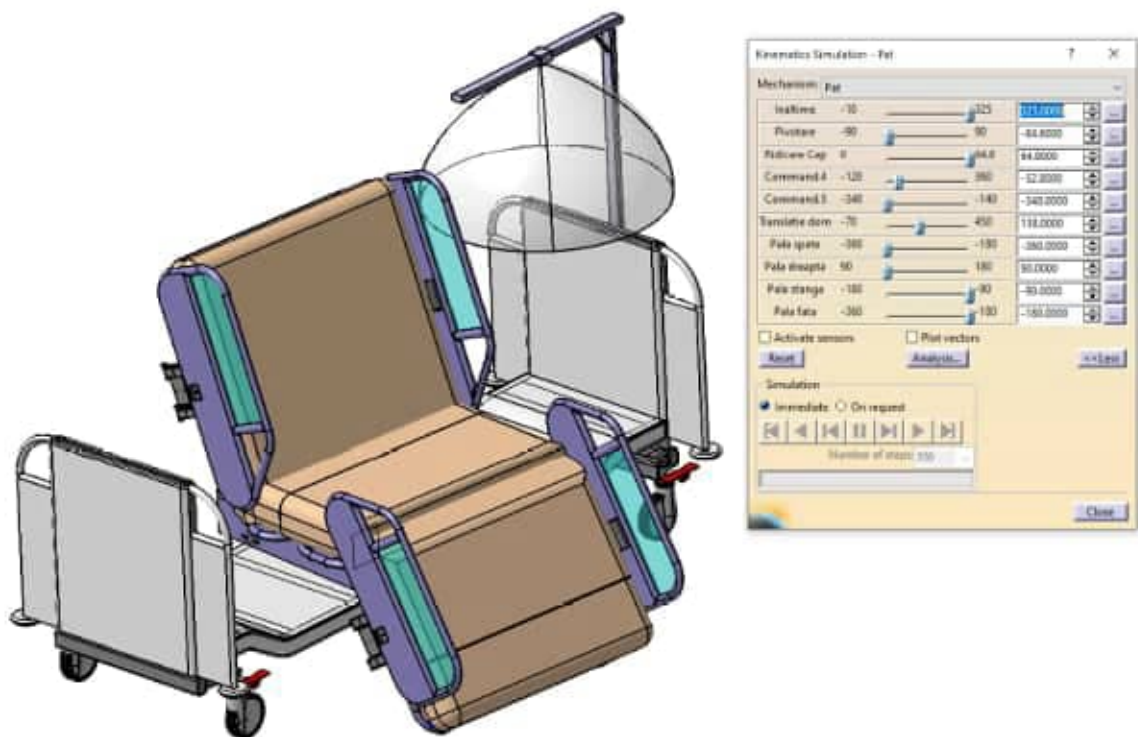


Fig. 2 Structura mecanica si cuplele cinematice motoare

Tabel valori minime si maxime pentru mișcările principale ale structurii mecanice

Mișcare	Valoare minima	Valoare maxima
Ridicarea pat	-100mm	350mm
Pivotare in jurul axei Z	-90°	90°
Ridicarea spătar	0°	64.8°
Coborâre segment inferior	0°	-52.8°

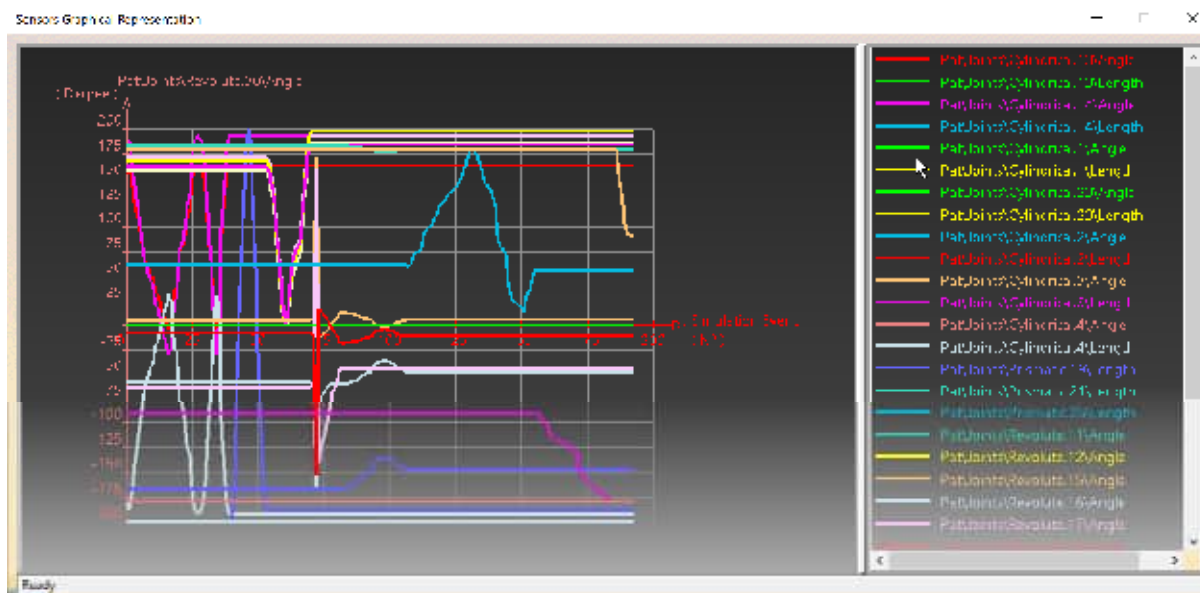


Fig. 3 Mișcarea in fiecare cupla cinematica in

TESTAREA ERGONOMICĂ

În faza de testare ergonomică modelul 3D dezvoltat în pachetul software Catia V5 a fost importat în software-ul de simulare Delmia V5 unde a fost supus la următoarea baterie de teste ce au vizat interacțiunea dintre produs și persoanele care intră în contact cu acesta (pacienți și cadre medicale):

- Ergonomia poziției culcat din punct de vedere mecanic;
- Ergonomia poziție șezut din punct de vedere mecanic;
- Analiza schimbării la nivelul gradelor de libertate în timpul translației;
- Analiza câmpului vizual în ambele poziții și în translația dintre ele;
- Interacțiunea personalului medical cu echipamentele de control;
- Ușurința de efectuare a mentenanței / service-ului;
- Comportamentul produsului în cazul apariției unor defecțiuni în funcționare.

Prezentăm mai jos cele mai importante aspecte din cadrul procesului de studiere a ergonomiei patului de spital HoPE, pentru fiecare grup de articulații sunt prezentate unghiurile minime / maxime și unghiul stabilit pentru poziția corectă a manechinului uman pe pat.

Articulația	Valoare minima	Valoare maxima	Poziția optima
Gat	-21°	24°	0°
Trunchi	-20°	57°	0°
Coapsa	-18°	113°	73°
Gamba	-135°	0°	38°

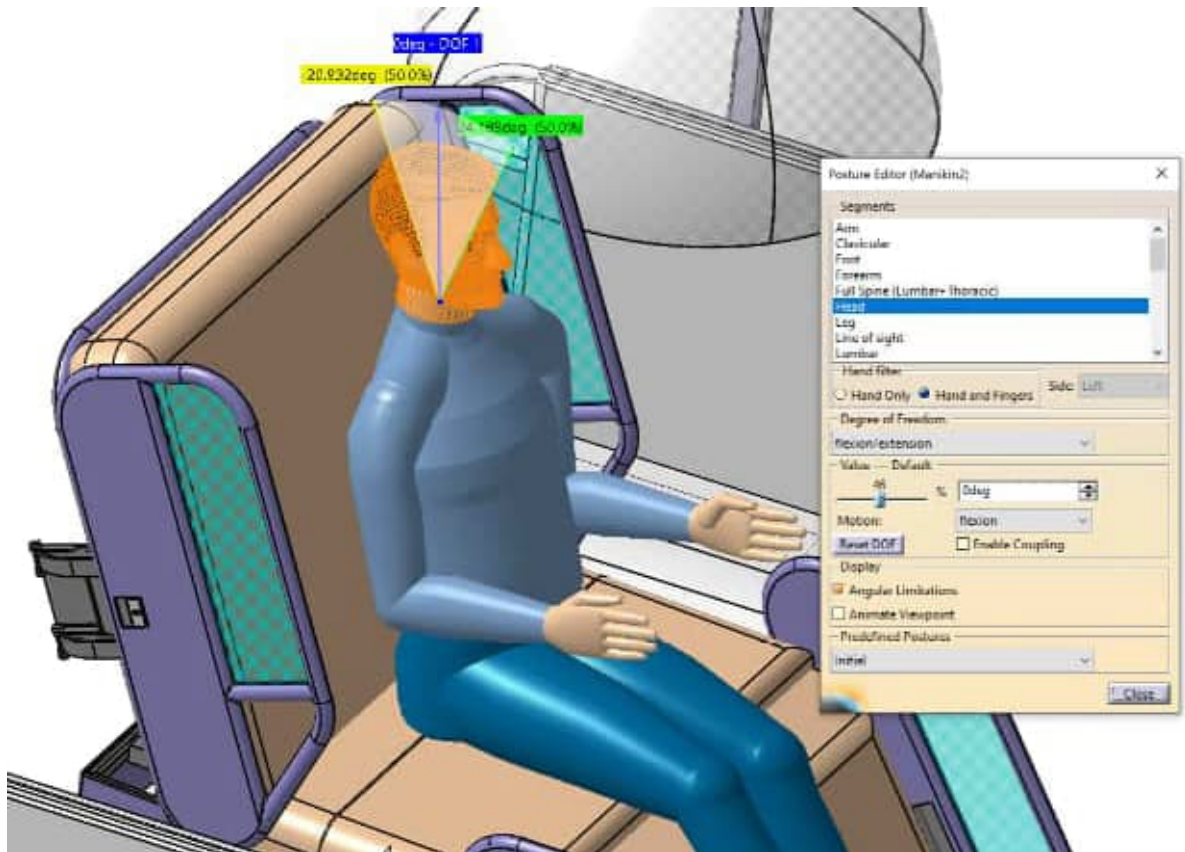


Fig. 4 Poziția unghiului capului în poziția fotoliu

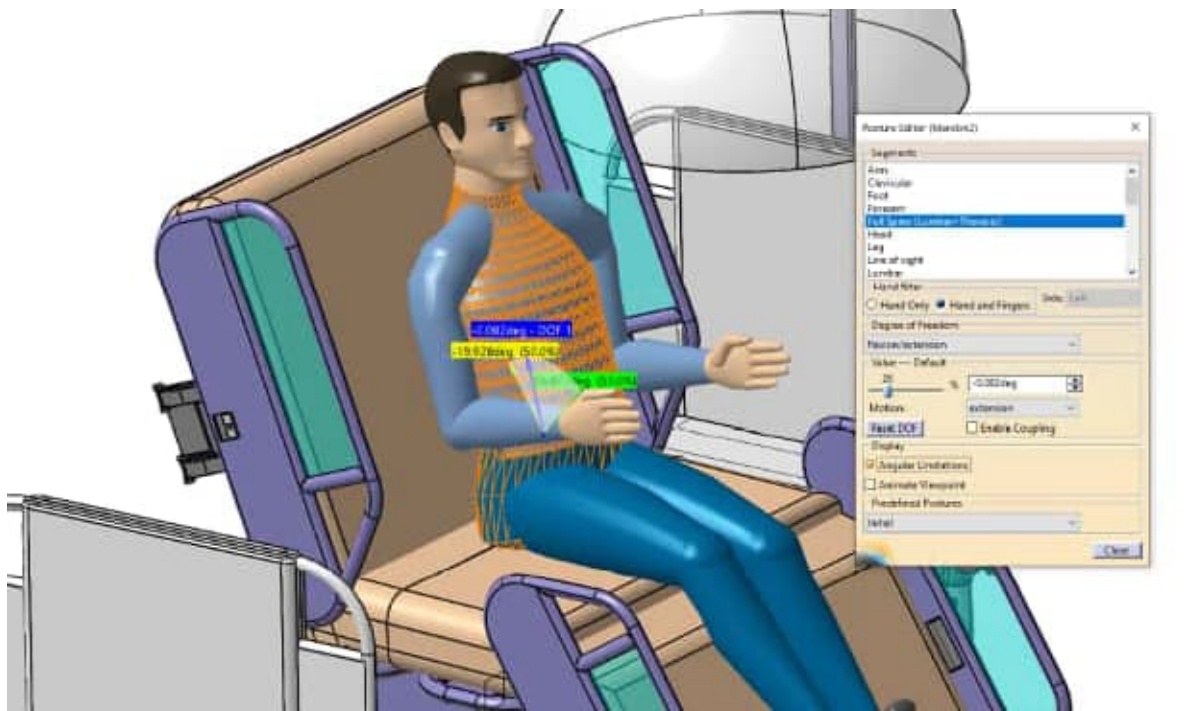


Fig. 5 Poziția trunchiului în poziția fotoliu

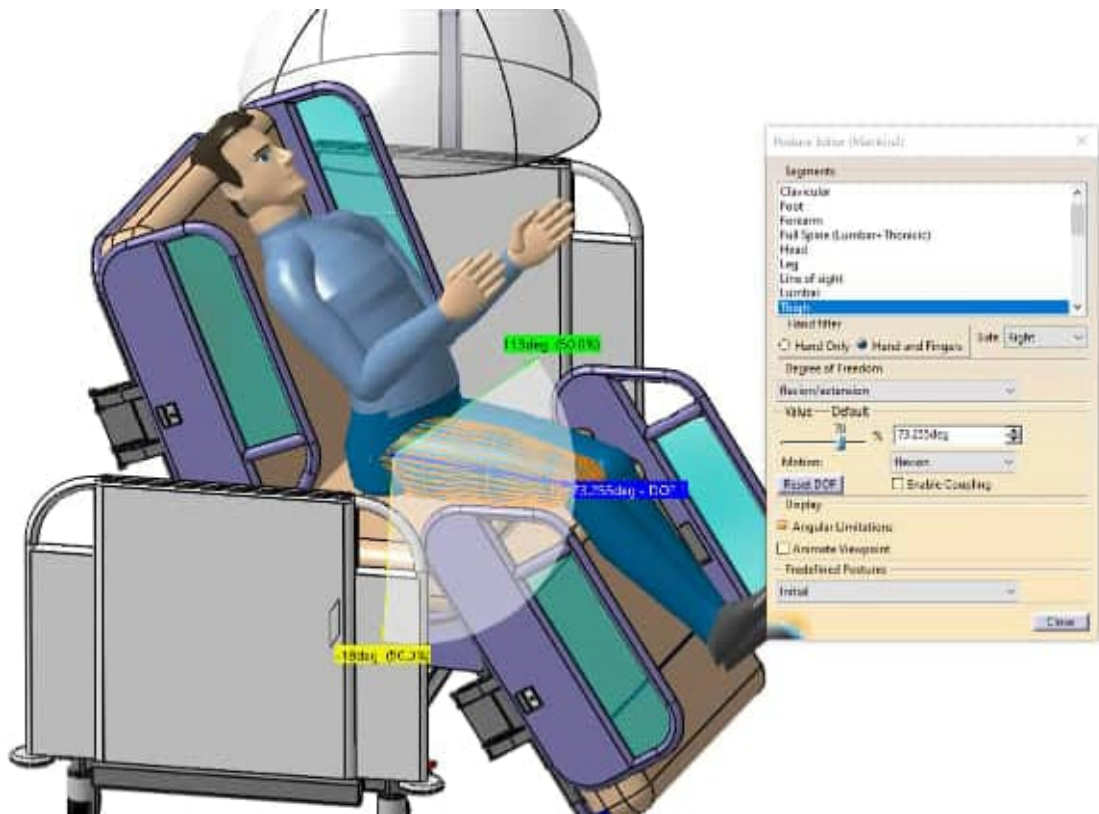


Fig. 6 Poziția coapsei in poziția fotoliu

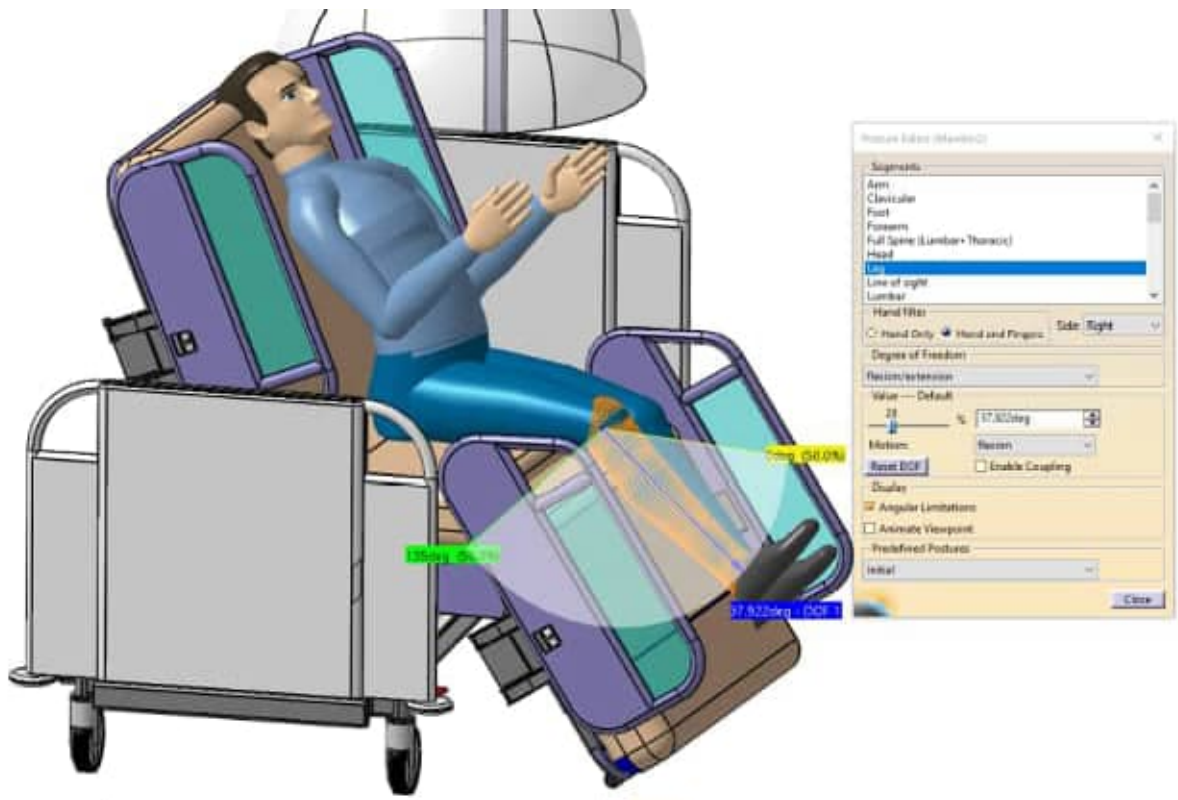


Fig. 7 Poziția gambei in poziția fotoliu

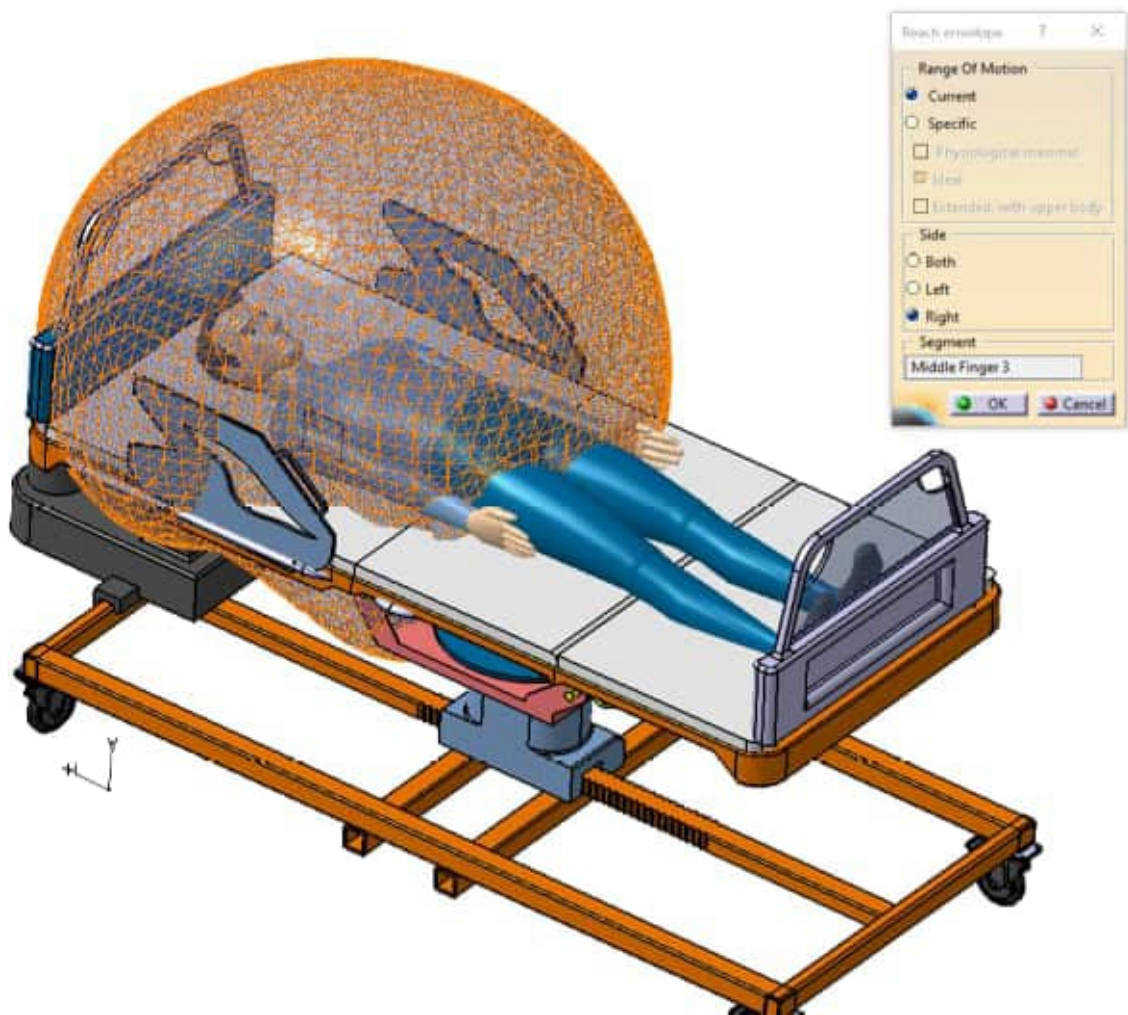


Fig. 8 Verificarea spațiului in care pacientul poate ajunge cu mana in vederea poziționării comenzilor

LISTELE DE CERINȚE

Listele de cerințe privitoare la noul produs a avut în vedere 3 categorii de părți interesate: pacienții, personalul medical, legislația și reglementările aplicabile. De asemenea, s-a ținut seama de constrângerile și cerințele determinate anterior inițierii proiectului, la nivelurile de dezvoltare TRL1 și TRL2 la nivelul matricei de implementare a metodei QFD, cunoscută sub denumirea de "Casa calității". Trecerea înspre nivelul TRL4 s-a realizat prin combinarea acestor categorii de cerințe, eliminarea redundanțelor și sortarea celor mai relevante rezultate cu ajutorul principiului lui Pareto încorporat la nivelul prezentării grafice realizată de pachetul software Qualica QFD utilizat de echipa de proiect. De asemenea, tot ca parte a ingineriei cerințelor la nivelul procesului de dezvoltare a noului produs au fost avute în vedere cerințele funcționale generate de caracteristicile intrinseci ale patului de spital, care au fost procesate ținând seama de principiile asociate sistemelor complexe adaptive și s-a aplicat conceptul global de Design Thinking, ținându-se seama de cerințele clienților, feedback-ul acestora în diversele etape de procesare, precum și de bunele practici de tip Design for X – Design for Six Sigma în care cercetătorii au o bogată experiență.

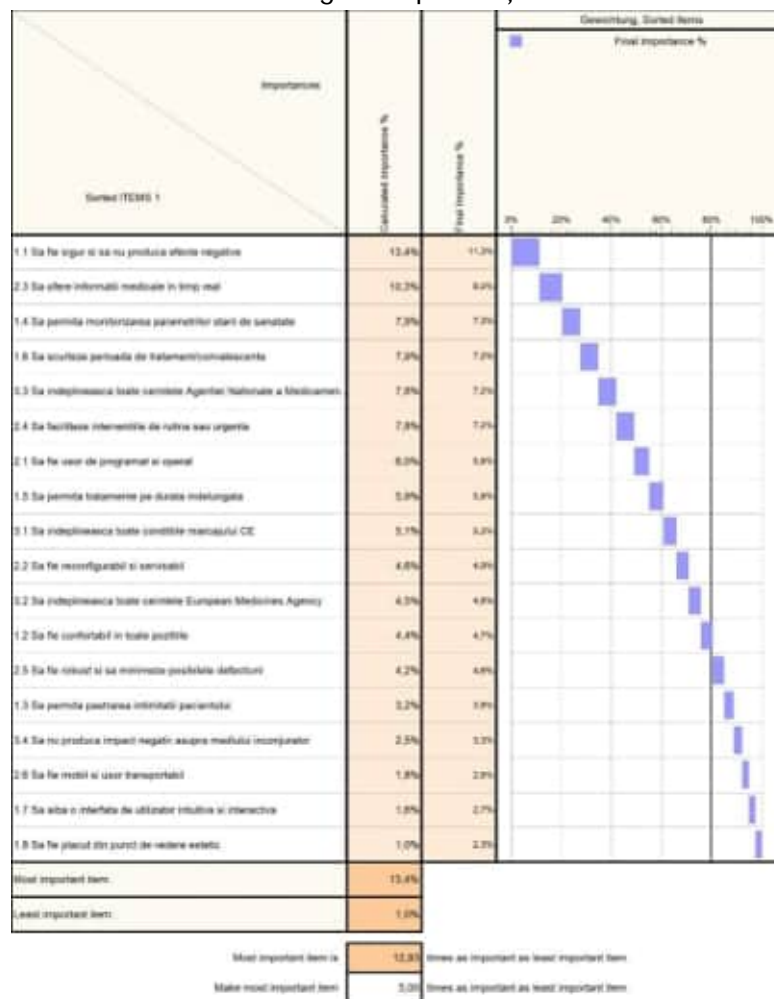


Fig. 9 Lista ierarhizată a cerințelor la adresa patului HoPE - Qualica QFD, metoda QFD

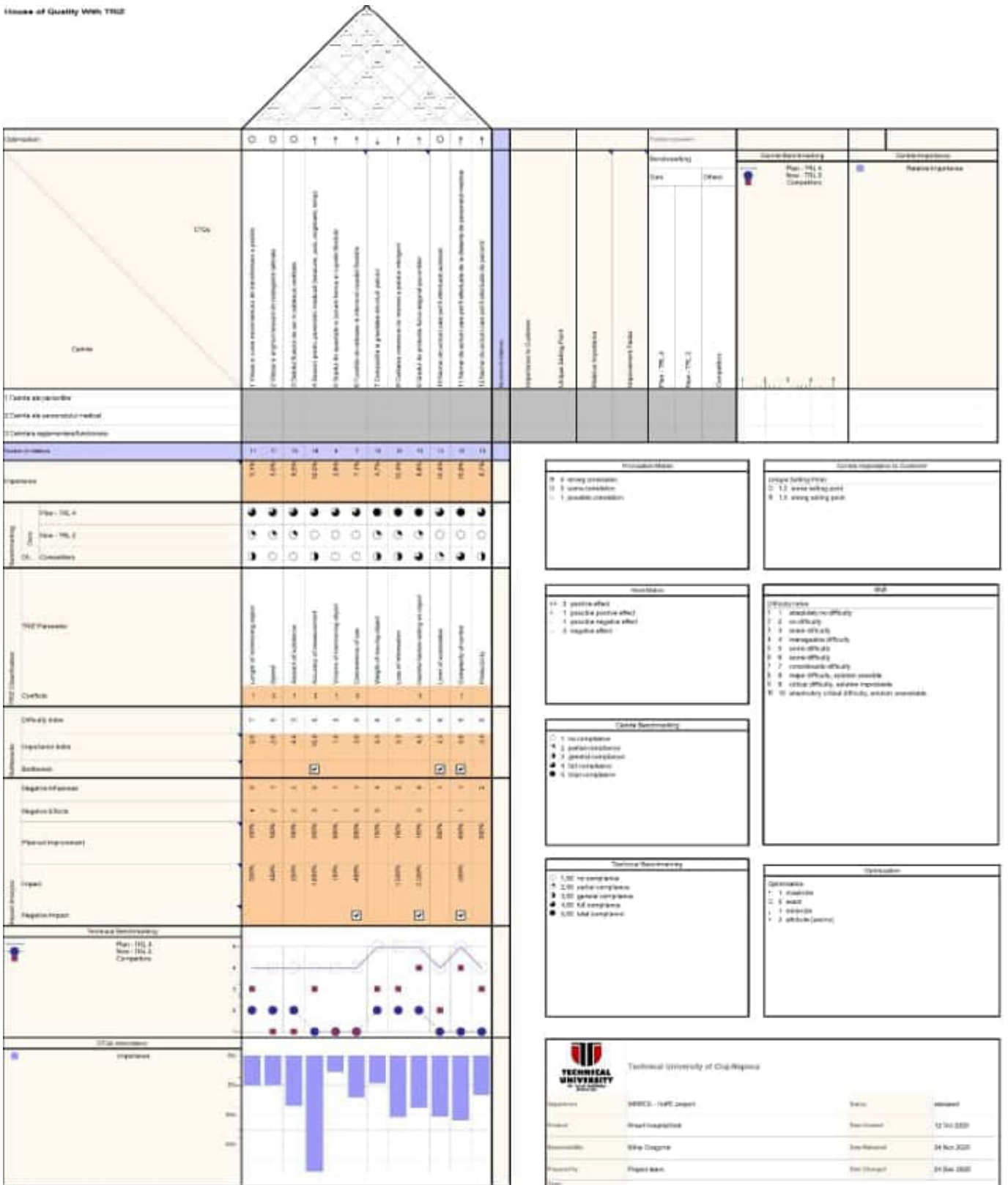


Fig. 10 Corelare cerințe/caracteristici, identificare constrângeri, analize comparative, studiul corelațiilor între caracteristici - Qualica QFD, metoda QFD

TRIZ Solutions

Ceas	TRIZ Parametri	Universul Efect	TRIZ Parametri	Inversive Principles	New Concepts
10 Funcție de reținer în reținerul suprafeței	Consistența și uzura	7) Corectarea și generarea structurilor pozitive	TRIZ Parametri TRIZ Parametri	<p>Have the subject perform subject functions. Identify eliminating the need for some other objects. Use an object for purposes of function needs. Increase its frequency, use as an alternative. Use the required quantity of resources, materials, and parameters. Use parameters obtained in comparison with an alternative.</p> <p>Make an object part of an object (instead of parts, context, etc.). If an object is already present, fit the parts in advance with some functions.</p> <p>Change an object's aggregate state, density distribution, and degree of flexibility, temperature.</p> <p>Remove a component from use or reposition it. If an object is already incorporated, increase the degree of its activity.</p> <p>Carry out all or part of the required action in advance. Arrange objects to fit in for this action in a timely manner. Use a prepared function.</p> <p>Use a harmful factor to remove a positive effect. Remove a harmful factor by combining it with another harmful factor.</p> <p>Replace an expensive object by a substitute of comparable value, having properties (e.g., length).</p>	<p>Modifică separat părțile funcției electrice</p> <p>Introduce corectarea și generarea structurilor pozitive în reținerul suprafeței</p> <p>Modifică separat părțile funcției electrice</p> <p>Introduce corectarea și generarea structurilor pozitive în reținerul suprafeței</p>
11 Gradul de protecție față de suprafețe	Consistența și uzura	8) Qualitate înlocuită în întregime în protecție	TRIZ Parametri	<p>Transfer from a homogeneous structure of an object or existing environment to a heterogeneous structure. Use different parts of the object early and different functions. Other parts of the object later sometimes need to use the same function.</p> <p>Use a harmful factor that is not a primary object of the same material or material part in some part of a homogeneous structure. Use a harmful factor that is not a primary object of the same material or material part in some part of a homogeneous structure.</p> <p>Replace a homogeneous material with a composite one.</p> <p>Make a protected action with a harmful factor. Use an action in advance period. Change its frequency. Use a harmful factor to remove a positive effect. Remove a harmful factor by combining it with another harmful factor. Increase the amount of harmful factor used in order to be harmful.</p> <p>Replace some parts of an object by gas or fluid. These parts can use an action in advance, in use as an alternative.</p> <p>Replace a homogeneous material with a composite one.</p> <p>Instead of an action assigned by the specifications of the problem, implement an opposite action. Make a moving part of the object in the subject environment immovable and the non-moving part movable. Turn the object upside down.</p> <p>Use a harmful factor to remove a positive effect. Remove a harmful factor by combining it with another harmful factor. Increase the amount of harmful factor used in order to be harmful.</p> <p>Use an elementary object to transfer an action. Typically convert an object to another one that is used in advance.</p> <p>Change an object's aggregate state, density distribution, and degree of flexibility, temperature.</p>	<p>Modifică separat părțile funcției electrice</p> <p>Introduce corectarea și generarea structurilor pozitive în reținerul suprafeței</p> <p>Modifică separat părțile funcției electrice</p> <p>Introduce corectarea și generarea structurilor pozitive în reținerul suprafeței</p>
12 Nivelul de activitate față de suprafețe	Consistența și uzura	9) Gradul de protecție față de suprafețe	TRIZ Parametri	<p>Use a harmful factor that is not a primary object of the same material or material part in some part of a homogeneous structure. Use a harmful factor that is not a primary object of the same material or material part in some part of a homogeneous structure.</p> <p>Replace a homogeneous material with a composite one.</p> <p>Make a protected action with a harmful factor. Use an action in advance period. Change its frequency. Use a harmful factor to remove a positive effect. Remove a harmful factor by combining it with another harmful factor. Increase the amount of harmful factor used in order to be harmful.</p> <p>Replace some parts of an object by gas or fluid. These parts can use an action in advance, in use as an alternative.</p> <p>Replace a homogeneous material with a composite one.</p> <p>Instead of an action assigned by the specifications of the problem, implement an opposite action. Make a moving part of the object in the subject environment immovable and the non-moving part movable. Turn the object upside down.</p> <p>Use a harmful factor to remove a positive effect. Remove a harmful factor by combining it with another harmful factor. Increase the amount of harmful factor used in order to be harmful.</p> <p>Use an elementary object to transfer an action. Typically convert an object to another one that is used in advance.</p> <p>Change an object's aggregate state, density distribution, and degree of flexibility, temperature.</p>	<p>Modifică separat părțile funcției electrice</p> <p>Introduce corectarea și generarea structurilor pozitive în reținerul suprafeței</p> <p>Modifică separat părțile funcției electrice</p> <p>Introduce corectarea și generarea structurilor pozitive în reținerul suprafeței</p>
13 Nivelul de activitate față de suprafețe	Consistența și uzura	10) Nivelul de activitate față de suprafețe	TRIZ Parametri	<p>Use a harmful factor that is not a primary object of the same material or material part in some part of a homogeneous structure. Use a harmful factor that is not a primary object of the same material or material part in some part of a homogeneous structure.</p> <p>Replace a homogeneous material with a composite one.</p> <p>Make a protected action with a harmful factor. Use an action in advance period. Change its frequency. Use a harmful factor to remove a positive effect. Remove a harmful factor by combining it with another harmful factor. Increase the amount of harmful factor used in order to be harmful.</p> <p>Replace some parts of an object by gas or fluid. These parts can use an action in advance, in use as an alternative.</p> <p>Replace a homogeneous material with a composite one.</p> <p>Instead of an action assigned by the specifications of the problem, implement an opposite action. Make a moving part of the object in the subject environment immovable and the non-moving part movable. Turn the object upside down.</p> <p>Use a harmful factor to remove a positive effect. Remove a harmful factor by combining it with another harmful factor. Increase the amount of harmful factor used in order to be harmful.</p> <p>Use an elementary object to transfer an action. Typically convert an object to another one that is used in advance.</p> <p>Change an object's aggregate state, density distribution, and degree of flexibility, temperature.</p>	<p>Modifică separat părțile funcției electrice</p> <p>Introduce corectarea și generarea structurilor pozitive în reținerul suprafeței</p> <p>Modifică separat părțile funcției electrice</p> <p>Introduce corectarea și generarea structurilor pozitive în reținerul suprafeței</p>
14 Nivelul de activitate față de suprafețe	Consistența și uzura	11) Nivelul de activitate față de suprafețe	TRIZ Parametri	<p>Use a harmful factor that is not a primary object of the same material or material part in some part of a homogeneous structure. Use a harmful factor that is not a primary object of the same material or material part in some part of a homogeneous structure.</p> <p>Replace a homogeneous material with a composite one.</p> <p>Make a protected action with a harmful factor. Use an action in advance period. Change its frequency. Use a harmful factor to remove a positive effect. Remove a harmful factor by combining it with another harmful factor. Increase the amount of harmful factor used in order to be harmful.</p> <p>Replace some parts of an object by gas or fluid. These parts can use an action in advance, in use as an alternative.</p> <p>Replace a homogeneous material with a composite one.</p> <p>Instead of an action assigned by the specifications of the problem, implement an opposite action. Make a moving part of the object in the subject environment immovable and the non-moving part movable. Turn the object upside down.</p> <p>Use a harmful factor to remove a positive effect. Remove a harmful factor by combining it with another harmful factor. Increase the amount of harmful factor used in order to be harmful.</p> <p>Use an elementary object to transfer an action. Typically convert an object to another one that is used in advance.</p> <p>Change an object's aggregate state, density distribution, and degree of flexibility, temperature.</p>	<p>Modifică separat părțile funcției electrice</p> <p>Introduce corectarea și generarea structurilor pozitive în reținerul suprafeței</p> <p>Modifică separat părțile funcției electrice</p> <p>Introduce corectarea și generarea structurilor pozitive în reținerul suprafeței</p>
15 Nivelul de activitate față de suprafețe	Consistența și uzura	12) Nivelul de activitate față de suprafețe	TRIZ Parametri	<p>Use a harmful factor that is not a primary object of the same material or material part in some part of a homogeneous structure. Use a harmful factor that is not a primary object of the same material or material part in some part of a homogeneous structure.</p> <p>Replace a homogeneous material with a composite one.</p> <p>Make a protected action with a harmful factor. Use an action in advance period. Change its frequency. Use a harmful factor to remove a positive effect. Remove a harmful factor by combining it with another harmful factor. Increase the amount of harmful factor used in order to be harmful.</p> <p>Replace some parts of an object by gas or fluid. These parts can use an action in advance, in use as an alternative.</p> <p>Replace a homogeneous material with a composite one.</p> <p>Instead of an action assigned by the specifications of the problem, implement an opposite action. Make a moving part of the object in the subject environment immovable and the non-moving part movable. Turn the object upside down.</p> <p>Use a harmful factor to remove a positive effect. Remove a harmful factor by combining it with another harmful factor. Increase the amount of harmful factor used in order to be harmful.</p> <p>Use an elementary object to transfer an action. Typically convert an object to another one that is used in advance.</p> <p>Change an object's aggregate state, density distribution, and degree of flexibility, temperature.</p>	<p>Modifică separat părțile funcției electrice</p> <p>Introduce corectarea și generarea structurilor pozitive în reținerul suprafeței</p> <p>Modifică separat părțile funcției electrice</p> <p>Introduce corectarea și generarea structurilor pozitive în reținerul suprafeței</p>

Fig. 11 Dezvoltarea caracteristicilor și funcțiilor inovative- Qualica OFD, metoda TRIZ (extras)

PROIECT TEHNIC / SPECIFICAȚIE

În cele ce urmează, pot fi consultate sub formă de imagini principalele proiecte de execuție pentru realizarea componentelor patului care se produc în laboratorul experimental. Acestea vor fi mai apoi integrate la nivelul produsului final care va fi echipat cu acele componente ce provin din achiziții externe pentru realizarea tuturor funcționalităților dorite.

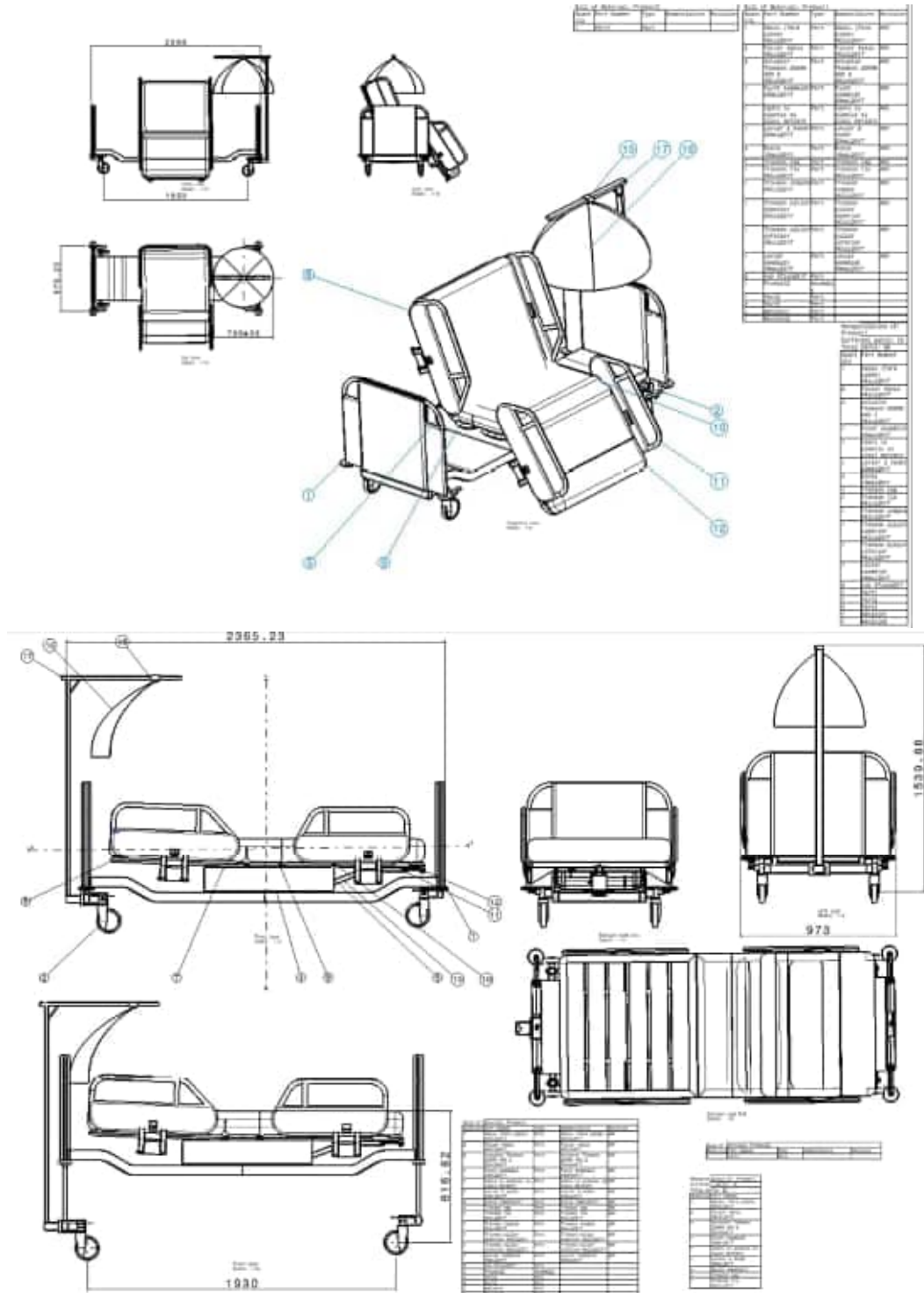
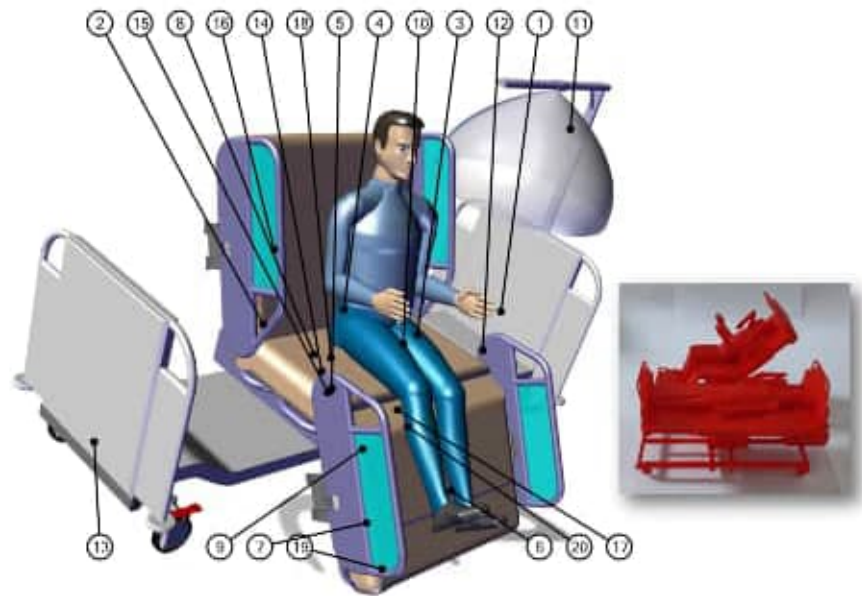


Fig. 12 Desen de execuție



Descripción	BOM ID	Qty	Descripción	BOM ID	Qty	Descripción	BOM ID	Qty
Actuator Thomson 240mm 400	1	2	Lămpă 2	5	1	Scaun subscandă	15	1
Batele P-3T	3	1	Lămpă 3P	6	1	Trombon cap	16	1
Batele 10x2 3T	2	1	Cherchitoi	10	2	Trombon corpale susținere	17	1
Balansă	4	2	Placi	11	6	Trombon bra	18	1
Cartrij cu gaze în rezervoare scuzoare	5	1	Placi scuzo	12	1	Trombon cablu electric scuzoare	19	1
Clap FRN -40 - FIDR	7	1	Placi scuzo FIDR - 22	13	1	Trombon cablu suportare sistem	20	1
Clap SD1	8	1	Placi scuzo 22	14	1			

Fig. 13 Componente structură mecanică (BOM)

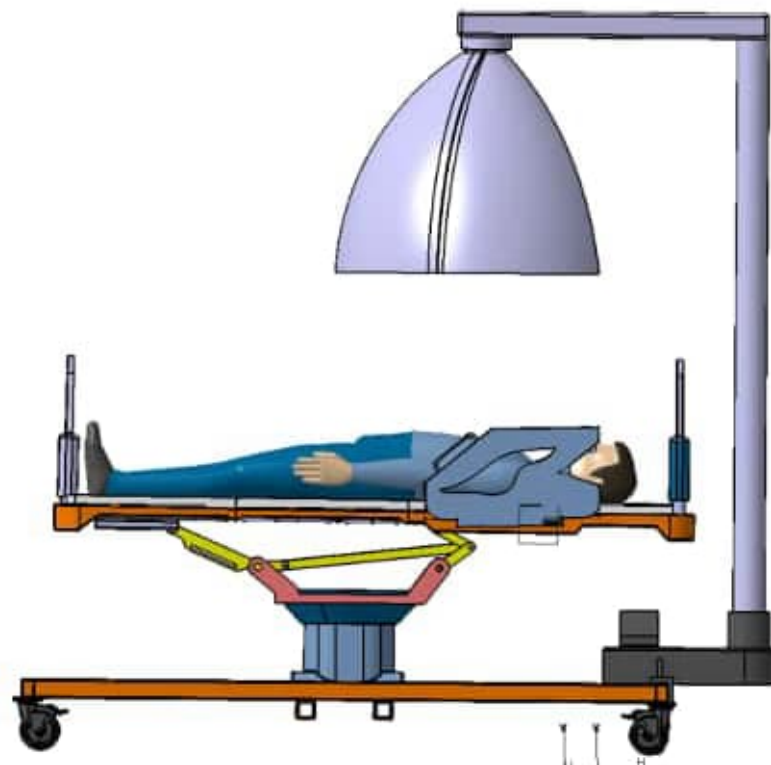


Fig. 14 Pat versiunea 1 - întins

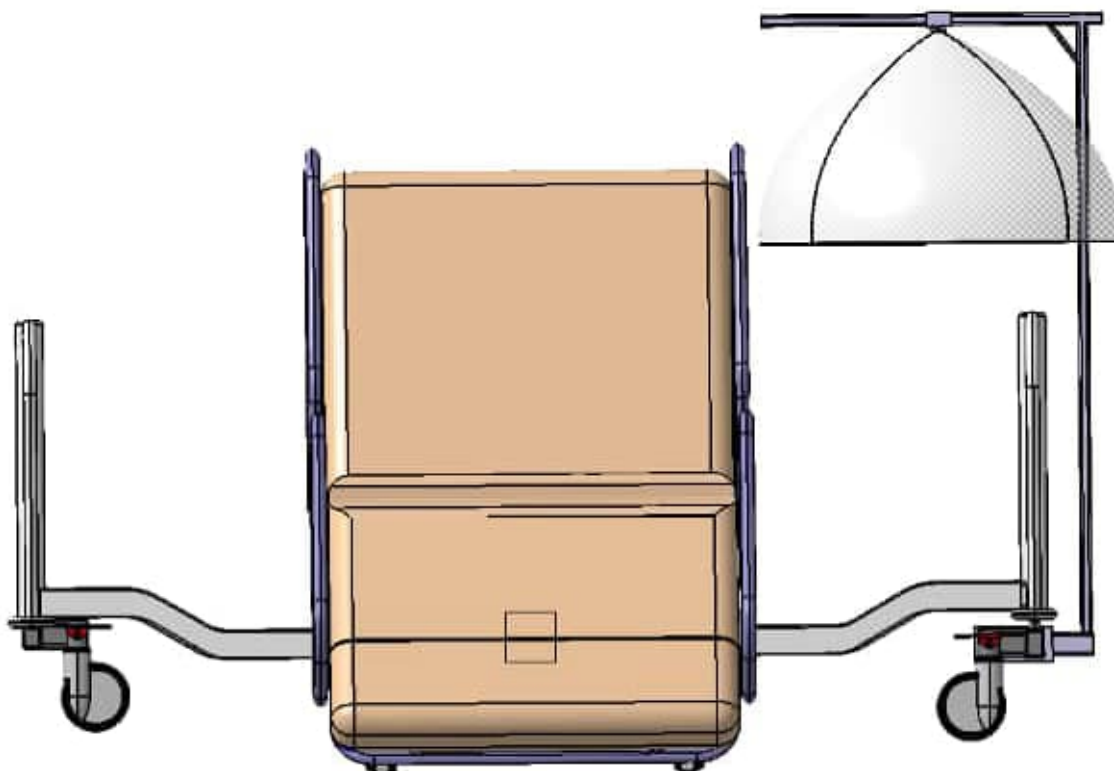


Fig. 15 pat versiunea 2 – fotoliu

LISTA DE MATERIALE NECESARE

Pentru realizarea produsului, sunt necesare liste de materiale (Bill of materials) care includ atât componente proiecte și fabricate, cât și componente achiziționate prin proiect "off the shelf". În faza 2 a proiectului aceste două direcții se vor intersecta, urmând ca eforturile principale să fie concentrate pe dezvoltarea și testarea funcțiilor smart ale patului de spital.

În momentul de față, principalele materiale și componente sunt:

- Pachet profile și conectori din aluminiu
- Actuatori liniari și conectori
- Motoare pas cu pas și drivere
- Roți omnidirecționale
- Controler logic programabil (PLC)
- Dispozitiv de control EPOC X Brainwear
- Tablete Microsoft Surface Pro pentru interfațare
- Pachet de ochelari pentru realitate virtuală
- Echipamente suport (compresor, ventilator etc.)

PROTOTIP DE LABORATOR

Ultima etapă a fazei 1 de lucru din cadrul proiectului a fost realizarea unui prototip funcțional de laborator, la scara 1:25, prin printare 3D, utilizând o imprimantă de tip FDM Prusa I3MK3S. Acesta este în prezent folosit pentru validarea diferitelor funcții și caracteristici tehnice ale patului și va oferi informații utile necesare în faza 2, când se va face asamblarea la scara 1:1 și testarea patului.

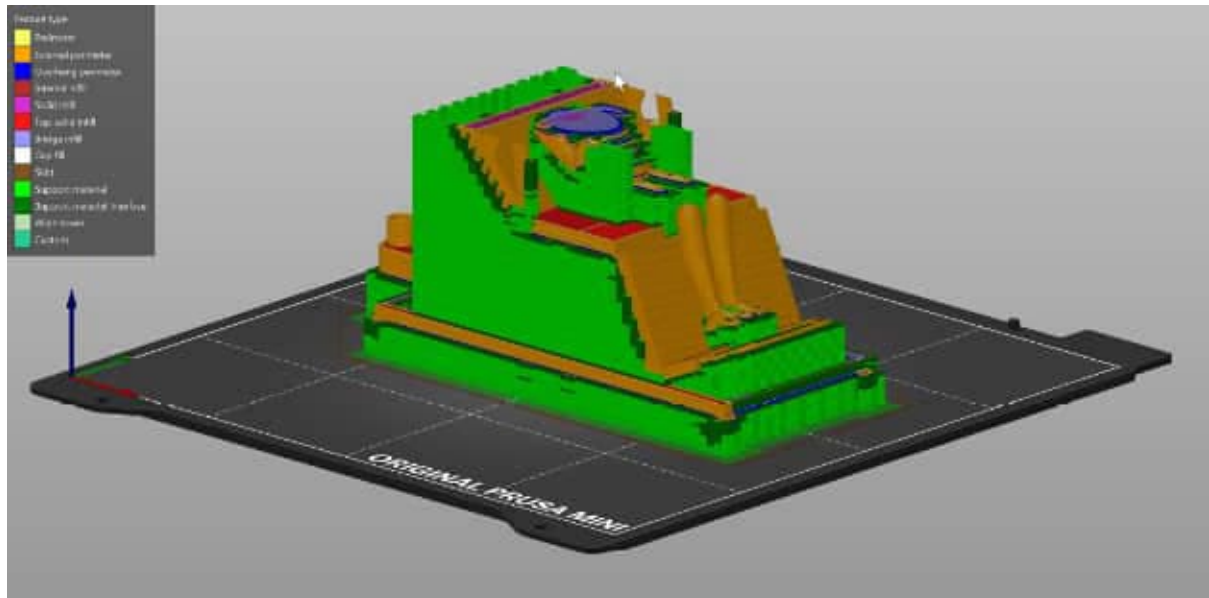


Fig. 16 3D slice pentru modelul printat

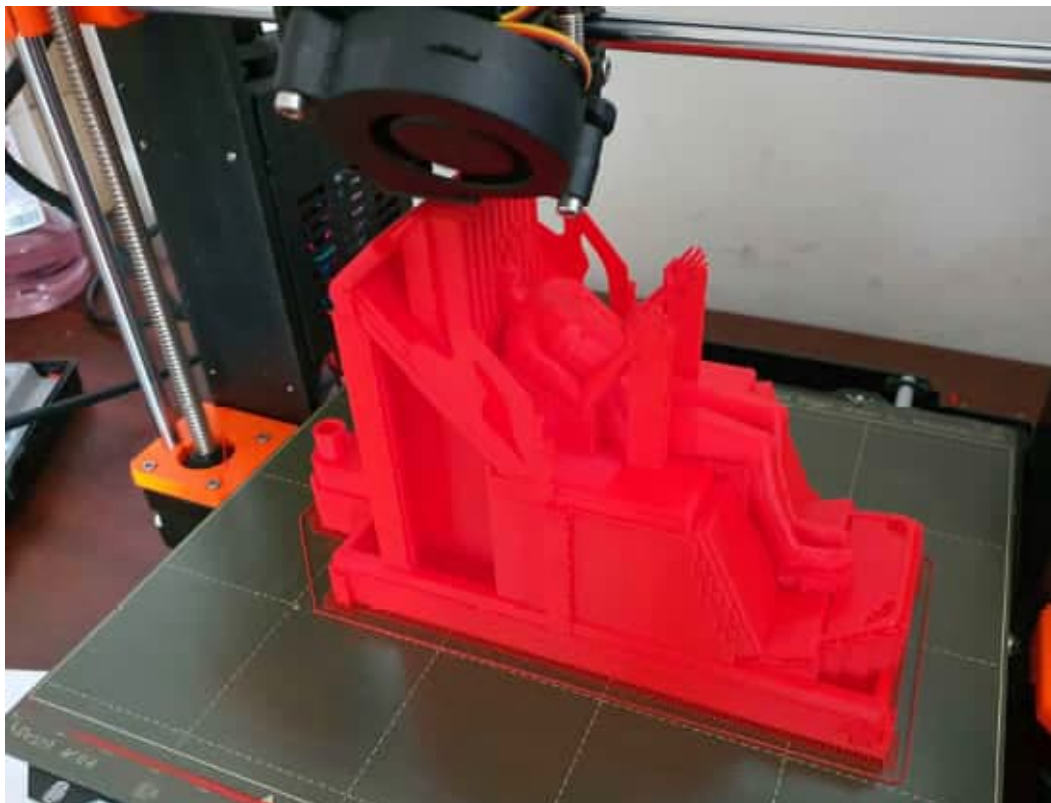


Fig. 17 Printarea 3D a prototipului



Fig. 18 Model 3d printat

Concluzii

Proiectul 345PED – HoPE și-a îndeplinit obiectivele și țintele pentru anul de implementarea 1 (corespunzând lunilor august-decembrie 2020) și este pregătit pentru a trece în etapa a doua de dezvoltare, în care se va realiza integrarea tuturor sistemelor prezentate anterior în noul produs la nivelul TRL 4. Din punct de vedere financiar, proiectul s-a încadrat în anvelopa de buget alocată prin contractul de finanțare și a respectat regulile programului, inclusiv cele privind flexibilitatea în cheltuirea fondurilor între liniile de buget. Achizițiile publice s-au efectuat la timp și fără a întâmpina dificultăți.

Menționăm, de asemenea, în anul 2020 s-a reușit deja, în avans, publicarea unui articol științific indexat ISI în quartila Q1 (zona roșie) în revista Polymers. Considerăm că atingerea celorlalte ținte de diseminare va fi astfel simplificată, iar proiectul are șansa să depășească cu succes indicatorii asumați, atât pe dimensiunea publicațiilor, cât și în ceea ce privește prototipul de pat de spital inteligent.

Cluj-Napoca, 9 decembrie 2020

Prof.dr.ing. Mihai Dragomir
Director proiect