Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gyártástudomány és -technológia Tanszék

Különleges robotok és robot alkalmazások

Egészségügyi robotok II.

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

Összeállította:
Tóth András tudományos munkatárs

Előadásvázlat

- Robotsebészet
- Tanszéki kutatás-fejlesztési és innovációs projektek
  - REHAROB: agysérültek felső végtagját gyógytornáztató robot
  - DOMEO: időseket otthonukban segítő szociális és fizikális társrobotok
  - EVRYON: ember-gép szimbiotikus együttműködését kihasználó viselhető, járást segítő robot

www.manuf.bme.hu jelszó birtokosainak

Robotsebészeti módszerek

Teleoperáció

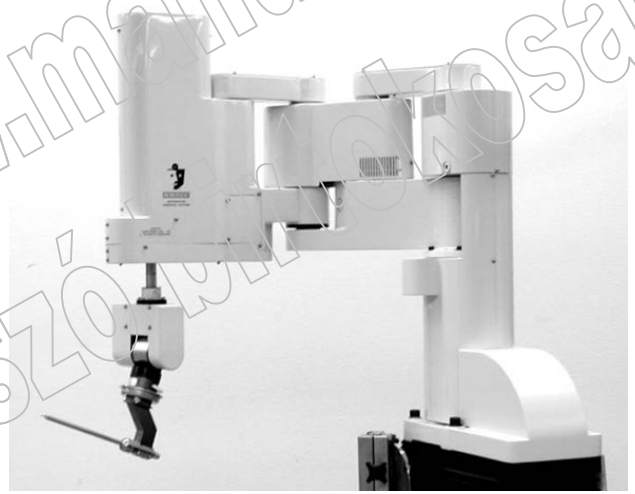
Sebész az irányítási hurokban

Jelfeldolgozási és aktuálási feladatokat a sebész végzi

Regisztrációs (képalkotás) alapú

Sebész felügyeli a folyamatot

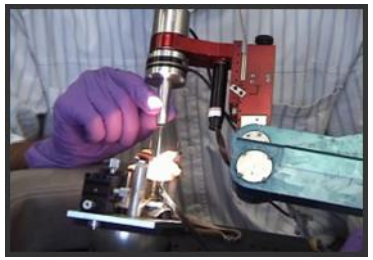
Jelfeldolgozási és aktuálási feladatok részben automatikusak



Kooperatív

Sebész/robot között megosztott irányítási folyamat

Jelfeldolgozási és aktuálási feladatok részben automatikusak



www.manuf.bme.hu
jelszó bmokosainak

Forrás: White House, ISS Inc.

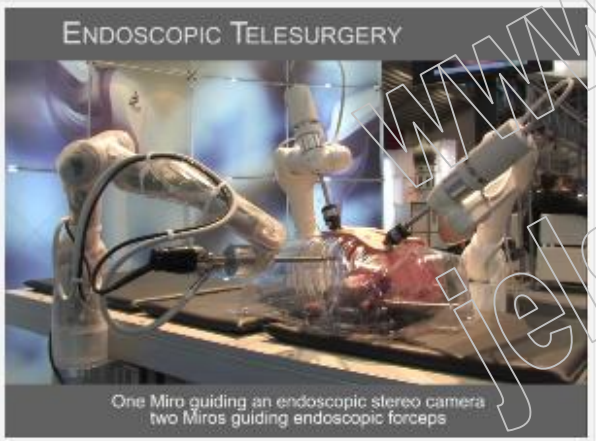
Minimál invazív robottal támogatott sebészet

- Korábbi előadásban a robotsebészet témaköréből bemutattuk:
  - Csípőprotézis operáció
  - Agysebészet

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

Endoszkópos műtét

(kis bemetszésen keresztül egy kamera és két csipesz)



The DLR MIRO robot as part of the MiroSurge system.

Oszteotómia (csontvésés)

First robot-assisted ostetomy tests with the DLR MIRO robot in collaboration with

Biopszia

(szövetminta vétele a test belsejéből)

Robot-assisted, navigated biopsy application with the KineMedic (DLR's

- Elengedhetetlen modern 3D képalkotó rendszerek használata az irányításban

Forrás: www.dlr.de

Catheter robot

- http://www.dot-medical.com/catheter-robotics-ce-mark.html

www.mogyt.bme.hu
jelszó a hallgatóinak

Műtőssegéd, Radiológiai sebészet (Cyberknife), Robotkapszula, Kéztámasz

- Sebészorvos számára a műtéti eszközök átadása, tőle elvétele, nyilvántartása

- Szövetroncsoló sugárforrást mozgató robotrendszer (KUKA ipari robotokra épül)

- Testüregi műtétekhez alkalmazott robotkapszula; kábellel ill. külső mágneses erőtér által továbbított energia és jelek segítségével működik

- Sebészorvos fiziológiai kézremegését kompenzáló robotos kéztámasz

www.manuf.bme.hu jelszó birtokosa.mak

Forrás: allaboutroboticsurgery.com

Működő rendszerek száma

Teleoperációs:

- Zeus: 50 (–2002, discontinued 2003)
- Hansen Sensei: 120 (–Q3 2011)
- da Vinci: ~2150 (2012)

Regisztrációs:

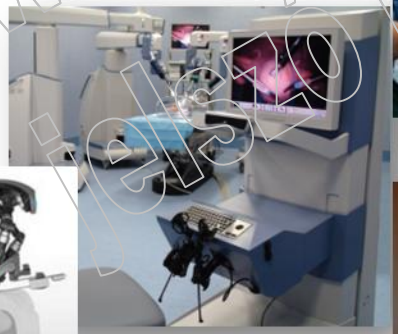
- NeuroMate: ~30 (16 by ISS)
- ROBODOC: ~50 (37 before 2000)
- MAKO: 86 (–09.2011)
- SpineAssist: 3 (–07.2010 in the USA)
- CyberKnife: 200 (–2010)

Forrás: allaboutroboticsurgery.com

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

Legújabb fejlesztések

- Amadeus (Titan Med., clinical to h2 2013)
- ALF-X Telelap (CE, clinical to Q1 2012)
- Surgenius (Surgica Robotics, 2012)
- Raven2 (UW, clinical in 2012)
- neuroArm (IMRIS, FDA in 2012)
- Micro Hand A (Tianjin University)
- Lapabot (National Cancer Center, SK)
- Huatuo/Vesalius (ICEMR, 2011)
- MIRO (DLR, animal 2011)
- Rosa (MedTech, 2011)
- New ROBODOC (Curexo)
- Eye Robot (JHU, ex-vivo only)



Forrás: allaboutroboticsurgery.com

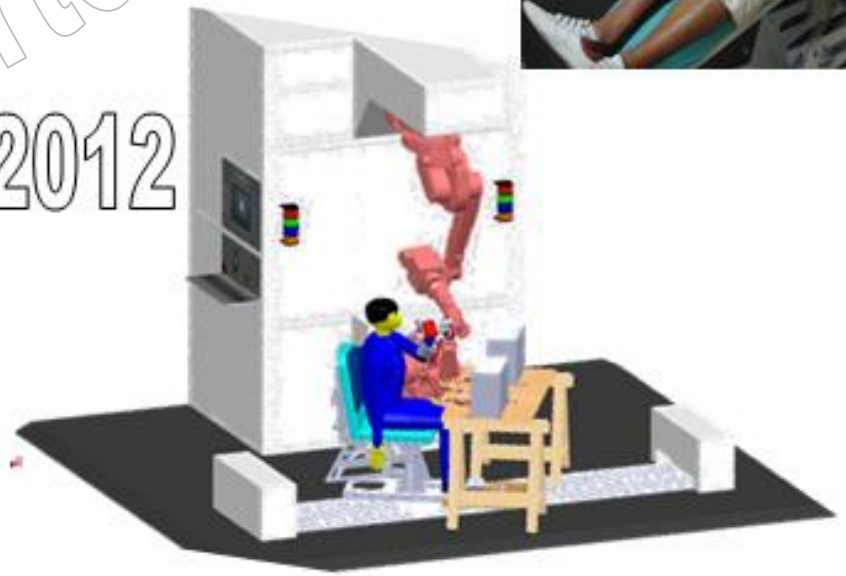
www.manuf.bme.hu
jelszó bit okosan.hu

Gyártástudomány- és technológia tanszék vezető egészségügyi robotikai projektjei

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

REHAROB: Mozgássérültek felső végtagjának gyógytornáztatása ipari robottal

- Tervezés és fejlesztés 2000-2003-ig EU projekt támogatásával
- Rásegítő projektek: FIZIOROBOT (2004-2005), ROBOTERÁPIA (2006-2007)
- Országos Orvosi Rehabilitációs Intézetben egy egyszerű (2003) és egy kontrollált (2005) klinikai vizsgálat:
  - 40 fő
  - 15 hónap
- COSMOSYS (NKTH-TéT, 2010-2012)
- Orvostechnikai tanúsítás
- A robotos gyógytorna beépítése a napi munkába



www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

Féloldali bénulás: néhány jellemző

- Gyakoriság:
- Átlagosan 800-1500 eset jut minden 100000-es populációra évente az Európai Unióban.

- Féloldali bénulást okoz:
  - Agyi érkatasztrófa (STROKE)
  - Agyvérzés (STROKE)
  - Agydaganat
  - Agysérülés
  - Multiple sclerosis
  - Születéskori agykárosodás

www.manuf.bme.hu jelszó birtokosainak

Mi az a spasztikus hemiparézis
("szabályozási hiba": állandó alapjel)

Wernicke – Mann tartás

Megnövekedett izomtónus, elsődlegesen az antigravitációs izmokban:

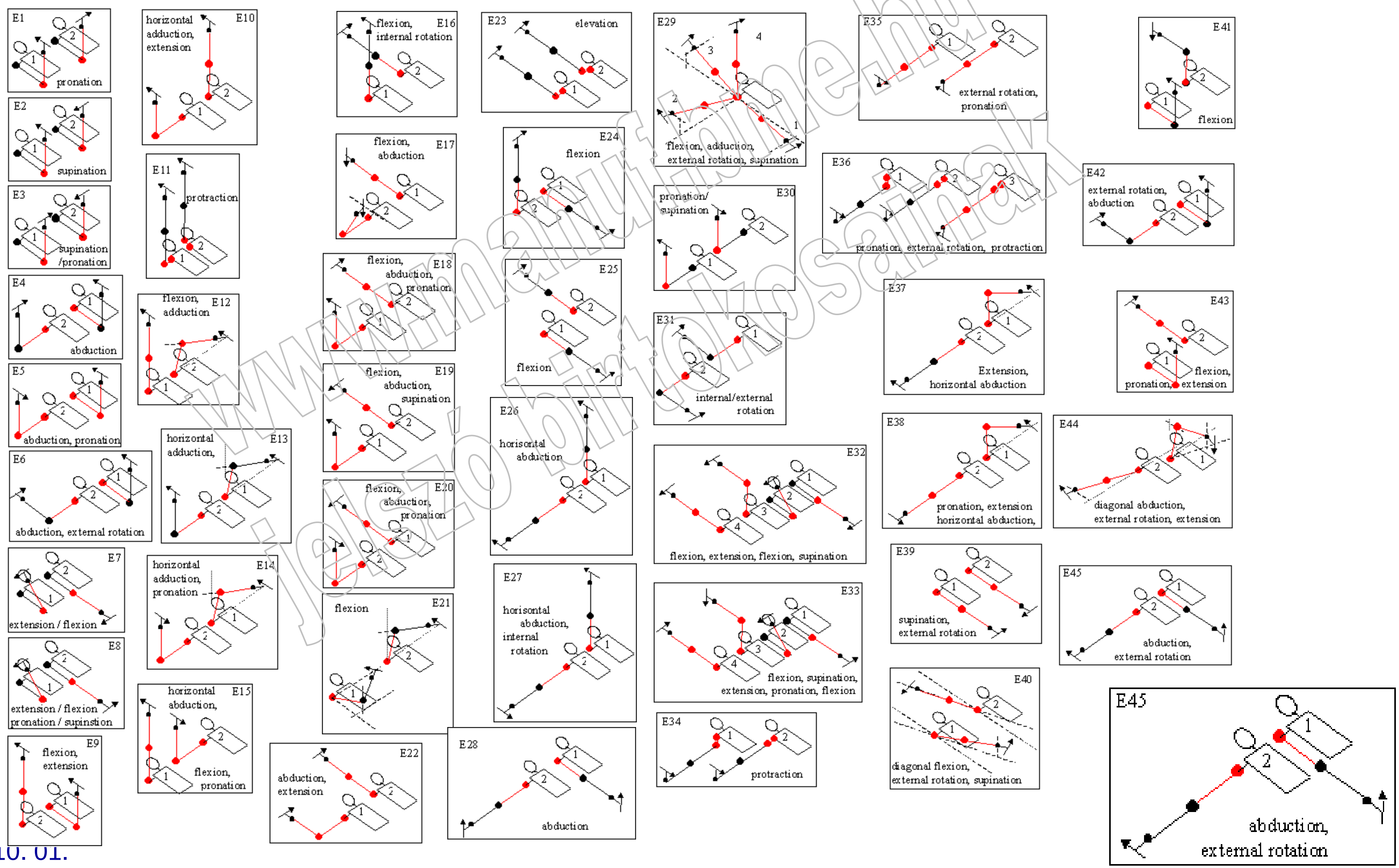
- felső végtag: hajlító izmok,
- alsó végtag: feszítő izmok

Rehabilitáció:

- egy gyógytornász 4 beteget kezel naponta
- 2 x 45-60 min gy.torna/fő naponta
- intézeti rehabilitáció: 20-25 nap
- EU:700 Euro/nap, USA: 1400$/nap

www.mmut.bme.hu jelszó birtokosainak

45 váll-könyök gyakorlat a 8 ismert iskola szerint



www.manualfree.hu jelszóbirtokosainak

MULTIMÉDIA-KATALÓGUS

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

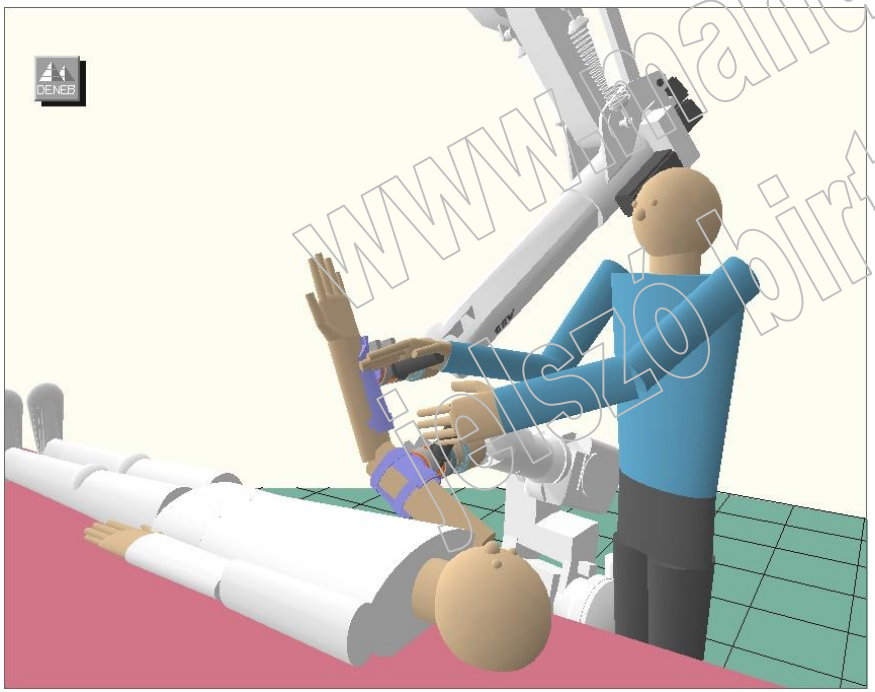
8. Gyakorlat

Kiinduló helyzet

Véghelyzet

A REHAROB gyógytornáztató berendezés

- Célkitűzés: személyre szabott teljes térbeli váll-könyök gyógytonásztatás spasztikus hemiparetikus betegeken.

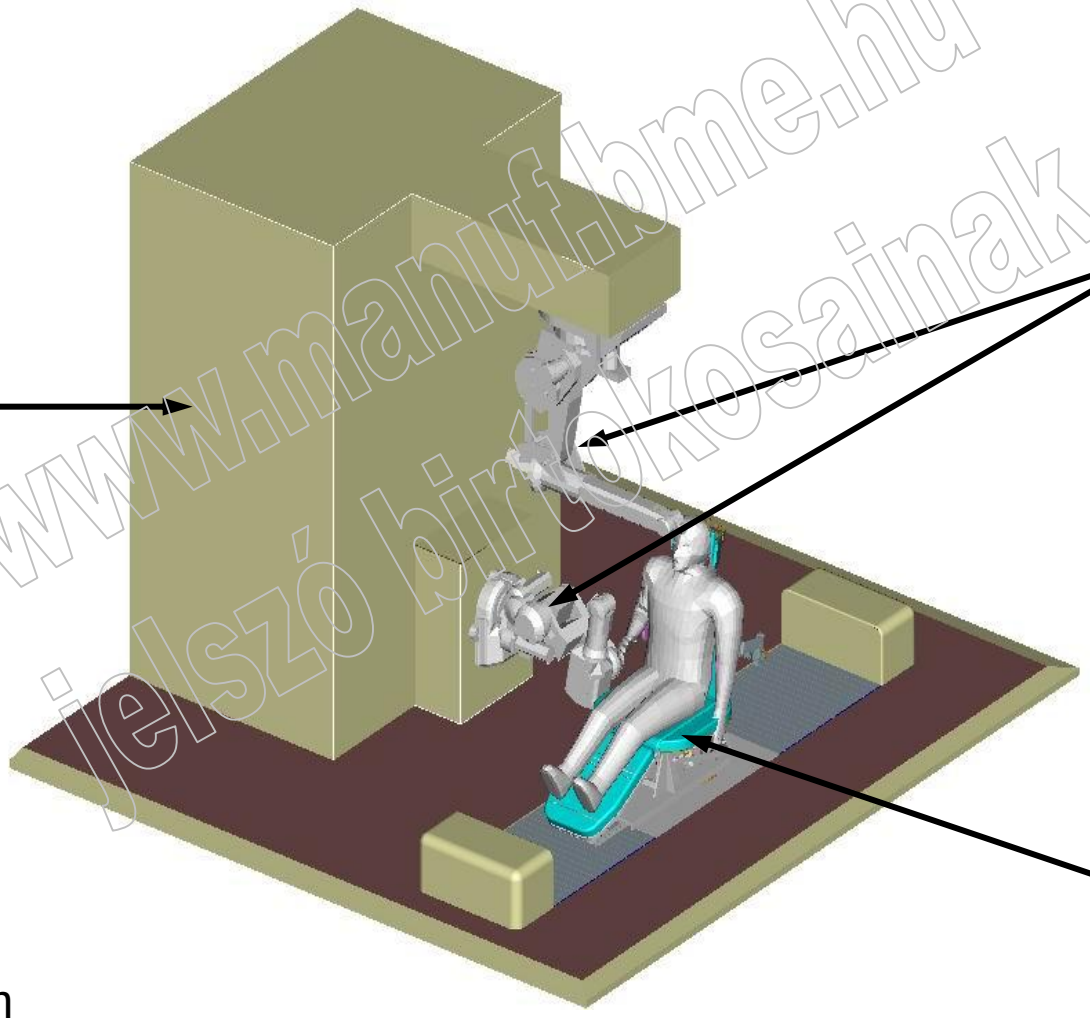


Hogyan?

- Kiválasztottunk két ABB ipari robotot.
- A kisebbik a felkart, a nagyobbik az alkart mozgatja.
- A gyógytornász ún. betanításos programozással készíti el a gyakorlatok programját. A fogantyúk segítségével mozgatja a beteg kart, miközben a robotok megjegyzik a mozgásokat.

www.manuf.bme.hu
Fejlesztő birtokosainak

A REHAROB berendezés számítógépes terve



Állvány

Ipari robotok

Motoros kezelőszék

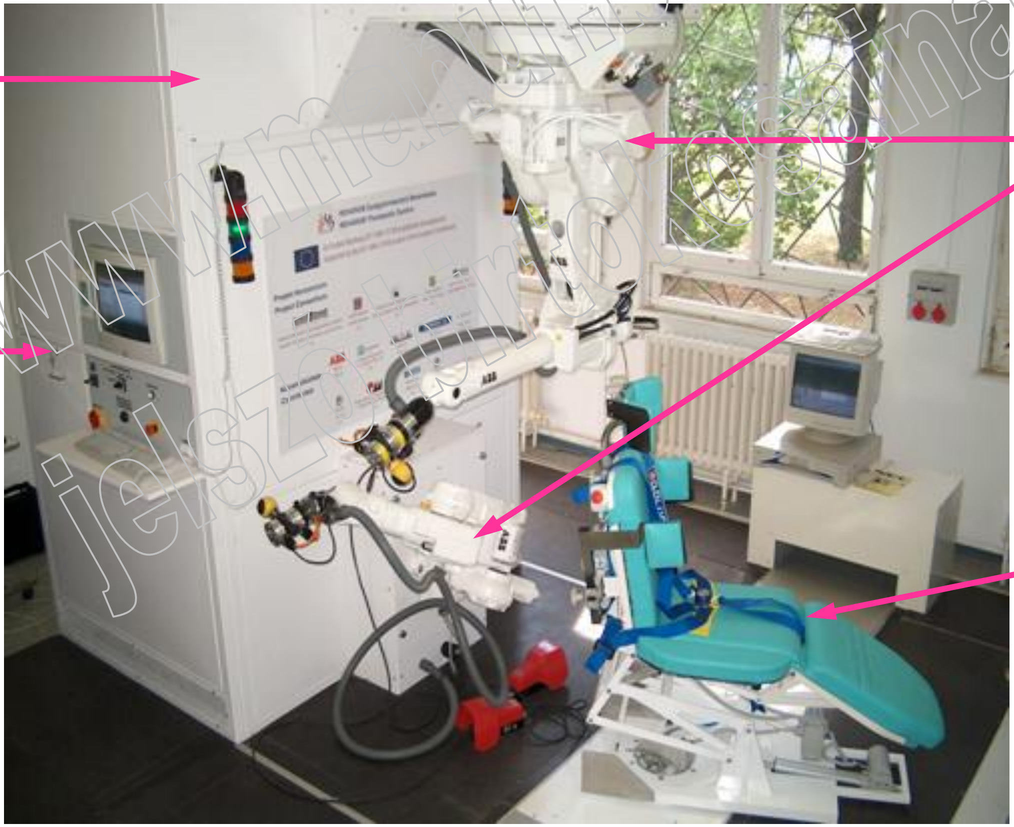
Alap: 5x4.6 m^2

Magasság: 2.8 m

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

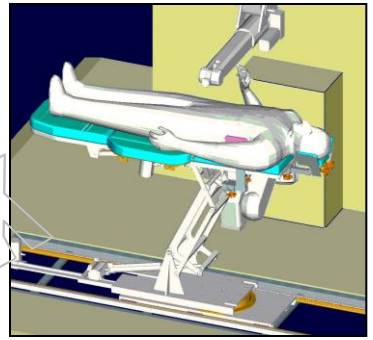
A REHAROB Gyógytornáztató Berendezés első prototípusa (2003)

www.manuf.bme.hu
jelszó: hallgatóinak



Motoros kezelőszék

ágy ↔ szék átalakulás



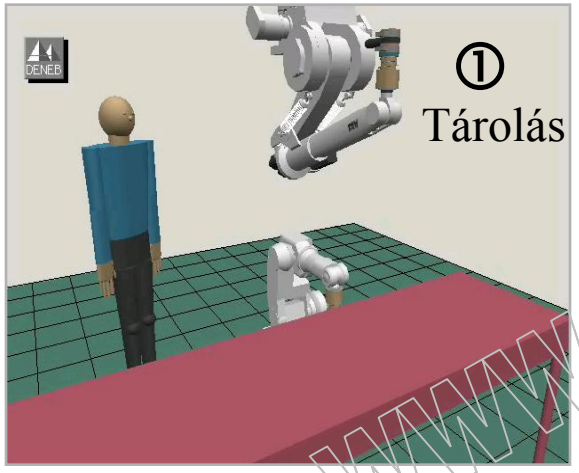
Elmozdulás vízszintes irányban.:
-1000 ↔1000 mm

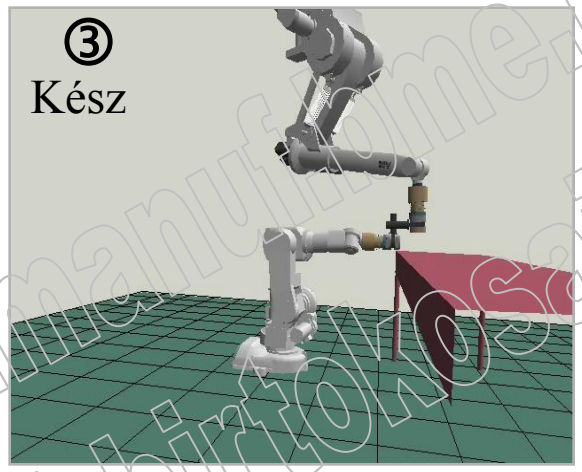
Emelés:
400 ↔1000 mm

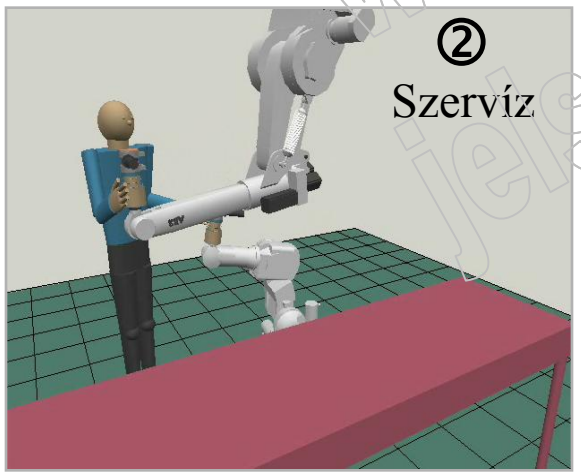
Döntés: 0 ↔20 fok

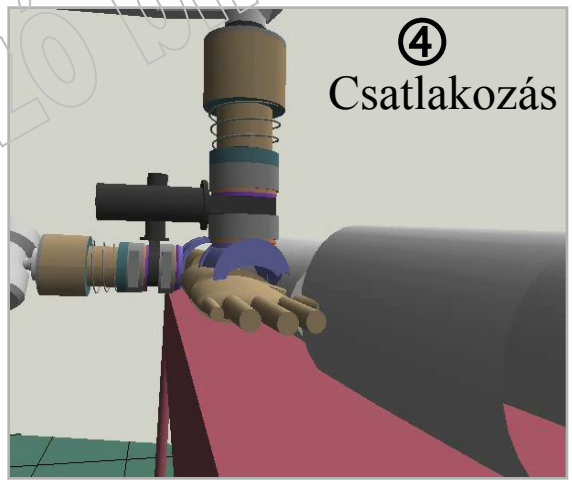
www.mogi.bme.hu
jelszó birtokosainak

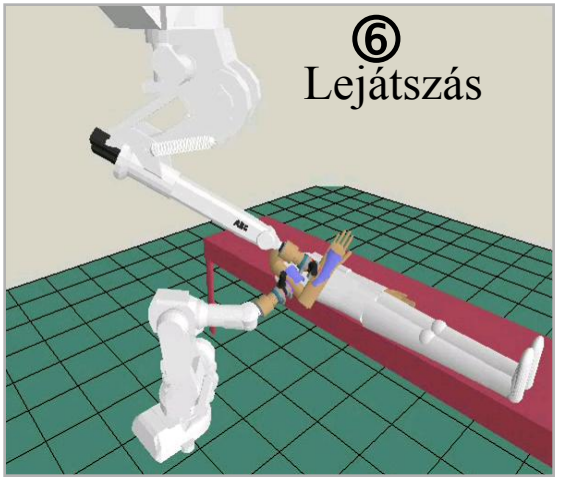
Passzív robotos gyógytorna 6 lépésben







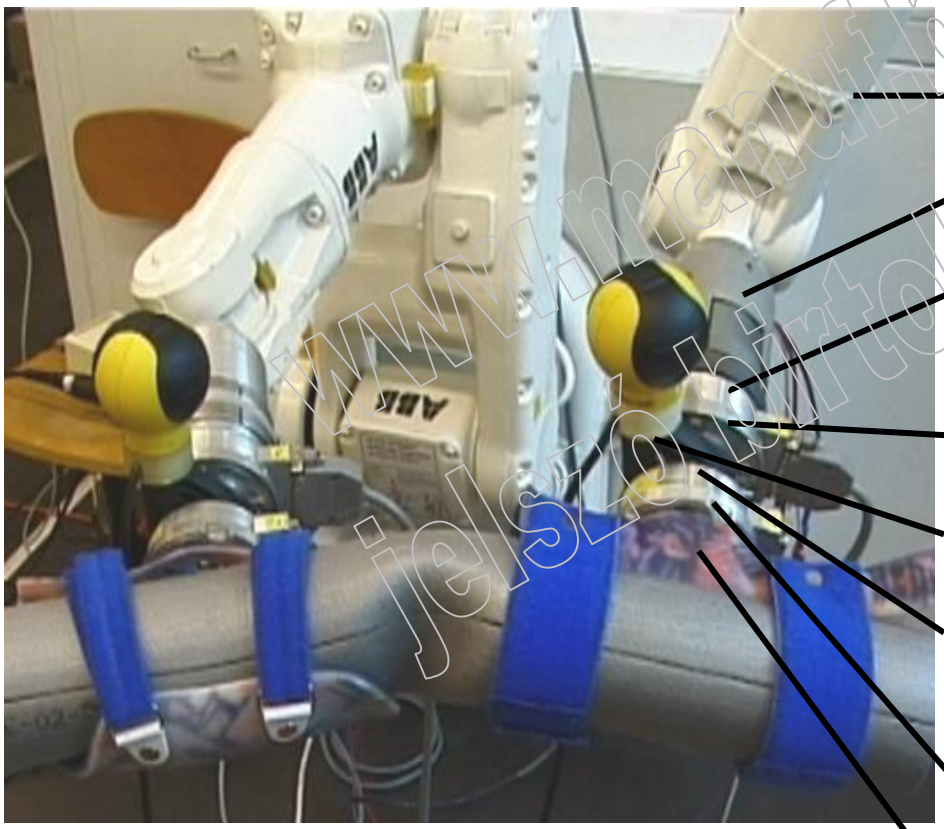




www.manufacturing.hu
Jelszó birtokában

Műszerezett ortézis első prototípusa (2003)

a kezelt kart tartja és a robothoz kapcsolja



- ipari robot
- Biztonsági Lazító Berendezés
- 6 tengelyes erő-nyomatékmérő szenzor az erőszabályozáshoz
- gyorscserélő
- körbeforgatható biztonsági labda
- 6 tengelyes erő-nyomatékmérő szenzor a felügyelethez
- gyorscserélő
- műanyag ortézis (tok)

www.manuf.bme.hu jelszó kirtokosaink

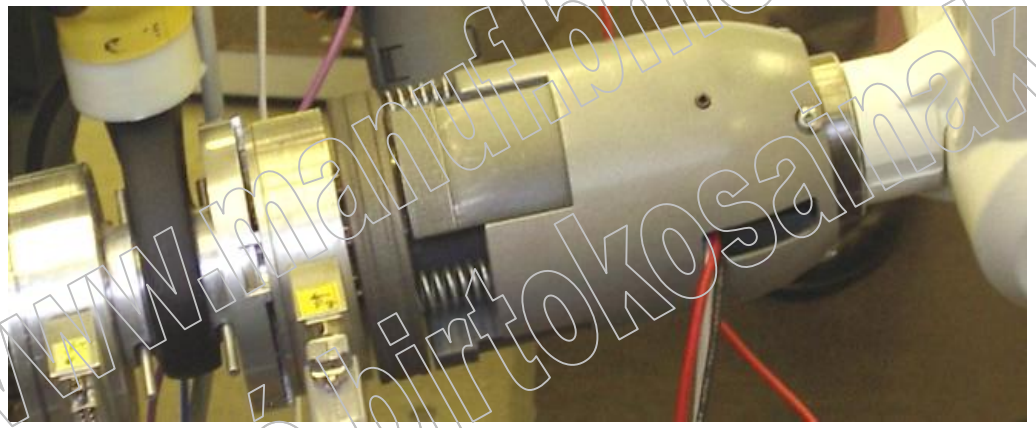
REHAROB Biztonsági stratégiája, intézkedései, és szintjei: Alacsony/Magas

1. Alacsony mozgássebesség: a robot vezérelt pontjának a sebessége ≤ 250 mm/s. (A)
2. Testreszabott és eü. szakképzett személy által készített terápiás mozgásprogram. A terápiás program tárolt, de nem betölthető, azaz csak a csatlakoztatás után betanított mozgások játszhatók vissza (Vészleállás vagy védőleállás esetén a programozást meg kell ismételni!) (M)
3. Háromállású betegengedélyező, melyet a betegnek beüléstől kiszállásig folyamatosan működtetnie kell. (A)
4. Háromállású gyógytornász-engedélyező, melyet a beteg nélküli robotmozgatáshoz a gyógytornásznak működtetnie kell. (A)
5. Vészleállító nyomógombok. (A)
6. Biztonsági Lazító Berendezés. (A)
7. Működést monitorozó program: jelkésés, jelderivált. (M)

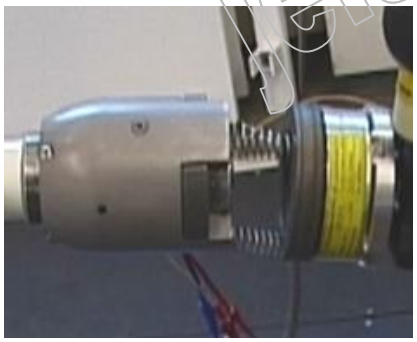
www.mogi.bme.hu Jelszó birtokában

Biztonsági Lazító Berendezés

Normál üzem: merev kapcsolat



Vészhelyzet: rugalmas kapcsolat. (A beteg karját nem engedjük el!)



www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak

Kezelő- és biztonsági berendezések

Érintő képernyős kezelő panel

Tanúsított háromállású engedélyező kapcsoló

Lábpedál

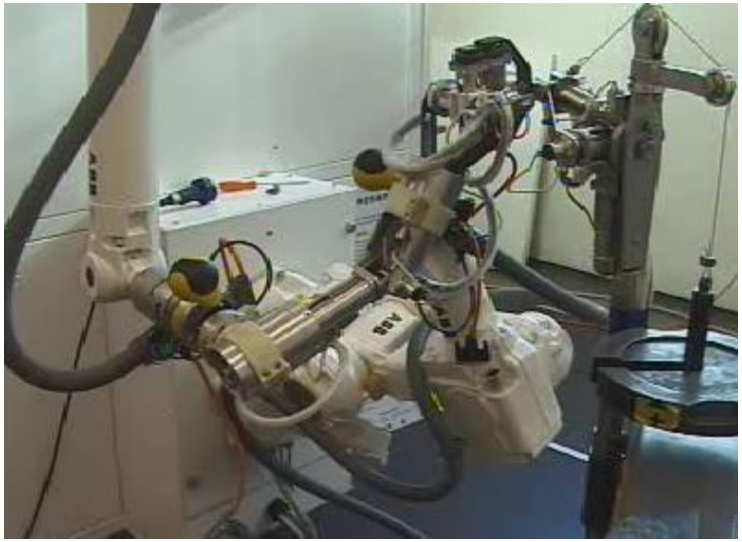
Állapotjelző lámpák

www.manuf.bme.hu jelszó birtokosainak

Aktív spasztikus hemiparetikus műkar

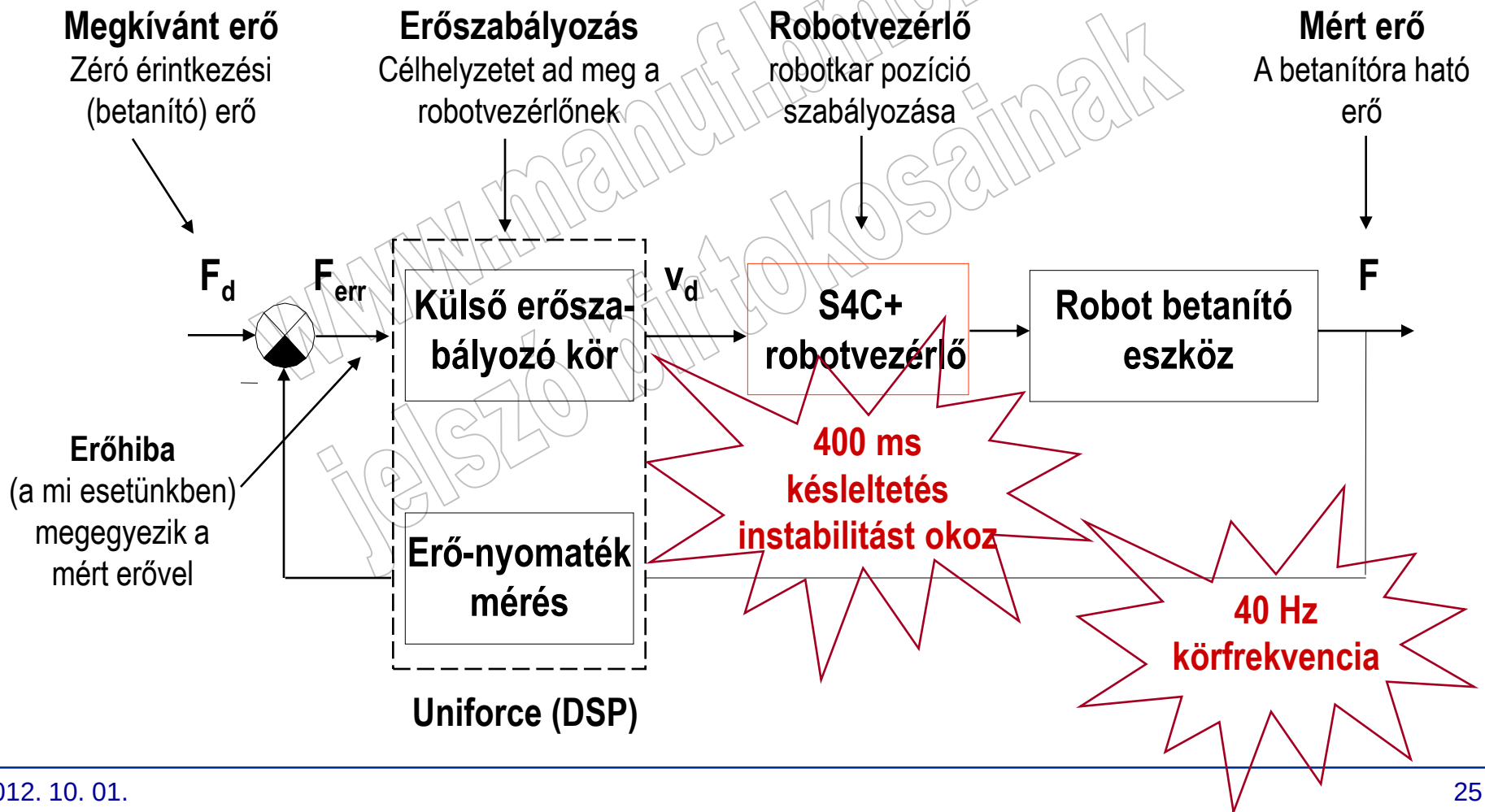
Egy 8 szabadságfokú aktív műkar szolgált a REHAROB Gyógytornáztató Berendezés első tesztelésén. A műkar spasztikus hemiparetikus viselkedést is emulálni tud.

A mechanikai, a vezérlő és a biztonsági berendezések valamint a szoftverrendszerek megbízhatóságát ellenőriztük.



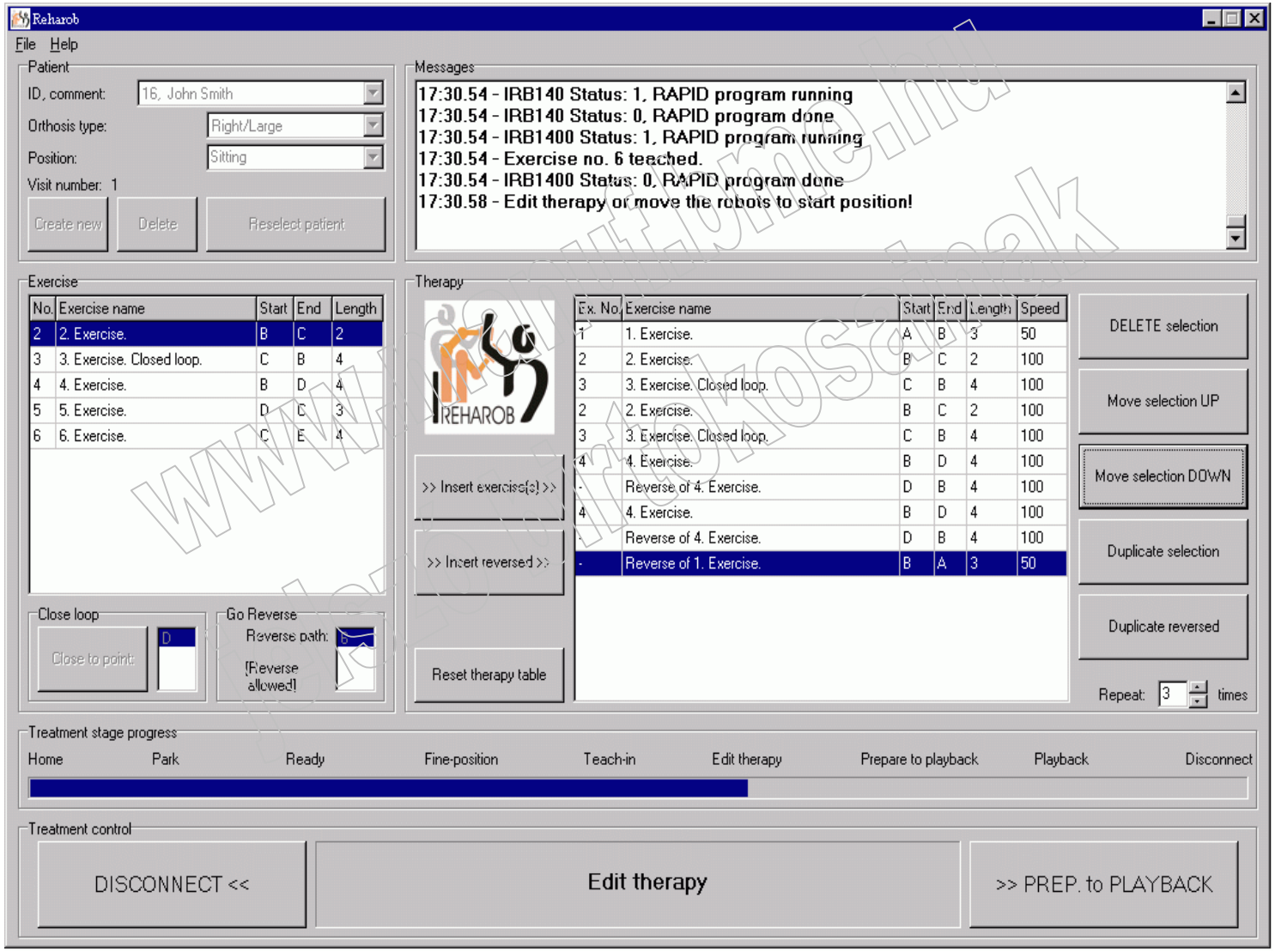
www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak

Alacsonyszintű szabályozás: Közvetett (külső körös) erőszabályozás pozíciószabályozott ipari robottal



www.manuf.bme.hu jelszó birtokosainak

A grafikus felhasználói felület a magasszintű vezérlő PC-n

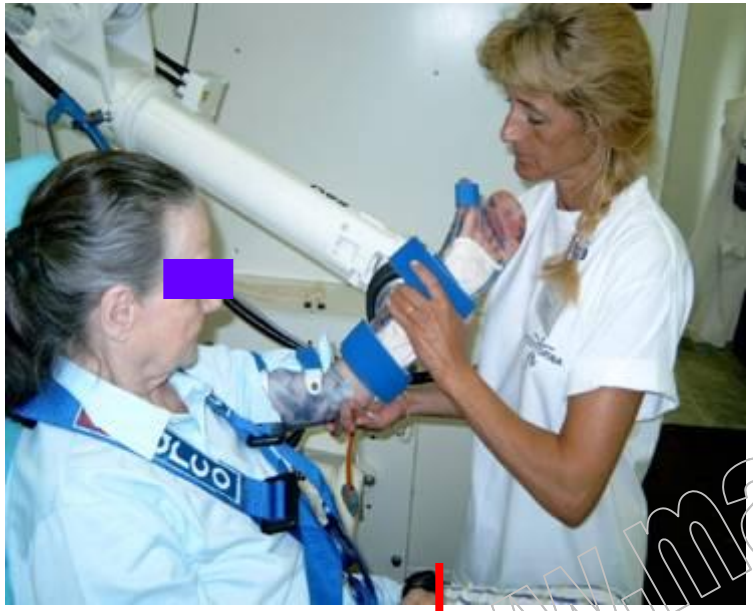


A REHAROB berendezés klinikai vizsgálata

- 2003. április 8 – 2003. július 9-ig.
- 23/2002-es Eü. Min. rendelet szerint engedélyezve.
- 4 egészséges önkéntes és 8 hemiparetikus beteg részesült 20 egymást követő munkanapon, alkalmanként 30 perces robotos tornában: 240 alkalom, 7200 perc.
- Érdemleges műszaki probléma nem merült fel, veszélyhelyzet nem alakult ki.
- Minden beteg állapota javult. Mértük: mód. Ashworth, BMRC izomerő, Rivermead, ROM, FIM, Barthel

www.manut.bme.hu
jelszó birtokosainak

A REHAROB v1.2 (2005-2006)

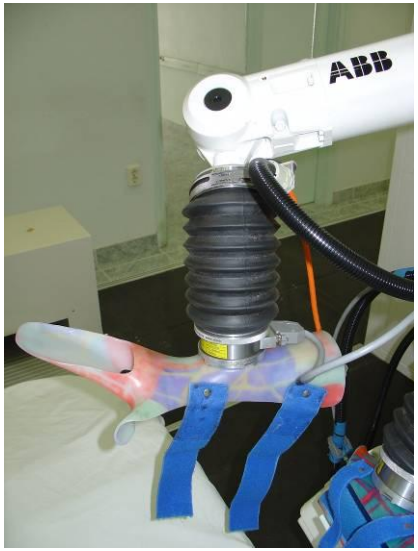


www.manuf.bme.hu
Idéző birtokosainak

Műszerezett ortézis v2 (2006-)

a kezelt kart tartja és a robothoz kapcsolja

- ipari robot
- Biztonsági Lazító Berendezés
- 6 tengelyes erő-nyomatékmérő szenzor
- gyorscserélő
- műanyag ortézis (tok)



www.manuf.bme.hu jelszó birtokosaink

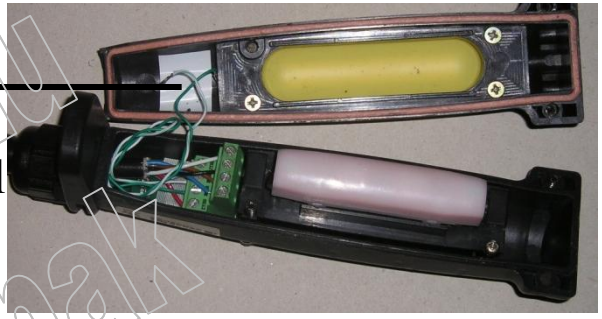
REHAROB v2 (2007-)

- A felkart mozgató IRB1400H robot cseréje IRB1600-ra
- 5. generációs ABB ipari robotok gyári erőszabályozással

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokában

Betegengedélyező kapcsoló v2 (2009-)

- REED-relé a gumiborítás alatt
- Mágnes felerősítése gumigyűrűvel vagy ragasztó szalaggal
- LED-es visszajelzés



Vészleállás ← Engedélyezett Engedélyezett → Vészleállás

www.manlab.bme.hu
jelső birtokosainak

Aktív gyógytornáztatás mindennapi tevékenységeken keresztül

- 5 mindennapi tevékenység (Activities of Daily Living: ADL) kiválasztása
  - Megfelelés a Bobath és PNF gyógytornáztatás előírásainak
  - Tárgy megfogás és manipulálás
  - Mind testközeli, mind testtávoli ízületi mozgások
  - Lényeges mozgás minden felső végtagi anatómiai ízületben
  - Mechanikailag mind szabad, mind kényszerített mozgások
- Egészségesek és agysérültek váll-könyök-csukló-ujjak mozgásmérése egy automatizált mérőberendezés segítségével
- A mozgást jellemző biomarker kidolgozása, amelyre a robotos terápia szabályozója támaszkodhat

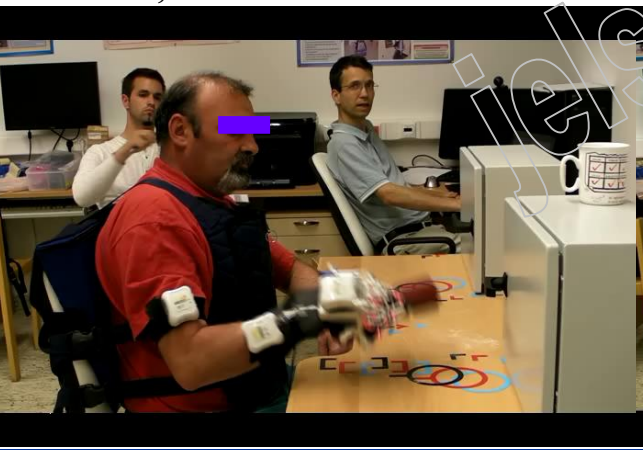
www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak

A kiválasztott mindennapi tevékenységek

ADL1: Bögre megfogása a fülénél, szájhoz emelés és vissza

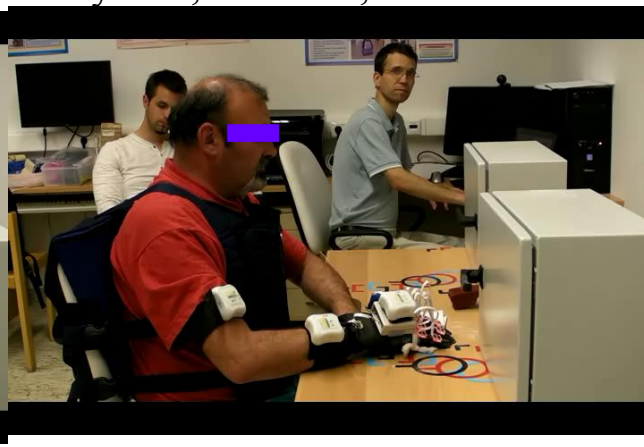
ADL2: Zipzár fülének megfogása, a zipzár kinyitása, bezárása, és vissza

ADL5: Oldalon lévő telefonkagyló megfogása, fülhöz emelése, és vissza



ADL4: Szalvéta megfogása, száj megtörlése, és vissza

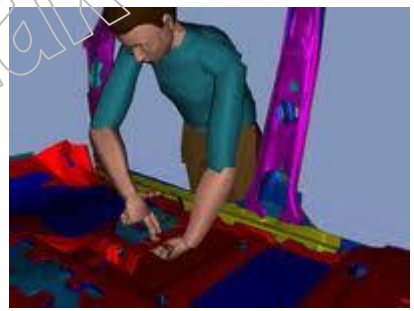
ADL5: Ajtókilincs megfogása, 90 fokos elforgatás, ajtó 90 fokos kinyitása, bezárása, és vissza

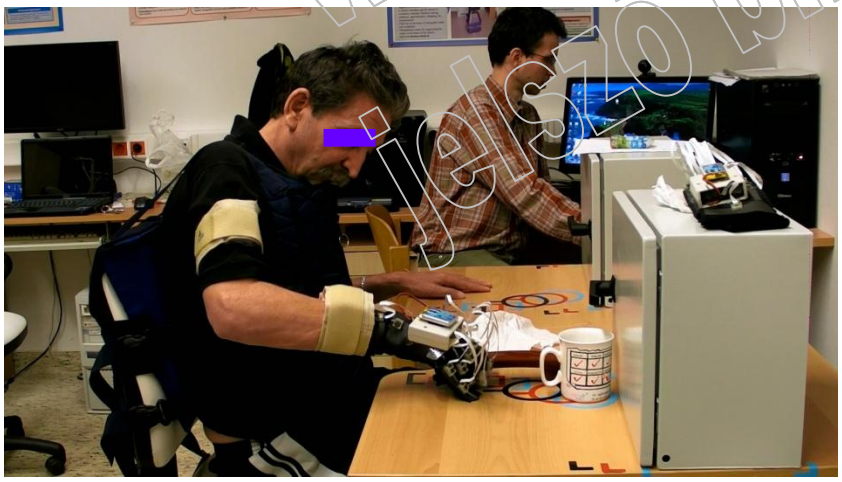


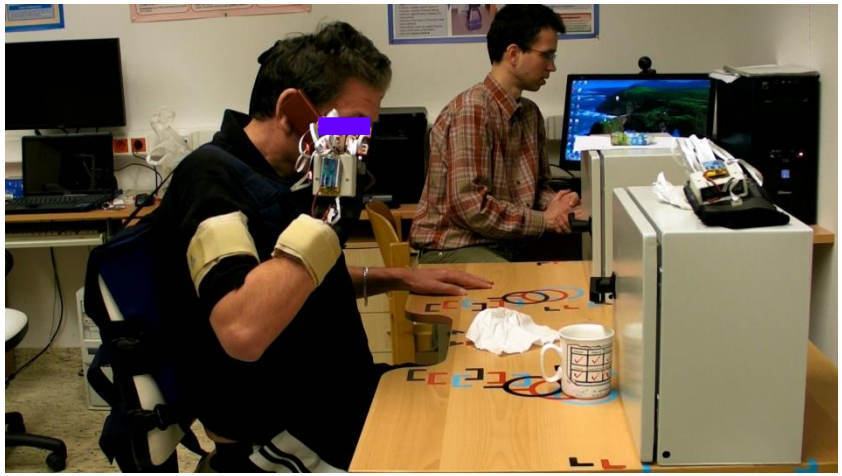
www.manuf.bme.hu jelszó birtokosainak

Mindennapi tevékenységek mérése

- Mindkét oldalt mérjük: azaz ép-sérült, domináns-nem domináns oldalakat
- 20 egészséges/20 sztrókos alany
- SmartGlove™ amely Optical Light Encoder-eket és SmartSuit™, amely IMU-kat használ
- Mozgatható S, M, L méretekre állítható asztali elrendezés. Az antropometriai méreteket a Jack™ ergonómiai tervező programmal ellenőriztük







www.manuf.bme.hu
Belső birtokosainak

Kézmodul két db. Schunk SDH ujj felhasználásával

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

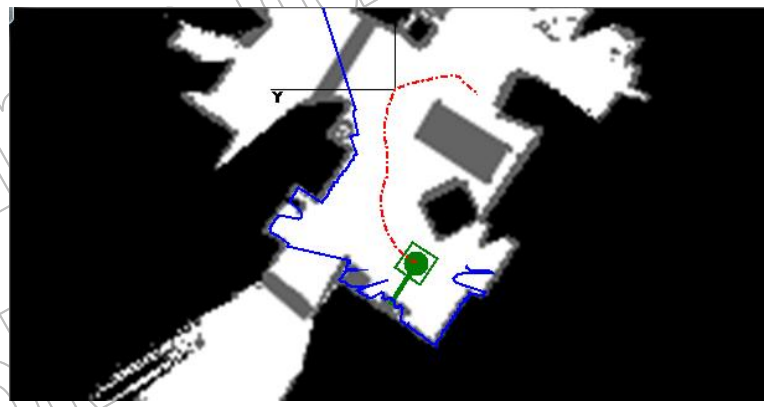
Videódemonstráció (reharob.manuf.bme.hu)

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

DOMEO projekt (2009-2012): Időseket otthonukban támogató szociális és fizikális társrobotok

Kompaï szociális társrobot:

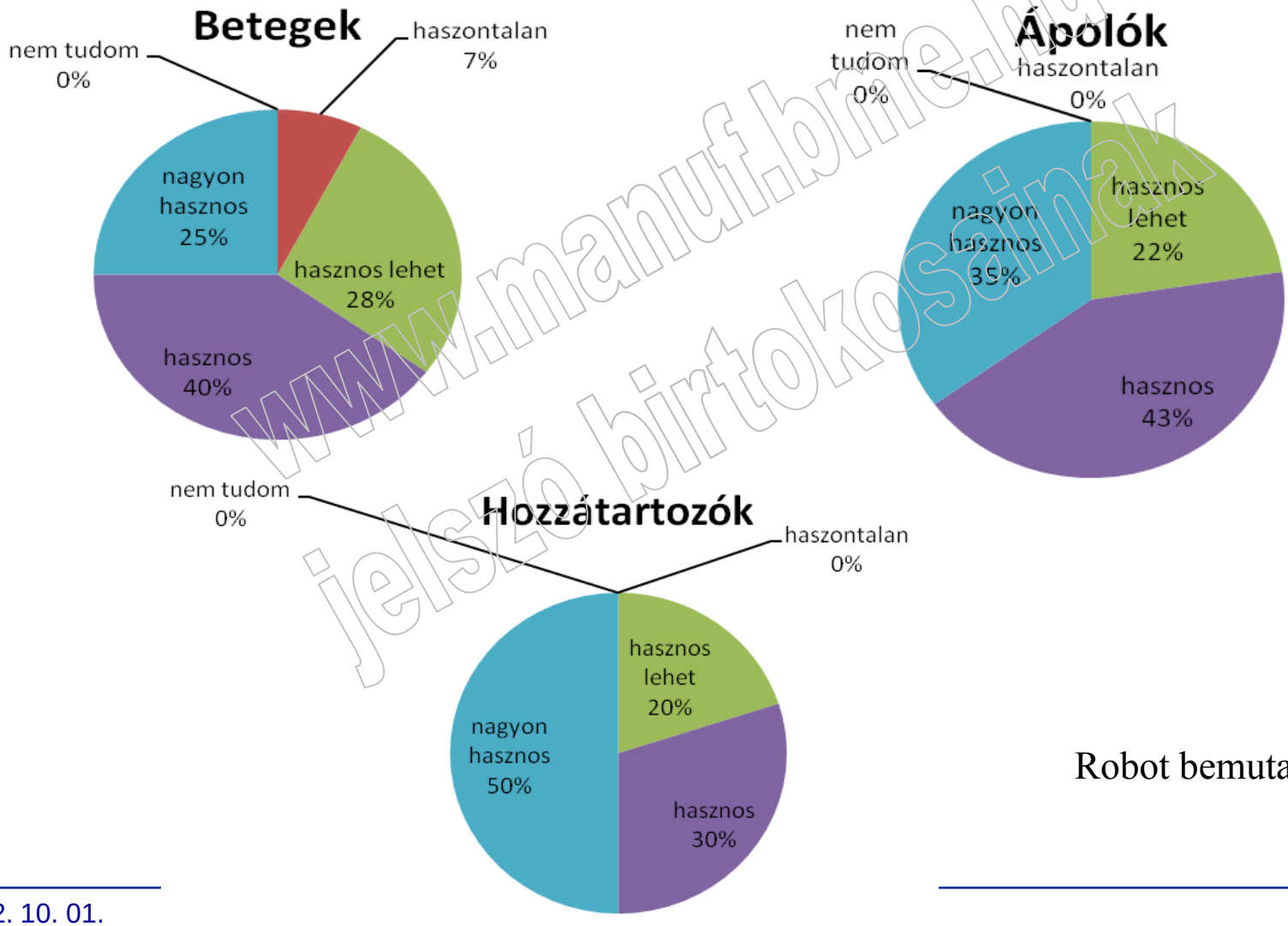
- Több nyelven (köztük magyarul is) ért és beszél
- Kérésre önállóan tud mozogni a lakásban
- Veszélyhelyzeti segítségkérés
- Napirendre emlékeztető gyógyszer bevétel, találkozó
- Bevásárló lista
- Szórakozás játékok, zene és videó lejátszó
- Kapcsolattartás video-telefonálás, e-mail
- Hírek, időjárás
- Élettani paraméterek monitorozása



www.manuf.bme.hu jelszó birtokában

Felhasználói igények vak felmérése (Magyarország, 120 fős minta)

- Mi a véleménye egy olyan robotról, amely az idős személy állapotának felmérésekor kritikus érték esetén értesítené az egészségügyi intézményt?



www.manuf.bme.hu jelszó birtokosainak

Robot bemutató nélkül!

A Kompaï szociális társrobot részei

Kamera

Érintőképernyő

SOS gomb

Tálca

Kikapcsoló gomb

Érzékelők (ultrahang, lézerszkenner, infra)

Központi egység

Motor hajtotta kerék

Bolygó kerék

www.mmt.bme.hu jelszó birtokosainak

Használatot korlátozó problémák

- Küszöb
- Felgyűrődő szőnyeg
- Robot számára nem látható tárgyak
- Szűk helyek
- Csatlakozás a töltőállomáshoz

www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak

Betanítás / használat

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

Funkció használati statisztika

- A robot minden működési paraméterét, szenzorjelét log fájlban tárolja
- 2012. október 1-jéig 5 magyar idős önkéntes befejezte a három hónapos otthoni terepvizsgálatot. 2 idős önkéntes jelenleg is otthonában teszteli a Kompaï robotot.
- 4 önkéntes használati adatait dolgoztuk fel

www.manuf.bme.hu jelszó birtokosainak

Nr.	Age	Gender	Computer knowledge	Duration (days) total/logged	Number of power-ons
1	81	F	No	118/58	124
2	82	F	Yes	67/67	131
3	84	M	No	111/111	134
4	78	F	Yes	69/51	140

Napi szolgáltatáshasználati statisztika a tárolt Log adatok alapján

Subject	1	2	3	4	Avg.
Date and time	1.79	1.91	0.57	6.57	2.71
Weather	2.29	1.48	1.68	8.16	3.40
Agenda	0.83	2.57	3.18	5.88	3.11
Shopping list	1.12	0.40	0.21	1.31	0.76
Email	0.57	6.33	0.90	1.02	2.20
Skype	NA	0.84	1.73	0.33	0.97
Entertainment	2.14	3.36	2.55	4.76	3.20
Navigation	0.36	2.42	3.43	0.35	1.64

www.manuallome.hu jelszó birtokosainak

Hang/érintésmódú kommunikációs szolgáltatáshasználati statisztika a tárolt Log adatok alapján

Number of commands			
	Speech	Touch	Total
1	420	748	1168
2	1328	1445	2773
3	1660	1968	3628
4	1850	521	2371

Avr. No. of commands per day			
	Speech	Touch	Total
1	7,24	12,90	20,14
2	19,82	21,57	41,39
3	14,95	17,73	32,68
4	36,27	10,22	46,49

www.manuf.bme.hu jelszó birtokosainak

Felhasználói vélemények a szolgáltatásokról (1-5 skálán pontoztak)

c	usefulness	reliability
Navigation	5	3,25
Email	4,75	3,5
Skype	4,75	3,5
Weather	4	4,5
Entertainment	4,5	4,5
Agenda	4	4,25
Shopping list	2,75	3

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

Felhasználói vélemények a szolgáltatásokról (1-5 skálán pontoztak)

	usefulness	reliability
Obstacle detection and avoidance	5	3,5
Automatic docking	5	4
Carrying small objects	3,5	3
Control by voice	5	3,5
Verbal communication with the robot	5	3,75
Emergency signal	5	5
Remote control	2,5	4,25
Blood pressure and body weight measurement	4,75	3

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

Videódemonstráció (www.domeo-rehab.tk)

www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak

Képek, videók

A RobuMate robot egyik első kipróbálása valós környezetben
2010. május

Videó letöltése (51MB - WMV)

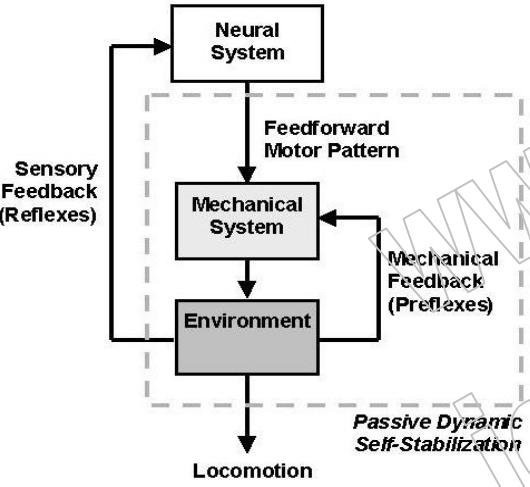
RobuWalker

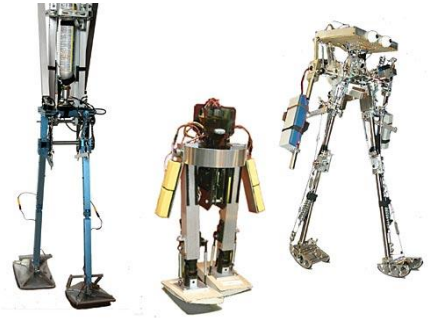
- Fizikai segítség idős személyeknek felállás, elindulás, járás, megállás során

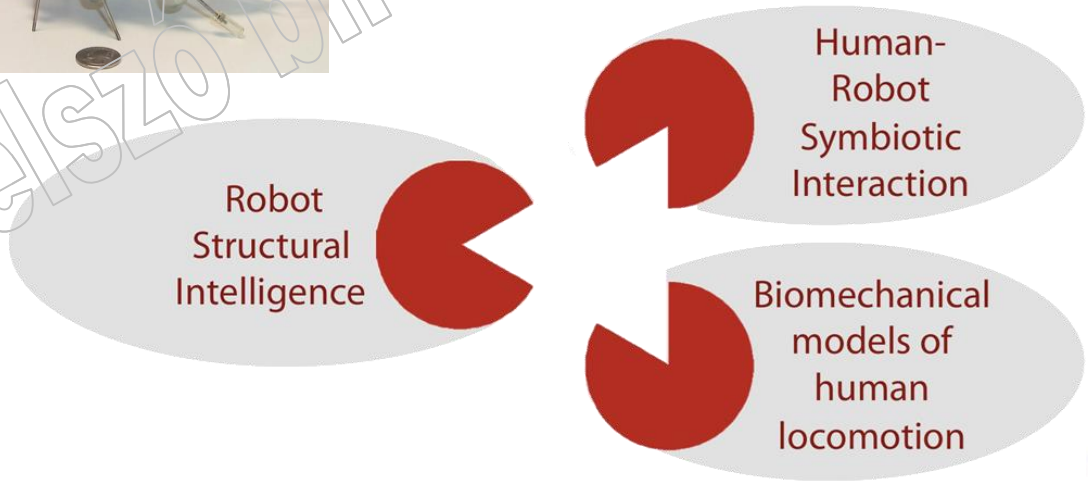
www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak

EVRYON projekt (2010-2012): Viselhető robot csípő és bokamoduljának fejlesztése

The EVRYON project aims at providing a ***novel design methodology*** for harvesting the potentialities of structural intelligence in the development of lower-limb wearable robots using a design for emergence approach.







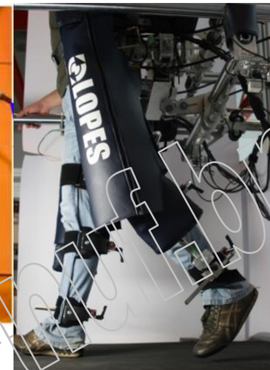
www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

Ismert viselhető robotrendszerek: minden rendszer antropomorf kivéve az első sor utolsó rendszere (Honda Walking Assist)

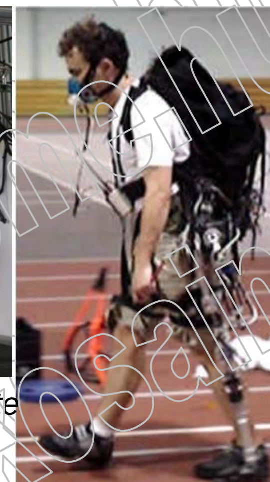
HAL – U Tsukuba

BLEEX - U Berkeley

Pneumatic AAFO U Mich



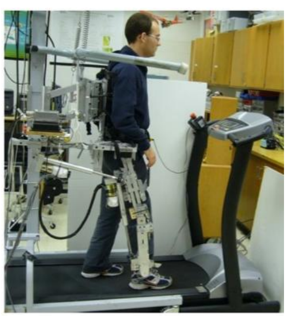
LOPES-U Twente



MIT Pseudo-passive exo

ReWalk. Argon Medical

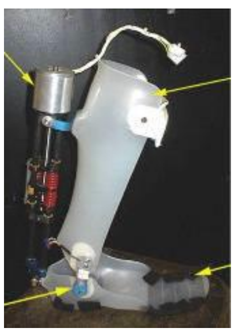
Honda Walking Assist



ALEX – U Delaware

SARCOS Exo

EXPOS – U Sogang



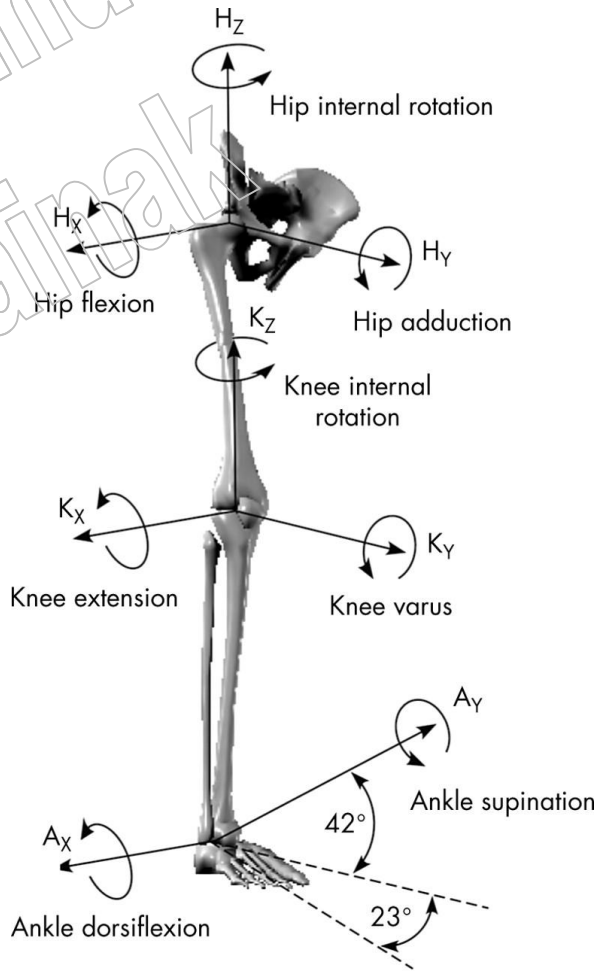
SEA-based AAFO - MIT

Rheo and Power Knees - Össur

Honda Walking Assist

A BME feladata a projektben

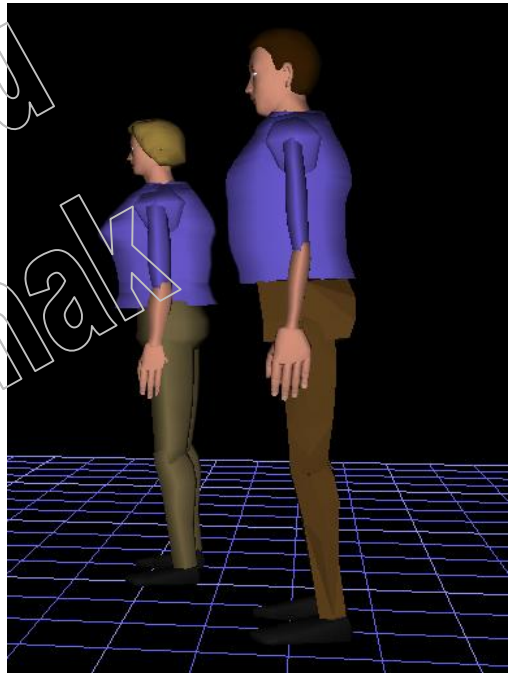
- Szervo Csípőmodul
  - hip adduction/abduction
  - hip intra/extra rotation
- Szervo és Passzív Bokamodul
  - Szervo: plantarflexion/dorsiflexion
  - Passzív: adduction/abduction
  - Passzív: intra/extra rotation
- Viselhető robot tehermentesítése (önsúly viselése)
- Aktív támogatás: a maximum izomerő 30%-ig



www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak

Ergonómiai tervezés

- 50 %ilis férfi és női modelleket építettünk a Jack™ ergonómiai modellező rendszerben holland idősök antropometriai adatai alapján
- 5-95 %ilis mérettartományra tervezzük az Evryon viselhető robotot



www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak

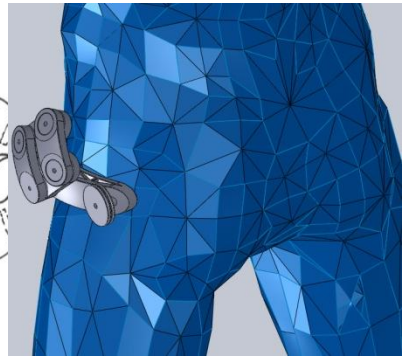
30%-nál nagyobb izomerő támogatást nyújtó rendszerek

- 100% izomerő támogatás: rehabilitáció bénult végtagok mozgatásával (Rewalk® központi idegrendszeri sérülteknek)

- >100% izomerő támogatás: feladatvégző képesség kiterjesztése katonai, munka, telemanipulációs helyzetekben (Bleex, US Army, 40 kg hátizsák)

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

Párhuzamos kinematikájú koncepciók beszűkült mozgástartományú ízületekhez

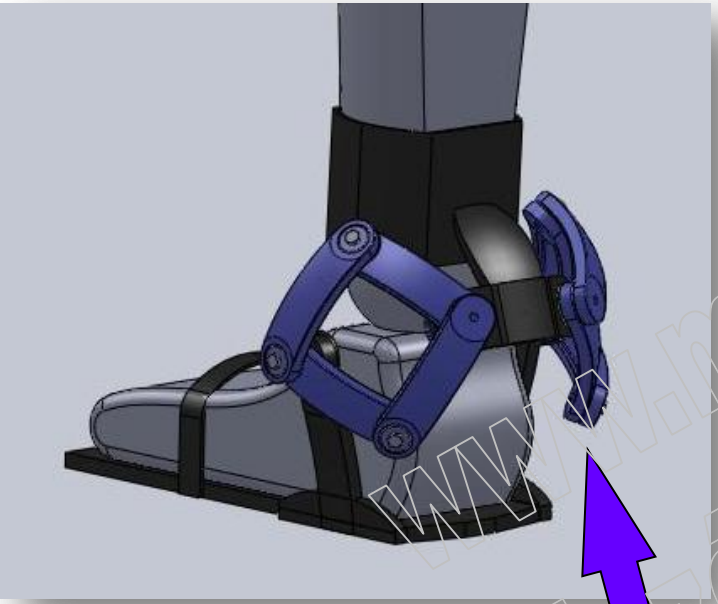


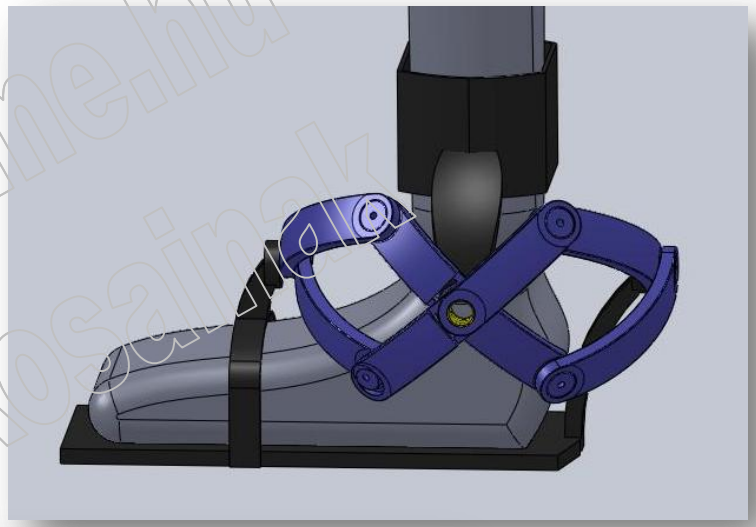
www.manuf.bme.hu
Jelző birtokosainak

Párhuzamos és soros mechanizmus koncepciók értékelése

		BA 17		BA 18		BA 15		BA 16		Exo 2		Exo 5	
0 - 10		**P-A-B4**	**A-L**	**P-A-PB**	**A-L**	**P-A-P2**	**A-L**	**P-A-P3**	**A-L**	**S-A-P**	**A-B-R**	**S-A-B4**	**A-B-R**
Evaluation criteria	**Weight**												
Weight	-1	5	-5	8	-8	8	-8	8	-8	5	-5	7	-7
Horizontal Enlargement	-0,025	176	-4,4	406	-10,15	190	-4,75	407	-10,175	180	-4,5	180	-4,5
Vertical Enlargement	-0,1	176	-17,6	160	-16	160	-16	357	-35,7	30	-3	30	-3
Lateral dimension	-1	3	-3	5	-5	5	-5	4	-4	2	-2	8	-8
Manufacturability	1	7	7	3	3	4	4	3	3	5	5	10	10
Max Force (N)	-0,05	205	-10,25	244	-12,2	319	-15,95	0	0	310	-15,5	356	-17,8
Max Moment (Nm)	-0,1	19	-1,9	80	-8	11	-1,1	14	-1,4	30	-3	35	-3,5
Sum			**-35**		**-56**		**-47**		**-56**		**-28**		**-34**

Követelemények változtatása után munkatér és ütközés problémák



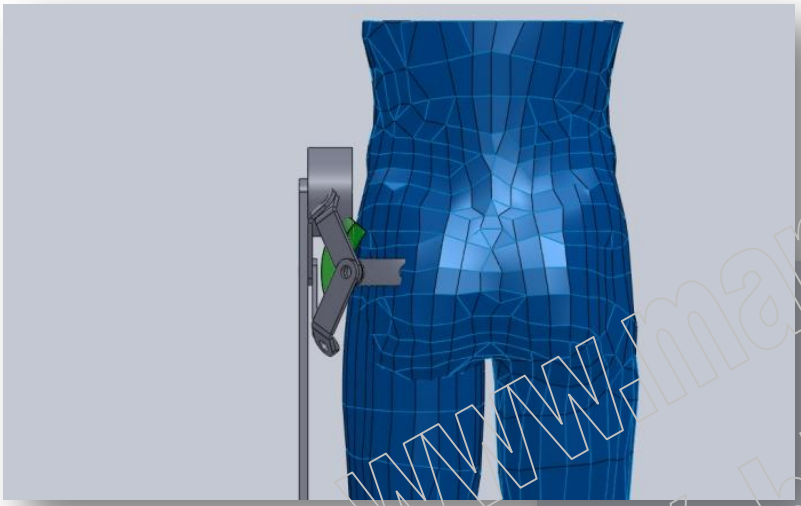


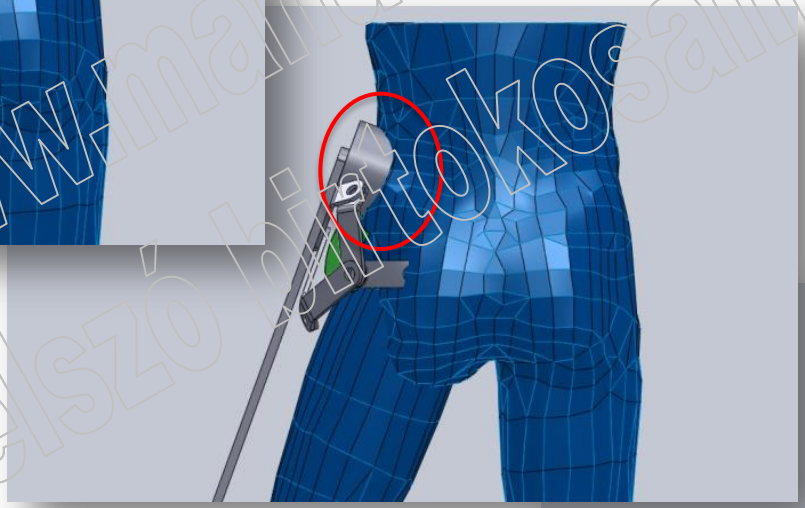
Ütközések:

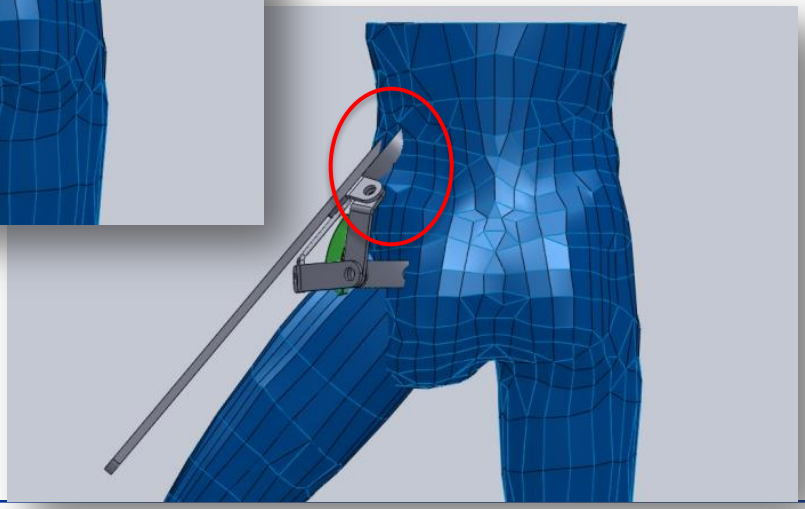
- lábak között
- flex-ext mozgásnál

www.manuf.bme.hu jelszó birtokosainak

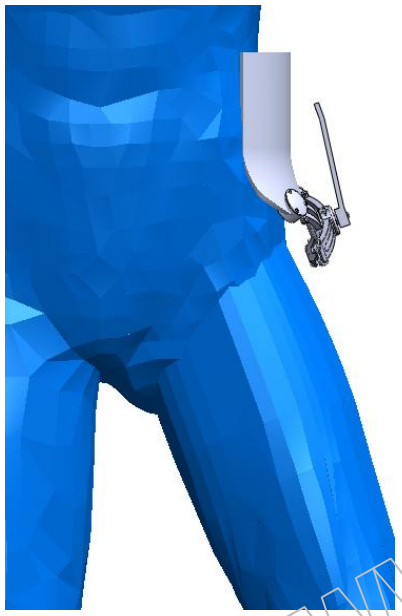
Ütközés a csipőmodul és a derék között







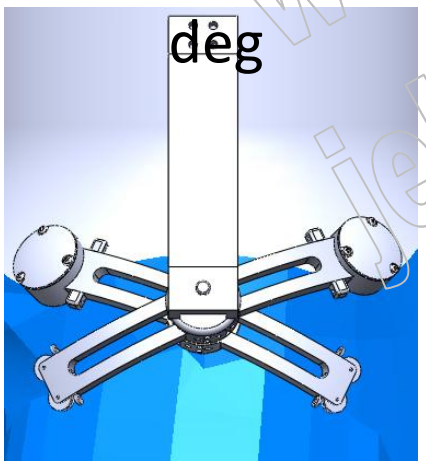
www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

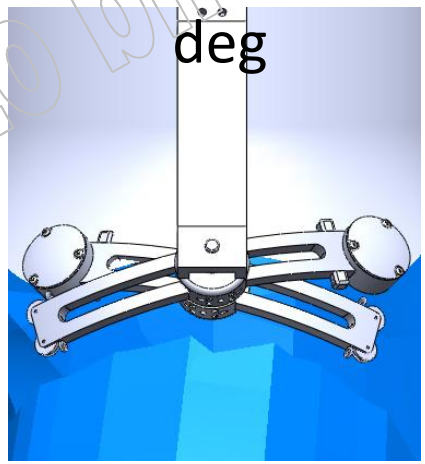


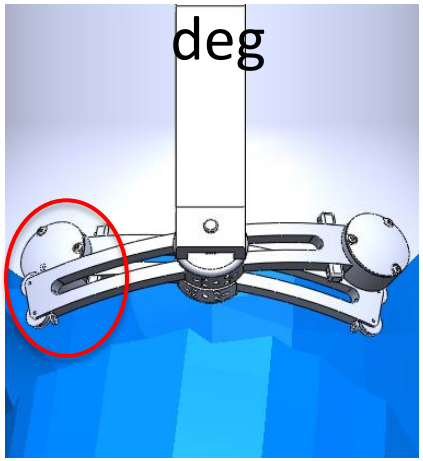
20 deg

27 deg

30 deg







www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

Ütközés!

Párhuzamos mechanizmusokat elvetettük!

Tervezés újrakezdése: 2. fázis!

www.manuf.bme.hu
jelszó kiosztásának

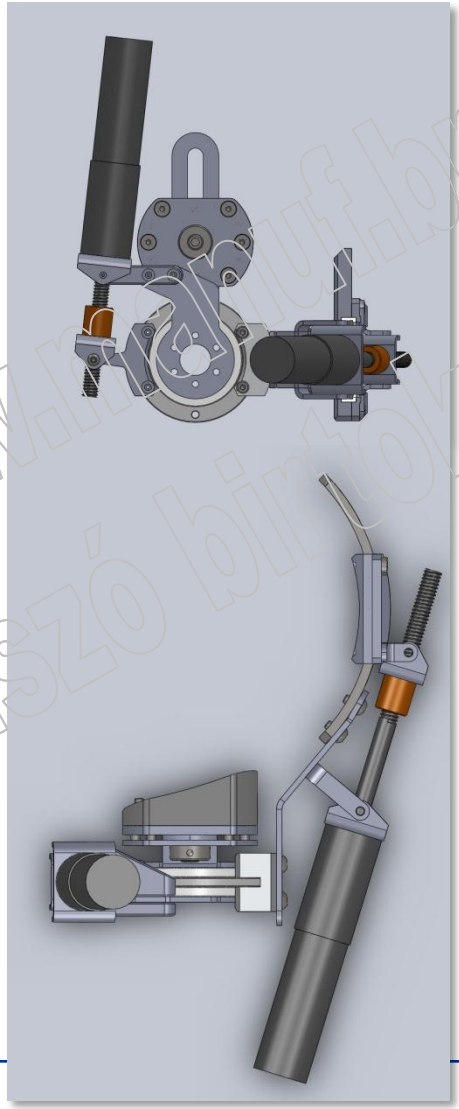
Soros mechanizmus

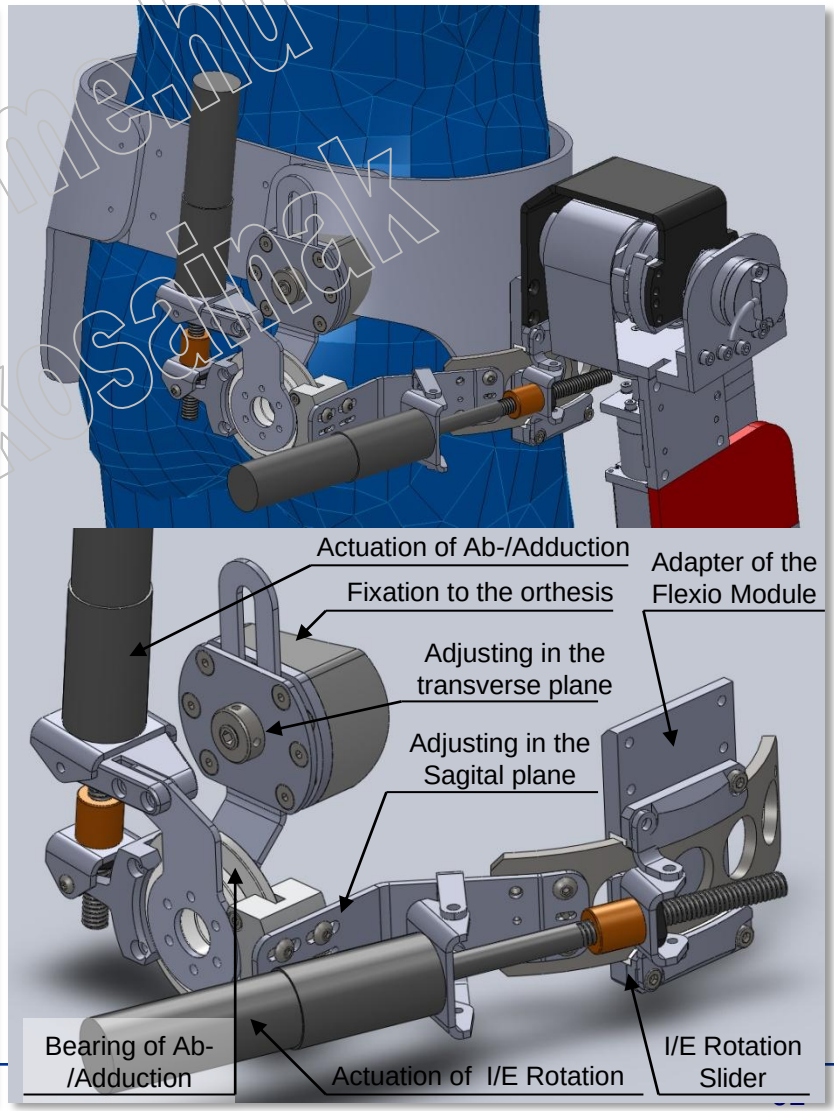
•Golyósorsós hajtás, később fogazott szíjas áthajtóművel!

•Csípő Abd/Add szubmodul

•I/E rotációs szubmodul

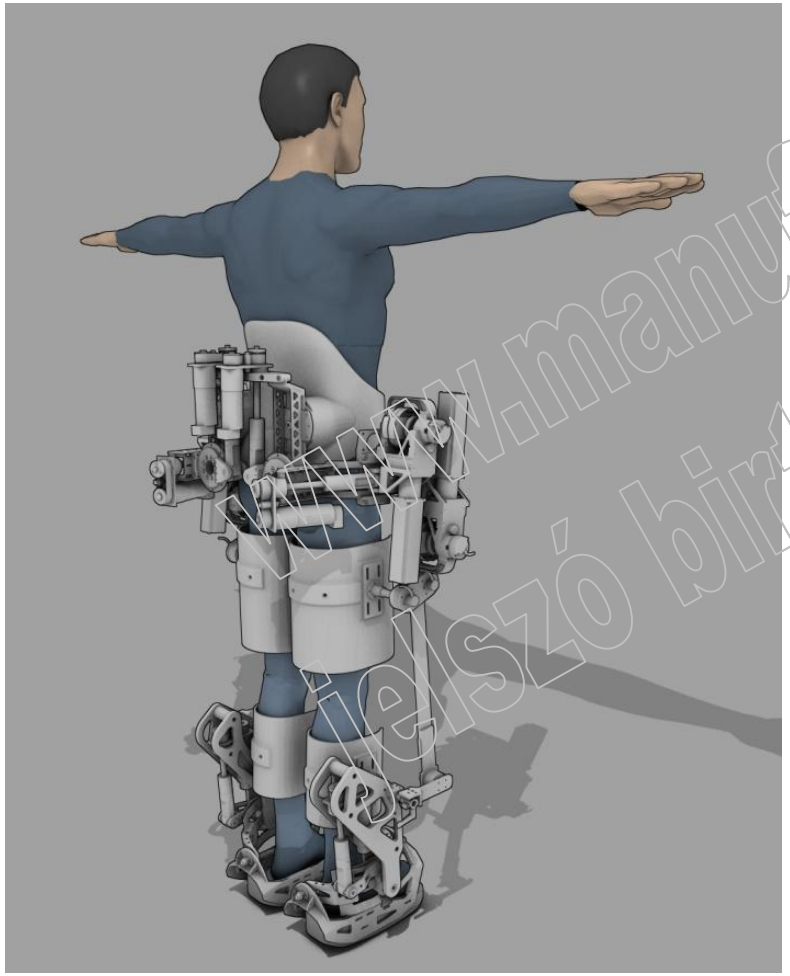
• Ortéziseket úgy tervezzük, hogy a kinematikai tengelyek egybeessenek az anatómiai ízületi tengelyekkel.





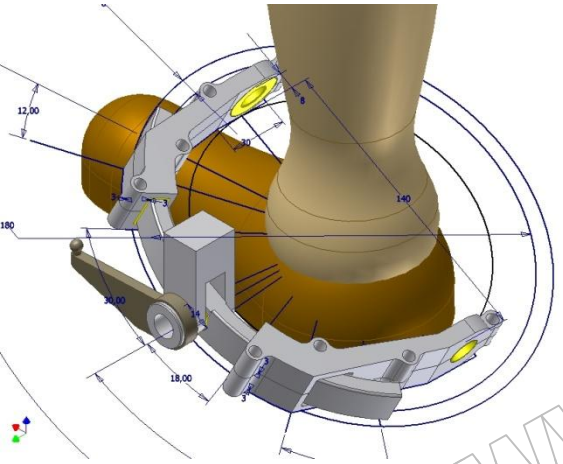
www.mahuf.bme.hu jelszó bintokosainak

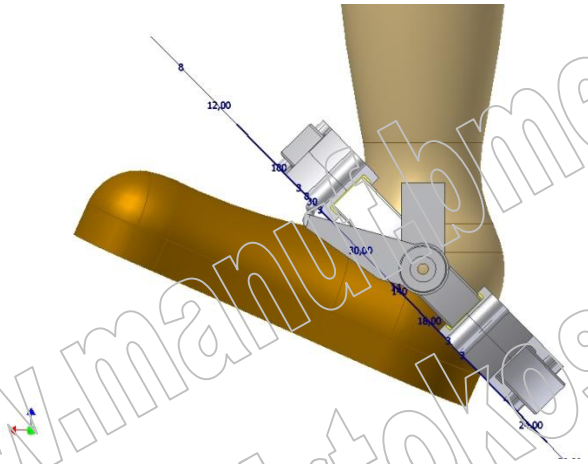
A BME egységesített lengőmozgású golyósorsós szervohajtásai a csípő- és boka modulokban

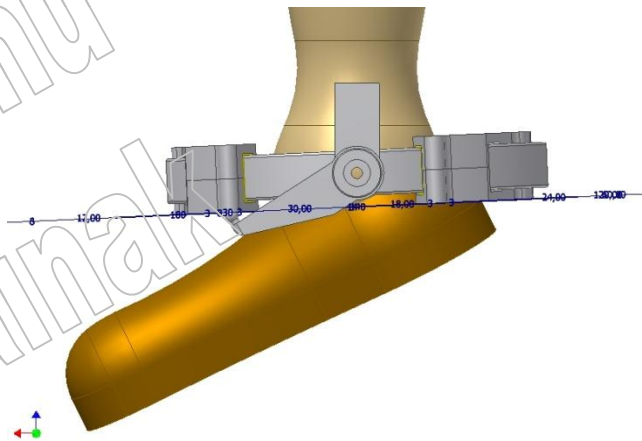


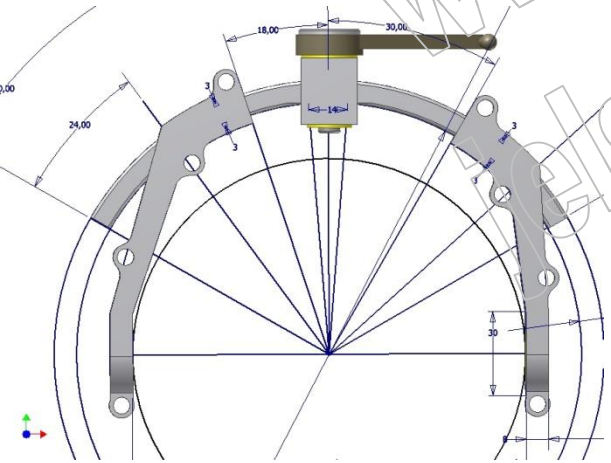
www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak

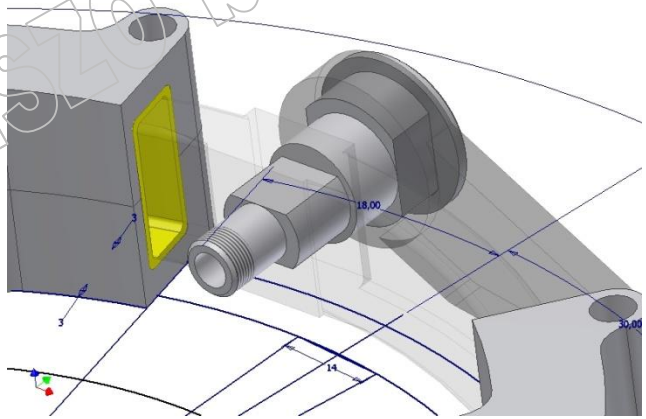
Bokamodul tervezés – mozgástartomány illesztés

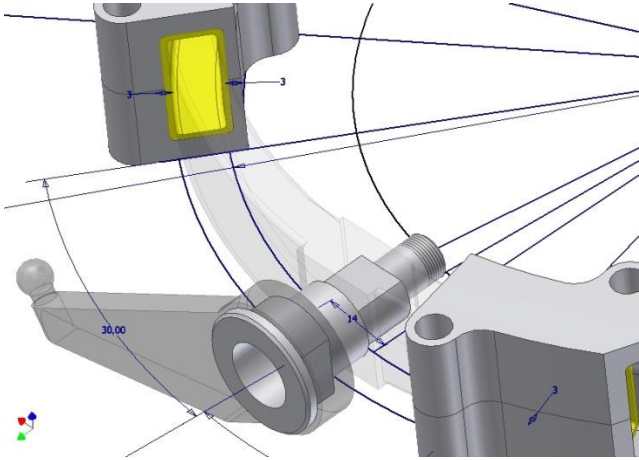






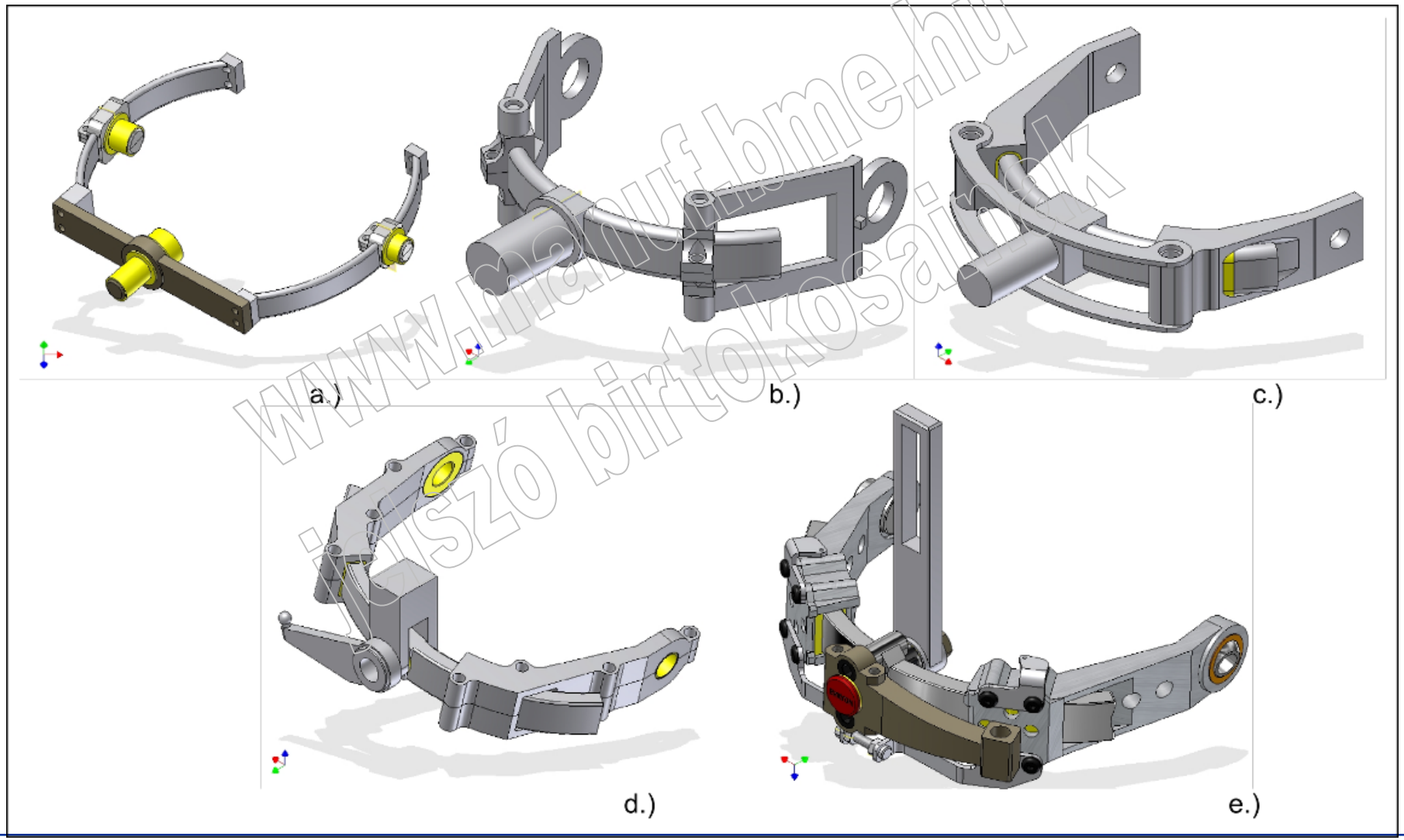






www.manu.bme.hu
belső birtokosainak

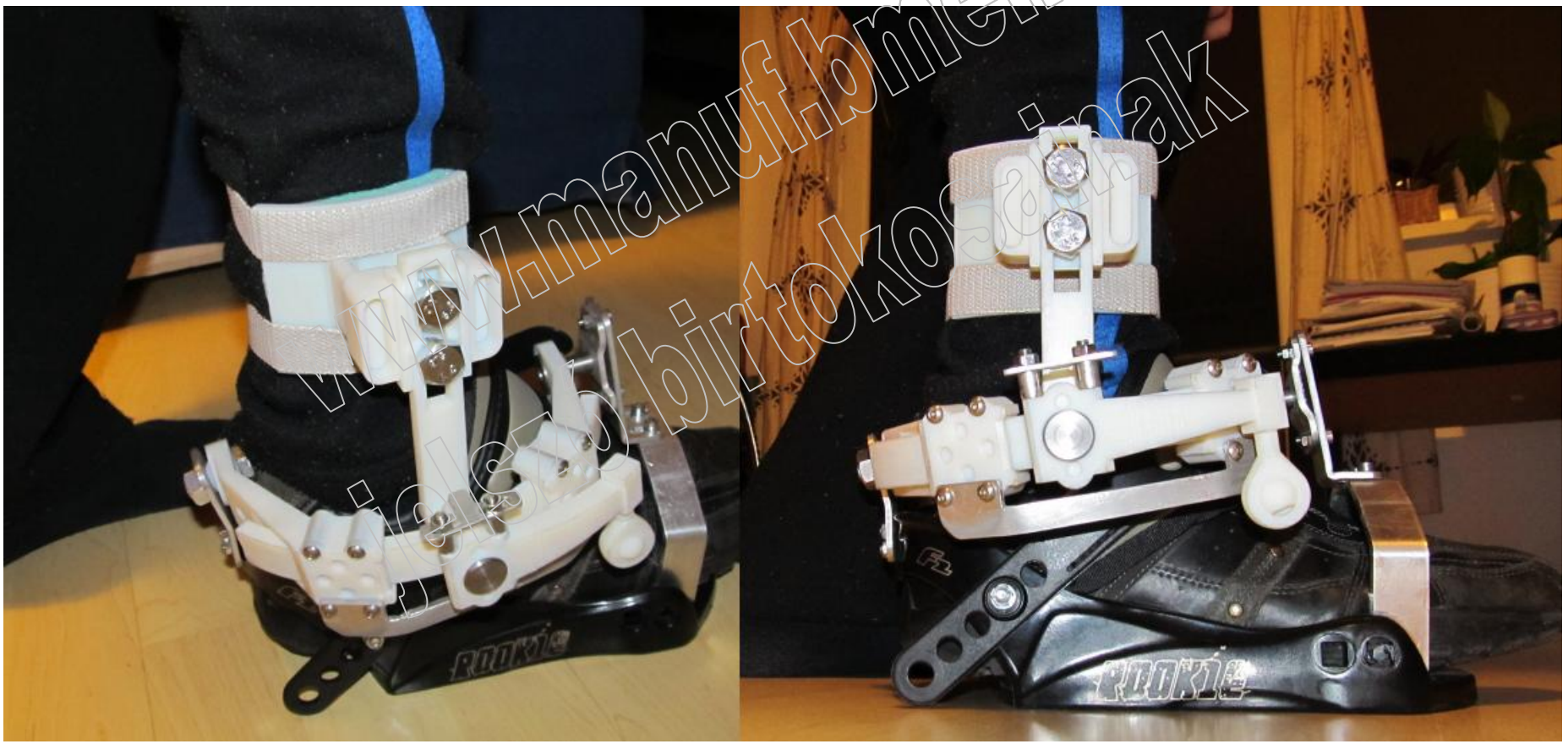
A bokamodul tervének fejlődése



www.manuf.bme.hu
Irányító birtokosaink

Közbenső ellenőrzés gyors prototípus segítségével

(Evryon workshop, Humanoids2011, Bled, 23 October 2011)

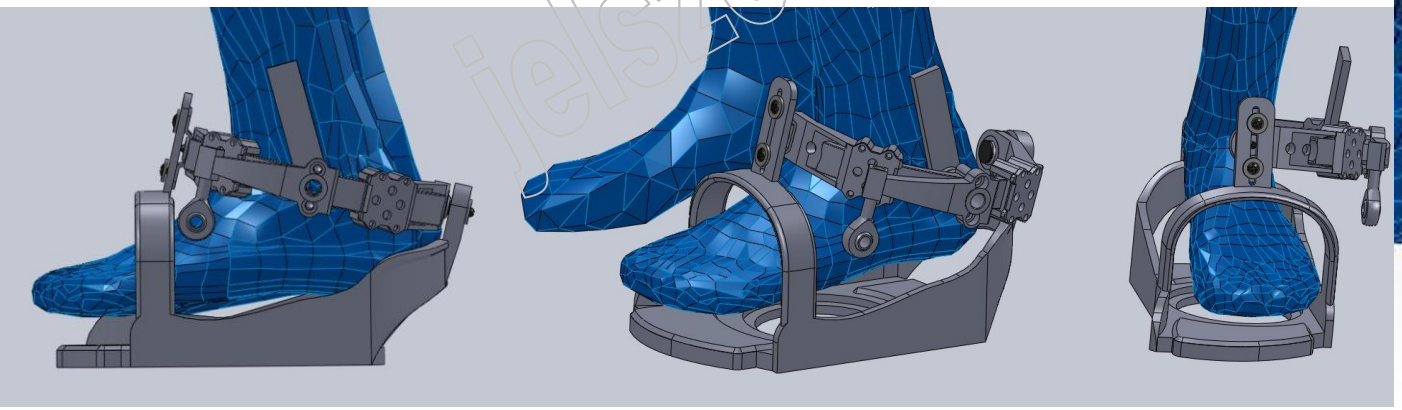


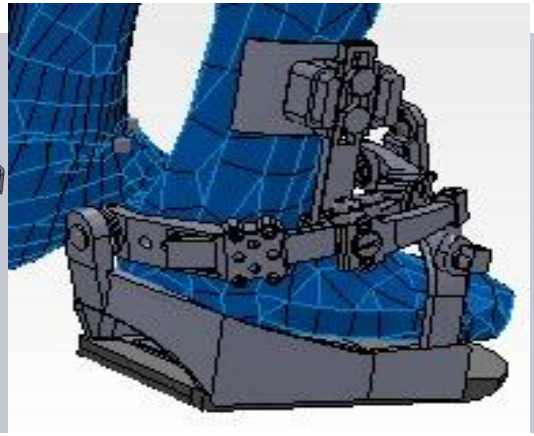
www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

Bokamodul– talprész

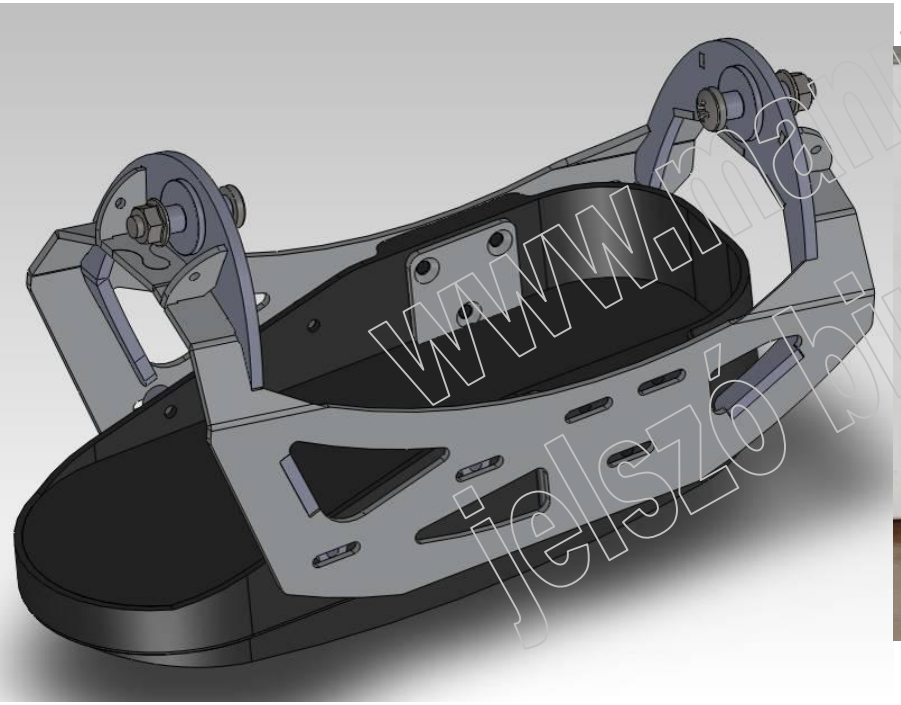
www.manut.bme.hu
jelszó birtokosának

Inspiráció: snowboard kötés





Talprész végleges terve és prototípusa



www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosának

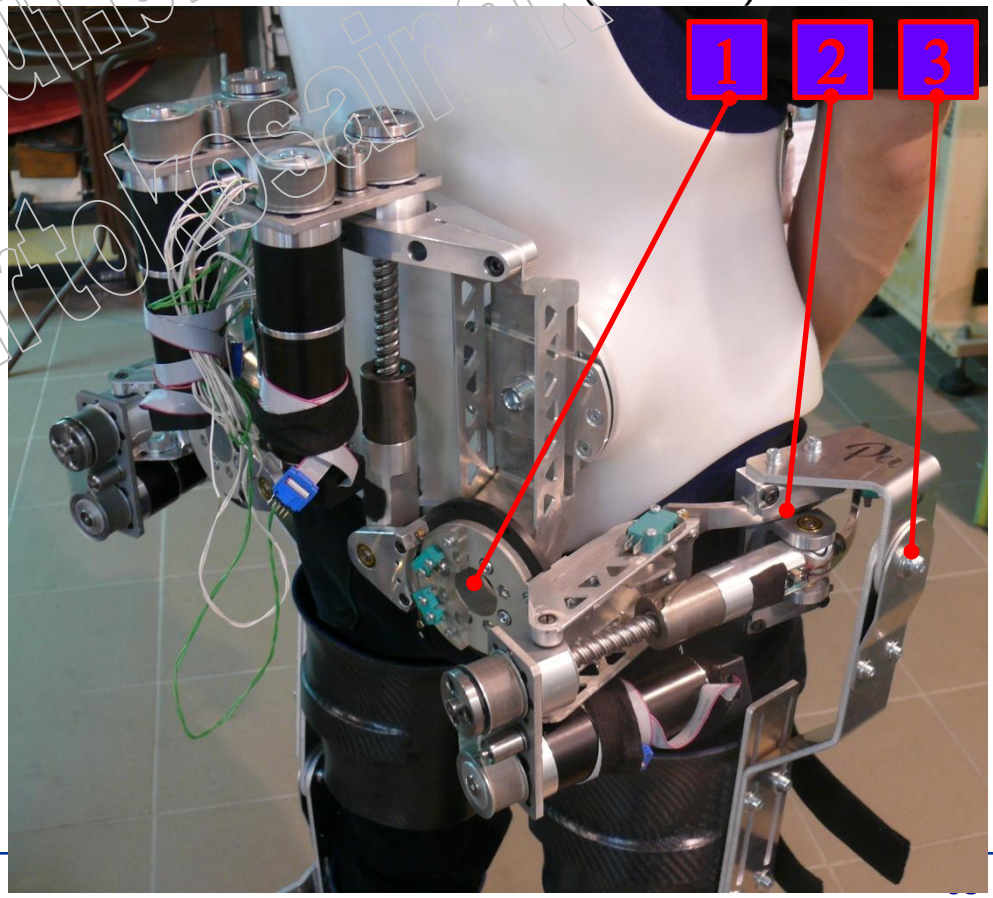
Gépészetileg végleges BME modulok

Boka modul

1. Dorsi / Plantar – Flexion (Active)
2. Intra / Extra – Rotation (Passive)
3. Eversion / Inversion (Passive)

Csípő modul

1. Abduction / Adduction (Active)
2. Intra / Extra – Rotation (Active)
3. Flexion / Extension (Passive)



www.manuf.bme.hu
jelszó birtokában

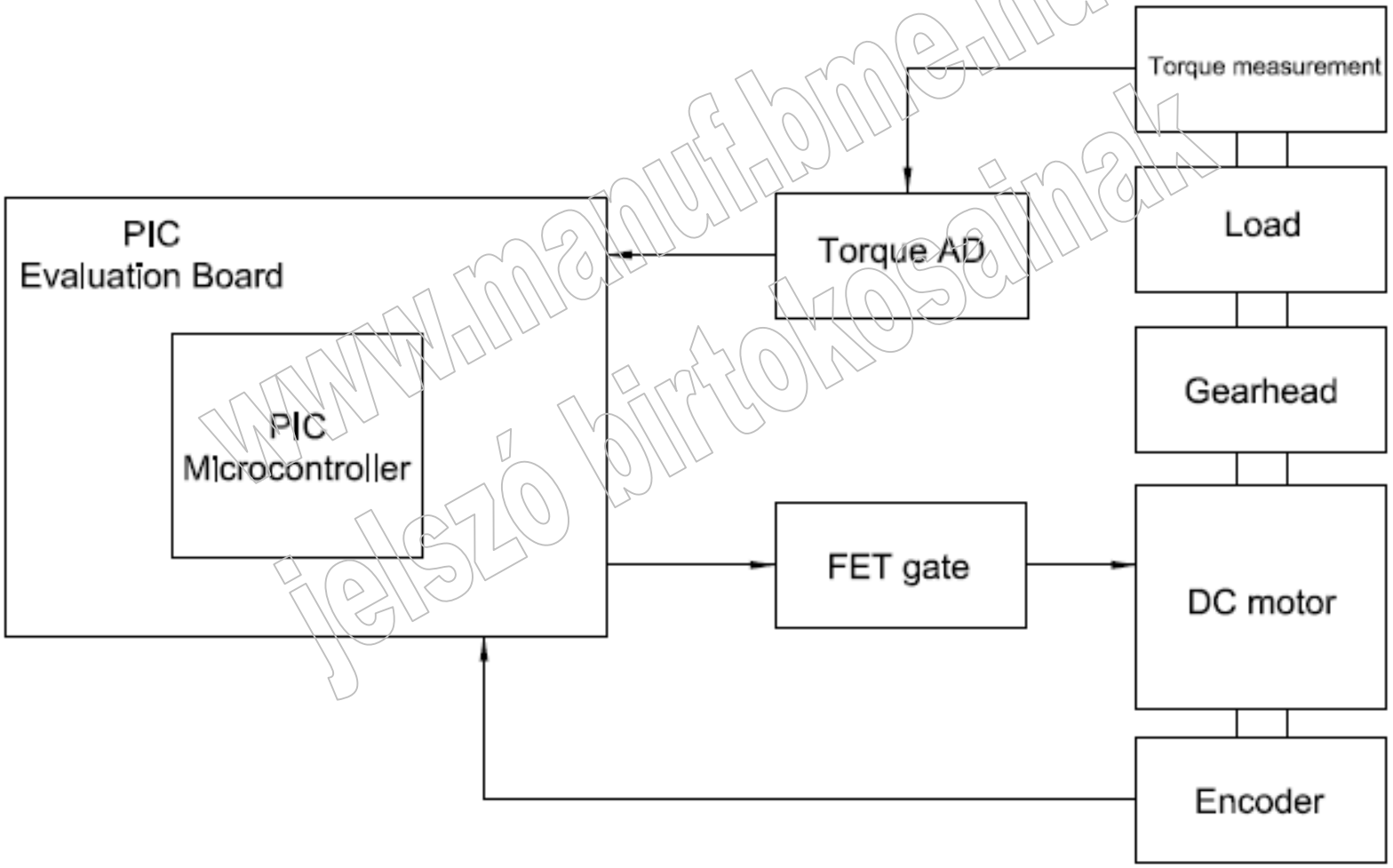
Servo actuation concept candidates

- Parallel SEA:
  - Two parallel „DC motor – elastic mechanical coupler” unit connected to a disc, creating agonist – antagonist muscle like operation, with pretension capability
- Software Defined VSA* (vague design input)
  - Classical force and position feedback PID control loop
  - motor voltage is a function of position, force, desired position, stiffness and damping
  - BME has found it superior in terms of size, weight, high freq. impact absorption , cost and dev time over the aboves

*BME definition

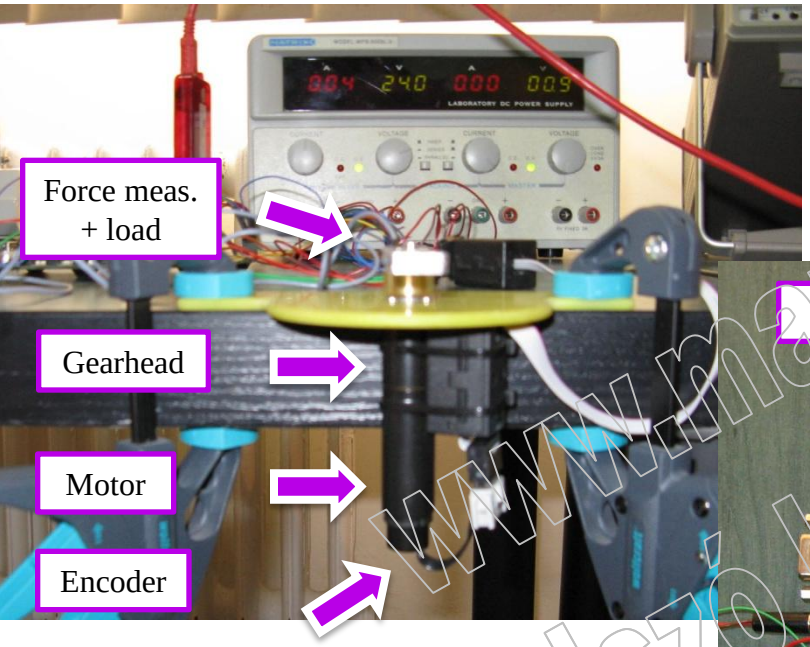
www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokában

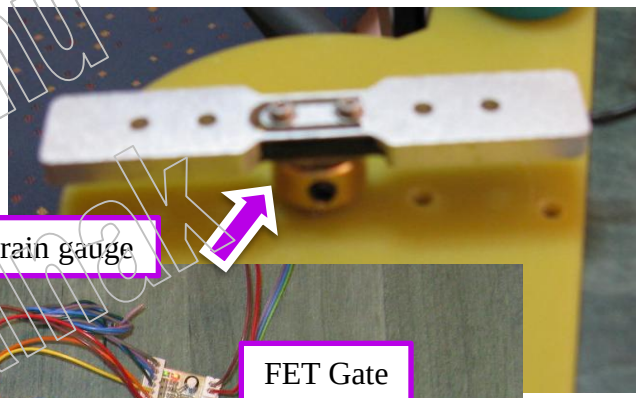
Single SDVSA Electrical Test Architecture

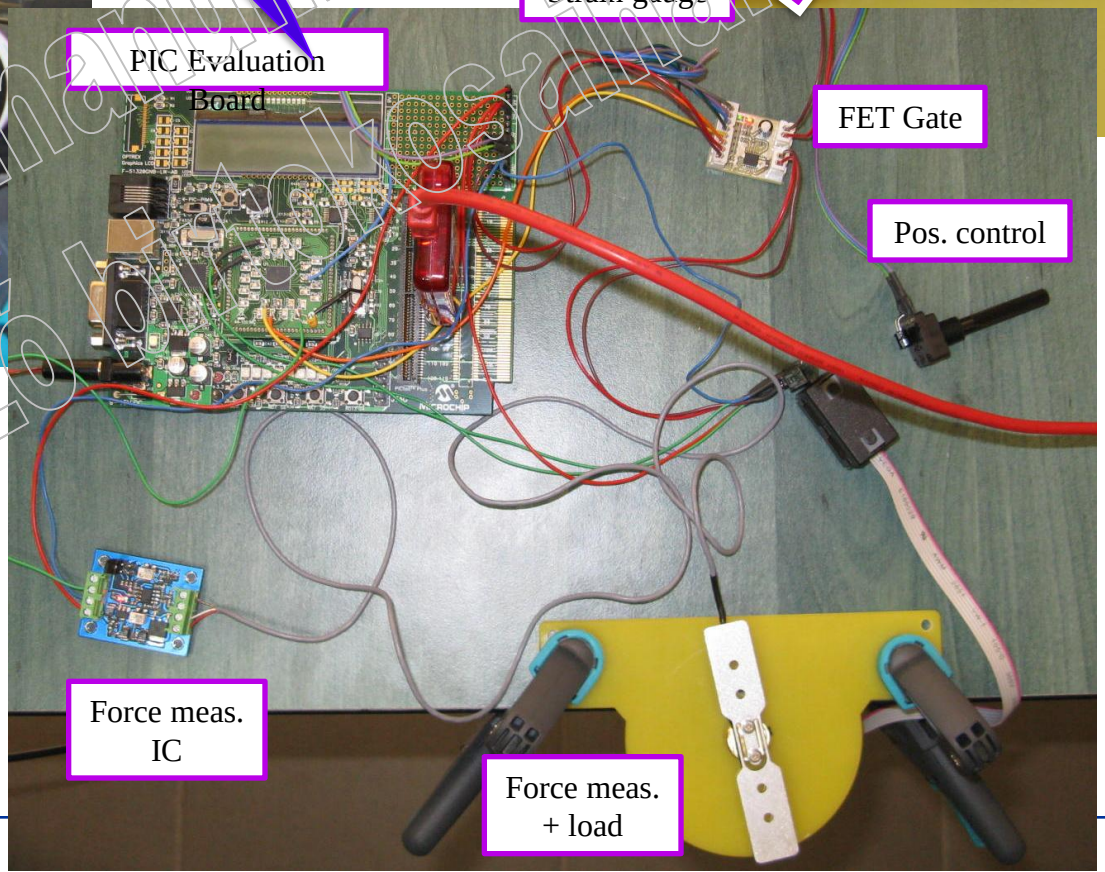


www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

Rapid SDVSA Test Arrangement







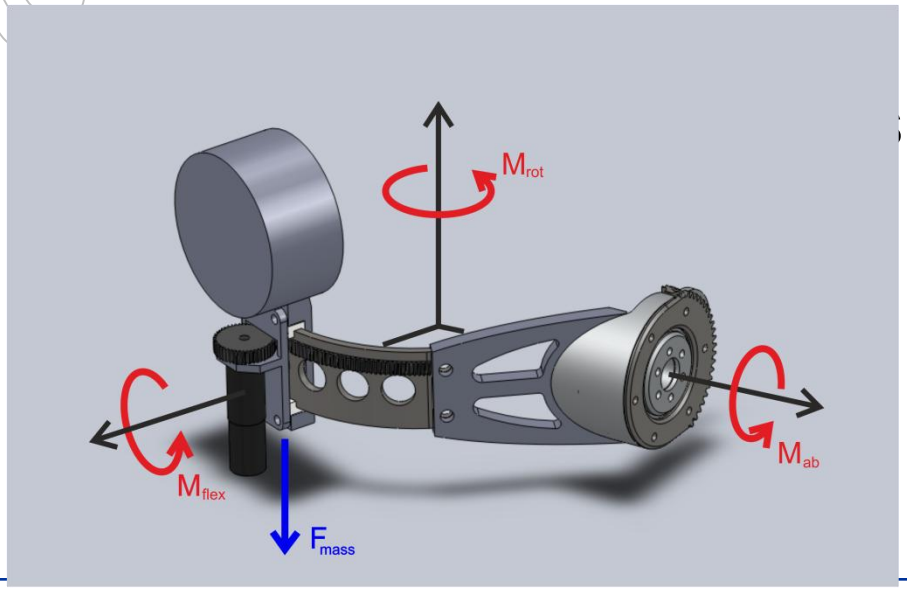
5W Maxon motor (selected based on the “old” reqs.)

www.manuf.bme.hu
jelszó/dirsz/kusainak

Drive Component Selection: Hip Module - Kinetic calculations

- The goal is to determine the maximal torque of the abduction/adduction motor
- This includes the resultant cascade torques of the other motions
- Worst case scenario, when it has to bear the mass of the whole structure too
- Calculations were done with Solidworks's Motion Analysis module

- External Rotaion Torque is 4.5Nm
- Flexion torque is 27Nm
- Abduction torques is



www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosának

Hip Abd./Add. - Kinetic calculations

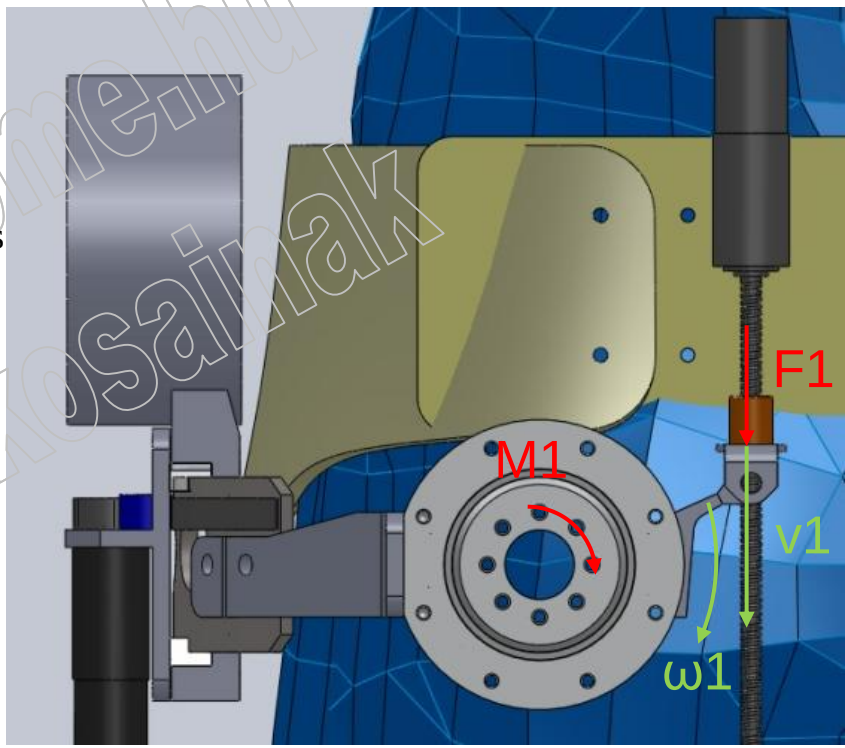
Input parameters:

Torque	M2=27	Nm
Power	P2=18	W

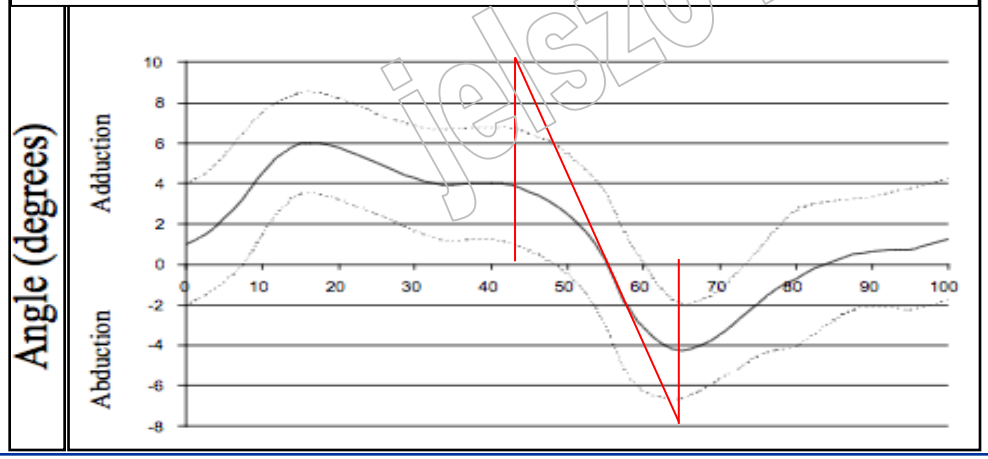
Angular Velocity (Estimated From Gait Data) ω2=1,01 rad/s

Motor min requrements:

Lin. Velocity of Nut (From Estimated ang. Vel.)	v1=60 mm/s
Expected Force of lin. Actuator	F1=563 N
Power ((From Estimated ang. Velocity)	P1=34 W



Gait speed estimation in Frontal Plain



www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak

Hip Module – Transmission

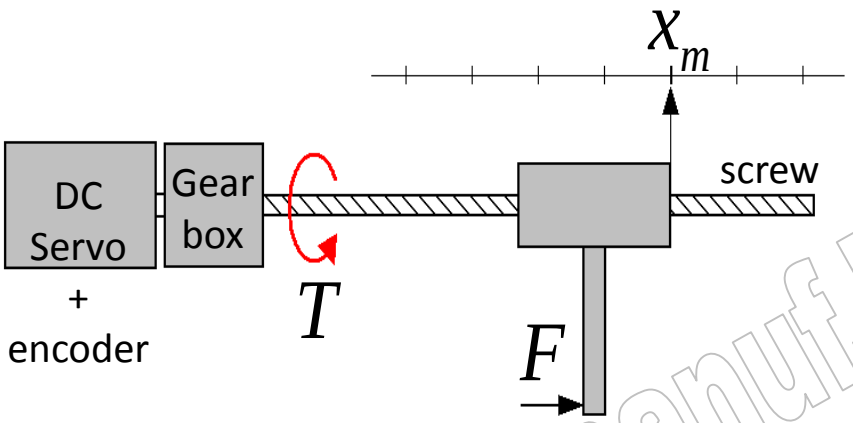
Actuation concepts

- Metric spindle:
- – self-locking
- – low costs
- Trapezoidal spindle:
- – same as metric spindle
- – higher load capacity than metric spindle
- Ball screw:
- – highly efficient
- – not self-locking
- – high load capacity

Best choice

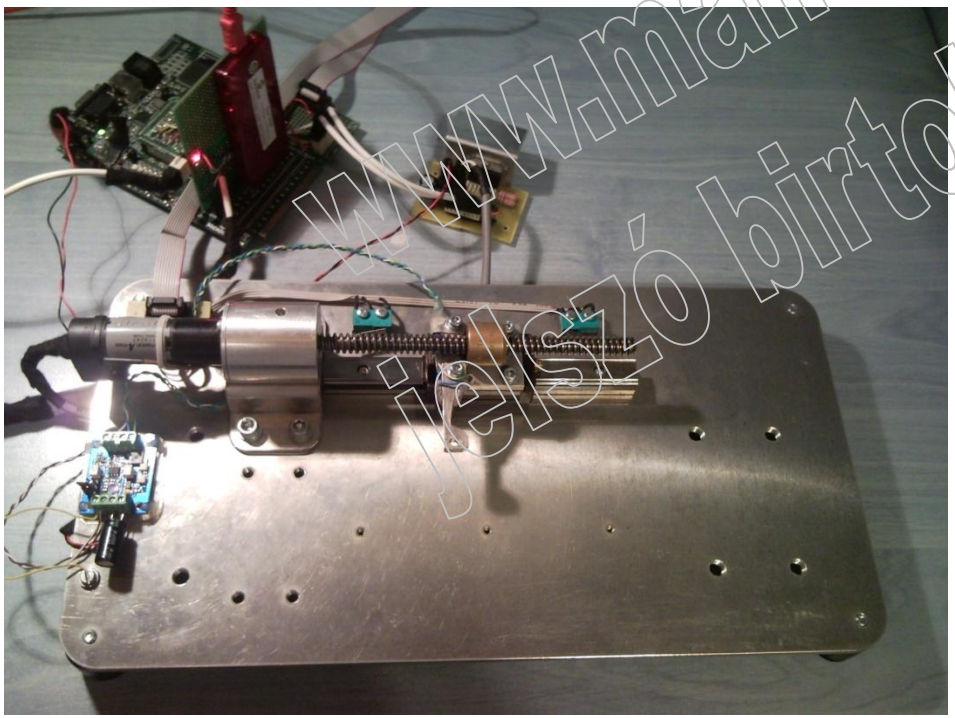
www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak

SDVSA Control scheme



$$T = P\left(x_0 + \frac{F}{s_v} - x_m\right)$$

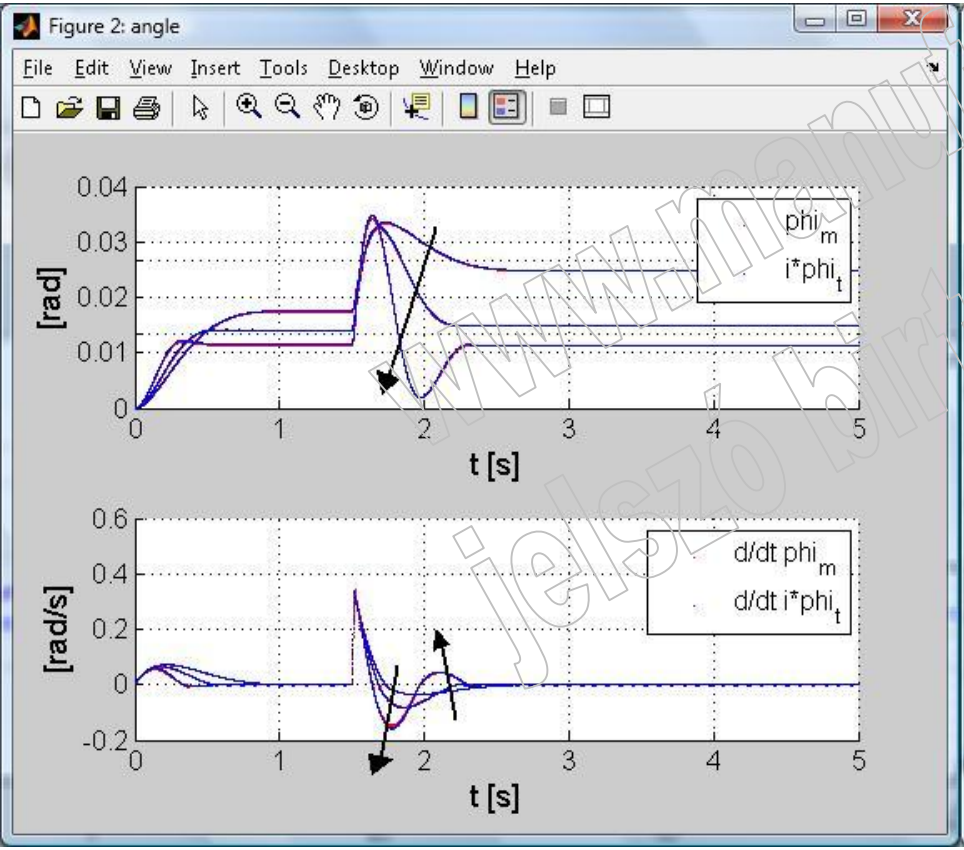
$\tilde{x}_0$

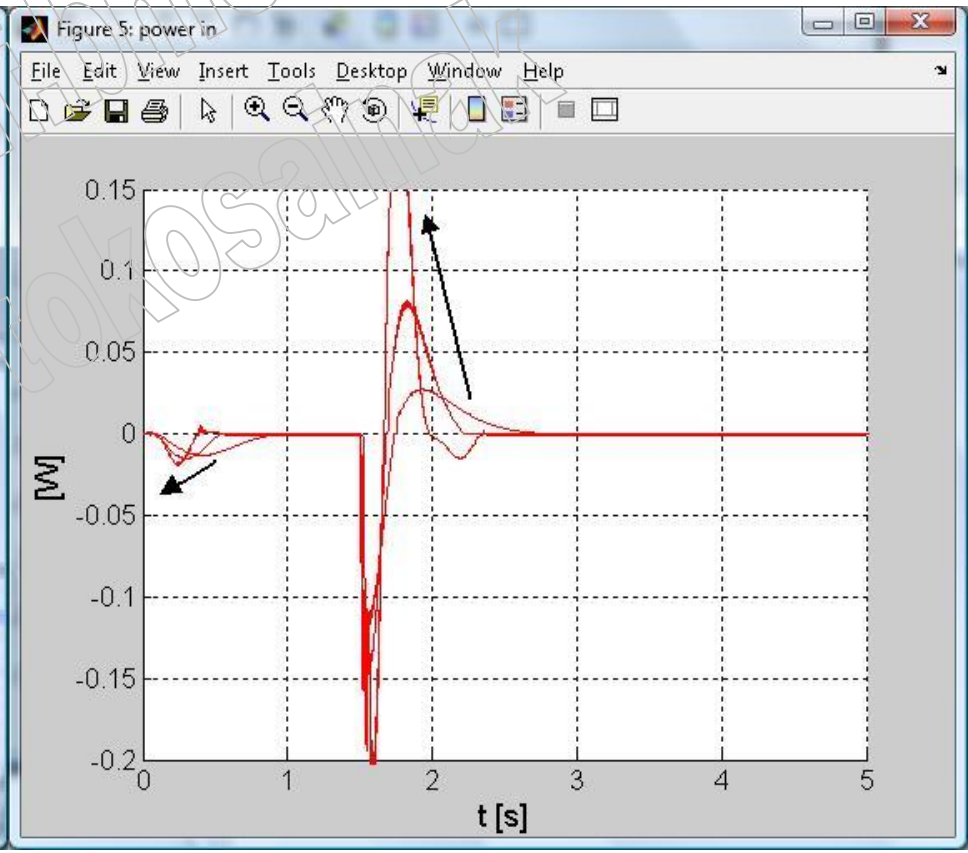


www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak

T : control torque
P : proportional gain
F : environmental force (measured)
s_v : virtual spring stiffness
x_m : measured position
x_0 : reference position
$\tilde{x}_0$: desired position

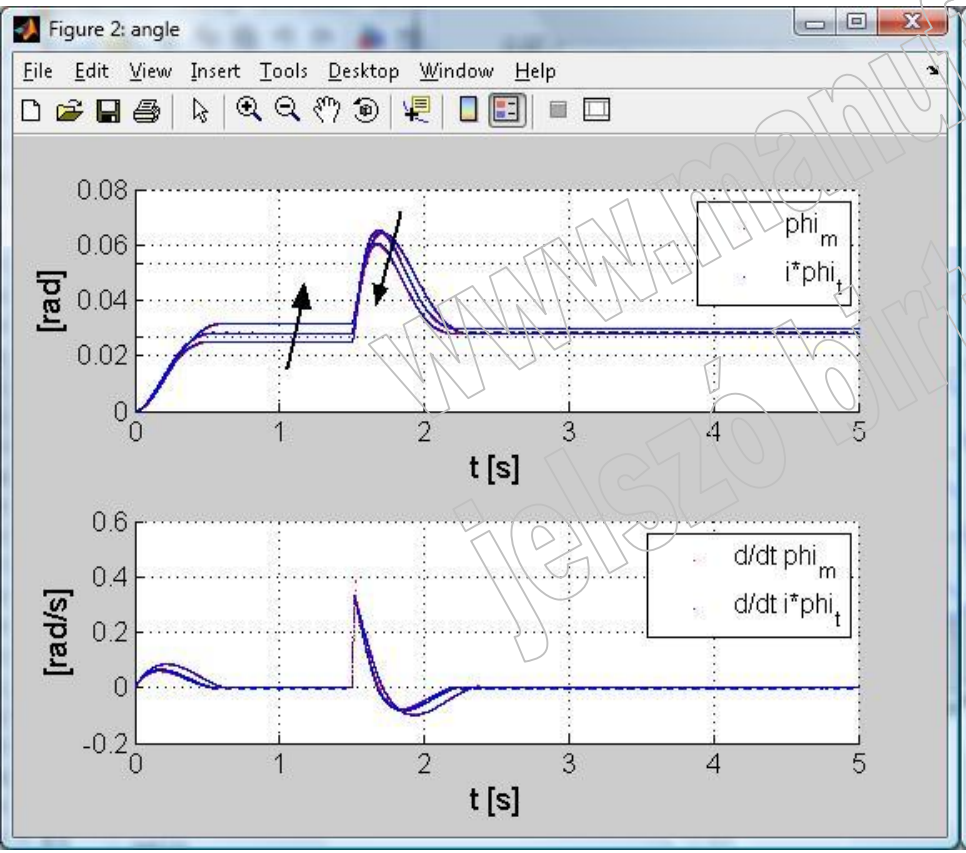
Impact absorption: effect of the proportional parameter P

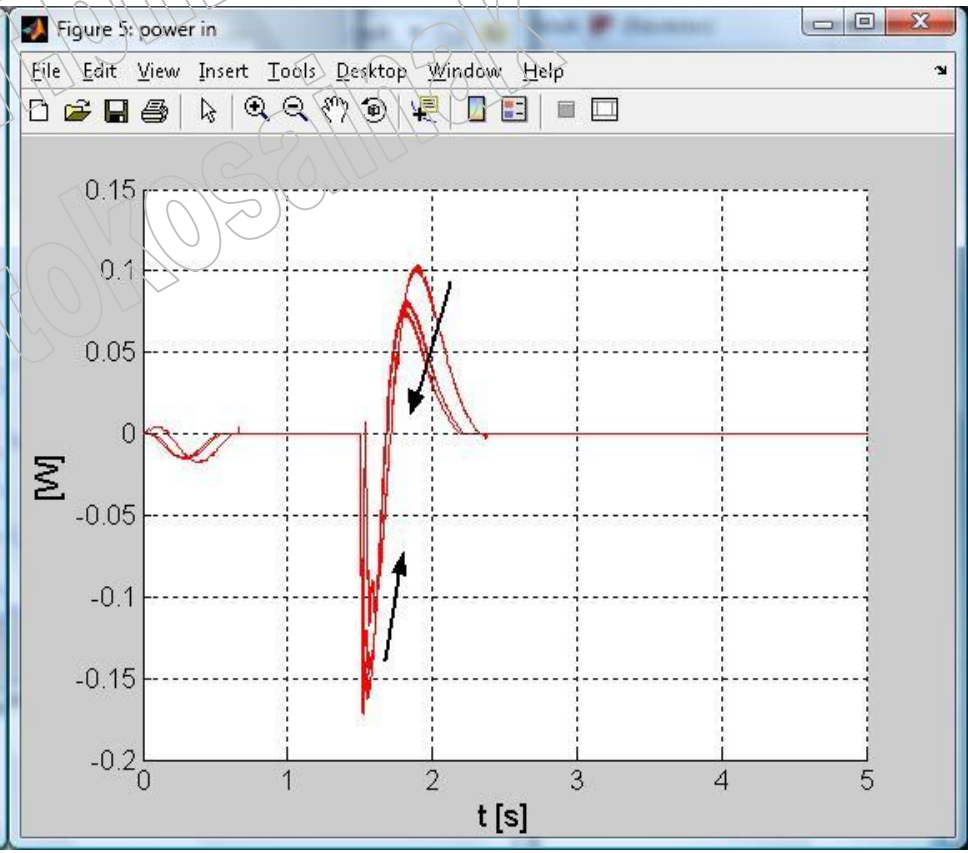




www.manuvirme.hu jelszó birtokosának

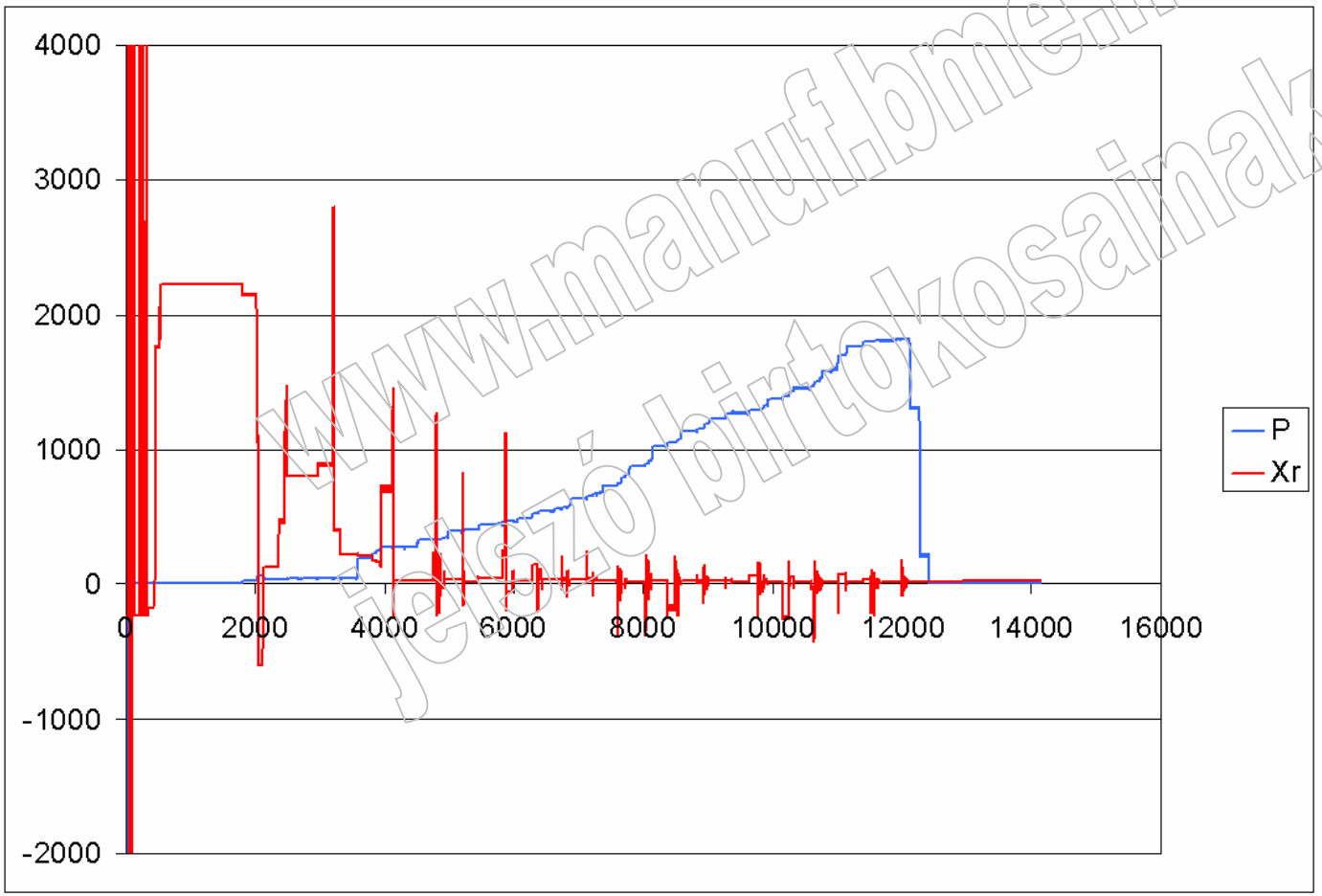
Impact absorption: effect of virtual spring stiffness sv





www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosának

Impact absorption: hammering test (e.g. heel strike) (Evryon workshop, Humanoids2011, Bled, 23 October 2011)



www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

proportional control gain was increased continuously (blue line),

while environmental impacts (hammer hits) were applied (red line) is the servo displacement response)

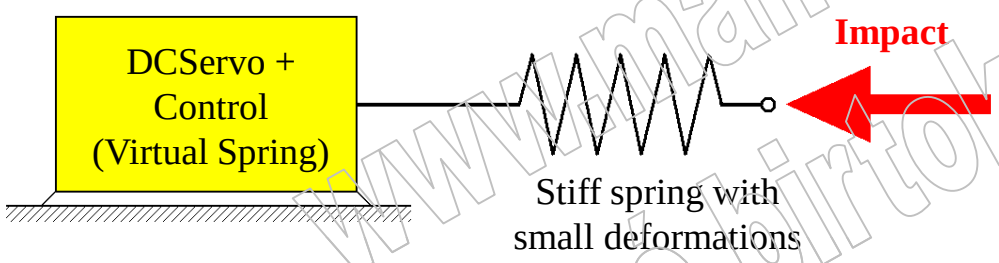
In Evryon: virtual with real spring

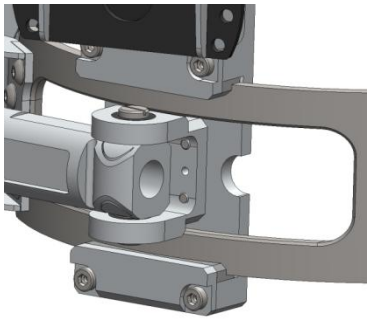
Requirements for impact absorption

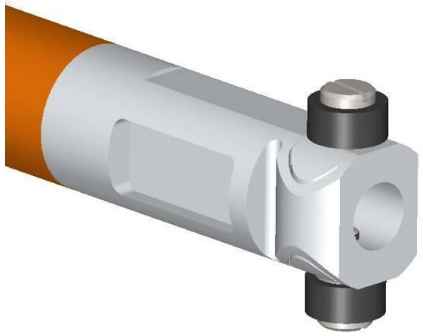
❖ The spring has to be relatively soft → **Result a spring with large volume**

❖ Has to be able to work with large displacements

An optimal solution:







Operation principle:

❖ The virtual spring absorbs the high energy but „slow" impacts

❖ An additional stiff spring /damper is included to absorb the impacts that are too fast compare

- The sampling of the control
- The delay of the control
- The inertia of the drive system (considering a max. motor torque)

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

Protection of humans - safety

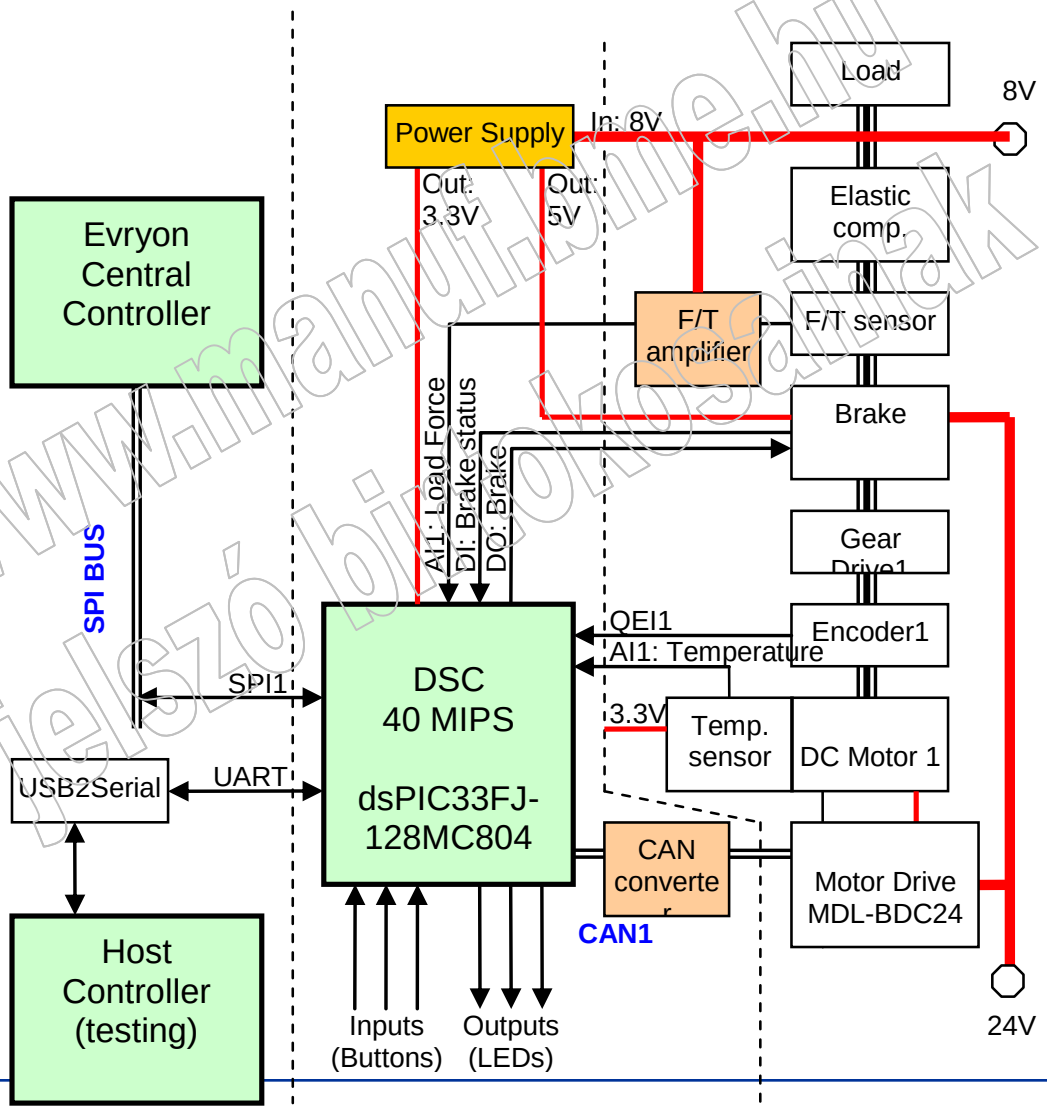
- Compliance with MDD 93/42/EE

Briefly about some issues:

- Emergency Stop
- Enabling device (initial tests)
- Back drivability: In Motors Off state
- Hot/sharp components and surfaces
- Electrical hazards: low voltage level
- Safety software: RT schema and high priority safety cl
  Watchdog timer protects from software error, Hearth beat protection, Disabling motor controller on error

www.manuf.bme.hu
jelszó birtokosainak

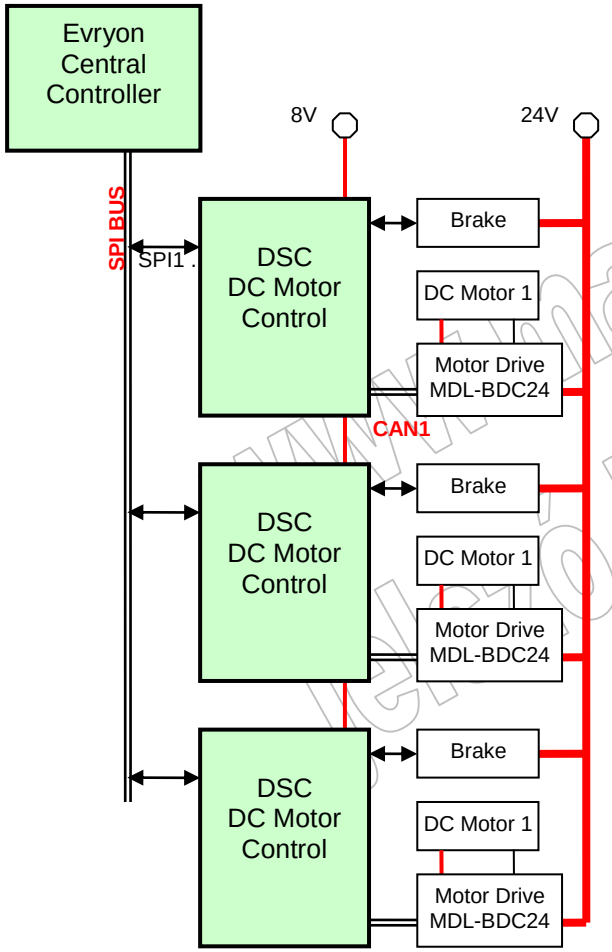
Electro-mechanical design: architecture



www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokában

All **COTS** apart from FT amplifier and damper hinge

Communication



The SPI channel is used in the following settings:

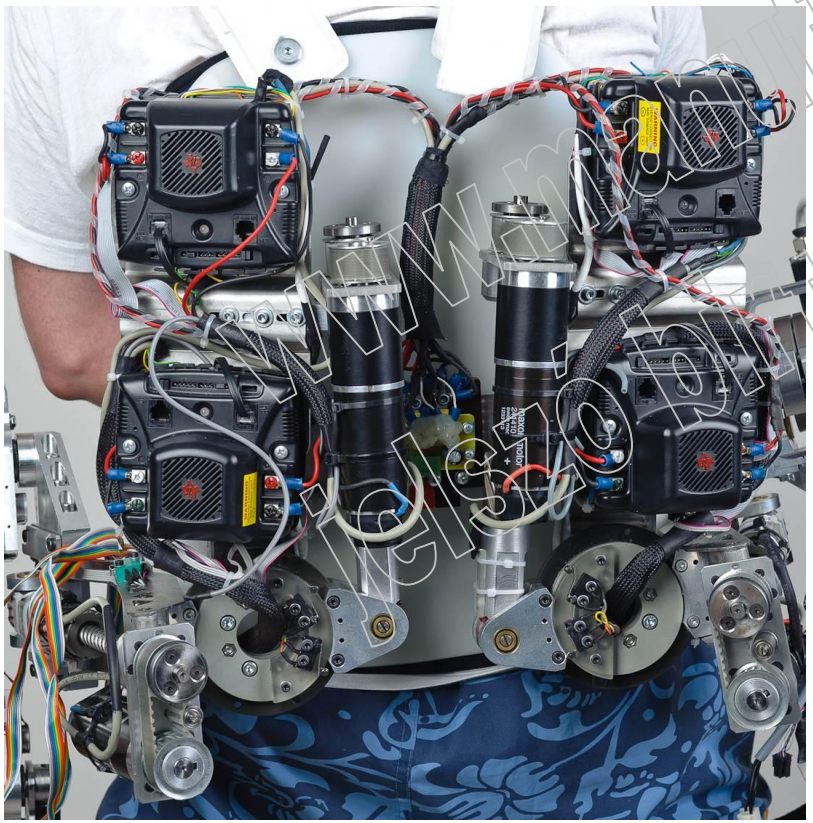
- 16 bit mode
- SPI mode 0 (for CKE)
- baud rate is tested on 10 Mbaud (1Mbaud is far sufficient).

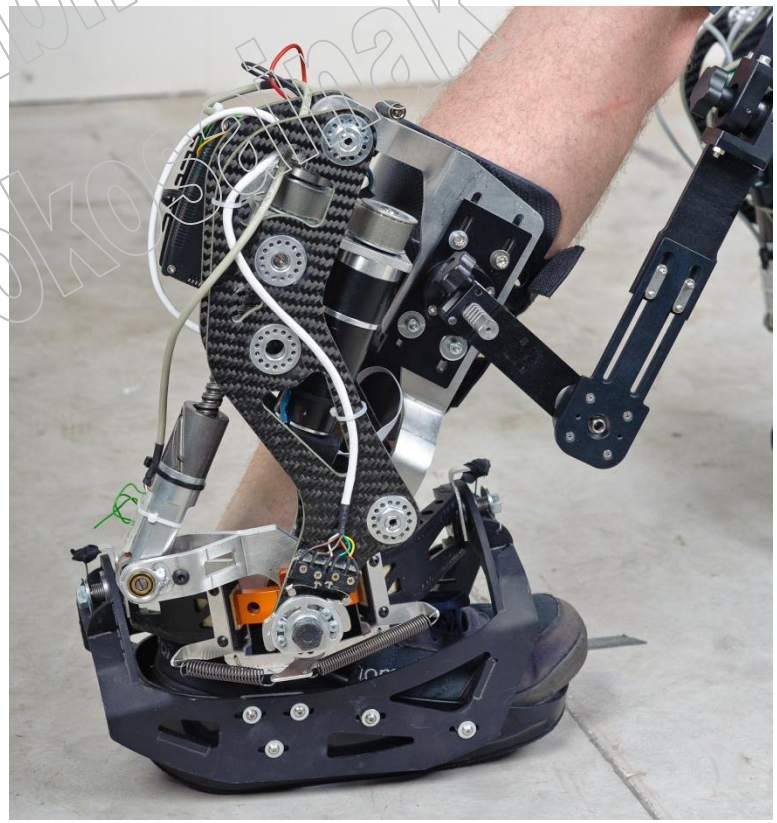
www.manuf.bme.hu
elektronikus birtokosainak

Documentation of the source code

www.manuf.bme.hu
Jelszó bírtokosainak

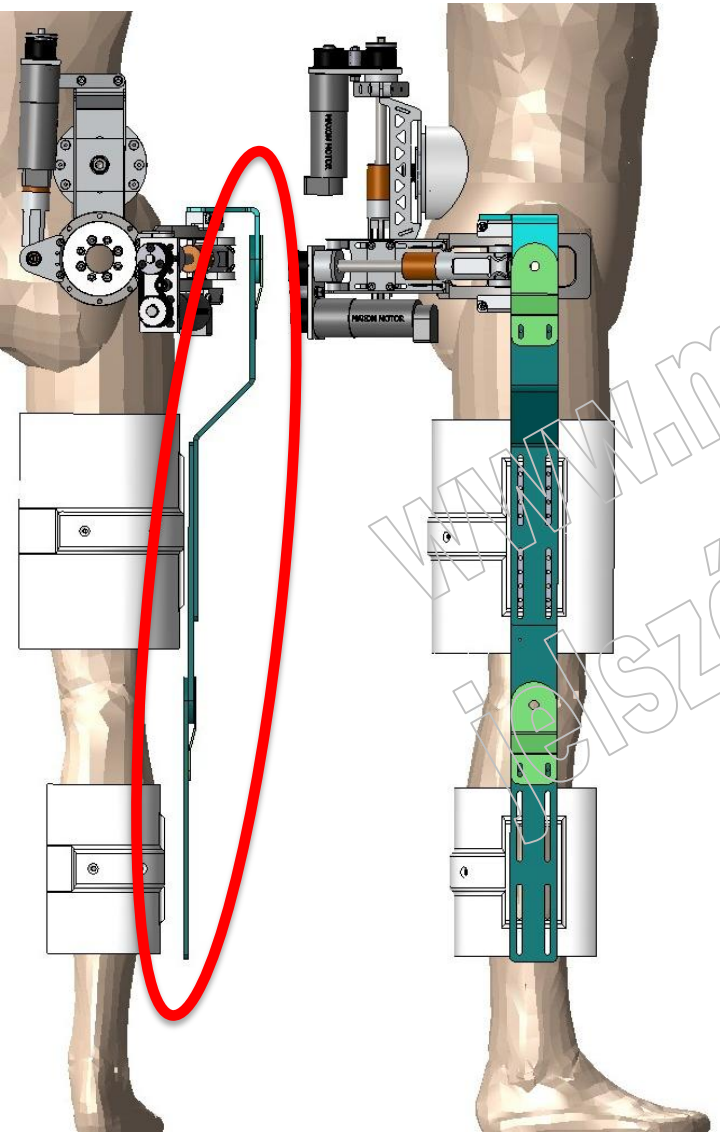
VALIDATION OF HIP AND ANKLE MODULES



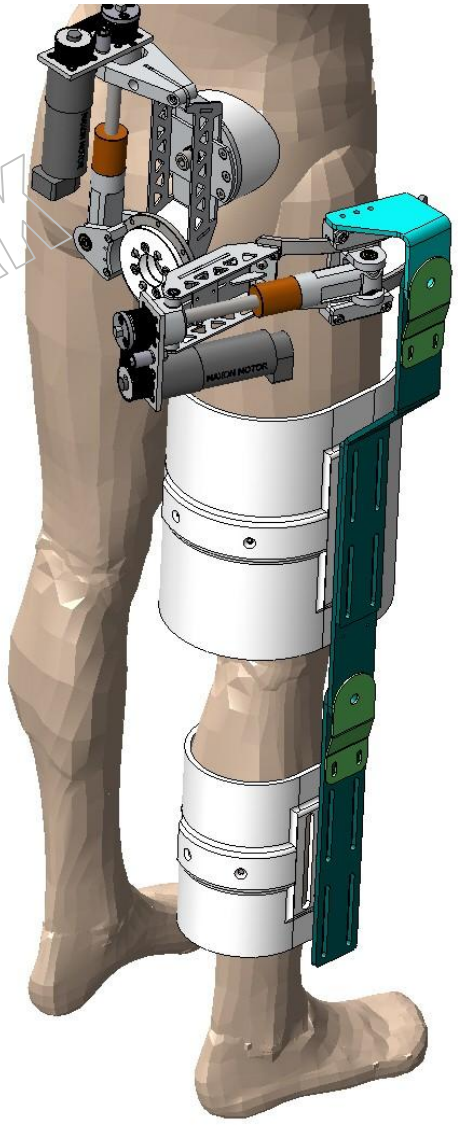


www.manuf.bme.hu
jelszó biztokoszabak

Temporary Passive Leg Module

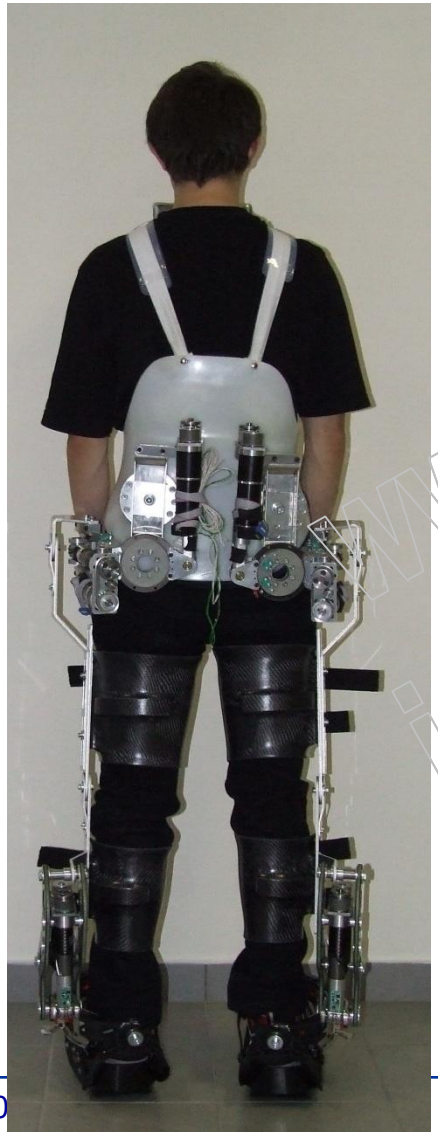


- To test the Hip and Ankle modules.
- Validation of the anatomically correct motion.
- Parallel linkage with the bones.
- Adjustable rods.
- Grounded weight.



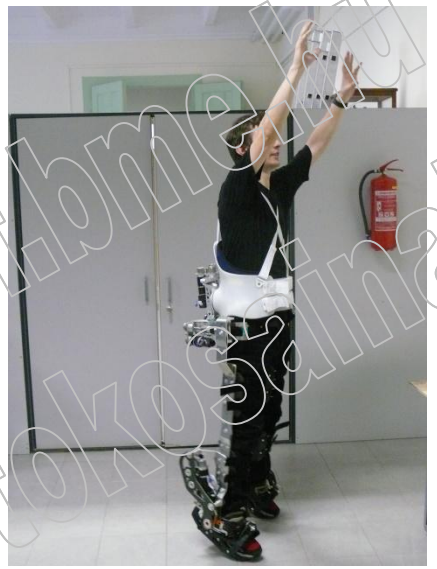
www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak!

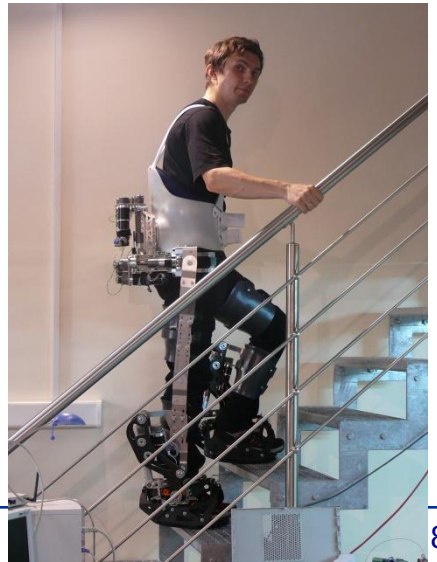
Prototype of the BME - Modules



www.manuf.bme.hu
jelszó bitokosainak

Wearability Test



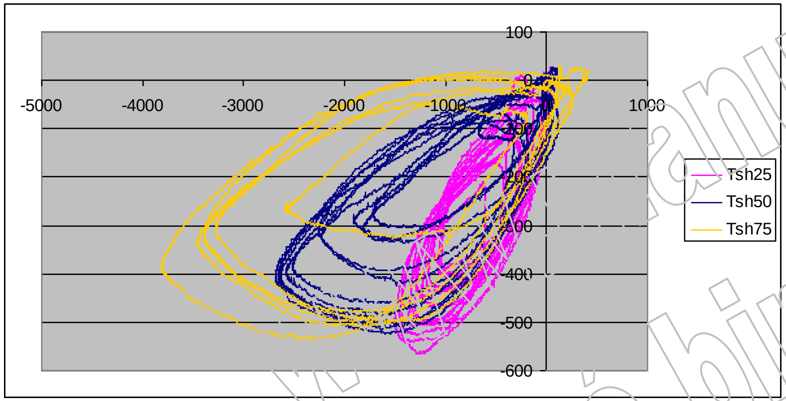


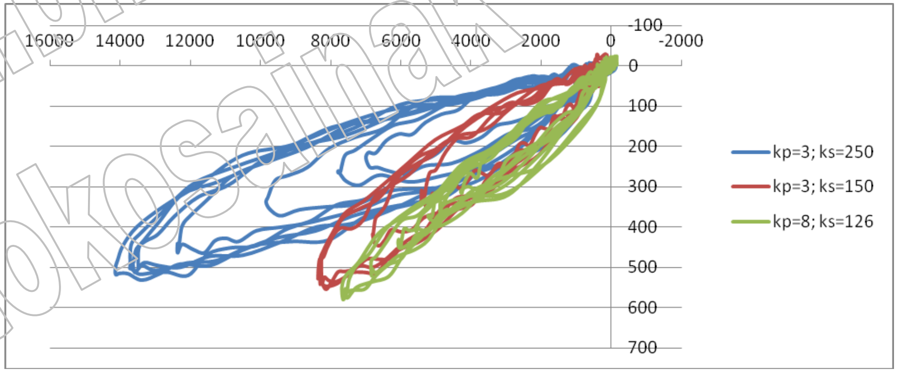
www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosának

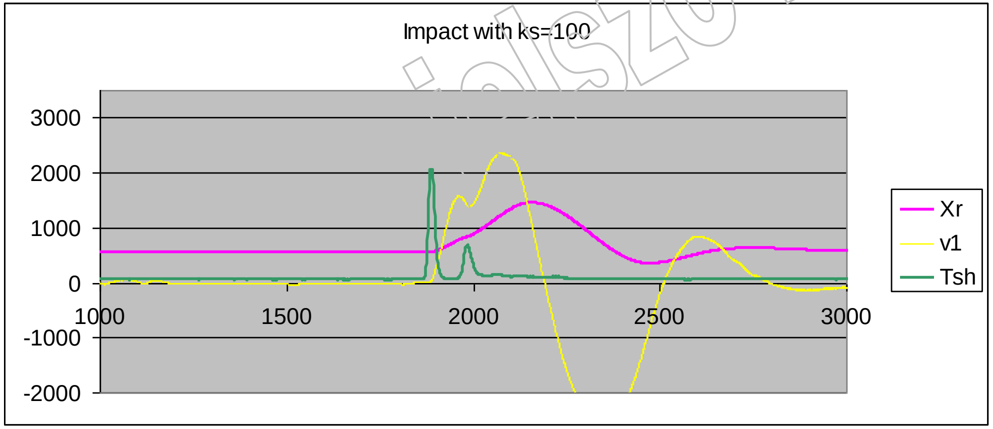
Control efficiency and impact tests

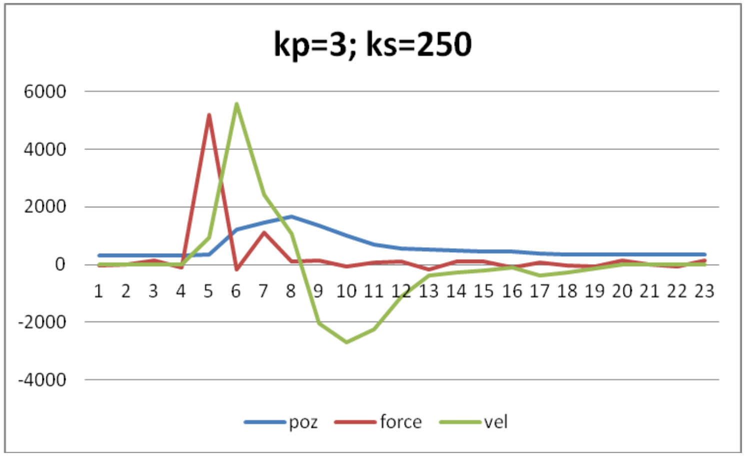
Prototype 1

Protoype 2









www.manuf.bme.hu
Jelszó birtokosainak

Köszönöm a figyelmet a projektekben közreműködő munkatársaim és hallgatóim nevében is

BME:

- Dr. Arz Gusztáv
- Dr. Stépán Gábor
- Dr. Kocsis László
- Jurák Mihály
- Kovács László
- Dárday Vilmos
- Varga Zoltán
- Varga Péter
- Kellős György
- Papp József
- Gombos Ákos
- Lezsák Gergely
- Magyar Gábor
- Varga Károly
- Nyitrai Dávid
- Wohlfart Richard
- Bojtos Attila
- Szakály Norbert
- Bencsik László
- Zelei Ambrus
- Bauer Márk
- Csibrák Tamás
- Dános László
- Dános Tamás
- Gyimóthy Dávid
- Bohus Krisztián
- Magyar Bálint
- Miklós Ákos
- Preiner Norbert
- Kirschner Dávid
- Takács Bálint
- Kovács Dénes
- Hodosán Zsolt
- Nagy Tibor
- Horváth Tamás

És még sokan mások

OORI:

- Dr. Fehér Miklós
- Dr. Fazekas Gábor
- Dr. Dénes Zoltán
- Stefanik Györgyi
- Boros Zsuzsa
- Dr. Horváth Mónika
- Dr. Zsiga Katalin
- Dr. Péter Orsolya
- Pilissy Tamás
- Gelányi László

www.mogi.bme.hu jelszó birtokosainak