

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA DRUŽBENE VEDE

Matevž Cerar

**Eksoskeletni sistem in bojevniki 21. stoletja**

Diplomsko delo

Ljubljana, 2017

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA DRUŽBENE VEDE

Matevž Cerar

Mentor: doc. dr. Erik Kopač

Somentor: doc. dr. Uroš Svete

**Eksoskeletni sistem in bojevniki 21. stoletja**

Diplomsko delo

Ljubljana, 2017

## **Eksoskeletni sistem in bojevnik 21. stoletja**

Eksoskeletni sistemi so elektromehanska pomagala, ki so že implementirana v določenih strukturah civilne sfere in v omejenih primerih, tudi v vojski. Z njimi človek lažje premaguje vsakodnevne napore. Njegovo telo razbremenjujejo tako, da omogočajo ponovno hojo, lažjo rehabilitacijo in ojačitev telesnih zmogljivosti.

V diplomskem delu smo se osredotočili predvsem na uporabo eksoskeletnih sistemov v vojski in vpliv, ki ga ima tovrstni sistem na vojaka. Prihodnost vojske je v razvoju in implementaciji novih tehnologij, ki bodo ponovno postavile v ospredje pehoto in omogočale vojaku, da se njegov spekter nalog razširi. Ugotavljali smo ali obstajajo zasebni in vojaški programi, ki spodbujajo razvoj eksoskeletnega sistema in tehnologijo za vojaka 21. stoletja. Raziskovali smo tudi, kakšen je bil razvoj eksoskeletnega sistema, kje je danes, kakšne so smernice za prihodnost in kolikšen bi bil morebiten strošek implementacije tovrstnega sistema. Primerjali smo stroške logistike na primeru dveh zračnih plovil in njihovih transportnih zmogljivostih. Ves konglomerat pridobljenih podatkov nam pove, da se raziskave in razvoj ponovno preusmerjajo na pehotnega vojaka in da bo v prihodnje vedno več govora o vojaku 21. stoletja ter o razvoju tehnične opreme.

**Ključne besede:** eksoskeletni sistem, razvoj, vojaški program, vojak 21. stoletja, logistika.

## **Exoskeleton system and warrior of the 21st century**

Exoskeleton systems are electromechanical aids, which are already implemented in certain structures of civil society and, in limited cases, even in military. They help men overcome everyday efforts. They relieve his body in such a manner that he can walk again, easily overcome his rehabilitation and can reinforce his physical strength.

In this thesis, we solely focused on the use of exoskeleton systems in the military and on the impact that the system has on a soldier. The future of the military, is developing and implementing new technologies that will again put the spotlight on the infantry soldier and allow him to extend his range of tasks. We were determining if there are any private or military programs that promote the development of exoskeleton systems and technology for the 21st century soldier. Study was also done about the rate of progress and development for exoskeleton system, where it is today, what are the guidelines for the future and how much would it cost to implement the exoskeleton system. We compared the cost of logistics in the case of two transport aircraft and their capabilities. The acquired data tells us that all the research and development is again redirected to the infantry soldier and that in the future, more and more emphasis will be on a 21st century soldier and his development.

**Keywords:** exoskeleton systems, development, military program, soldier of the 21st century, logistics.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>7</b>
1.1	CILJI, ZASTAVLJENE HIPOTEZE IN METODOLOGIJA NALOGE.....	9
1.2	FAZE RAZVOJA IN PROIZVODNJE OBOROŽITVENIH SISTEMOV .....	10
1.2.1	TAK TIČNA ŠTUDIJA .....	10
1.2.2	PREDHODNA ANALIZA .....	10
1.2.3	PROGRAM REALIZACIJE PROJEKTA IN KOMISIJSKI PREVZEM.....	11
1.2.4	VZROKI ZA NEUSPEH PROJEKTOV OBOROŽITVENIH SISTEMOV.....	11
<b>2</b>	<b>VOJAK PRIHODNOSTI.....</b>	<b>12</b>
2.1	FUTURE SOILDER 2030 INITIATIVE (Pobuda za vojaka prihodnosti) .....	13
2.1.1	IZVEDBA IN USPOSABLJANJE .....	15
2.1.2	ZAŠČITA VOJAKOV.....	16
2.1.3	SMRTNOST .....	17
2.1.4	MOBILNOST IN LOGISTIKA.....	18
2.1.5	OMREŽJE VOJAKA.....	18
2.1.6	ENERGIJA IN MOČ VOJAKA .....	19
2.2	OPREMA BOJEVNIKA 21. STOLETJA V SLOVENSKI VOJSKI .....	20
2.2.1	BOJNA IN ZAŠČITNA OPREMA .....	21
2.2.2	OSEBNA KOMUNIKACIJSKA OPREMA .....	24
<b>3</b>	<b>EKSOSKELETNI SISTEM .....</b>	<b>25</b>
3.1	ZGODOVINSKI RAZVOJ EKSOSKELETNEGA SISTEMA .....	26
3.2	ZGRADBA EKSOSKELETNEGA SISTEMA .....	29
3.2.1	PRIMER DELOVANJA EKSOSKELETA.....	31
3.3	RAZVOJ EKSOSKELETNIH SISTEMOV .....	32
3.4	PRIMERI UPORABE EKSOSKELETNIH SISTEMOV .....	33
3.4.1	IZZIVI, TEHNOLOŠKI PROBLEMI IN PRIHODNOST EKSOSKELETOV .....	37

<b>4</b>	<b>LOGISTIČNI STROŠKI EKSOSKELETNIH SISTEMOV .....</b>	<b>39</b>
4.1	STROŠKI LOGISTIKE ZA LETALO C-17 GLOBEMASTER III .....	40
4.2	STROŠKI LOGISTIKE ZA HELIKOPTER CH-47 CHINOOK .....	42
4.3	PRIMERJAVA STROŠKOV .....	44
<b>5</b>	<b>SKLEP .....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>48</b>

## KAZALO SLIK

Slika 2.1: Sistem TALOS .....	13
Slika 2.2: ROBOTROOP .....	15
Slika 2.3: Slika interaktivnega vojaka Slovenske vojske .....	21
Slika 2.4: Oprema bojevnika 21. stoletja v Slovenski vojski .....	21
Slika 2.5: Osebna komunikacijska oprema .....	24
Slika 3.1: Zgodovinski razvoj eksoskeletnega sistema .....	27
Slika 3.2: Osnovni koncept eksoskeletnega robota .....	30
Slika 3.3: Slikovni prikaz delovanja eksoskeleta .....	31
Slika 3.4: Grafični prikaz eksoskeleta Robo-mate .....	33
Slika 3.5: Robot HAL (a) in eksoskelet ReWalk (b) .....	34
Slika 3.6: Eksoskeletni sistem LOKOMAT (a) in sistem LOPES (b) .....	35
Slika 3.7: Sistem eLEGS .....	35
Slika 3.8: Eksoskeletni sistem XOS 2 (a) in HULC (b) .....	36
Slika 3.9: Končna oblika eksoskeletnega sistema Bleex .....	37
Slika 4.1: C-17 Globemaster .....	41
Slika 4.2: CH-47 Chinook .....	43

## KAZALO TABEL

Tabela 3.1: Zgodovinski prikaz eksoskeletnega sistema .....	27
Tabela 4.1: Primerjava teže vojaka brez in z eksoskeletnim sistemom .....	40
Tabela 4.2: Osnovni podatki za letalo C-17 Globemaster III .....	42
Tabela 4.3: Osnovni podatki za helikopter CH-47 Chinook .....	44

# 1 UVOD

Eksoskeletni sistemi so sistemi, ki ljudem pomagajo, da lahko brez napora dvigujejo zelo težka bremena, preskakujejo visoke ovire ali celo shodijo (govorimo o inteligentnih bionskih napravah). Eksoskeletne sisteme lahko primerjamo s sodobno različico Iron Mana, ki je nastopil v istoimenskem filmu. Kljub vsej znanstveni fantastiki v omenjenem filmu postaja Iron Man izven znanstvenofantastičnih okvirjev del človeškega življenja. V literaturi se poleg izraza eksoskeletni sistem uporabljajo tudi izrazi eksoogrodje, eksoskelet in eksoobleka. Nedvomno je tovrstna mehanizacija prihodnost, ki bo omogočala vojakom 21. stoletja lažje opravljanje svojih nalog in večjo učinkovitost na bojišču. Prihodnost bo zapisana avtonomnim robotskim sistemom, ki bodo delovali po že vnaprej napisanem računalniškemu programu in algoritmu. Danes so že implementirani visokotehnološki sistemi, ki jih ljudje vodijo na daljavo (brezpilotna letala, brezpilotna ladjevja, raketni sistemi, satelitski sistemi, robotsko vodeno avtomatsko orožje ...), vendar so tovrstni sistemi še vedno v veliki meri ločeni od prvoosebnega dogajanja na bojišču. Dejstvo je, da pehota še vedno predstavlja hrbtenico vojske in je ocenjevanje tveganja ter iskanje rešitev še vedno domena vojaka in njegove osebne izkušnje na terenu. Inovacije in razvoj novih tehnologij, ki bodo pomagali vojakom na terenu, so izjemno pomembne in v implementaciji eksoskeletnih sistemov utegnejo spremeniti in nadgraditi že obstoječe pojmovanje delovanja pehote na terenu.

Eksoskeletni sistemi so elektromehanska pomagala, ki si jih človek lahko nadene in z njimi počne zanj težko dosegljiva opravila. Eksoogrodij ne smemo enačiti s protezami. Sistem je sestavljen iz treh glavnih komponent:

- **OGRODJA**, ki se pritrdi na človeka vzdolž njegovih udov,
- **ELEKTROMOTORJEV**, ki pomagajo pri gibanju,
- **RAČUNALNIKA in SENZORJEV**, ki zaznavajo npr. krčenje določenih mišičnih skupin in signale iz možganov v mišice. V realnem času pomagajo pri določenem gibu s primernim zagonom elektromotorjev (Masten 2013).

Eksoskeletni sistemi se danes uporabljajo na mnogih področjih. V največjem obsegu so izdelani za civilno uporabo. Kar sedem evropskih držav financira razvoj eksoskeleta, ki ga imenujejo Robo-mate. Sistem je namenjen delavcem v avtomobilski industriji. S tem sistemom naj bi zmanjšali število poškodb pri delu in olajšali ponavljajoča prenašanja več

deset kilogramov težkih bremen. Na Japonskem so medicinske sestre opremljene z robotom, ki se imenuje HAL-5. Z njegovo pomočjo lažje premikajo in prenašajo negibljive bolnike. Nekateri bolniki pa so zaradi teh sistemov spet okusili hojo (Masten 2013).

Razvoj sistemov je najmočnejši in najhitrejši na vojaškem področju, kjer se je pred desetletji tudi začel. Danes je lahko vojak v polni bojni opremi obremenjen do 40 kilogramov, medtem ko bi se z novo tehnologijo obremenitev vojaka lahko povečala za dvakrat, trikrat ali celo večkrat. V letu 2009 je v ZDA izšel program *Future soldier initiative 2030*, katerega namen je raziskovati in razvijati opremo za vojaka prihodnosti. Najbolj aktualna modela na področju vojske sta trenutno Lockheed Martinov HULC in Raythenov XOS 2. Oba modela sta v fazi testiranja. Razvijalci XOS-a 2 trdijo, da lahko z njegovo pomočjo vojaki ponavljajoče dvigajo sto kilogramska bremena, ne da bi se utrudili, s pestjo pa lahko prebijejo več kot 7 cm debel kos lesa. V nadaljevanju diplomske naloge bomo predstavili, kam pelje razvoj eksoskeletnih sistemov v vojski. Za razvoj eksoskeletnega sistema sta pomembni dve razvojno različni smeri:

- **1. smer:** Poudarek na večji avtonomiji vojaka na bojišču. Smer zagovarja uporabo eksoskeletnega sistema za večjo zmogljivost in prenos večjega bremena.
- **2. smer:** Poudarek na pomenu bojevanja in večji razbremenjenosti vojaka na bojišču. Zagovarja večji pomen logistike pri transportu in podpori vojaka (Masten 2013).



## 1.1 CILJI, ZASTAVLJENE HIPOTEZE IN METODOLOGIJA NALOGE

Glavni cilj naloge je predstaviti eksoskeletni sistem za bojavnika 21. stoletja, zakaj je pomemben za vojaka in kako bo njegova implementacija vplivala na prihodnost vojskovanja. Osredotočili se bomo na zgodovinski razvoj od začetka 20. stoletja do danes in na tehnološke izzive ter probleme, ki jih predstavlja razvoj sistema. Primerjali bomo stroške enote eksoskeletnega sistema in opreme pripadnika specialnih sil kopenske vojske. Ob tem si bomo postavili vprašanje, kolikšna bi bila razlika v stroških, če bi primerjali opremljenost vojaka, njegovo avtonomijo na bojišču in s tem povezano oskrbo oziroma logistično podporo.

V sklopu diplomske naloge smo zastavili naslednje hipoteze:

- **Hipoteza 1:** Hitrost razvoja novih tehnologij za vojaka 21. stoletja je premo sorazmerna z njegovo varnostjo na terenu.
- **Hipoteza 2:** Zaradi trenutne stopnje razvoja eksoskeletnega sistema in trendov, ki se kažejo v prihodnosti, je uporaba v silah za bojno podporo bolj smiselna kot uporaba v silah za bojevanje.
- **Hipoteza 3:** Stroški, povezani za raziskavo in razvoj ter izdelavo eksoskeletnega sistema, ne odtehtajo njegove uporabe na terenu.

V diplomskem delu bomo uporabili naslednje metode:

- **metodo zbiranja** primarnih in sekundarnih virov, s katero bomo pridobili vse potrebne podatke in tako širše opredelili eksoskeletni sistem, njegov razvoj, zgodovino in probleme, ki so aktualni za današnji čas,
- uporabili bomo **metodo analize in interpretacije** primarnih ter sekundarnih virov, s katero bomo predstavili, kakšna je oprema vojaka 21. stoletja, katere inovacije so v uporabi in kako poteka razvoj na tem področju,
- pridobljene podatke bomo primerjali med seboj s **primerjalno analizo**, s katero bomo utemeljevali stroškovno upravičenost eksoskeletnega sistema in kakšen vpliv bi to imelo na logistiko,
- uporabili bomo tudi **opisno in historicistično metodo**, s katero bomo prikazali razvoj eksoskeletnega sistema in njegov napredek ter tako prikazali, kje se trenutno nahaja razvoj in kakšne so napovedi za prihodnost.

## 1.2 FAZE RAZVOJA IN PROIZVODNJE OBOROŽITVENIH SISTEMOV

V obdobju globalizacije so glavno vlogo na področju proizvodnje orožja prevzela zasebna podjetja, kjer prednjačijo predvsem podjetja iz držav članic NATA (ZDA, Nemčija, Francija, Velika Britanija ...). V ZDA se pri načrtovanju razvoja oborožitvenih sistemov uporablja metoda PPBES (*Planning, Programming, Budgeting and Execution System*). Pri tej metodi so finančno in časovno povezane vse dejavnosti vseh akterjev v projektu. Shema razvoja in proizvodnje oborožitvenega sistema vključuje naslednje faze (Žabkar in Svete 2011):

- 1. faza: taktično študijo,
- 2. faza: predhodno analizo oz. študijo izpeljivosti,
- 3. faza: program realizacije, izdelavo prototipov, preizkušanje prototipa,
- 4. faza: komisijski prevzem oborožitvenega sistema,
- 5. faza: serijsko proizvodnjo,
- 6. faza: transport oborožitvenih sistemov.

### 1.2.1 TAKTIČNA ŠTUDIJA

Taktično študijo izdelajo vojaški izvedenci za oboroženi boj. Nosilec študije je generalštab, v katerem določijo osnovne značilnosti, ki jih bo moralo imeti novo orožje. V študiji se izračunajo celotni stroški projekta (trženje v mednarodnem okolju in zanimanje zanj pri zaveznikih). Pri taktični študiji je poudarek na predvidevanju razvoja nasprotnikovih orožij. Za razvoj orožja je potreben določen čas, vendar obstaja tudi možnost, da nasprotnik razvije tovrstno orožje prej ali pa razvije tehnološko dovršeno orožje, ki bo nevtraliziralo orožje v razvoju. Nosilec taktične študije pogosto že med serijsko proizvodnjo zahteva izboljšanje kakovosti določenih podsistemov, kar lahko vpliva na rast stroškov (Žabkar in Svete 2011).

### 1.2.2 PREDHODNA ANALIZA

Predhodna analiza oz. študija izpeljivosti, v kateri se podrobno analizira, kaj vse bi se s tehničnega, tehnološkega in z industrijskega vidika moralo narediti, da bi prišli do zelenega orožja. Glavno besedo imajo tehnični specialisti iz različnih vojaško-tehničnih inštitutov, ki morajo z vidika tehnologije dokončno presoditi, ali se z obstoječimi državnimi, znanstvenimi, kadrovske, finančnimi in industrijskimi zmogljivostmi lahko dosežejo postavljene taktične

študije. Če tega ni mogoče v celoti doseči, je potrebno ugotoviti, kaj vse je potrebno, da se v največji meri izpolni zahteva taktične študije (Žabkar in Svete 2011).

### 1.2.3 PROGRAM REALIZACIJE PROJEKTA IN KOMISIJSKI PREVZEM

Program realizacije izvajajo podjetja s svojimi proizvodnimi zmogljivostmi in s podizvajalci. Ta faza traja v povprečju od 3 do 5 let. V nekaterih primerih se že vnaprej načrtuje število prototipov za izdelavo, da se korektno opravi potrebno število poskusov. Ko tovarniške poskusne posadke opravijo predvidene preizkuse, sledi faza enotovnega preizkušanja. Enotovne posadke niso tako izurjene kot tovarniške posadke, ampak so potrebne za preizkus orožja na vojaških vajah in na terenu. Na vajah se ugotavlja, kako delujejo oborožitveni sistemi v ekstremnih razmerah, pri visokih obremenitvah tehničnih sklopov in posadke. Komisija je sestavljena iz vrst pripadnikov nosilcev taktične študije in spremlja celoten potek vaj ter podaja svoje ocene. Nato sprejmejo odločitev, če je prototip izpolnil zahteve taktične študije. Ko je poročilo komisije pozitivno, sledi faza serijske proizvodnje oborožitvenih sistemov, ki se konča z uskladiščenjem orožij ali z njihovo izročitvijo operativnim enotam oz. uvozniku orožja (Žabkar in Svete 2011).

### 1.2.4 VZROKI ZA NEUSPEH PROJEKTOV OBOROŽITVENIH SISTEMOV

Čeprav strokovnjaki že v začetni fazi projektiranja želijo ugotoviti kritične točke in tveganja, ki bi lahko ogrozile izvedbo projekta, se dogaja, da se nekateri projekti ne končajo v skladu s pričakovanji naročnikov in izvajalcev. Vzroki za neuspeh so lahko (Žabkar in Svete 2011):

- napačna predvidevanja v taktičnih študijah,
- napačne predhodne analize,
- kombinacije napačnih predvidevanj na obeh navedenih področjih,
- aktivni ukrepi nasprotnika.

Do napake v oceni izpeljivosti projekta lahko pride v predhodnih analizah. Primer napačne ocene lahko vidimo pri razvoju ameriškega nevidnega bombnika A-12 (Avenger), pri kateremu se je izkazalo, da kljub tri milijarde velikem vložku vojne mornarice v raziskave, razvoj in prototip ni prišlo do faze realizacije projekta. Letalo je preseglo predvideno ceno. Cena ene enote je znašala 96 milijonov ameriških dolarjev, kar je preseglo njihova pričakovanja, zato se je projekt zaključil (Žabkar in Svete 2011).

## 2 VOJAK PRIHODNOSTI

Vojak prihodnosti bo pol človek pol naprava. Raziskovalni centri ameriške vojske so vodilni na področju omenjene tehnologije (v našem primeru vojaka prihodnosti), zato bomo predstavili vojaka prihodnosti, ki bazira na ameriških raziskavah. Raziskovalni centri ameriške vojske (npr. DARPA), skupaj z ostalimi vladnimi agencijami razvijajo visokotehnološke zaščitne jopiče, ki bodo zagotavljali popolno balistično zaščito uporabnikov in jim hkrati nudili nadčloveške zmogljivosti. Sistemi bi okrepili vid, povečali moč zgornjega dela telesa, izboljšali hitrost in povečali zmožnost prepoznavanja trenutnega stanja.

Napredna tehnologija, ki jo bodo vojaki prihodnosti lahko nosili in uporabljali, vključuje:

- napredne senzorje, ki se bodo odzivali na delovanje možganov,
- pametne tkanine, ki bi lahko npr. zagotavljale nadzor krvavitve,
- naglavne prikazovalnike, ki bi lahko zagotovili podatke o bojišču v realnem času,
- eksoskelet, ki bi bil del uniforme in bi krepil telesne zmogljivosti.

Ameriška vojska se trenutno posveča sistemu, ki so ga poimenovali TALOS (*Technical Assault Light Operator Suit*) (glej Sliko 2.1). Sistem je namenjen zagotavljanju večje balistične zaščite (večja balistična pokritost) in povečanju moči vojakom za posebne operacije. Prvi prototip Talusa je bil predstavljen junija 2014, popolnoma funkcionalno različico pa lahko pričakujemo do leta 2018 (Tompson 2014).

Slika 2.1: Sistem TALOS



Vir: Tompson (2014).

Raziskovalci se trudijo, da bi čim bolj uspešno združili človeka in stroj. Eden od glavnih ciljev je uspešna vgraditev računalnika in anten v obleko, kar bi izboljšalo hipno prepoznavanje na terenu. Velik uspeh bi bil, če bi tehnologijo lahko namestili v notranjost organov in bi tako oseba postala nekakšen procesor. Po besedah Lovella smo od tega dosežka oddaljeni približno 25 let. Družba MC10 že razvija t. i. prilagodljivo elektroniko, ki se zlije s kožo kot nekakšna začasna tetovaža. Omenjena elektronika vsebuje senzorje, ki lahko spremljajo podatke iz možganov, mišic, srca in ostale biometrične podatke.

## 2.1 FUTURE SOLDIER 2030 INITIATIVE (Pobuda za vojaka prihodnosti)

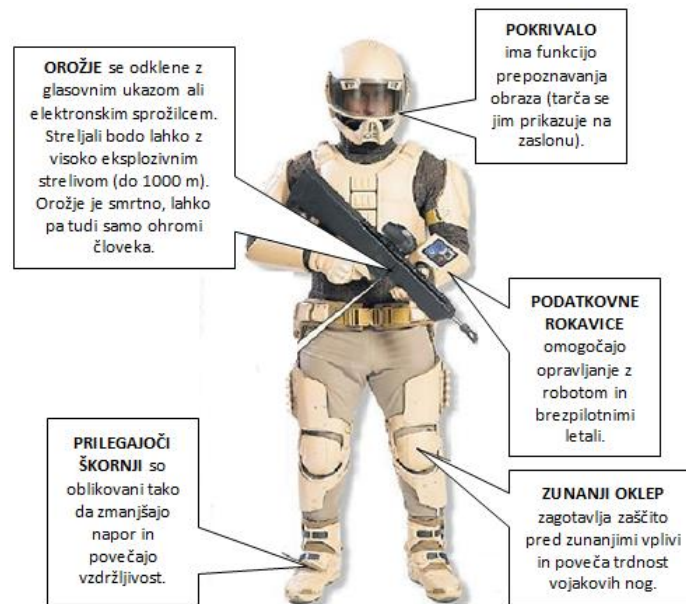
Future Soldier 2030 Initiative je program, ki ga izvaja ameriška vojska. Program je bil razvit na podlagi dejstva, da je prihodnost vedno negotova. Po logični analizi sedanosti in uporabljeni domišljiji so prišli do ideje, da bodo raziskali različne možnosti bojevanja vojakov, ki jih je mogoče pričakovati v prihodnosti. Ideja prvotno ni ameriška doktrina, prav tako pa ne odgovarja na vsa vprašanja o vojskovanju okrog leta 2030. Georg Casey je o programu povedal naslednje: »Bistvo naše vojske je izvajanje transformacijskega procesa izdelave ekspedicijske vojske, ki bo lahko botrovala izzivom 21. stoletja. Naš namen je ugotoviti, kako najbolje opremiti vojaka.« (U.S. Army Research 2009).

Program predstavlja, kako naj bi bili vojaki opremljeni v prihodnosti. Vojak prihodnosti (glej Sliko 2.2) bo oblikovan na podlagi sodelovanja različnih tehnoloških področij, s posebnim poudarkom na kognitivnih sposobnostih, s pomočjo katerih bi se izboljšala vojaška učinkovitost in povečala operativna hitrost. Vojak prihodnosti bo zajemal večje področje operacij s poudarkom na ukazih za usposabljanje (Training and Doctrine Command – TRADOC FM 3.0) in s sočasnim nastajanjem nove oblike TRADOC FM 3.1. Projekt vojaka prihodnosti zajema sedem področij:

- izvedba in usposabljanje (ang. Human Performance & Training),
- zaščita vojakov (ang. Soldier Protection),
- smrtnost (ang. Lethality),
- mobilnost in logistika (ang. Mobility and Logistics),
- omrežje vojaka (ang. Soldier Network),
- vojaška senzorika (ang. Soldier Sensors ),
- energija in moč vojaka (ang. Soldier Power and Energy).

Namen programa je analiza in osredotočenje na identifikacijo potencialnih možnosti, ki bi lahko bile pomembne za vojaka v prihodnosti. Projekt je zanimiv za mnoge investitorje zaradi potencialnih kompromisov v prihodnosti

Slika 2.2: ROBOTROOP – Vizija ameriške vojske za leto 2030 (vsa tehnologija je trenutno v okviru raziskav)



Vir: Screenshot (2014).

### 2.1.1 IZVEDBA IN USPOSABLJANJE

Okolje bo virtualno in nadgrajeno, podprlo pa bo skoraj vse vidike bojevanja in to vključno s komunikacijo, z vizualizacijo podatkov, nadzornim sistemom in usposabljanjem. Vojaki se bodo lahko brez težav gibal med dejanskim, dopoljenim in virtualnim okoljem. Uporaba sistema virtualne resničnosti (VR) in resnične igralne tehnologije je primarni način za uresničevanje usposabljanja posameznih kadrov. Načrti usposabljanja bodo vgrajeni v sistem, zato bodo na voljo kjerkoli in kadarkoli. Podprti bodo z inteligentnimi programskimi agenti in s simulacijskimi orodji, ki bodo nameščena na vsakem posameznem sistemu. To bo vojakom omogočalo analitično in zmogljivo odločanje (U.S. Army Research 2009).

Sistem bo omogočal tudi ocenjevanje duševne in telesne pripravljenosti. Omenjeni nadzor vojakov bo vzpostavljen z uporabo vedenjskih, živčnih in fizioloških senzorjev, ki bodo vgrajeni v vsak sistem. Zajeti podatki bodo vplivali na odločitve o nalogah za posamezno enoto in o nalogah za vojaka. Pogonski eksoskeletni sistem bo integriran v sistem vojaka. Uporaba virtualne resničnosti bo vojakom omogočila interakcijo z robotiko, s sistemsko programsko opremo in strojno platformo z vmesniki t. i. tretje generacije.

Pospešeno znanstveno raziskovanje in povpraševanje potrošnikov bo povzročilo eksplozijo kognitivnih in fizičnih spodbujevalcev – vključno s pametnimi drogami, z nevronske in s telesno protetiko. Celoten proces raziskovanja prinaša drastične spremembe v učinkovitosti posameznega vojaka in zagotavlja veliko prednosti v bojevanju. Ob vsem tem pa je potrebno omeniti pojav težkih etičnih vprašanj. Zaradi integriranosti sistema bo sistem lahko sprejemal nekatere odločitve sam. V celoti bo samostojno prepoznal tarčo in izbral način za napad (lahko tudi s smrtnim izidom). Na tem mestu se lahko potem vprašamo, kako bi lahko zagotovili 100 % pravilno odločanje sistema. Dejanja sistema so nepredvidljiva (še posebej v kaotičnih razmerah), zato obstaja možnost, da sistem izbere napačno tarčo in jo neupravičeno usmrti (Heynes 2013).

### 2.1.2 ZAŠČITA VOJAKOV

Sistem zaščite programa Future Soldier 2030 Initiative predstavlja več funkcionalna mreža varovanja, fiziološko/zdravniško vodenje in sistem podpornega električnega sistema. Tesno prilegajoča zasnova bo omogočala svobodno, neovirano in taktično gibanje, hkrati pa se bo brez težav povezala z zmogljivo eksoskeletno konstrukcijo. Izbrani materiali so multifunkcionalni in zagotavljajo dobro povezanost z vojakom (U.S. Army Research 2009):

- vzorčni vojak,
- balistična zaščita,
- negorljivost,
- fiziološko in nevrofiziološko zaznavanje,
- zaščita pred kemičnim, biološkim, radioaktivnim in strupenim orožjem (zmožnost dekontaminacije),
- zmožnost kontrole krvavitve v primeru rane,
- zagotavljanje multiokolja oziroma dobre mikrokline.



### 2.1.3 SMRTNOST

Sistem orožja v programu bo zagotovil zmanjšanje smrtnosti, prav tako pa bo prinesel vsestranskost in večjo prilagodljivost na bojišču. Sistem bo omogočal neposredno in posredno ciljanje tarč. Visoko eksplozivno orožje bo učinkovito do 1000 m, medtem ko bo kinetična energija izstrelkov v brezcevnom orožju zadostovala za 600 m. Nadzor gorljivosti elektro-optičnega sistema bo nevidno vgrajen v platformo vojaškega eksoskeleta. Ciljna točka orožja bo osvetljena na zaslonu, ki bo pritrjen na pokrivalo vojaka, nadzor gorljivosti pa bo z elektronskim označevanjem tarč na podlagi toplotnega zaznavanja na zaslonu pokrivala bistveno povečal število opazovanih tarč v vojaških operacijah v mestnem terenu (MOUT), v deževnem gozdu, v puščavah in na podeželskem terenu (U.S. Army Research 2009).

Ključne spodbujevalne tehnologije za smrtonosnost vključujejo (U.S. Army Research 2009):

- ***Orožje/strelivo:***
  - z nizko odbojnimi mehanizmi,
  - z nano-kompozitnimi materiali,
  - z elektronskim vžigom,
  - z brezcevno puško.
- ***Nadzor gorljivosti:***
  - mikro senzorji – hiper spektralna elektro-optika – tipalo fuzije,
  - polimer – prilagodljiva in plastična optika za zoomiranje,
  - funkcija za omamljanje,
  - ocenjevanje in napovedovanje držav, da se predhodno preprečijo spori,
  - ciljna geografska lokacija in ročni izklop,
  - laserski radar za zaprte tarče (sledenje in usmerjanje streliva),
  - brezžična povezava med vojaki,
  - razvrščanje tarč,
  - digitalni kompas.

- **Strelivo:**

- brezcevno strelivo,
- prilagodljivo strelivo (nesmrtonosno in smrtonosno po različnih stopnjah),
- družinsko vodenje streliva majhnega kalibra.

#### 2.1.4 MOBILNOST IN LOGISTIKA

Vojak prihodnosti bo izboljšán tako na področju povečanja moči in ekstremne vzdržljivosti kot tudi na področju popolne zaščite s posebno moduliranim in prilagojenim sistemom skeleta. Napredni sistem bo zasnovan tako, da bo omogočal hitre spremembe (spremembe komponent skeleta), da bo delovanje optimalno in prilagojeno različnim misijam. Posebne misije bi lahko vključevale (U.S. Army Research 2009):

- individualna vojaška tipala na platformi,
- individualno platformo naprednega orožja,
- orožje na skupinski ravni,
- kemično zaščito,
- balistično zaščito in pulzno varčevanje energije,
- platformo medicinske pomoči in okrevanja,
- logistično platformo,
- konstruiranje, reševanje in iskanje,
- logistično podporo.

#### 2.1.5 OMREŽJE VOJAKA

Najpomembnejše potrebe vojske za taktično poveljevanje, nadzor in komunikacijo lahko razvrstimo v dve kategoriji. V prvo skupino lahko uvrstimo nesmrtnost vojaka prihodnosti, za kar je potrebna napredna informacijska tehnologija, da se lahko zagotovi zanesljivo in širokopasovno omrežje komunikacije na območju bojišča, katerega lokacija se lahko nenehno spreminja. V drugi skupini pa je bistvena prihodnost vojaka, kjer je pomembna prevlada informacij, kjer mora prevladati zavedanje o razmerah sklopov podatkov na višji ravni

taktičnega interneta, svetovno poveljevanje in omrežni nadzorni sistem inteligence (U.S. Army Research 2009).

Komunikacijski sistemi naslednje generacije bodo uvajali tehnologijo kognitivne obrazložitve. Kognitivno omrežje bi omogočilo nenehno učenje iz zunanjih situacijskih podatkov in internih podatkov o zmogljivosti za napovedovanje in prilagajanje spreminjajočim se potrebam uporabnikov na bojišču. Kognitivna mreža bi zagotovila optimalno komunikacijsko učinkovitost za vojake.

#### 2.1.6 ENERGIJA IN MOČ VOJAKA

Glavni vir napajanja naj bi bila hibridna naprava, ki bi se namestila na telo, sestavljena pa bi bila iz več gorivnega generatorja v kombinaciji z majhno akumulatorsko baterijo. Več gorivni generator bo lahko tiho in učinkovito pretvoril vsako tekoče gorivo (metanol, butanol, letalsko gorivo, dizelsko gorivo in proizvode, ki niso fosilna goriva), ki bo v danem trenutku na razpolago, v električno energijo s pomočjo elektrokemičnih sredstev. Akumulatorska baterija bo imela visoko učinkovitost, saj bo nano-strukturiran polprevodniški kompozit katode (litij, nikelj, kobalt, mangan) in anode (silicij, ogljik). Elektroniko bodo poganjala tudi lahka akumulatorska polimerna nano vlakna v obliki obližev, ki bodo vgrajena v kritične komponente. Omenjena baterija v obliki obliža bi tehtala manj kot 0,03 kg, v polni pripravljenosti pa bi morala vojaku zagotoviti za 3 ure energije. Generator skupaj z akumulatorsko baterijo pa naj bi zagotovil energijo za 4 dni. Razvoj usmerjajo v brezžični sistem prenašanja energije, ki bi vojakom omogočal polnjenje brez priključevanja v vir energije. Brezžična energija bi se lahko prenašala iz vozil ali drugih sekundarnih sistemov (U.S. Army Research 2009).

Elektronske baterije bi se napolnile iz centralnega vira energije z visokim izkoristkom, prenos moči pa bi potekal preko brezžične in močno vezane magnetne resonance. Hibridna naprava bi bila sestavljena iz piezoelektričnega generatorja, ki bi bil v tesnem stiku s prsmi, in tankega filma akumulatorske baterije. Tako bi odpravili obvezno napajanje, fiziološko stanje vojaka pa bi bilo stalno pod nadzorom. Namen pogonskega sistema je maksimiranje porabe energije, ponovno zajetje energije in shranjevanje ter omejitev dobavljanja energije.

## 2.2 OPREMA BOJEVNIKA 21. STOLETJA V SLOVENSKI VOJSKI

Bojnik 21. stoletja je vojak, ki je opremljen s sodobno bojno, zaščitno in telekomunikacijsko opremo. Bojevnike 21. stoletja imamo tudi v Sloveniji. Bojevniki so opremljeni z opremo, ki ustreza standardom zveze NATO. Oprema bojnika 21. stoletja v Sloveniji je naslednja (glej Sliko 2.3) (Slovenska vojska 2015):

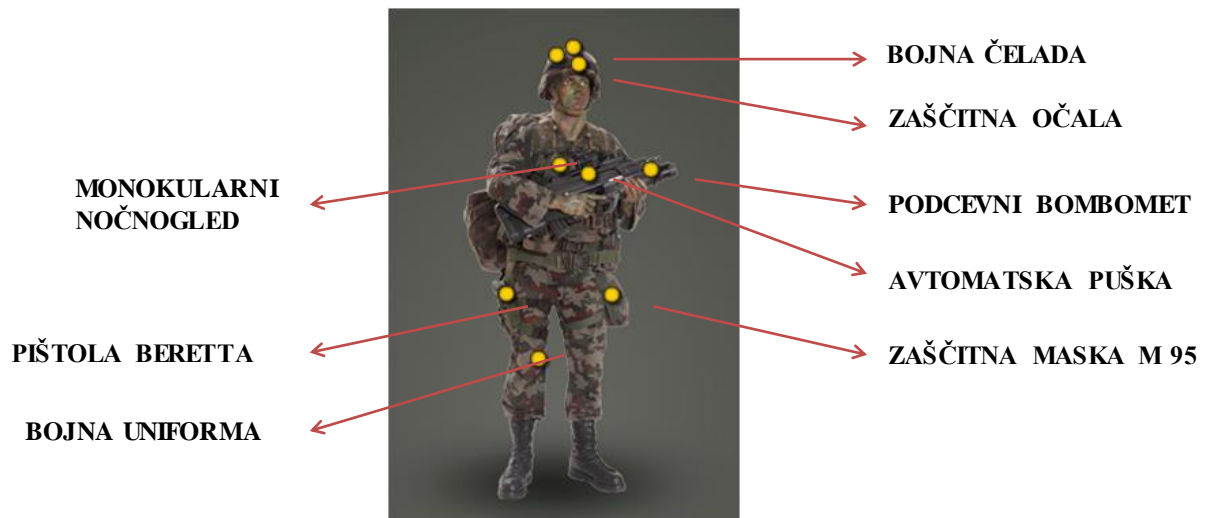
- **BOJNA IN ZAŠČITNA OPREMA:**

- bojna čelada,
- monokularni nočnogled,
- zaščitna očala,
- neprebojni jopič,
- podcevni bombomet 40 mm LG1,
- avtomatska puška 5,56 mm FN F 2000 S,
- pištola Beretta 9 mm,
- zaščitna maska M 95,
- bojna uniforma.

- **OSEBNA KOMUNIKACIJSKA OPREMA:**

- dlančnik z integriranim GPS-om,
- ultra lahki prenosni računalnik z GPS-om.

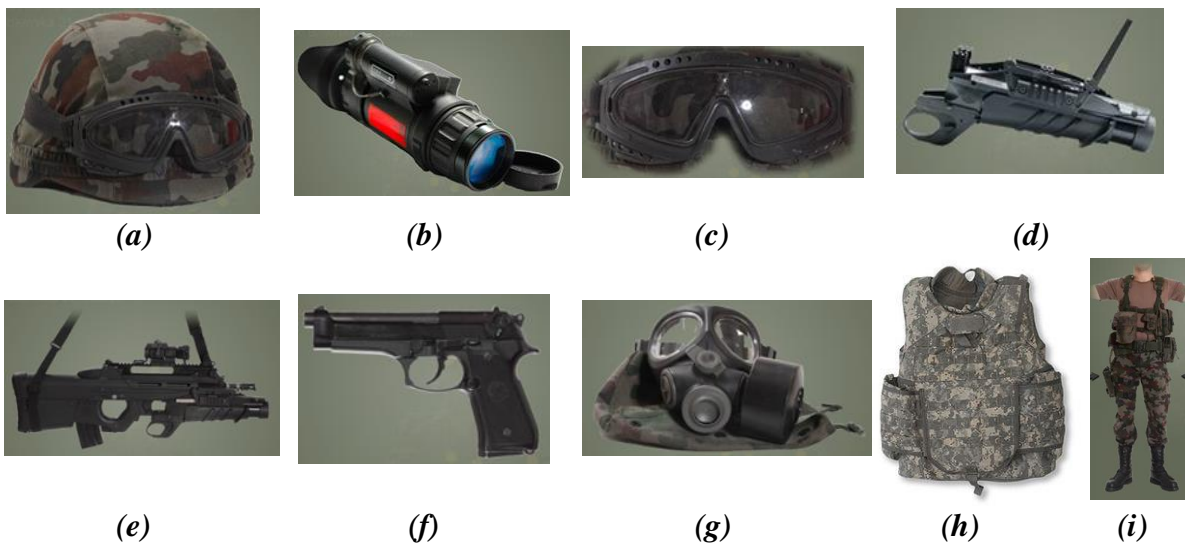
Slika 2.3: Slika interaktivnega vojaka Slovenske vojske v t. i. flash tehnologiji



Vir: Slovenska vojska (2015a).

## 2.2.1 BOJNA IN ZAŠČITNA OPREMA

Slika 2.4: Oprema bojevnika 21. stoletja v Slovenski vojski: bojna čelada (a), monokularni nočnogled (b), zaščitna očala (c), podcevni bombomet 40 mm LG1(d), avtomatska puška 5,56 mm FN F 2000 S (e), pištola Beretta 9 mm (f), zaščitna maska M 95 (g), neprebojni jopič (h) in bojna uniforma (i).



Vir: Postani vojak (2015).

### ***BOJNA ČELADA:***

Za bojno čelado (glej Sliko 2.4) je značilna visoka stopnja zaščite pred drobcem granat in pištolskimi naboji 9 mm para. Visoka je tudi stopnja zaščite proti upogibu čelade ob zadetku (travmi), kar omogoča notranji vložek iz brizgane plastike. Čelada je izdelana in negorljivih aramidnih vlaken. Nova različica čelade omogoča uporabo oziroma namestitev glušnikov (slušalk). Zaradi visoke stopnje zaščite je čelada težka 1450 g. Trakovi za pripenjanje imajo varnostno sponko, ki omogoča, da se ob velikem sunku odpre sama in tako zaščiti uporabnika pred poškodbo tilnika. Čelada je združljiva z zaščitno masko in zaščitnimi očali, omogočena pa je tudi namestitev nočnogleda (Postani vojak 2015).

### ***MONOKULARNI NOČNOGLED:***

Nočnogled (glej Sliko 2.4) je gibljivo pritrjen na čelado. Njegovo zorno polje je 40°, povečava pa je enkratna. V nočnih razmerah ob jasnem vremenu brez lune omogoča prepoznavanje predmetov dimenzije 1 m na razdalji približno 400 m, kar zadošča za učinkovito bojno delovanje (Postani vojak 2015).

### ***ZAŠČITNA OČALA:***

Očala (glej Sliko 2.4) zagotavljajo balistično zaščito in hkratno zaščito pred prahom in vetrom. Na ogrodje očal je mogoče namestiti dodatne filtre, ki ščitijo pred laserji in ultravijoličnimi žarki. Omogočena je tudi dodatna namestitev dodatnih očal z dioptrijo. Ob robu so posebne ventilacijske odprtine, ki onemogočajo vnos prahu, hkrati pa omogočajo dobro zračenje, ki preprečuje rošenje (Postani vojak 2015).

### ***PODCEVNI BOMBOMET 40 mm LG1:***

Bombomet (glej Sliko 2.4) je razvit za namensko uporabo na avtomatski puški F 2000 S in je eden od modulov, ki ga je možno brez dodatnega ogrodja namestiti na puško. Bombomet je izdelan iz plastične mase, cev in zaklepni mehanizem pa sta iz kovine. Bombomet strelja posamično, sprožilni mehanizem pa ima dvojno delovanje. Opremljen je z mehanskim merkom z namerilno skalo 50 m (Postani vojak 2015).

### ***AVTOMATSKA PUŠKA 5,56 mm FN F 2000 S:***

Puška (glej Sliko 2.4) je izdelana iz visoko obstojne plastične mase. Jekleni so samo nekateri najbolj obremenjeni deli: cev, deli zaklepnega mehanizma, okvir in nekateri manjši sestavni deli. Ima ožlebljeno cev, ki je hladno kovana in kromirana. Avtomatska puška omogoča

rafalno ali posamično streljanje. Nove puške Slovenske vojske so poleg klasičnega mehanskega merka opremljene z optično namerilno napravo in refleksno optiko. Deluje na principu odvoda smodniških plinov in vrtljivega zaklepa (Postani vojak 2015).

### ***PIŠTOLA BERETTA 9 mm:***

Pištola Beretta M92FS (glej Sliko 2.4) je osnovno osebno obrambno orožje častnikov, podčasnikov in vojakov specialnih enot v Slovenski vojski. Zagotavlja natančnost streljanja do 50 m. Pištola deluje polavtomatsko po principu kratkega trzanja cevi. Polni se z dvorednim okvirjem za 15 nabojev (Postani vojak 2015).

### ***ZAŠČITNA MASKA – M95:***

Maska (glej Sliko 2.4) omogoča zaščito oči, obraza, dihalnih in prebavnih organov. Komplet je sestavljen iz: naličnice, RKB filtra, čutare s priključkom za zaščitno masko in torbico, pribora za čiščenje ter za shranjevanje in prenos kompleta (Postani vojak 2015).

### ***NEPREBOJNI JOPIČ:***

Neprebojni jopič (glej Sliko 2.4) oz. balistični telovnik predstavlja posebno vrsto oklepa, ki je nameščen na trup bojevnika in ima funkcijo zaustavljanja izstrelkov in drugih nevarnih vplivov na trup. Neprebojni jopič je sestavljen iz več plasti različnih tkanin in laminiranih vlaken, ki nudijo maksimalno zaščito pred izstrelki in manjšimi drobci eksplozivnih sredstev. V neprebojne jopiče so velikokrat vstavljene balistične plošče (kovinske ali keramične), ki zagotavljajo dodatno zaščito pred različnimi izstrelki. Jopiči so združljivi z drugo zaščitno opremo: s ščitniki ram, s komponentami stranskimi oklepi, z vizirji in s ščitniki hrbtenice (Wikipedia 2016).

### ***BOJNA UNIFORMA:***

Uniforme (glej Sliko 2.4) so zašite iz bombažne, maskirno potiskane zračne tkanine, ki je odporna na trganje. Za zaščito v slabih vremenskih razmerah se čez uniformo nosita anorak in hlače (Postani vojak 2015). K zimski bojni uniformi, ki je vodoodbojno impregnirana, sodijo: vetrovka, hlače, kapa, pulover, puli, podkapa, rokavice, termoperilo in hlače iz termovelurja. Nekatere pletenine v zimskem kompletu so izdelane iz mešanice volne in sintetiike. Podkapa je krojena tako, da jo vojak lahko uporabi za zakritje obraza, hkrati pa jo lahko oblikuje v kapo. V poletnem kompletu so: bluzon, hlače in kapa. Obutev zagotavlja zaščito nog na vseh

terenh in v vseh vremenskih razmerah. Odporna je na vodo, olje, ogenj, kemikalije, naftne derivate in mehanične poškodbe. Za zimske razmere imajo vgrajeno medvlogo iz mikroporozne membrane, poletna obutev pa je izdelana v kombinaciji usnja in platna (Postani vojak 2015).

## 2.2.2 OSEBNA KOMUNIKACIJSKA OPREMA

Slika 2.5: Osebna komunikacijska oprema: dlančnik z integriranim GPS-om (a) in ultra lahki prenosni računalnik z GPS-om (b)



(a)



(b)

Vir: Slovenska vojska (2015b).

### ***DLANČNIK Z INTEGRIRANIM GPS-om***

Z dlančnikom Login BOB m (glej Slika 2.5) so opremljeni poveljniki oddelkov. Na dlančniku je nameščena aplikacija za navigacijo CompeGPS, ki poveljnikom omogoča: orientacijo v prostoru in času, vrisovanje grafičnih simbolov (kontrolne točke, načrtovanje poti ...) in analizo terena. Na dlančnik je priključena ročna radijska naprava Harris, ki omogoča prenos podatkov o trenutni lokaciji v matično vozilo, kjer so v aplikaciji BMS v grafični obliki prikazane trenutne pozicije izkrcanih poveljnikov (Slovenska vojska 2015b).

### ***ULTRA LAHKI PRENOSNI RAČUNALNIK Z GPS-om***

Slovenska vojska ima v uporabi robustne ultra lahke prenosne računalnike Itronix GoBook MR-1 (glej Slika 2.5). Za prenosnik so značilne majhne dimenzije, na dotik občutljiv zaslon, integriran GPS in brezžična komunikacija. Na računalniku je nameščena aplikacija BMS (Battle Management System), ki vojakom omogoča (Slovenska vojska 2015b):

- orientacijo v prostoru in času,
- izmenjavo podatkov z matičnim vozilom in ostalimi bojevniki v omrežju,
- vnašanje in izmenjavo informacij o nasprotniku,



- izmenjavo ukazov z grafičnimi prilogami,
- izmenjavo taktičnih sporočil,
- prikaz skupne slike bojišča.

Z omenjenimi računalniki so opremljeni določeni tipi uporabnikov: sprednji artilerijski opazovalci, enote za specialno delovanje, vodje patrolj na misijah Slovenske vojske in vojaška policija.

### **3 EKSOSKELETNISISTEM**

Vojaki so v tesni povezavi z eksoskeletnimi sistemi oziroma roboti, saj jim slednji nudijo dodatno moč pri dolgotrajni hoji. S pomočjo eksoskeletnih sistemov se vojakom poveča zmogljivost in hitrost gibanja ob dodatni obremenitvi in dolgotrajnem gibanju. Osnovo eksoskeletnega sistema predstavlja tehnologija zaznavanja človeškega gibanja. Skeletni sistem robota sledi gibanju človeškega telesa. To omogočajo senzorji, ki preko mehanske povezave med strukturo mišičnih vlaknin eksoskeletom robota regulirajo delovanje hidravlično-pogonske naprave.

Eksoskeletni robot je poznan tudi pod imenom prenosni inteligentni sistem. Sistem je sestavljen iz mehanskih delov, ki so nameščeni na človeško telo z namenom, da olajšajo gibanje. Sistemi vojakom omogočajo povečano mobilnost in vzdržljivost (Du in drugi 2012).

Eksoskeletni sistem je popolnoma nova oblika združitve človeka in robota. V sistemu je združena človeška inteligenca z močjo robota, kjer niti robot niti človek ne moreta delovati ločeno vsak zase. Eksoskeletni sistem predstavlja sodelovanje človeka in robota. Sistem izboljša moč osebi, na katero je nameščen v različnih okoljih. Sistem ima mehansko strukturo, ki je pripeta na zunanost človeškega telesa z namenom izboljšanja mišične moči (Lee in drugi 2012).

V Združenih državah Amerike, na Japonskem, v Rusiji in v ostalih državah so do danes že razvili različne prototipe eksoskeletnih robotov, ki jih poskušajo realizirati. Trenutno je večina raziskav eksoskeletnih sistemov še vedno v fazi razvoja oborožitvenih sistemov, v taktičnih študijah in predhodnih analizah. Vodilne države v omenjenem razvoju so nekatere zahodne države (vključno z Izraelom), ZDA in Japonska (Du in drugi 2012).

Eno od vodilnih podjetij vojaške industrije, ki se ukvarja z omenjenim razvojem, je ameriško podjetje Lockheed Martin. Največji razvoj na zahodu se beleži predvsem zato, ker so se zahodne kulture začele ponovno posvečati vojaku. V zadnjih tridesetih letih je bil v ospredju boj iz daljave (letalske in raketne sile). Kljub vsemu se je izkazalo, da vojne še vedno odločajo vojaki. Na zahodu je človek zelo cenjen iz etičnih, ekonomskih in drugih vidikov. Cenjeni so tudi vojaki, zato so začeli razvijati eksoskeletne sisteme, ki pomagajo pri premagovanju ovir ali težkih bremen (Masten 2013).

Najnovejši sistemi omogočajo prenos dvakrat, trikrat ali še težjih bremen (pripadnik vojaških specialnih sil nosi 40-kilogramski nahrbtnik), kar povečuje avtonomijo vojaka na terenu. Obstajajo tudi razvojni programi, ki se posvečajo motoričnim sposobnostim. S pomočjo eksoskeleta lahko vojaki npr. preskakujejo nekaj metrov visoke ovire. Opazimo lahko dvojni razvoj. Prvi gre v smeri razvoja večje nosilnosti, drugi pa k premagovanju fizičnih ovir. Ta trenutek na svetu ne obstaja nobena enota, v katero bi že uvedli uporabo eksoskeletov. Sistemi so v fazi preizkušanja v številnih vojskah in enotah (ZDA, Izrael ...). Eksoskeletni sistemi pred množično uporabo zahtevajo izvedbo razvojnega cikla.

### **3.1 ZGODOVINSKI RAZVOJ EKSOSKELETNEGA SISTEMA**

Danes se uporablja več zgodovinskih opredelitev razvoja eksoskeletnega sistema, zato bomo predstavili dva različna zgodovinska razvoja. Lee Heedon s sodelavci je v svoji raziskavi navedel naslednji zgodovinski razvoj (glej Sliko 3.1) (Lee in drugi 2012):

- **Leto 1959:** R. Heinlain (ZDA) napiše zgodbo z naslovom Starship Troopers, za katero ga je navdihnili oblika eksoskeletnega sistema.
- **Leto 1966:** Kot rezultat GE raziskav v ZDA izdelajo prvi eksoskeletni sistem.
- **Leto 1991:** J. Dick iz ZDA izdelava sistem poimenovan SpringWalker (ojačevalnik telesa).
- **Od leta 2000 dalje:** Razvoj eksoskeletnih sistemov je v polnem zagonu. V ZDA, na Japonskem, v Koreji, Veliki Britaniji, Nemčiji in Italiji raziskujejo mnoge sisteme: HAL5, Hexar, ReWalk, WPAS in RoboKnee.
- **Med letoma 2001 in 2008:** DARPA v ZDA razvije naslednje eksoskeletne robote: XOS, HULC in BLEEX.
- **Med letoma 2008 in 2015:** DARPA razvija izpopolnjeno verzijo eksoskeleta XOS.


Slika 3.1: Zgodovinski razvoj eksoskeletnega sistema



Vir: Lee in drugi (2012).

Gregory Mone se je v svojem članku Building the real Iron Man, ki je bil objavljen v znanstveni reviji Popular science, razpisal tudi o zgodovinskem razvoju, ki je zelo podoben razvoju, ki smo ga opisali prvega (Mone 2008). Razvoj bomo predstavili kronološko v obliki tabele (glej Tabelo 3.1).

Tabela 3.1: Zgodovinski prikaz eksoskeletnega sistema, ki ga je predstavil Gregory Mone

<i>LETO</i>	<i>OPIS</i>
<b>1969 HARDLMAN</b>	 <p>Zasnovan je bil splošen elektronski eksoskelet, ki pa ni bil realiziran.</p>
<b>1979 MOBILNA OBLEKA GUNDMAN</b>	 <p>Na televizijskih zaslonih se je pojavila animirana TV serija z naslovom Mobile Suit Gundam. Serija je bila zasnovana na robotskem eksoskeletu. Omenjena serija je še danes ena izmed najbolj priljubljenih svoje vrste.</p>
<b>1986 OSMI POTNIK</b>	 <p>Igralka Sigourney Weaver se je v filmu Aliens borila proti nezemljanom s pomočjo eksoskeleta.</p>

<p><b>1987</b> <b>LIFESULT</b></p>		<p>Upokojeni vojak ameriške vojske Monty Reed, ki si je zlomil hrbet, je začel razvijati ogrodje za fizikalno terapijo, ki ga je poimenoval Lifesuit. Reed je leta 2003 s pomočjo modificirane različice ogrodja pretekel razdaljo 4,8 km (tekma 5k).</p>
<p><b>1990</b> <b>SKELET ZA ASISTENCO</b></p>		<p>Na Japonskem tehnološkem inštitutu Kanagawa pričnejo z razvojem eksoskeleta za pomoč medicinskim sestram pri prenašanju bolnikov.</p>
<p><b>1998</b> <b>STELARC</b></p>		<p>Avstralski uspešni umetnik Stelarc, ki je znan po uporabljanju tehnologije v družbene namene, predstavi sistem pajkove mreže, ki je človeško krmiljena, uporablja pa se pri hoji.</p>
<p><b>2002</b> <b>HAL-3</b></p>		<p>Japonsko podjetje Cyberdyne predstavi eksoskeletni sistem HAL-3, ki je starejša različica izpopolnjenega eksoskeleta HAL-5. HAL-5 je trenutno na tržišču. Najbolj prepoznaven pa je zaradi možnosti, da pomaga medicinskim sestram pri dvigovanju in prenašanju bolnikov.</p>
<p><b>2003</b> <b>MATRIX REVOLUCIJA</b></p>		<p>V triologiji Matrica se vojaki Ziona bojujejo oblečeni v ekso obleke.</p>
<p><b>2004</b> <b>BLEEX</b></p>		<p>Eksoskelet Bleex je pritrjen na spodnje okončine človeka. Robotski nogi se gibljeta sočasno z gibanjem človeških nog. Sistem sestavlja tudi nahrbtnik, ki poskrbi za razbremenitev, z njim pa lahko uporabniki prenašajo večjo težo.</p>

<p>2008 <b>IRON MAN</b></p>		<p>V filmu Iron Man igralec Robert Downey upodobi glavnega igralca Tonya Starka, ki razvija eksoskelet, ki je multifunkcionalen, med drugim pa strelja tudi laserske žarke iz svojih dlani.</p>
<p>2008 <b>XOS</b></p>		<p>XOS je bil tega leta najbolj napreden in resničen eksoskelet. Uporabniku zagotavlja izjemno moč in vzdržljivost.</p>

Vir: Mone (2008).

### 3.2 ZGRADBA EKSOSKELETNEGA SISTEMA

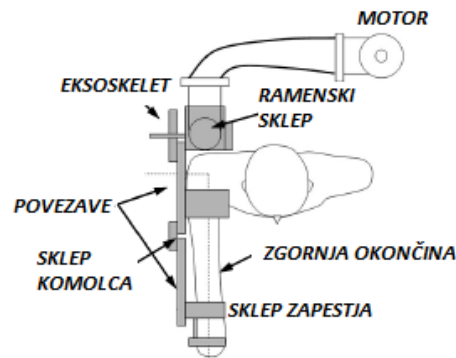
Kot smo omenili že v uvodu, so eksoskeletni sistemi elektromehanska pomagala, ki si jih človek lahko nadene in z njimi počne zanj težko dosegljiva opravila (glej Sliko 3.2). Sistem je sestavljen iz treh glavnih komponent (Masten 2013):

- **OGRODJE**, ki se pritrdi na človeka in vzdolž njegovih udov,
- **ELEKTROMOTORJI**, ki pomagajo pri gibanju,
- **RAČUNALNIK in SENZORJI**, ki zaznavajo npr. krčenje določenih mišičnih skupin in signale iz možganov v mišice. V realnem času pomagajo pri določenem gibu s primernim zagonom elektromotorjev.

Eksoskeletni sistem lahko razdelimo na dele – glede na mišično skupino, ki podpira določeni del (Lee in drugi 2012):

- sistem zgornjih udov,
- sistem spodnjih udov,
- integrirani sistem zgornjih in spodnjih udov,
- skupni specifični podporni sistem mišic.

Slika 3.2: Osnovni koncept eksoskeletnega robota



Vir: R. A. R. C. Gopura (2011).

Sistem pa lahko razdelimo tudi glede na namen podpore, ki jo nudijo mišice (Lee in drugi 2012):

- sistem pomoči pri moči,
- sistem povečanja moči.

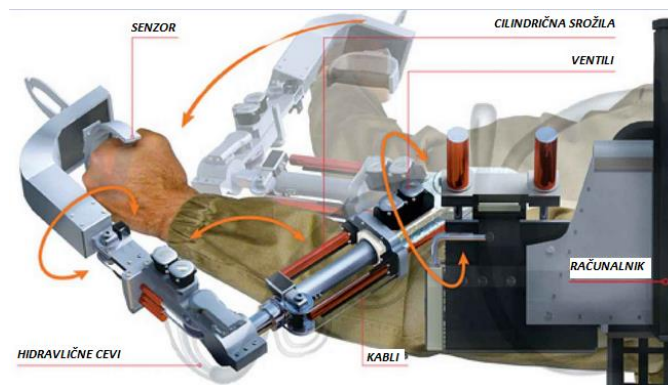
Sistem pomoči pri povečanju moči mišic imajo eksoskeletni roboti, ki nudijo človeku direktno pomoč pri povečanju moči. Tovrstna robota, ki sta aktualna in trenutno v razvoju, sta EKSO in HAL. EKSO je bionski eksoskelet, ki omogoča ljudem na invalidskih vozičkih, da lahko vstanejo in hodijo. Sistem je razvilo italijansko podjetje Ospedale Riabilitativo di Alta Specializzazione. HAL je robot, ki je namenjen medicinskim sestram na Japonskem, da lažje prenašajo negibljive bolnike. Omenjena robota sta razvita predvsem za osebe, ki so starejše in slabotne ter imajo težave z gibanjem v vsakdanjem življenju (Lee in drugi 2012).

Sistemi, ki povečujejo moč ljudem, na katere so nameščeni, omogočajo opravljanje nalog, ki jih sami ne bi opravili tako dobro in hitro. Največ spodbude za delo z eksoskeletnimi sistemi, ki povečujejo moč, prihaja iz strani DARPA-e (*Defense Advanced Research Projects Research Agency*), ki je agencija iz ZDA. Program, ki spodbuja raziskave na tem področju, se imenuje *Exoskeleton for Human Performance Augmentation*. Eksoskeletna robota HULC in XOS 2 so izdelali v DARPA-i z namenom, da razbremenijo vojake, kateri so zelo obremenjeni s težko opremo in tovorom. Za isti namen so v Južni Koreji razvili robota, ki so ga poimenovali HEXAR. Eksoskeletni sistemi, ki povečajo moč uporabniku, se tako razvijajo predvsem za različne panoge v industriji in vojski. Torej za tista področja, kjer prihaja do prenašanja večjih bremen (Lee in drugi 2012).

### 3.2.1 PRIMER DELOVANJA EKSOSKELETA

Na kratko bomo predstavili delovanje eksoskeletnega sistema XOS na roki (glej Sliko 3.3). Sistem XOS deluje podobno kot človeški izrastek oziroma privesek. Ko v roki pride do premikanja bicepsov, se aktivirajo mišična vlakna v zgornjem delu roke (premiki kit), ki poskrbijo za premik podlakti. Podatki, ki jih zaznajo senzorji, potujejo v računalnik, kjer se zabeleži premik eksoskeleta. Na podlagi izračunov se potem izvede premik, ki zmanjša pritisk na uporabnika. Navodila potujejo preko niza ventilov, ki so vodeni s pretokom visokotlačne hidravlične tekočine do cilindričnih sprožil v sklepih. Tekočina poskrbi za premik valjev, ki premikajo kable, ki so povezani z njimi. Kable delujejo kot kite, ki vlečejo robotske okončine. Sistem XOS ima 30 različnih pogonov (Mone 2008).

Slika 3.3: Slikovni prikaz delovanja eksoskeleta, ki je nameščen na roko uporabnika



Vir: Mone (2008).

### 3.3 RAZVOJ EKSOSKELETNIH SISTEMOV

Razvoj eksoskeletnih sistemov omejujejo določeni dejavniki, ki so lahko ekonomski (koliko sredstev je namenjeno za projekt in izvedljivost projekta), znanstveni (implementacija novih odkritij za razvoj oborožitvenega sistema) in ergonomski (prilagoditev sistema za uporabnika in za lažjo upravljanje na terenu).

V praksi obstajata dve doktrini, ki na isto trditev, ki se glasi: »*Pehotni vojak bi moral biti vedno bolj zmogljiv, sposoben in nositi bi moral vse več opreme*«, gledata iz dveh zornih kotov (Masten 2013):

- **Prva doktrina pravi:** ker je človek fizično omejen, mu pomagajo z eksoskeletnimi sistemi.
- **Druga doktrina pravi:** bistveno je bojevanje, zato naj ima vojak čim manj opreme. Logistika naj mu dostavi opremo, vojaka izkrca na nalogo in ga nato tudi umakne. Vojak ne potrebuje toliko opreme ves čas naloge.

Tako prva kot druga doktrina imata tehten argument, vendar pa se je potrebno zavedati, da je vsako doktrino mogoče implementirati le v določenih primerih. Dejavniki, ki so pomembni pri implementaciji tako ene kot druge doktrine, so:

- **ČAS MISIJE:** pomembno je, koliko časa se misija odvija in koliko opreme ter zaloge hrane bo vojak potreboval za uspešno izvedbo svoje naloge.
- **GEOGRAFSKI DEJAVNIKI:** določajo, kakšen bo teren in dostopnost terena, na katerem bo vojak aktiven. To vpliva na logistično podporo (bližina letališč, nevarna območja za delovanje logističnih enot ...).
- **MOBILNOST VOJAKA/ENOTE:** velik vpliv ima oprema, ki jo nosi. Eksoskeletni sistem je okoren, a omogoča vojaku, da prenaša večje obremenitve, vendar pa ni namenjen neposrednim taktičnim nalogam na terenu. Pozitivna uporaba eksoskeletnega sistema bi bila vidna predvsem pri premagovanju velikih razdalj in težkih terenov, medtem ko se negativna izrazi predvsem v boju na terenu in v urbanih okoljih, kjer je vojak odvisen od hitrosti in lahkotnosti gibanja.

Mnenja in podatki glede cene za opremo navadnega vojaka in eksoskeletnega sistema so deljena in različna. Cene za vojaško opremo za enega vojaka specialnih enot se po najnovejših vojaških modelih gibljejo okoli 17,500 \$, vrednost eksoskeletnega sistema pa je lahko tudi za 100,000 \$ večja. Če povzamemo vse stroške opreme, kar zajema tudi ves razvoj, lahko eksoskelet v primerjavi z drugo opremo predstavlja na koncu tudi manjši strošek. Primer: če vzamemo, da vojak specialnih enot v celotnem sluzenju svojega vojaškega staža mnogokrat



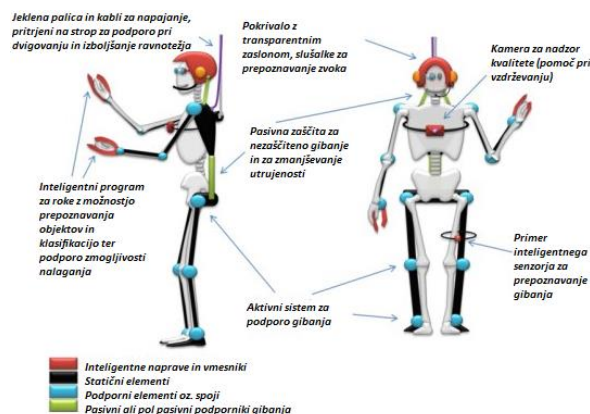
menja uniforme, jurišne puške, bojne postaje, navigacijo, nočnogled ... in to preračunamo, pridemo tudi na stroške, ki so blizu vrednosti enega milijona dolarjev. Eksoskelet v teoriji zagotavlja večjo varnost zaradi manjšega psiho-fizičnega napora (Masten 2013).

### 3.4 PRIMERI UPORABE EKSOSKELETNIH SISTEMOV

Kot smo omenili že v uvodu, se eksoskeletni sistemi uporabljajo na različnih področjih. V največjem obsegu so izdelani za civilno uporabo.

Za uporabo v avtomobilski industriji je aktualna izdelava eksoskeleta imenovanega Robo-mate (glej Sliko 3.4). S tem sistemom naj bi zmanjšali število poškodb pri delu in olajšali ponavljajoča prenašanja več deset kilogramov težkih bremen. Robo-mate je oblikovan tako, da je lahko nosljiv in zato uporabniku prijazen. Primeren je za ročno industrijsko delo.

Slika 3.4: Grafični prikaz eksoskeleta Robo-mate



Vir: Stadler (2013).

Eksoskeletni sistemi so najbolj množično zastopani na medicinskem področju, in sicer za rehabilitacijske namene. Na Japonskem so medicinske sestre opremljene z robotom, ki ga imenujejo HAL (Hybrid Assistive Limb) (glej Sliko 3.5), katerega izdeluje japonski proizvajalec Cyberdyne. Z njegovo pomočjo lažje premikajo in prenašajo negibljive bolnike. Nekateri bolniki so zaradi teh sistemov spet okusili hojo.

*HAL za vodenje primarno uporablja elektromiografijo (EMG). Takšen pristop ima tudi slabosti (električna aktivnost mišic je različna od človeka do človeka, prav tako pa se spreminja tudi s časom, sam kontakt pa je odvisen od pritrditve elektrod). Regulator na*

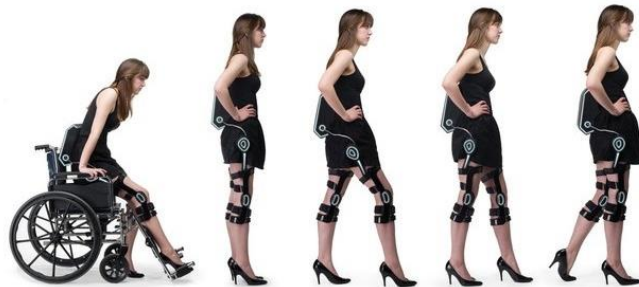
podlagi EMG signalov ob upoštevanju kalibracijskih parametrov poda oceno uporabnikovega navora in impedance, posledično pa ustrezno prilagodi aktuatorje. Regulacijski algoritem z EMG se je izkazal za uporabniško neprijaznega, zato so kasneje dodali vodenje na podlagi kotov, hitrosti, pospeškov in navorov. Uporabili so metodo »PhaseSequence« – zaporedje faz. Vsaka naloga (vstajanje, začetek hoje, hoja in konec hoje) je razdeljena na zaporedje preprostih faz, prehodi med fazami pa se zgodijo, kadar so izpolnjeni določeni pogoji (Munih 2015).

Sistem je namenjen zmanjševanju obremenitev na delovnem mestu (Bowdler 2014). Izraelsko podjetje Argo Medical Technologies je razvilo sistem, katerega so poimenovali ReWalk (glej Sliko 3.5). Naprava je namenjena tistim ljudem, ki imajo težave s spodnjimi telesnimi udi. S pomočjo omenjene naprave lahko normalno hodijo s pomočjo bergel (Bowdler 2014). Švicarsko podjetje Hocoma na tržišču ponuja terapevtsko napravo, ki so jo imenovali Lokomat (glej Sliko 3.6). To so robotske hlače, ki so namenjene uporabnikom na tekočem traku. Naprava pomaga bolnikom, ki so utrpeli lažjo kap, izboljšati njihovo hojo. Nizozemski raziskovalci so razvili podobno napravo, poimenovali pa so jo Lopes (glej Sliko 3.6) (Bowdler 2014).

Slika 3.5: Robot HAL (a) in eksoskelet ReWalk (b)



(a)



(b)

Vir: (a) Mobile Venue (2006); (b) Wonderful engineering (2014).

Slika 3.6: Eksoskeletni sistem LOKOMAT (a) in sistem LOPES (b)



(a)



(b)

Vir: (a) I heart robots (2006); (b) Bowdler (2011).

Sistem eLEGS (glej Sliko 3.7) je sestavljen iz robotskih segmentov eksoskeleta BLEEX in bergel.

*Namen, funkcija, stabilnost in s tem hoja je podobna tisti pri funkcionalni električni stimulaciji. Bergle vsebujejo senzorje naklona, hoten premik desne bergle posledično povzroči premik leve noge v smeri naprej in obratno. Pri stabilnosti trupa pomaga aktivnost rok preko bergel. Hoja s štirimi opornimi točkami z električno stimulacijo ali eLegs je vedno statično stabilna hoja, kar pomeni, da je vektor podporne sile vedno znotraj poligona dveh do štirih podpornih točk, dveh nog in dveh bergel – hoja je počasna in okorna. Ljudje uporabljamo pri hoji dinamično stabilnost, kar pomeni, da vektor podpornih sil pade za krajši čas tudi izven podporne ploskve poligona podpor(e), potem pa se zopet ujamemo. Prav zato je običajna dinamična hoja hitrejša in energijsko mnogo učinkovitejša (Munih 2015).*

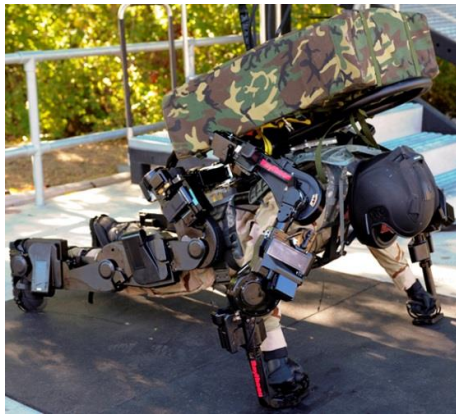
Slika 3.7: Sistem eLEGS, ki je sestavljen iz robotskih segmentov eksoskeleta BLEEX in bergel



Vir: Munih (2015).

Najhitrejši razvoj eksoskeletnih sistemov se beleži na vojaškem področju. Podjetje Raytheon iz ZDA je razvilo XOS 2 (glej Sliko 3.8), ki je namenjen bojevanju vojakov na terenu. Podjetje Lockheed Martin pa je razvilo robota, poimenovanega HULC (Human Universal Load Carrier) (glej Sliko 3.8), ki je hidravlični eksoskelet, vojakom pa omogoča prenašanje in dvigovanje težjih bremen (Bowdler 2014). Eksoskelet HULC je danes star že nekaj let. Kljub izredni miniaturizaciji, visoki tehnologiji in izpopolnjenem vodenju je težava še vedno z energijo. Kljub temu omogoča prenašanje izredno težkih bremen na večje razdalje (od 50 do 100 kg). Dolgi časi vzponov na vrhove hribov so se zmanjšali, s čimer se je realizirala vizija Maksa Fabianija izpred 100 let (Munih 2015).

Slika 3.8: Eksoskeletni sistem XOS 2 (a) in HULC (b)



(a)



(b)



(c)

Viri: (a) Lomborg (2010); (b) Ford (2014), (c) Lockheed Martin (2012).

Eksoskelet BLEEX (Berkeley Lower Extremity EXoskeleton) (glej Sliko 3.9) so razvili na ameriški univerzi Berkeley. Licencirali so ga tudi v podjetju Lockheed Martin, kjer razvijajo vojaško verzijo HULC.

*V BLEEX-u uporabljajo vodenje, poimenovano je »ojačenje občutljivosti«. To omogoča stabilno hojo brez direktnega merjenja spremenljivk kotov v sklepih, EMG aktivnosti mišic in posledično navora operaterja. Pri zaprto-zančnih sistemih vodenja vedno želimo stabilen odziv, torej časovno približanje neki vrednosti ali sledenje tej referenčni vrednosti. Pri BLEEX-u pa je ravno obratno. Sistem je sam po sebi nestabilen in šele človek ga s svojo aktivnostjo stabilizira. Algoritem je pozitivna povratna zanka, katere vhodne spremenljivke so le informacije iz merilnikov naklona in kotnih hitrosti na segmentih eksoskeleta. Regulator*

*ojača vsak človeški gib, kar načeloma vodi v nestabilnost, ki jo preprečuje operater, ki dejansko stabilizira sistem. V zadnji izvedbi je opisani regulator občutljivosti uporabljen le še za fazo zamaha z nogo v zraku. Za fazo opore, torej z nogo na tleh, pa je uporabljeno sledenje referenčni poziciji. Takšno vodenje zagotavlja bolj naravne odzive, a vse to na račun dodatnih merilnikov naklona na stopalih, golenih in stegnih. Uporaba takega eksoskeleta za namen opore pri paraplegiku zahteva razrešitev številnih specifičnih vprašanj. Funkcija zagotavljanja stabilnosti mora biti spremenjena, saj mora vodenje biti drugačno. Prej pri BLEEX pomembne dolge razdalje hoje so sedaj lahko krajše, vendar mora biti lastna teža sistema minimalna, vodenje pa robustno (Munih 2015).*

Slika 3.9: Končna oblika eksoskeletnega sistema Bleex



Vir: Zoss in drugi (2005).

### 3.4.1 IZZIVI, TEHNOLOŠKI PROBLEMI IN PRIHODNOST EKSOSKELETOV

Načrtovanje eksoskeletnih sistemov ovira veliko stvari. Cilj v načrtovanju sistemov je izboljšanje visoke učinkovitosti, izboljšanje inteligentnega opravljanja z energijo in stanjšati ter izboljšati mehansko konstrukcijo, da se bo sistem lahko vgradil na podoben način kot oblačila. Invazija tridimenzionalnega tiskanja omogoča vse hitrejšo izdelavo prototipov mehanskih konstrukcij in tako vse hitrejši razvoj na tem področju. Ob vsem tem so pomembni tudi stroški izdelave eksoskeletnega sistema. Danes so cene sistemov zelo visoke, zato si ga ljudje srednjega sloja in ljudje v manj razvitih državah ne morejo privoščiti (Habib 2014, 58–62).

Prihodnost načrtovanja vključuje še več raziskovalnega dela na primernih materialih za izdelavo eksoskeleta, na obliki in boljšemu nadzoru uporabnika nad sistemom. Ob tem je potrebno omeniti vlogo nanotehnologije, ki bi lahko inženirjem pomagala pri načrtovanju in izboljšanju delov eksoskeleta, ki gradijo mostove, hrbtenice, kjer potekajo živčni signali (izboljšanje signalov). Ker se približujemo času, ko bodo lahko kiborgi kmalu realnost, si moramo prizadevati za oblikovanje eksoskeletov, ki bodo lahko postali del življenja oseb, ki imajo zdravstvene težave (debelost, starost, šibke mišice, mišični krči ...). Pomembno je, da razumemo morfologijo človeškega telesa, hojo in nevronske nadzor, saj nas bo to pripeljalo do izboljšanja eksoskeletov do te mere, da bodo enako učinkoviti kot človeško telo. Eksoskeletni sistemi, ki pomagajo pri hoji po stopnicah, teku, poskakovanju, prenašanju težkih bremen po kakršnem koli terenu, so vsekakor področje, ki bo v prihodnosti še bolj aktualno in raziskovano (Habib 2014, 58–62).

## 4 LOGISTIČNI STROŠKI EKSO-SKELETNIH SISTEMOV

Na področju vojaške logistike obstaja veliko definicij, ki različno razlagajo pomen te besedne zveze. Pojavlja se tudi skupaj s pojmom vojaška preskrba in podpora. Definicije so se spreminjale tako v času, v njihovi uporabi in njihovi interpretaciji. Izpostavil bom štiri razlage tega pojma, ki izhajajo iz Velikega splošnega leksikona, Slovarja slovenskega knjižnega jezika (SSKJ), Vojaške doktrine Slovenske vojske in Natovega logističnega priročnika.

V Velikem splošnem leksikonu je vojaška logistika definirana kot oskrba oboroženih sil z materialnimi sredstvi in gradnja ter vzdrževanje vojaških objektov (Javornik 1998).

V SSKJ se vojaška logistika definira kot oskrbovanje oboroženih sil z materialnimi sredstvi in gradnja ter vzdrževanje vojaških objektov (ZRC SAZU 2014).

V Vojaški doktrini Slovenske vojske je omenjen pojem logistična podpora, ki je definirana kot dejavnost, ki se izvaja za zagotovitev sposobnosti za delovanje in ohranjanje vzdržljivosti sil za vse načine in vrste delovanj. Obsega aktivnosti, ki se nanašajo na pridobivanje, skladiščenje, razdelitev, vzdrževanje in evakuacijo materialnih sredstev, premik moštva in sredstev, pridobivanje, vzdrževanje in upravljanje vojaške infrastrukture, zagotavljanje storitev in zdravstveno oskrbo (Furlan Branimir 2006).

V NATO logističnemu priročniku je logistika definirana kot znanost, ki načrtuje in izvaja premike ter vzdrževanje bojnih sil. V svojem celovitem smislu se nanaša na vojaške operacije, ki se ukvarjajo:

- z načrtovanjem in razvojem, s pridobivanjem sredstev, skladiščenjem, transportom, z distribucijo, vzdrževanjem, evakuacijo in razporeditvijo materiala,
- s prevozom osebja,
- z nakupom ali gradnjo, vzdrževanjem, operativnim delovanjem in razporejanjem objektov,
- s pridobivanjem opreme in storitev, podporo za medicinske in zdravstvene storitve (NATO Defence Policy and Planning division 2012).

Za primerjavo stroškov bomo primerjali pehotnega vojaka s polno bojno opremo in vojaka s polno bojno opremo ter z eksoskeletnim sistemom. Kot smo že omenili, lahko pehotni vojak na terenu prenaša do 45 kg bremena. V breme so vključeni življenjsko neesencialni tehnični deli (puška, nabojniki, čelada, neprebojni jopič, GPS, nočnogled, radiopostaja ...) in življenjsko esencialni deli (hrana, voda, prva pomoč, dodatne uniforme, pončo in spalka). Vojak, ki bi uporabljal Sarcosov eksoskeletni sistem XOS2, bi moral poleg teže esencialnih in neesencialnih tehničnih delov (45 kg) nositi tudi težo sistema, ki znaša 68 kg. Skupaj znaša teža sistema in opreme 113 kg. Eksoskeletni sistem omogoči vojaku razbremenitev, saj sistem nosi svojo težo in hkrati vojaku omogoča razbremenitev do 91 kg, zato je s tovrstnim sistemom vojak v veliki meri razbremenjen. V tem primeru vojak prenaša le napore pri gibanju in premagovanju različnih vremenskih razmer. Skupna kapaciteta, ki bi jo lahko prenašal brez obremenitve, bi se povečala s 45 kg na 91 kg. V tem poglavju bomo podrobneje primerjali stroškovno učinkovitost logistike z in brez tovrstnega sistema.

#### 4.1 STROŠKI LOGISTIKE ZA LETALO C-17 GLOBEMASTER III

C-17 Globemaster (glej Sliko 4.1) je sodobno ameriško vojaško strateško in transportno letalo za transport večjih tovorov. Izdeluje ga letalska družba Boeing. Po izračunih bi skupna teža vojaka brez eksoskeletnega sistema znašala od 120 do 130 kg, z eksoskeletnim sistemom Sarcos XOS2 pa 203 kg (glej Tabelo 4.1).

Tabela 4.1: Primerjava teže vojaka brez in z eksoskeletnim sistemom

	<b>VOJAK</b>	<b>VOJAK + EKSOSKELETNI SISTEM</b>
<i>Teža vojaka + sistema</i>	75–85 kg	(75–85 kg) + 68 kg
<i>Teža polne bojne opreme</i>	max 45 kg	+ dodatni nabojniki in zaščita → 55 kg
<b>SKUPAJ:</b>	<b>od 120 do 130 kg</b>	<b>od 198 do 208</b>

Vir: Saucier (2014); Army technology (2012).

Če naredimo primerjavo med težo vojaka brez eksoskeletnega sistema (~125 kg) in z eksoskeletnim sistemom (~203 kg), je razlika povprečno 78 kg, kar nanese skoraj za težo enega pehotnega vojaka brez opreme (glej Tabelo 4.1).



Slika 4.1: C-17 Globemaster



Vir: Boeing (2015a)

Nosilnost tovora za letalo C-17 Globemaster III znaša 75 t in ima dolet do 11.500 km. Namesti lahko do 102 vojakov ali 54 poškodovancev (C-17 Globemaster III). Če dodamo težo eksoskeletnega sistema (68 kg) za vse vojakove, ki jih transportno letalo lahko sprejme, dobimo skupno težo 6936 kg. Od skupne nosilnosti 75 ton odštejemo 7 ton dodatnega tovora in letalo lahko poleg eksoskeletnega sistema prevozi le še 68 ton tovora. S preurejanjem preostalega tovora bi bil tovrstni logistični transport navkljub 6936 kg dodatnega tovora možen. Če za referenčno točko vzamemo 75 ton tovora (brez vojakov), mora letalo z eksoskeletnim sistemom prepeljati v enem transportu do 7 ton več tovora, kar pomeni, da mora opraviti na vsakih 11 letov približno en dodaten let. Za masovni prevoz vojaške opreme in vojaškega kadra na ogroženo območje oz. v državo, v kateri je vojno stanje, je uporaba letala C-17 Globemaster III neugodna in nerentabilna, saj zaradi razmerja 1 : 11 to ne odtehta uporabo eksoskeletnega sistema na bojišču. Letalo s polno obremenitvijo ima dolet 4466 km in porabi 116,116 l goriva, kar znaša po uradni ceni goriva (kerozin – 0.28 €/l) 32,512 € na let. Toliko bi znašali dodatni stroški z uporabo eksoskeletnega sistema v razmerju 1 : 11 oz. 9 % – ali z drugimi številkami 32,512 € : 357,632 € (glej Tabelo 4.2). Upoštevati je potrebno tudi razdaljo do vojnega območja, dodatno porabo goriva (letalo ima možnosti napolniti gorivo v zraku) in seveda povratni let, ki pa je odvisen od teže tovora. Stroški lahko dosežejo tudi krepko preko 100,000€, vendar pa podatki za tovrstne izračune niso na voljo (International Air Transport Association 2016).

Tabela 4.2: Osnovni podatki za letalo C-17 Globemaster III

<b>LASTNOST</b>	<b>VREDNOST</b>
<i>Nosilnost tovora</i>	75 t
<i>Max število potnikov</i>	102
<i>Domet letala brez tovora</i>	11,538 km
<i>Domet letala s tovorom</i>	4466 km
<i>Poraba goriva (km/l)</i>	26 l
<i>Cena goriva – kerozin (l)</i>	0,28 €
<i>Poraba goriva za en domet letala s polno obremenjenostjo (l)</i>	4466 km* 26 l = 116,116
<i>Cena goriva za en domet letala s polno obremenjenostjo (€)</i>	116,116 l * 0.28 € = 32,512 €

Vir: Boeing (2015a), International Air Transport Association (2016)

## 4.2 STROŠKI LOGISTIKE ZA HELIKOPTER CH-47 CHINOOK

CH-47 Chinook (glej Sliko 4.2) je ameriški dvomotorni tandemski transportni helikopter, ki se uporablja za prevoz vojakov, tovora, artilerijskega orožja in v druge namene. Ima veliko nosilnost in lahko prevaža tudi tovore, ki niso pod centrom težišča, kar je prednost pred enomotornimi helikopterji. Chinook nismo izpostavili le zaradi njegovih logističnih namenov, temveč predvsem zaradi taktične uporabe na terenu. Kot je že zapisano v prejšnjem podpoglavju, je razlika med težo vojaka brez eksoskeletnega sistema (~125 kg) in z eksoskeletnim sistemom (~203 kg) 78 kg, kar nanese skoraj za povprečno težo enega pehotnega vojaka brez dodatne opreme. Eksterna nosilnost helikopterja je 12,7 t, medtem ko je interna 10,9 t. Razlika je v namestitvi tovora, saj helikopter za vzlet iz tal porabi veliko energije. Pri dvigu zunanega tovora je helikopter že v zraku in posledično porabi manj energije in tudi prenese večjo težo. Poraba goriva za en domet helikopterja s polno obremenjenostjo je 4,743 l. Cena goriva za tovrstno porabo je 1328 €, transportni domet je 741 km, taktični domet je 370 km in povprečen čas misije je 2 uri in 30 minut (glej Tabelo 4.3).

Slika 4.2: CH-47 Chinook



Vir: Military today (2016)

Chinook sprejme 33–55 vojakov. Število je odvisno od razporeditve tovora. Pri tovrstni mehanizaciji je pomemben predvsem faktor volumna in ne faktor teže, saj se ga uporablja za kratke transportne namene in kratke misije. Pri izračunu smo ugotovili, da Chinook še vedno lahko sprejme 55 vojakov kljub skupni teži vojaka z eksoskeletnim sistemom, ki znaša 203 kg (glej Tabelo 4.3). Pri prevozu je potrebno upoštevati, da lahko Chinook prevaža le en vod, ki šteje od 30 do 50 vojakov (odvisno od oborožitve). Vsak vod je lahko različno opremljen, saj je vse odvisno od terena in sestave. V našem primeru bi bili uporabljeni eksoskeletni sistemi in težka podporna oborožitve. To bi pomenilo, da bi se število vojakov, ki bi jih lahko transportirali, zmanjšalo tudi na trideset. Stroški za tovrstne taktične misije bi bili nični oziroma minimalni. Uporaba eksoskeletnih sistemov bi le diferencirala taktične naloge enot na bojišču in tako pripomogla k boljši učinkovitosti.

Tabela 4.3: Osnovni podatki za helikopter CH-47 Chinook

<i>LASTNOST</i>	<i>VREDNOST</i>
<i>Nosilnost tovora</i>	12,7 t (eksterna), 10,9 t (interna)
<i>Število potnikov</i>	33–55
<i>Dometa helikopterja brez tovora</i>	741 km
<i>Dometa helikopterja s tovorom (bojni radij)</i>	370 km
<i>Poraba goriva (km/l)</i>	2,63 l
<i>Cena goriva (l)</i>	0,28 €
<i>Poraba goriva za en dometa helikopterja s polno obremenjenostjo (l)</i>	4743 l
<i>Poraba goriva za en dometa helikopterja s polno obremenjenostjo (€)</i>	1328 €

Vir: Boeing (2015b), International Air Transport Association (2016).

### 4.3 PRIMERJAVA STROŠKOV

Pri primerjavi obeh transportnih možnosti in uporabi na terenu smo ugotovili, da transport enot z eksoskeletnim sistemom (na dolge razdalje) tako finančno kot logistično ni ugoden. Bolj smotrna je uporaba transportnih zmogljivosti na kratke razdalje in v taktične namene. Ta izračun in analiza je bila predstavljena le kot prikaz, katere bi bile možnosti pri rentabilnosti eksoskeletnega sistema s strani logistike. Sistem je še v fazi razvoja in ni razvit za bojno uporabo, zato tudi natančne analize na tem področju še niso bile storjene. To je le prikaz, kakšne izzive na logističnem področju bo imela država, ki bo hotela implementirati novo tehnologijo na področju pehotnega bojevanja.

## 5 SKLEP

V diplomski nalogi smo si zastavili tri hipoteze. Prva hipoteza pravi, da je hitrost razvoja novih tehnologij za vojaka 21. stoletja premo sorazmerna z njegovo varnostjo na terenu. Pri dokazovanju prve hipoteze smo se osredotočili na analizo in interpretacijo primarnih in sekundarnih virov. Vprašanje, ki smo ga imeli, je bilo: Kakšna je oprema bojevnika 21. stoletja in katere inovacije so že v uporabi ali pa še bodo pri vojaku prihodnosti? Pri opremi bojevnika 21. stoletja je fizična zaščita zelo podhranjena, saj ima vojak na voljo le neprebojni jopič in čelado, kar pomeni, da so preostali deli telesa še vedno izpostavljeni sovražnikovem ognju. Kljub temu da ima vojak danes napredne tehnološke naprave in na voljo nova orožja, je njegova zaščita in psihofizična moč še vedno na podobnem nivoju. Raziskovalni centri ameriške vojske in ostale vladne agencije (npr. DARPA) nenehno razvijajo nove tehnologije, ki bi pomagale vojakom na terenu. Trenutno se raziskuje predvsem to, kako vojakom zagotoviti večjo zaščito pred balističnimi izstrelki in kako vojakom zagotoviti večjo moč. Znanstveniki se predvsem trudijo združiti moč stroja in človeka. Ameriška vojska se posveča sistemu TALOS (*Technical Assault Light Operator Suit*). To je obleka, ki bi hkrati zagotovila fizično zaščito vojakov in jim nudila tudi več opore ter moči. Ta sistem bi se razvijal skupaj z visokotehnološkimi tkaninami s senzorji in z naglavnimi prikazovalniki. Prvi prototip je bil predstavljen junija 2014, popolnoma funkcionalno različica pa bo prikazana do leta 2018. Potem je tu še program Future Soldier 2030 Initiative, ki ga izvaja ameriška vojska. To je doktrina, ki temelji na dejstvu, da je prihodnost vedno negotova in nagovarja različne možnosti bojevanja, ki jih lahko pričakujemo v prihodnosti. Predvsem je namen tega programa, da izvede transformacijo vojske, ki bo lahko kos izzivom 21. stoletja. Program predpostavlja, kako naj bi bil vojak opremljen v prihodnosti, katera različna znanstvena in tehnološka področja bodo sodelovala za ta namen, poudarek pa bo predvsem na večjih področjih operacij in s poudarkom na ukazih za usposabljanje (Training and Doctrine Command). Medtem ko se moč orožja in oprema vojaka nenehno razvijata, je skrb za varnost le-tega močno v zaostanku. Fizična zaščita in moč vojaka do zdaj nista bili v ospredju, vendar pa se tudi to spreminja in v prihodnosti se na tem področju kažejo izboljšave. Na podlagi vseh primerov ne moremo trditi, da je varnost vojaka premo sorazmerna z razvojem tehnologije.

Druga hipoteza pravi, da je zaradi trenutne stopnje razvoja eksoskeletnega sistema in trendov, ki se kažejo v prihodnosti, uporaba v zalednih enotah bolj smiselna kot uporaba v silah za bojevanje. Pri dokazovanju druge hipoteze smo uporabili historično metodo, s katero smo

prikazali razvoj eksoskeletnega sistema od leta 1966 pa do danes. Povzamemo lahko, da je razvoj v 20. stol. potekal zelo počasi in da je skokovito začel rasti šele od leta 2000. Od leta 2000 je bil razvoj eksoskeletnih sistemov v polnem zagonu. V ZDA, Japonski, Koreji, Veliki Britaniji, Nemčiji in Italiji raziskujejo mnoge sisteme: HAL5, Hexar, ReWalk, WPAS in RoboKnee. DARPA v ZDA razvija naslednje eksoskeletne robote: XOS, HULC in BLEEX. Omenjen razvoj traja še danes. Cilj vseh sistemov je izboljšanje učinkovitosti inteligentnega upravljanja z energijo in izboljšati materiale za mehansko konstrukcijo. Prihodnost je osredotočena na izdelavo materialov, ki so primerni za izdelavo eksoskeleta. Današnji razvoj je zaostal predvsem na področju zagotavljanje energije za dolgotrajno delovanje sistema. Zaostal je tudi na področju gibljivosti, saj je sistem zelo okoren in uporabniku povzroča dodatne napore pri gibanju. Pomemben je razvoj novih materialov in nanotehnologije, ki bo omogočil, da bo eksoskelet lažji in da se uporabniku bolje prilagodi po celotnem telesu. Danes razvoj ponovno počasi napreduje, saj je eksoskeletni sistem odvisen predvsem od ekonomskih in znanstvenih dejavnikov, ki določajo, koliko sredstev se bo porabilo za razvoj in koliko sta znanost ter tehnika napredovali. Pomembno za prihodnost sistema bo tudi to, katera doktrina bo prevladala v vojski. Ali bo prevladala prva doktrina, ki zagovarja, da se mora vojaku pomagati z eksoskeletnim sistemom z namenom, da bo lažje premagoval napore in da bo bolj avtonomen, ali pa druga doktrina, ki zagovarja bolj mobilnega vojaka, manj fizično obremenjenega in z močno logistično podporo. Tu je tudi faktor cene, ki bo določal, ali je na dolgi rok smiselno investirati v nadaljnji razvoj tovrstnega sistema. Trenutno je sistem še zelo okoren in šele v tretji fazi razvoja. V tej fazi se za vojaško testiranje izdelujejo prototipi. Ta faza je zelo dolgotrajna in lahko pride tudi do neuspeha, saj je možno, da pride do prekinitve razvoja zaradi napačnih predvidevanj v taktičnih študijah ali pa zaradi napačne predhodne analize. Danes sistem ni še popolnoma primeren za zaledne enote in tudi ne za boj na terenu. Razvoj gre v smeri postopnega uvajanja v zaledne enote (logistične enote, transportne enote, inženirske enote, artilerijske enote ...). Niso še zagotovili zadostne avtonomije sistema in ogrodje sistema je še vedno preveč okorno za uporabo v vojaškem okolju. Zato lahko hkrati potrdimo in ovržemo tretjo hipotezo, saj eksoskeletni sistem ni mogoče uporabiti v zalednih enotah. Je pa trenutni razvoj veliko bližje tovrstnemu konceptu uporabe, medtem ko bo za potrebe bojne uporabe razvoj sistema trajal vsaj še od 10 do 15 let.

Tretja hipoteza je bila, da stroški, povezani za raziskavo in razvoj ter izdelavo eksoskeletnega sistema, ne odtehtajo njegove uporabe na terenu. Pri omenjeni hipotezi smo se opirali na primarne in sekundarne vire, ki potrjujejo, da kljub zasebnim investicijam, investicijam

mnogih vlad in vladnih agencij eksoskeletni sistem še vedno ne omogoča avtonomne dolgotrajne uporabe na terenu. Uporabili smo primerjalno analizo, s katero smo utemeljili stroškovno upravičenost uporabe eksoskeletnega sistema pri logistiki. Če bi ta sistem že bil na stopnji razvoja, ki bi vojakom omogočal aktivno udejstvovanje na terenu, bi bil stroškovno neučinkovit, saj bi teža in vzdrževanje tovrstnega sistema povečala stroške transporta. V stroškovni analizi smo uporabili dve zračni plovili, kateri imata različne naloge, domet in transportno zmogljivost. Primerjali smo letalo C-17 Globemaster in helikopter CH-47 Chinook. Pri primerjavi obeh transportov smo prišli do zaključka, da se logistika na dolge daljave z letalom C-17 Globemaster finančno ne obrestuje, saj bi po izračunih moral opraviti na enajst letov en dodaten let, kar bi pomenilo tudi do 100,000 EUR ali več dodatnih stroškov. V tem primeru bi bila smotrna samo uporaba logistične podpore na kratke razdalje in v taktične namene. Eksoskeletni sistem bi predstavljal zelo malo ali celo nič dodatnih stroškov. Kljub temu da ima helikopter CH-47 Chinook s polnim rezervoarjem krajši domet, manjšo nosilnost tovora in manjši volumen, je vseeno stroškovno bolj učinkovita izbira. Če bi se katerakoli država odločila uporabiti ta sistem za domačo uporabo znotraj svojih meja, bi bil ta sistem rentabilen. Pri primerjavi obeh transportnih možnosti lahko pridemo do sklepa, da je stroškovno velik zalogaj, da dotični sistem transportiramo na vojno območje in ga tam tudi aktivno uporabljamo. Zato (kljub vsem investicijam) trenutno še ne odtehta uporabe na terenu.

Če ovrednotimo vse prikazane podatke, lahko pridemo do zaključka, da razvoj eksoskeletnega sistema napreduje zelo hitro in je bolj odvisen od tehnološkega napredka kot od finančnih sredstev. Sistem je trenutno še v začetni fazi razvoja in v trenutnem stanju ni finančno vzdržan in tudi ne uporaben na terenu. Prihodnost je kljub temu zelo obetajoča. Razvoj novih materialov, robotike in baterij bo omogočal napredek, ki je potreben za nadaljnji razvoj. Vsa podjetja in agencije, ki so povezane z vojsko in so vpete v razvoj tega sistema, so naredila v 21. stoletju velik korak k izboljšavam. Vsi akterji se zavedajo, koliko pomeni življenje, varnost in tehnološka prednost vojakov na terenu. Oprema pehotnega vojaka se bo nenehno razvijala. Prvi, večji korak bo implementacija eksoskeletnega sistema v njegovem polnem obsegu. Tisti akter, ki mu bo to uspelo, bo imel prednost pred drugimi, saj bo učinkovitost vojaka večja, smrtnost bo nižja, obseg vojske bo posledično manjši in nadaljnji finančni vložki se bodo prav tako zmanjšali.

## 6 LITERATURA

1. Army technology. 2012. *Raytheon XOS 2 Exoskeleton, Second-Generation Robotics Suit, United States of America*. Dostopno prek: <http://www.army-technology.com/projects/raytheon-xos-2-exoskeleton-us/> (15. avgust 2016).
2. Boeing. 2015a. *C-17 Globemaster III*. Dostopno prek: <http://www.boeing.com/defense/c-17-globemaster-iii/> (15. avgust 2016).
3. --- 2015b. *Ch-47-Chinook*. Dostopno prek: <http://www.boeing.com/defense/ch-47-chinook/> (15. avgust 2016).
4. Bowdler, Neil. 2011. *Robo legs' help stroke victim to walk*. Dostopno prek: <http://www.bbc.com/news/science-environment-15051260> (21. marec 2015).
5. --- 2014. *Rise of the human exoskeletons*. Dostopno prek: <http://www.bbc.com/news/technology-26418358> (21. april 2015).
6. Du, Yuhuan, Zhang, Xiadong, Wang, Yang in Mu, Tong. 2012. Design on Exoskeleton Robot IntelliSense System Based on Multi-dimensional Information Fusion. *International Conference on Mechatronics and Automation*: 2435–2439. Dostopno prek: <http://www.doc88.com/p-4971548225444.html> (5. junij 2016).
7. Ford, Omar. 2014. *Robotic-Exoskeleton*. Dostopno prek: <http://medicaldevicedaily.com/perspectives/2014/08/28/future-now/robotic-exoskeleton/> (21. april 2015).
8. Habib, Ali. 2014. Bionic Exoskeleton: History, Development and the Future. *International Conference on Advances in Engineering & Technology* (5). Dostopno prek: <http://iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/ICAET-2014/me/volume-5/12.pdf?id=7622> (21. april 2015).
9. Heyns, Christof. 2013. *Report of the Special Rapporteur on extrajudicial, summary or arbitray executions*. OZN, Human Rights Coucil. Dostopno prek: <https://www.justsecurity.org/wp-content/uploads/2013/10/UN-Special-Rapporteur-Extrajudicial-Christof-Heyns-Report-Drones.pdf> (4. maj 2015).
10. I heart robots. 2006. *Rehabilitation Robot Brings Hope*. Dostopno prek: <http://i-heart-robots.blogspot.com/2006/04/rehabilitation-robot-brings-hope.html> (21. april 2015).



11. International Air Transport Association. 2016. *Fuel Price Analysis*. Dostopno prek: <http://www.iata.org/publications/economics/fuel-monitor/Pages/price-analysis.aspx> (20. avgust 2016).
12. Javornik, Marija. 1998. *Veliki splošni leksikon, knjiga 4: 1861-2478*. Ljubljana: DZS.
13. Lee, Heedon, Kim, Wansoo, Han, Jungsoo in Han, Changsoo. 2012. The Technical Trend of the Exoskeleton Robot System for Human Power Assistance. *International journal of precision engineering and manufacturing* 13 (8): 1491–1497.
14. Lomberg, Jason. 2010. *Raytheon unveils wearable exoskeleton suit*. Dostopno prek: <http://www.ecnmag.com/blogs/2010/09/raytheon-unveils-wearable-exoskeleton-suit> (21. april 2015).
15. Masten, Aljoša. 2013. *Nadčloveška moč: Iron Man postaja resničnost sodobnega vojskovanja*. Dostopno prek: [http://www.rtvsllo.si/pda/?&c\\_mod=pda&op=view&id=318860&sec\\_id=9](http://www.rtvsllo.si/pda/?&c_mod=pda&op=view&id=318860&sec_id=9) (19. marec 2015).
16. Military today. 2016. *CH-47F Medium transport helicopter*. Dostopno prek: <http://www.military-today.com/helicopters/ch47f.htm> (15. avgust 2016).
17. Mobile Venue. 2006. *Exoskeleton – The HAL 5*. Dostopno prek: <http://www.mobilevenue.com/exoskeleton-the-hal-5-11011313/> (21. april 2015).
18. Mone, Gregory. 2008. *Building the real Iron Man*. Dostopno prek: <http://www.popsci.com/scitech/article/2008-04/building-real-iron-man?image=10> (2. maj 2015).
19. Munih, Marko. 2015. Eksoskeleti – bionske inteligentne naprave. *Spletna revija za znanstvenike, strokovnjake in nevroznanstvene navdušence*. Dostopno prek: <http://www.sinapsa.org/eSinapsa/clanki/9/Eksoskeleti-inteligentne-bionske-naprave> (19. marec 2015).
20. NATO Defence Policy and Planning division. 2012. *NATO Logistics handbook*. Dostopno prek: [http://www.nato.int/docu/logi-en/logistics\\_hndbk\\_2012-en.pdf](http://www.nato.int/docu/logi-en/logistics_hndbk_2012-en.pdf) (3. maj 2017).
21. Postani vojak. 2015. *Oborožitev in oprema*. Dostopno prek: <https://www.postanivojak.si/vec-o-sv/oborozitev-in-oprema/lahka-pehotna-in-podporna-oborozitev> (20. marec 2015).

22. R. A. R. C. Gopura, Kazuo Kiguchi in D. S. V. Bandara. 2011. A Brief Review on Upper Extremity Robotic Exoskeleton Systems. *6th International Conference on Industrial and Information Systems*. Dostopno prek: <https://pdfs.semanticscholar.org/cdbc/47fbc95bae9d7bdf85e25b6113f787409b5.pdf> (11. januar 2016).
23. Slovenska vojska. 2015a. *Osebna oprema*. Dostopno prek: [http://www.slovenskavojska.si/oborozitev-in-oprema/osebna-oprema/?print=1&no\\_cache=1](http://www.slovenskavojska.si/oborozitev-in-oprema/osebna-oprema/?print=1&no_cache=1), (20. marec 2015).
24. --- 2015b. *Osebna oprema*. Dostopno prek: <http://www.slovenskavojska.si/oborozitev-in-oprema/osebna-oprema/dlancnik/> (20. marec 2015).
25. U.S. Army Research, Development and Engineering Command. 2009. *Future Soldier 2030 Initiative*. Dostopno preko: [http://www.wired.com/images\\_blogs/dangerroom/2009/05/dplus2009\\_11641-1.pdf](http://www.wired.com/images_blogs/dangerroom/2009/05/dplus2009_11641-1.pdf) (28. april 2015).
26. Wikipedia. 2016. *Bulletproof vest*. Dostopno prek: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bulletproof\\_vest](https://en.wikipedia.org/wiki/Bulletproof_vest) (1. julij 2016).
27. Wonderful engineering. 2014. *ReWalk Is A New Exoskeleton That Lets Paralysed People Walk Again*. Dostopno prek: <http://wonderfulengineering.com/rewalk-is-a-new-exoskeleton-that-lets-paralysed-people-walk-again/> (21. april 2015).
28. Saucier, Rob. 2014. *Armor or Agility: Is Today's Infantry Load Slowing Down our Soldiers?* Dostopno prek: <http://blog.uspatriottactical.com/armor-agility-todays-infantry-load-slowing-soldiers/> (15. avgust 2016).
29. Screenshot. 2014. *Short List of What DARPA is Working On These Days*. Dostopno prek: <https://screenshotsnews.net/2014/04/02/what-darpa-is-working-on-2014/> (28. april 2015).
30. ZRC SAZU. 2014. *Slovar slovenskega knjižnega jezika*. Ljubljana: Cankarjeva založba.
31. Stadler, Konrad. 2013. *Robo-Mate: Intelligent, flexible exoskeleton*. Dostopno prek: <https://www.zhaw.ch/en/engineering/institutes-centres/institute-of-mechatronic-systems-ims/robotics-automation/robo-mate/> (9. julij 2016).
32. Tompson, Cadie. 2014. *The future soldier will be part human, part machine*. Dostopno prek: <http://www.cnbc.com/2014/05/14/the-future-soldier-will-be-part-human-part-machine.html> (2. maj 2015).

33. Zoos, Adam, H. Kazerooni, in A. Chu. 2006. *On the Mechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX)*. Dostopno prek: <https://pdfs.semanticscholar.org/638a/8302b681221b32aa4a8b69154ec4e6820a54.pdf> (15. november 2015).
34. Žabkar, Anton in Uroš Svete. 2011. *Sodobni oborožitveni sistemi (1. del)*. Ljubljana: Fakulteta za družbene vede.
35. Furlan, Branimir. 2006. *Vojaška doktrina*. Ljubljana: Defensor.
36. Lockheed Martin. 2012. *Exoskeletons Enhance Mobility nad Increase Endurance*. Dostopno prek: <http://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed/data/mfc/pc/hulc/mfc-hulc-pc-01.pdf> (10. oktober 2016).