

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA DRUŽBENE VEDE

Ajda Hodnik Gavranovič

Uporaba 3D tiskanja v vojaški industriji

Diplomsko delo

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA DRUŽBENE VEDE

Ajda Hodnik Gavranović

Mentor: izr. prof. dr. Uroš Svete

Uporaba 3D tiskanja v vojaški industriji

Diplomsko delo

Ljubljana, 2015

## ZAHVALA

*Iskreno se zahvaljujem svojim staršem, ki so mi v vseh letih študija stali ob strani,*

*Igorju, ki me je spodbujal in motiviral in*

*svojemu mentorju izr.prof. dr. Urošu Svetetu, za strokovno pomoč pri izdelavi diplomske  
naloge.*

*Posebno mesto v tej zahvali pa gre moji teti, izr. prof. dr. Tatjani Hodnik Čadež, ki mi je s  
svojo strokovno pomočjo vsa leta študija stala ob strani.*

## Uporaba 3D tiskanja v vojaški industriji

Natisnjena brezpilotna letala, vodljivi izstrelki, topografske mape, nadomestni deli letal, vozil in roka poškodovanega veterana... Vse naštetu je bilo še nekaj let nazaj znanstvena fikcija, danes pa je popolna realnost. Tehnologija 3D tiskanja v zadnjem desetletju vse bolj pridobiva na pomenu in v vojaški industriji počasi, vendar vztrajno, na nekaterih področjih zamenjuje tradicionalno proizvodnjo. Za 3D tiskanje se uporabljajo različne metode in tehnike tiskanja, vsaka pa zagotavlja zmanjšanje stroškov in časa izdelave ter zagotavlja veliko stopnjo tajnosti projektov. V zadnjem času se zdi, da države skoraj tekmujejo med seboj, katera bo iznašla boljšo inovacijo ter tako neprestano prestavljajo meje mogočega. V vsej tej evforiji 3D tiskanja pa se ne sme pozabiti na varnostna vprašanja, ki ji ta tehnologija povzroča. V današnjem času smo vse bolj priča novi obliki vojskovanja, v kateri se lahko preko internetne mreže prečka več meja in nezakonito pridobi pomembne podatke ali celo naredi fizično škodo. Zato je potrebno novo tehnologijo tudi primerno zaščititi in preprečiti morebitne teroristične napade.

Ključne besede: 3D tiskanje, vojska, terorizem.

### 3D printing in military industry

Printed unmanned aerial vehicles, guided missiles, topographic maps, spare parts for aircraft, vehicles and even hand for injured soldier few years ago this would be science fiction but today this is reality. 3D printing technology is becoming more and more important, and in military industry is slowly but persistently replacing traditional manufacturing. Many different methods and techniques are used in 3D printing process but each of them provides reduced costs and less production time, but most importantly it provides significant level of classification. It seems like countries are almost competing with each other which one will invent better innovation and in this way they are constantly pushing boundaries to new limits. In all this euphoria of 3D printing technology we should not forget security risks caused by this technology. Nowadays we are more and more witnessing a whole new dimension of warfare where it is possible to cross many borders via Internet network, illegally gain significant information or even physically damaged machines or personnel behind the machine. It is important that the new technology is appropriately secured, in this way potential terrorists attacks could be prevented.

Keywords : 3D printing technology, military, terrorism.

## KAZALO

1 UVOD .....	8
2 METODOLOŠKI OKVIR .....	9
2.1 Cilji in pomen diplomskega dela .....	9
2.2 Raziskovalna vprašanja in hipoteze.....	9
2.3 Uporabljene metode in tehnike.....	10
2.4 Opredelitev temeljnih pojmov .....	10
3 3D TISKALNIKI .....	11
3.1 Kako 3D tiskalnik deluje .....	11
3.2 3D tiskanje s FDM tehnologijo .....	11
3.2.1 Podrobnosti iztiskanja .....	12
3.3 3D tiskanje z DMLS tehnologijo.....	13
3.4.3 D tiskanje z SLM/S tehnologijo .....	13
3.5 Uporabljeni materiali.....	14
4 UPORABA 3D TISKALNIKOV V VOJAŠKI INDUSTRIJI .....	14
4.1 Izdelava prototipov .....	14
4.2 Letalstvo .....	16
4.3 Medicinsko področje .....	16
4.4Logistično področje.....	17
4.5 Oprema vojaka .....	17
4.6 Prihodnost 3D tiskanja .....	18
4.6.1Vojaška vizija.....	19
4.6.2Področja uporabe.....	19
5 PREGLED UPORABE 3D TISKALNIKOV PO POSAMEZNIH DRŽAVAH .....	20
5.1 ZDA.....	20
5.1.1 Brezpilotna letala.....	20
5.1.2 Premični laboratoriji.....	21
5.1.3. Vodljive rakete .....	22
5.2 Velika Britanija .....	23
5.2.1 Letalstvo .....	23
5.2.2 Brezpilotna letala.....	23
5.3 Kitajska.....	24
5.3.1 Topografija .....	24
5.3.2 Logistika.....	25

6 NEVARNOST 3D TISKALNIKOV V TERORIZMU .....	25
6.1 Varnostna tveganja .....	26
6.1.1 Upočasnitev proizvodnje .....	27
6.1.2 Poškodovanje ali celo umor osebja .....	27
6.2 Varnostni ukrepi .....	27
6.3 Zakonodaja in ukrepi držav proti posameznikom ki nezakonito tiskajo orožje .....	28
6.3.1 Združene države Amerike .....	28
6.3.2 Velika Britanija .....	29
6.3.3 Kitajska.....	30
7 ZAKLJUČEK.....	31
8 Literatura .....	33

## KRATICE

3D – tridimenzionalno

FDM (fused deposition modeling )- metoda ciljnega nalaganja

DLMS(direct laser melting sintering)- direktno lasersko topljenje/sintranje

SLM/S (selective laser melting/sintering) - selektivno lasersko topljenje/sintranje

CAD (computer aided desig) - računalniško podprt oblikovalni program

ZDA – Združene države Amerike

SULSA(Southampton University laser sintered aircraft) - dron, ustvarjen z laserskim sintranjem

TDF (Trainer development flight) - center za razvoj letenja

## 1 UVOD

3D tiskalniki, ki lahko natisnejo hišo, dele letala, orožje ali pa povsem preproste pripomočke za domačo uporabo, burijo našo domišljijo predvsem zadnjih nekaj let, ko je 3D tiskanje postalo zadnji hit mode, tako v domači rabi kot tudi v industriji. Vendar ideja o 3D tiskanju še zdaleč ni tako nova. Že leta 1983 je Chuck Hull, ko je uporabljal UV svetlobo za utrjevanje namiznih premazov, prišel do zamisli o 3D tiskanju. Idejo je razvijal in tako leta 1986 patentiral stereolitografijo – prvo izmed mnogih tehnologij 3D tiskalnikov. (Stratasys 2015)

Tako pridemo do podatka, ki nam pove, da je zamisel o 3D tiskalnikih stara že pravzaprav 32 let in zato še zdaleč ni zadnji modni hit, kot dandanes velja zmotno razmišljanje.

Tako kot nam danes 3D tiskalniki predstavljajo ogromno novih razsežnosti in ugank so tudi znanstvenikom pred 30 leti in tako je Scott Crump, soustanovitelj podjetja Stratasys, vodilnega podjetja na področju 3D tehnologij tiskanja, leta 1989 izumil in patentiral FDM tehnologijo (fused deposition modeling). FDM tehnologija omogoča dokaj preprosto, hitro in poceni tiskanje, hkrati pa omogoča izjemno trdnost materiala, zato se, kar je tudi predmet mojega diplomskega dela, ravno ta tehnologija večinoma uporablja v vojaški industriji. (Stratasys2015)

Poleg te tehnologije so razvili tudi DLMS (direct metal laser sintering) in SLM (selective laser melting/sintering) tehnologiji za tiskanje metalnih materialov, ki sta, poleg FDM tehnologije, prav tako vodilni v vojaški industriji.

Zamislite si možnosti, ki nam jih predstavlja tehnologija tridimenzionalnega tiska. Danes je mogoče že natisniti blago, kovino, dele elektronike, biološki material ter 3D natisnjeno hrano. Vojaški strokovnjaki na vseh teh področjih vsak dan predstavljajo meje doseženega in nekega dne bomo prišli do točke, ko se bo 3D tiskalnik uporabljal v vojski vsakodnevno, na ravni posameznega vojaka.

V svojem diplomskem delu bom poskušala predstaviti možnosti, ki nam jih ponuja 3D tehnologija. Za lažje razumevanje celotne 3D tehnologije bom najprej predstavila 3D tiskalnike, način delovanja in vse tri tehnologije, ki se uporabljajo v vojaški industriji, s čimer bom prikazala razlike med 3D tiskalniki za domačo uporabo, industrijskimi tiskalniki in tiskalniki, ki se uporabljajo v vojaški industriji. V drugem poglavju bom predstavila načine uporabe 3D tiskalnikov v vojaški industriji, katera področja so najbolj uspešna in katera imajo največji potencial v prihodnosti. V nadaljevanju bom prikazala še uporabo 3D



tehnologije tiskanja v oboroženih silah posameznih držav in sicer v ZDA, Veliki Britaniji ter na Kitajskem.

V zadnjem poglavju bom predstavila tudi globalno vprašanje o nevarnosti 3D tiskalnikov za porast terorizma, načine ukvarjanja posameznih držav s tem vprašanjem in kazni za zlorabo 3D tehnologije za nelegalno tiskanje orožja.

V zaključku bom analizirala in primerjala podatke treh držav, na katerih temelji moje diplomsko delo, ter odgovorila na zastavljeni raziskovalni vprašanji, ter ovrgla ali potrdila hipotezo.

## **2 METODOLOŠKI OKVIR**

### **2.1 Cilji in pomen diplomskega dela**

Razvoj tehnologije 3D tiskanja sega že v leto 1983, vendar zaradi nedostopnosti ni bil poznan javnosti. Z napredkom razvoja 3D tehnologije v letu 2010 in predvsem zaradi dostopnosti širši javnosti se je poznavanje te tehnologije povečalo in tako 3D tiskalniki navdušujejo svet že zadnjih 5 let. Najbolj zanimiva je njihova uporaba v vojaški industriji, saj ne samo da ponuja dolgoročno cenejšo proizvodnjo, prednost predstavljajo tudi lastnosti materialov 3D tiskalnikov.

Cilji diplomskega dela so:

- opisati 3D tiskalnike, razložiti FDM, DLMS in SLM/S tehnologijo, ter predstaviti njihovo delovanje;
- prikazati dosedanje dosežke 3D tiskalnikov v vojaški industriji;
- predstaviti države, ki uporabljajo 3D tehnologijo v svojih oboroženih silah;
- izpostaviti probleme, ki jih 3D tiskalniki predstavljajo za povečanje nevarnosti terorizma;
- odgovoriti na raziskovalna vprašanja in potrditi ali ovreči hipotezo.

### **2.2 Raziskovalna vprašanja in hipoteze**

V diplomskem delu sem si zastavila dve raziskovalni vprašanji in postavila eno hipotezo.

V1: V katerem rodu/zvrsti oboroženih sil imajo 3D tiskalniki največji potencial?

V2: Dostopnost 3D tiskalnikov omogoča tudi njihovo zlorabo v teroristične namene. Na kakšen način proizvajalci/države preprečujejo uporabo 3D tiskalnikov v teroristične namene in v kolikšni meri so pri tem uspešni?

### **2.3 Uporabljene metode in tehnike**

Za raziskavo bom uporabila različne metode in tehnike:

- Analiza sekundarnih virov: analizirala bom obstoječo literaturo in članke, ki so povezani z vsebino diplomskega dela.
- Deskriptivna metoda: opisovala bom različne pojme, ter tako diplomskemu delu dodelila smiselno vsebino.

### **2.4 Opredelitev temeljnih pojmov**

Aditivna proizvodnja – proces izdelave tridimenzionalnega modela (Hiemenz 2014).

3D tiskalniki – naprava, ki z različnimi tehnikami tiska tridimenzionalne izdelke (Hiemenz 2014).

FDM tehnologija – postopek, ki izdeluje dele s segrevanjem in iztiskanjem tankega sloja umetne mase s pomočjo računalniško nadzorovane iztisne glave(Hiemenz 2014).

DLMS tehnologija – postopek nanašanja tankega sloja materiala v prahu na gradbeno platformo, ki ga pregreje laserski žarek v točkah, ki jih določi računalniški program z uporabo optičnega laserskega skeniranja (Grünberger in Domröse 2015).

SLM/S tehnologija – postopek, pri katerem se podatki posameznega sloja prenašajo z laserskim snopom v ležišče prahastega materiala, kjer je pred tem trden material skeniran v inertni atmosferi, kar omogoča izdelavo trdnega sloja materiala(Bremen in drugi 2012).

### **3 3D TISKALNIKI**

3D tiskalnik je naprava, ki oblikuje predmete iz plastičnih ali drugih materialov, pri čemer uporablja metodo ciljnega nalaganja. Metoda ciljnega nalaganja oblikuje predmete v zaporedju slojev od spodaj navzgor in je tako ravno nasprotna tradicionalni izrezovalni metodi, ki predmete oblikuje tako, da iz enega kosa materiala izreže želeno obliko. 3D tiskalniki so tako olajšali in pospešili proces izdelave prototipov in končnih izdelkov. Proces 3D tiskanja je hkrati zelo preprost in močan ter tako primeren tudi za uporabo v vojaški industriji. (Hiemenz 2014)

#### **3.1 Kako 3D tiskalnik deluje**

Začne se z računalniško podprtim oblikovalnim programom (CAD), ki podatke prenese v 3D tiskalnik in tako določi pot orodja. Tiskalnik nato izriva in nalaga stopljen material v slojih od spodaj navzgor, celoten postopek pa omogoča da se izredno kompleksne dele proizvede veliko lažje in hitreje. (Hiemenz 2014)

#### **3.2 3D tiskanje s FDM tehnologijo**

FDM tehnologija ustvarja tridimenzionalne dele s segrevanjem in iztiskanjem tankega sloja umetne mase s pomočjo računalniško nadzorovane iztisne glave. Proces lahko razdelimo v tri korake:

1. Pred-procesno delitev na dele in prerez CAD načrta v plasti

FDM proces se začne v enem izmed pred pripravljanih programov. Najprej se odpre CAD oblikovno datoteko, kjer se izbere material ter barva in oblikuje debelina slojev. Izbere se tudi osnovni in podporni material, ki bo ustrezal zahtevam izdelka. Program izračuna delitev na dele in prerez načrta v mnoge plasti od 0,127 mm do 0.3302 mm v višino. Z uporabo podatkov, ki delijo načrt na dele program kreira navodila izdelave, ki bodo premikale iztisno glavo tako za izdelek kot za podporno konstrukcijo. Program tako proizvede konstrukcijsko datoteko, ki precizno definira gibanje kontrolnih poti. Ko program konča, se delo pošlje 3D tiskalniku (Hiemenz 2014).

2. Proizvodnja: proces nalaganja plasti

Z-stopenjska platforma se dvigne do začetnega položaja samo nekaj desetink milimetra stran od iztisne konice, ki gleda ven iz kondenzatorja. 3D tiskalnik začne tiskanje z nekaj sloji podpornega materiala za enkratno uporabo z namenom, da bi zagotovil temelje za izdelek. Podporni material je prav tako uporabljen za podporo

delcem, ki drugače ne bi imeli opore med tiskanjem. Iztisna glava, ki se premika po XY platformi nalaga sloje. Ko je vsak sloj nanesen, se Z-platforma spusti navzdol za toliko, da se ustvari prostor za nov sloj, podoben debelini človeškega lasu. Enak proces kot se uporablja za podporno konstrukcijo, se uporablja tudi za izdelek (različen je le material). Med samim tiskanjem iztisna glava samodejno preklaplja od osnovnega materiala k podpornemu. Če povzamemo: v FDM procesu je vsak sloj stopljenega materiala nanesen na vrh prejšnjega, sloji pa se med seboj takoj spojijo. (Hiemenz 2014)

### 3. Zaključna faza: odstranjevanje podpornega materiala za enkratno uporabo

Ko je del končan, se odstrani podporni material, ki ga je držal na mestu med samo proizvodnjo. Odstranjevanje podpornega materiala je odvisno od tega, kakšen podporni material je bil uporabljen. Če je bil uporabljen topen podporni material, se ga odstrani v rezervoarju z nestabilno raztopino detergenta na vodni osnovi. Če pa je bil uporabljen lomljivi podporni material, se ga enostavno zavrti, odlomi in odstrani. (Hiemenz 2014)

#### 3.2.1 Podrobnosti iztiskanja

Skrivnost točnosti in natančnosti FDM tehnologije je hitrost spajanja materiala in gibanje iztisne glave. Oba se konstantno spreminjata in prilagajata, da se lahko nemoteno nalaga gladek trak materiala, ki meri v širino od 0,20 mm do 0,97 mm ter 0,13 mm v višino. V primeru najvišje uspešnosti FDM stroji dosežejo točnost oziroma toleranco odstopanj do 0,003 mm. (Hiemenz 2014)

Pogonska kolesca potiskajo material v del vročega kondenzatorja v sestavno konico. Pritisk potisne material skozi majhno odprtino na konici, konica pa pritisne navzdol, da se kroglica splošči. Medtem pa iztisna glava pospešuje ali zmanjšuje hitrost premikanja čez ploščo. Med spreminjanjem hitrosti iztisne glave pogonska kolesca prilagajajo tudi hitrost pretoka materiala, rezultat je natančna širina traku, ki se prilagaja zahtevam načrta izdelave. (Hiemenz 2014)

V vojaški industriji se zaradi kompleksnosti izdelave uporabljajo tudi 3D tiskalniki s tehnologijo, ki lahko naenkrat tiska tudi iz več kot samo dveh materialov naenkrat. Princip delovanja je enak, razlika je le v številu materialov. (Stratasys2015)

### **3.3 3D tiskanje z DMLS tehnologijo**

Za razumevanje te tehnologije bom najprej razložila postopek sintranja. Sintranje je postopek združevanja praškastih, zrnatih ali kosovnih trdnih predmetov nazaj v trdno telo. Sintrana gradiva so oblikovana iz prahu, torej drobnih zrn kovin, zlitin, nekovin (grafit) in spojin s stiskanjem. Tako dobljene oblike nato sintrajo (žgejo) v gradivu ustrezni atmosferi in pri ustrezno visoki temperaturi. (Beharič 2008)

Direktno kovinsko lasersko sintranje (DMLS) je proces aditivne proizvodnje kjer se najprej ustvari digitalna 3D oblikovna datoteka z namenom, da zgradi komponente v slojih z odlaganjem kovinskih materialov. Sistem začne z nanašanjem tankega sloja materiala v prahu na gradbeni platformi. Po vsakem nanesenem sloju laserski žarek pregreje material v prahu točno v točkah, ki jih je določil računalniški program z uporabo optičnega laserskega skeniranja. Platforma se nato premakne navzdol in naloži se nov sloj materiala v prahu. Postopek se ponovi: laserski žarki material pregrejejo, da se spoji z spodnjim slojem v vnaprej določenih točkah. Na ta način ni samo izdelek, ampak tudi končni material izdelka, ustvarjen med samim procesom izdelave, kar je velika prednost DMLS tehnologije. Vsaka posamezna zvarjena linija ustvarja nov mikro segment končnega izdelka, kar pomeni: če kopičimo informacije nadziranja segmentov eno na drugo, lahko vizualiziramo 3D model kakovosti izdelka.(Grünberger in Domröse 2015)

Na kakovost izdelka vplivajo prah, izpostavni parametri ter tudi inerten plinski dotok in temperatura gradbene platforme. Napake, kot so poroznost, pomanjkanje spojev in grobo površje, se lahko pojavijo, če so uporabljeni napačni parametri.(Grünberger in Domröse 2015)

Zagotavljanje kakovosti za ta proces sestavlja več tehnologij, ki so:

- sistemski nadzor (nadzor tiskalnika in laserskih parametrov);
- nadzor plasti materiala (video podprt pregled plasti) in
- diodno podprt in-base nadzor topnega procesa (Grünberger in Domröse 2015).

### **3.4.3 D tiskanje z SLM/S tehnologijo**

Aditivna tehnologija selektivnega laserskega topljenja/sintranja omogoča proizvodnjo metalnih komponent po slojih glede na 3D – CAD prostorski model. Na ta način SLM/S omogoči skoraj neomejeno proizvodnjo kompleksnih izdelkov. Najprej se 3D – CAD prostorski model razdeli na sloje, nato se ga posreduje tiskalniku. Prahasti material se na tonalaga v tankih slojih. Geometrični podatki posameznega sloja se prenašajo z laserskim

snopom v ležišče prahastega materiala, kjer je pred tem trden material skeniran v inertni atmosferi, kar omogoča izdelavo trdnega sloja materiala. Ko se naloži plast podlage, se ves postopek ponavlja dokler izdelek ni končan. Izdelek je odvisen od materiala, ki se uporabi, ampak če so uporabljeni standardni prahasti metalni delci, ki se popolnoma topijo, ima izdelek 100% gostoto in se zlahka enači z izdelki, ki so narejeni s standardno proizvodnjo oziroma jih njihova kvaliteta lahko veliko boljša. (Bremen in drugi 2012)

### **3.5 Uporabljeni materiali**

Uporabljeni materiali za 3D tiskanje v vojaški industriji morajo prenesti kemično izpostavljenost, ekstremne temperature in druge različne vplive iz okolja, zato so za tiskanje razvili posebne, zelo kakovostne materiale (Stratasys 2015).

Večinoma se za tiskanje s 3D tehnologijo uporabljajo termoplastični materiali, prahasti materiali iz kovinskih snovi kot sta železo in aluminij ter najlon. Zaradi hitrega napredka so danes znani že uspešni poskusi tiskanja tudi z biološkimi materiali, poskusi tiskanja tekstila in tudi tiskanja hrane. Materiali so zelo različni, za vojaško industrijo pa se večinoma uporabljajo termoplastični materiali in kovina.

## **4 UPORABA 3D TISKALNIKOV V VOJAŠKI INDUSTRIJI**

Potencial 3D tiskanja v vojaški industriji je trenutno zelo aktualno področje. V zadnjem času se v javnosti sliši predvsem o tiskanju plastičnih materialov in o natisnjenih plastičnih pištolah (najbolj znana 3D natisnjena pištola je Liberator), vendar to ni kaj več od premikanja meje vzdržljivosti plastičnih materialov in tekmovanja posameznikov. Znanstveniki medtem že razmišljajo o tiskanju bioloških materialov, s čimer bi bili v prihodnosti sposobni na primer natisniti srce in ga transplantirati ali pa natisniti hrano. (Army technology 2014)

V tem poglavju bom predstavila različna področja v oboroženih silah, kjer se 3D tehnologije tiskanja že uporablja na ravni proizvodnje ter tista področja, kjer se trenutno izdeluje šele prototipe.

### **4.1 Izdelava prototipov**

Na vseh področjih, ki jih predstavljam v nadaljevanju, se je 3D tehnologija najprej uporabljala za izdelovanje prototipov. Na ta način so prihranili veliko denarja in časa pri izdelavi. S tradicionalno proizvodnjo so postopki dolgotrajni, napake in izboljšave pa pomenijo, da je treba izdelek izdelati ponovno, dokler ne ustreza zahtevanim standardom. S 3D tehnologijo pa

se spremembe preprosto vnesejo v programsko datoteko in se del ponovno natisne v samo nekaj urah ali maksimalno v nekaj dneh, kar pa je še vedno hitreje kot pri tradicionalni proizvodnji. Iz izdelovanja prototipov se je razvila ideja o proizvodnji dejanskih delov. Na nekaterih področjih v oboroženih silah je proizvodnja s 3D tehnologijo že v polnem teku, medtem ko je na drugih področjih šele v fazi prototipov. Samo vprašanje časa pa je, kdaj bo proizvodnja stekla tudi na teh področjih.

Vojaški inženirji stremijo k razvoju zanesljivih 3D modelov in prototipov iz računalniško podprtih oblikovnih datotek. Ti prototipi bi omogočili raziskovalcem odkriti in izračunati komponente in sistemske oblikovne napake že pred izdelavo (Benson 2014).

Ameriške oborožene sile so v sodelovanju s civilnimi strokovnjaki začele izdelovati prototipe z aditivnim proizvodnim procesom z uporabo SLM/S tehnologije. Kot vemo, SLM/S tiskalnik z uporabo laserja sintra oziroma topi prahasti ali najlonski material sloj po sloju v prototip oziroma končni izdelek (Benson 2014).

Ustvarili so že številne prototipe in razne komponente izdelkov, kot so prototipi kompleta okvirjev za nošenje opreme, tkaninske dodatke za MOLLE komplet baterijsko kaseto ter posamezne elektronske komponente, ki so bile kasneje testirane in uporabljene na terenu. Komponente so se po kvaliteti in vzdržljivosti materiala in izdelave zlahka primerjale z opremo za kemično in biološko zaščito (Benson 2014).

Karen Buehler,(2014) je v reviji Army Technology predstavila izdelovanje prototipov na primeru. Pri izdelavi prototipa nahrbtnika in pritiskačev je pomembno, da so slednji v točnih dimenzijah, le malenkostno odstopanje bi povzročilo, da se ne bi prilegali. Pri tradicionalni proizvodnji je to pomenilo dolgotrajen postopek popravljanja dimenzij, s 3D tehnologijo pa zgolj popravimo parametre v računalniški datoteki (Benson 2014).

Če recimo obstaja več idej, jih lahko hitro vstavimo v program, od vsake nekaj vzamemo, izdelek natisnemo in preizkusimo. Če ne odgovarja zahtevam, lahko postopek ponovimo in ponavljamo dokler izdelek ni primeren, pa bomo še vedno porabili manj časa in denarja kot pri tradicionalni proizvodnji (Benson 2014).

Prototipi, ki jih strokovnjaki izdelajo in nato posredujejo industriji za končno proizvodnjo, so v 80- 90% že izpopolnjeni za končno proizvodnjo (Benson 2014).

Ustvarjajo pa tudi prototipe in merilne modele za ponazoritvene namene, kot nekakšne simulacije in s tem zapolnjujejo vrzel med konceptom in končno opremo pripravljeno za uporabo na terenu (Benson 2014).

V bližnji prihodnosti strokovnjaki upajo, da bodo uspeli razviti 3D tehnologijo, ki bo sposobna tiskanja z več kot dvema materialoma naenkrat. Na ta način bi dosegli, da bi tehnologija omogočala mešanje trdnih in mehkih materialov (Benson 2014).

## **4.2 Letalstvo**

Uporaba 3D tiskanja za izdelavo brezpilotnih letal in dronov je aktualna že kar nekaj časa, tako s strani vladnih organizacij kot civilnih institucij. Razlog uporabe te tehnologije je predvsem v tem, da s 3D tiskanjem lahko vsak uporabnik z digitalnim oblikovanjem ustvari popolnoma unikatno letalo, z dodanimi inovativnimi lastnostmi. Popravki in dodatki so hitro in enostavno dodani, v procesu izdelave prototipov pa je lahko natisnjenih veliko izdelkov, za katere bodo stroški izdelave še vedno manjši, kot s tradicionalno proizvodnjo. (Butler Millsaps 2015)

Količina časa in denarja, ki ga lahko prihranijo vse oborožene sile na svetu, ki izdelujejo svoja brezpilotna letala in drone s pomočjo 3D tehnologije je osupljiva. Pri tem pa je najpomembnejše, da se vse lahko ohrani v popolni tajnosti, oziroma sami določajo koliko podatkov bodo razkrili. Dejansko se je uporaba 3D tehnologije začela na področju letalstva; ne samo s tiskanjem delov za brezpilotna letala, ampak tudi s tiskanjem nadomestnih delov za bojna letala. Med tem procesom pa je prišlo do 'aha' trenutkov, ki so vodila v nadaljnji razvoj ter uporabo 3D tiskalnikov na drugih področjih v oboroženih silah. (Butler Millsaps 2015)

## **4.3 Medicinsko področje**

V ZDA je Ministrstvo za Obrambo leta 2008 ustanovilo Inštitut oboroženih sil za regenerativno medicino, ki se ukvarja z zamenjavo ali regeneracijo človeških celic in organov z namenom, da se ustvari ali obnovi normalna funkcija delovanja. 3D bio - tiskalnik deluje tako, da znanstveniki vzamejo zdrave celice in napolnijo kartuše z dvema tipoma kožnih celic – fibroblasti in keratinociti. Ko končajo s skeniranjem opeklina in konstruirajo 3D datoteko poškodbe, računalnik pove tiskalniku, kje začeti tiskanje in kakšen tip celic uporabiti. Vsaka celica ima točno določeno mesto, in tako lahko celice zrastejo kot nova koža. Na ta način želijo pomagati vojakom, ki se vrnejo z bojišča poškodovani. 3D bio - tiskanje je zaenkrat še v zelo zgodnjih fazah, potrebno bo še veliko raziskav in poskusov, da bo to dejansko uspelo,



vendar so znanstveniki s sedanjimi rezultati zadovoljni in optimistični glede prihodnjih (Lafontaine 2014).

#### **4.4 Logistično področje**

Prav tako se 3D tiskanje obrestuje v logistiki. Eden večjih izzivov v oboroženih silah je logistika, ki predstavlja izjemno breme. Če bi pospešili proizvodne zmožnosti, bi bili lahko sposobni tiskati potrebne dele tam, kjer bi bili potrebni in ne bi izgubljali časa s prevozom iz enega konca na drugega. (Rider 2014).

Do pred kratkim tako zmogljiv 3D tiskalnik, ki bi zmožel tiskanje delov na bojišču, kot lahko preprosto natisnemo papirnat dokument, še ni obstajal, vendar so kitajske oborožene sile letošnjem letu uradno potrdile, da so 3D tiskalnik vključile v logistične enote, več o tej temi bom predstavila v nadaljevanju.

Uporaba 3D tiskalnikov se razvija in je uspešna na medicinskem področju, v letalstvu in mnogih drugih. Le vprašanje časa je, kdaj bo tiskanje mogoče tudi v zaledju, v vsakodnevni rabi s strani posameznega vojaka. Trenutno ni mogoče, ker so materiali še dokaj neznani in predvsem predragi, da bi jih lahko uporabljali posamezni vojaki, zato jih večina oboroženih sil, uporablja v sodelovanju s civilnimi strokovnjaki. Ko bo to enkrat prišlo do te točke, se bo oboroženih silah zmanjšalo veliko stroškov. (Rider 2014)

ZDA so sicer že razvili premični laboratorij, vendar za njegovo delovanje in funkcionalno uporabo skrbijo civilni strokovnjaki v sodelovanju z oboroženimi silami (Rider 2014).

#### **4.5 Oprema vojaka**

Vojaki bodo v prihodnosti nosili 3D natisnjena oblačila in opremo. Vodja raziskovalne ekipe za vzorce in prototipe iz vojaškega raziskovalnega centra v ZDA LeFleur meni, da pokrivajo velik spekter oblačil in opreme kot so: bojne uniforme, dodatna oblačila, zaščitna oblačila pred kemičnimi in biološkimi vplivi, neprebojna oprema, rokavice, kape, pokrivala čelad in eksperimentalna oblačila iz novih materialov (Benson 2014).

Ekipe uporablja 2D oblikovalni program, vendar so v polnem pričakovanju zaradi možnosti, ki jih ponuja 3D tehnologija. Ena od možnosti je, da bi se lahko izboljšala fleksibilnost oblačil. Združili bi trdne in mehke materiale v en dizajn ter tako dobili zaščitno obleko, ki bi imela prehodna območja med mehkiimi in trdnimi materiali. Na ta način bi bilo telo zaščiteno z eno obleko, vendar še vedno dovolj gibljivo, da bi omogočalo nemoteno gibanje. (Benson 2014)

3D tiskanje bi tudi zmanjšalo število šivov, kar bi pripomoglo k večjemu udobju oblačil, kajti šivi povzročajo neudobje predvsem v visokih temperaturah in v vlagi, še posebej, če so pod neprebojno zaščito. V primeru oblačil za zaščito pred kemičnimi in biološkimi vplivi pa bi zmanjšanje šivov pomenilo še večjo stopnjo neprebojnosti oblačil.(Benson 2014)

Nenazadnje pa bi tehnologijo lahko uporabili tudi za izdelovanje oblačil po meri, kar bi zmanjšalo težo (Benson 2014).

Pri svojih raziskavah uporabljajo CAD programe in sicer tako, da iz sistema CAD vzamejo datoteko in tako dobijo vzorec. Nato vzamejo obstoječ izdelek, ki se je dobro izkazal na testih, mu odvzamejo oblikovne značilnosti, na primer ovratnik ali zavihke in na ta način dobijo osnovno silhueto v določeni velikosti, ki jo nato oblikujejo po novih zamislih. Prilagajajo pa lahko tudi velikost vzorcev glede na velikost izdelka(Benson 2014).

Strokovnjakinja LaFleur (2014)pravi da je zanjo 3D tiskanje zgolj orodje in da se delovni procesi spreminjajo že od nekdanj še vedno pa bo potreben oblikovalec ki bo razumel nove možnosti (Benson 2014).

#### **4.6 Prihodnost 3D tiskanja**

V preteklih 30ih letih se je 3D tiskanje spremenilo iz tehnologije z omejenimi možnostmi do tehnologije prihodnosti. Strokovnjaki napovedujejo, da bo v prihodnjih 10 – 15 letih 3D tiskanje revolucioniziralo tako komercialno kot obrambno industrijo (McNally 2014).

Davis (v McNally 2014)meni, da se tehnologija 3D tiskanja razvija, zato mora vojaška industrija ne le podrobno opazovati in spremljati napredek, ampak v njem tudi aktivno sodelovati in tako zmanjševati prepreke za aktivno implementacijo tehnologije v vojaško industrijo. Ne glede na to ali se bo proizvajalo dele za trenutno potrebo ali popravilo, se bodo oborožene sile v prihodnosti vsekakor zanašale na aditivno proizvodnjo (McNally 2014).

Aditivna proizvodnja je, kot sem že omenila, proces izdelave tridimenzionalne strukture z dodajanjem materiala na mesta,kjer ga prej ni bilo in je kot taka popolno nasprotje tradicionalni proizvodnji, ki začne s celim kosom materiala in ga preoblikuje v želeno obliko. Pri tem moram poudariti, da je 3D tiskanje proces znotraj aditivne proizvodnje, nista pa to dva enaka procesa. 3D tiskalnik je specifično narejen, da je videti kot tiskalnik, ima torej iztisno glavo, materiali se iztiskajo in konsolidirajo sloj po sloju v tridimenzionalno obliko. Material je lahko plastičen, kovinski ali pa organski. Proces 3D tiskanja je fleksibilen in omogoča uporabnikom proizvodnjo skoraj neomejenih možnosti. (McNally 2014)

#### **4.6.1 Vojaška vizija**

Dolgoročni cilj razvoja 3D tehnologije je, da bo vojak na misiji ali doma sposoben uporabljati 3D tiskalnik vsakodnevno. Uporaba bi bila videti tako, da bi vojak v bazi datotek poiskal datoteko ki jo potrebuje za izdelavo dela, jo naložil v 3D tiskalnik in natisnil del ki bi bil pripravljen za takojšnjo uporabo. Kot pravi Davis (v McNally 2014) je to vizija prihodnosti: oborožene sile se morajo osredotočiti na razvoj te tehnologije in prednostne politike, da bi uspele uresničiti to vizijo. Vzemimo konkreten primer, pogonsko kolo tanka, ki je oblikovano iz zelo specifične zmesi železa in aluminija, kar predstavlja zelo specifične lastnosti materiala. Del je bil pred uporabo testiran, kvalificiran in potrjen, da so oblika, material in sam proces ustrezni glede na zahteve. S 3D tiskanjem in postopkom mogoče ne bi mogli pridobiti takšnih lastnosti materialov. Posledice samega postopka bodo v vsakem primeru vidne v končnem izdelku. Obstajajo pa tudi druge prepreke v uvajanju 3D tiskanja kot postopka, ki je sposoben nadomestiti tradicionalno proizvodnjo. Če sedaj odmislimo 3D tiskanje in se osredotočimo zgolj na material, pogledajmo, kaj se zgodi. Imamo aluminijasto strukturo v obliki satovja, ki jo želimo spremeniti v kompozitno strukturo. Takšna predelava predstavlja velik izziv ter predvsem veliko stroškov. Problem je v tem da se ne uvaja enega novega izdelka, ampak se uvaja popolnoma nov postopek, kako ta izdelek ustvariti, kar pa predstavlja izziv, ki mu trenutno še ni kos nobena vojaška industrija (McNally 2014).

#### **4.6.2 Področja uporabe**

Vojaška industrija se mora zavedati, da išče materiale, ki presegajo zmožnosti materialov, namenjenih za komercialno uporabo. Potrebno je določiti materialne podatke, procesne parametre in bazo datotek oziroma knjižnico, kjer bodo dostopne datoteke delov, ki bodo odobrene in kvalificirane. Potrebno bi bilo tudi ustanoviti center, ki se bo ukvarjal zgolj s tem in zagotavljal nemoten dostop vojski tako doma kot na bojišču. (McNally 2014)

Oborožene sile bodo vsekakor prišle do točke, ko bodo lahko tiskale in izdelovale dele z uporabo aditivnih procesov, ki bodo povezani oz. kombinirani z subtraktivnimi procesi. Vendar do te točke je za enkrat še dolga pot, potrebnega bo veliko sodelovanja z vladnimi kot z nevladnimi znanstvenimi ustanovami (McNally 2014).

## **5 PREGLED UPORABE 3D TISKALNIKOV PO POSAMEZNIH DRŽAVAH**

V tem poglavju bom predstavila uporabo 3D tiskalnikov v oboroženih silah po posameznih državah. Ker se količina dostopnih podatkov od države do države spreminja, sem se odločila, da predstavim od enega do največ tri največje dosežke pri posamezni državi. V prejšnjem poglavju sem predstavila različna področja, tukaj pa bom navedla konkretne primere uporabe, s čimer bom tudi odgovorila na svoje raziskovalno vprašanje.

### **5.1 ZDA**

#### **5.1.1 Brezpilotna letala**

V mestu Wichita Falls v Texasu je razvojno izobraževalni center ameriških oboroženih sil, ki oblikuje, razvija in proizvaja simulatorje in druge pripomočke za usposabljanje. Ti predmeti so uporabljeni v številnih vadbenih okoljih vključno z aviatiko, oborožitvenih sistemih, medicinsko pripravljenostjo in telekomukacijskimi sistemi. (Stratasys 2015)

Simulatorji in ostali pripomočki so lahko originalni ali pa zgolj replike, odvisno od potrebe usposabljanja. Nekatere naprave dejansko niso potrebne v delujočem stanju, torej njihov nakup ni ravno smiseln. V večjem delu usposabljanja je bolj ekonomično, če se uporabljajo replike namesto ekstremno drage opreme, zato TDF uporablja direktno digitalno proizvodnjo za izdelovanje vadbene opreme, v ta namen uporablja 4 tiskalnike s FDM tehnologijo. (Stratasys 2015)

Pred uporabo aditivne proizvodnje je center TDF uporabljal tradicionalne proizvodne metode, kar je zahtevalo veliko več časa, saj je za izdelavo potrebnih več korakov kot so: izdelava, stuženje, varjenje, upogibanje in rezanje pločevine... Večina projektov TDF-a pa je enkratnih in zato tradicionalne metode postanejo drage. (Stratasys 2015)

Rešitev so našli v 3D tiskanju in kot meni strokovnjak TDF-a, Weatherley, investicije niso več dolgotrajne, deli ki jih proizvajajo so trpežni in imajo visoko vsebnost podrobnosti, ki jih zahtevajo, poleg tega pa je proizvodnja okolju varna in prijazna, saj nima nikakršnega odpadka. (Stratasys2015)

V centru TDF so proizvedli natančno repliko brezpilotnega letala oziroma drona za usposabljanje mehanikov. Proizvedli so vrsto notranjih in zunanjih komponent kot so: ogrodje, propelerji in antene (Stratasys 2015).

Profit se je pokazal že samo s proizvodnjo velike antene na brezpilotnem letalu, saj so z FDM tehnologijo prihranili tako na času kot na denarju. Z tradicionalno metodo bi za izdelavo antene potrebovali 20 dni, s FDM tehnologijo jim je to uspelo v zgolj dveh dnevih. Izračunali so, da so za celoten projekt v določenih točkah na tak način prihranili tri leta časa ter se izognili 800.000 dolarjev dodatnih stroškov. (Stratasys 2015)

TDF je svoj prvi tiskalnik s FDM tehnologijo kupil leta 2004 in od takrat so vladi prihranili 3,8 milijonov dolarjev, računajo pa da bodo v obdobju od 10 do 15 let vladi prihranili 15 milijonov dolarjev. (Stratasys 2015)

### **5.1.2 Premični laboratoriji**

Ameriške oborožene sile so 7. januarja 2013 poslale svoj drugi premični laboratorij v Afganistan. Vsak laboratorij je na zunaj videti kot kontejner, notranja oprema pa je proizvedena v vojaškem raziskovalnem centru v sodelovanju s civilnim podjetjem Exponent. Lahko se ga transportira kamorkoli z pomočjo tovornjaka ali helikopterja. Laboratorij je opremljen z 3D tiskalniki in računalniškimi številčnimi kontrolami in lahko tiska dele iz aluminija, plastike in železa. (Torruella 2013)

Za laboratorij je, ne glede na to da je stacioniran v Afganistanu, odgovorna skupina civilnih strokovnjakov, ki skrbijo za nemoteno delo (Asclipiadis 2014).

Civilni strokovnjaki imajo možnost, da ustvarijo hitre prototipe z pomočjo CAD programa in tako pospešijo oblikovni in proizvodni proces, kot tudi zmanjšajo logistične težave in zagotovijo takojšnjo podporo bojni črti (Torruella 2013).

Premične laboratorije so ustvarili predvsem zato, da bi zmanjšali čas, ki ga nadomestni del potrebuje od tovarne do vojaka. V teh laboratorijih lahko proizvajajo rezervne dele kot so:

- okvirji,
- kasete,
- modifikacije kontrolnih tabel,
- ter ostale nadomestne dele po katerih se pokaže potreba (Torruella 2013).

Zaradi ekstremno dobrih rezultatov, ki jih je prinesla uporaba premičnih laboratorijev, v ZDA razmišljajo, da bodo do leta 2025 uporabo 3D tiskalnikov razširile na posamezne enote in tako olajšale delo vojakov, predvsem na misijah, kamor je včasih težko v kratkem času poslati potrebovani nadomestni del za popravilo (Asclipiadis 2014).

### **5.1.3. Vodljive rakete**

Podjetje Raytheon je obrambno podjetje, ki že skoraj stoletje oskrbuje ameriške oborožene sile z različno oborožitvijo, predvsem z vodljivimi raketnimi sistemi. Ker so vodilno podjetje v izdelovanju zračnih izstrelkov, ne bi bilo nobeno presenečenje da bi tudi oni naredili inovacije na tem področju s pomočjo 3D tehnologije (Hipolite 2015).

Raytheon uporablja in eksperimentira s 3D tehnologijo že več let, predvsem v procesu izdelave prototipov. Junija letos pa so sporočili, da so uspešno natisnili vsako komponento, ki je potrebna za vodljivo orožje. To pomeni, da so natisnili raketne motorje, komponento, ki nadzoruje vodenje in nadzorni sistem, krmilni sistem na sami raketi... Pravi potencial pa je ideja, da bi se lahko izstrelke natisnilo na terenu samem(Hipolite 2015).

Kot vsa visoko tehnološka podjetja pa tudi Raytheon vse bolj gleda na 3D tiskanje kot na nov način izdelovanja produktov, med drugim tudi 3D natisnjena elektronska vezja. Trenutno so v procesu razvijanja natisnjenega kompleksnega vezja ter majhne mikrovalovne komponente, ki bi bila lahko uporabljena v proizvodnji zračnega obrambnega sistema Patriot (Hipolite 2015).

S 3D tiskanjem so poenostavili in pospešili procese proizvodnje, kjer so razvojni cikli veliko krajši, prav tako pa lahko izdelujejo kompleksnejše oblike, ki jih prej zaradi tradicionalne proizvodnje niso mogli (Hipolite 2015).

V podjetju Raytheon so zelo optimistični glede prihodnosti in verjamejo, da bo nekoč mogoče s 3D tiskalnikom natisniti izstrelak neposredno na bojišču, kjer ga bo vojak tudi takoj lahko sestavil. Sicer se zavedajo, da smo od te točke še daleč, potrebno bo razviti veliko bolj dosledno metodo produkcije, da bodo orožja natisnjena na terenu varna in natančna. Najpomembnejše pa je da so dokazali, da jih je možno natisniti (Hipolite 2015).

V Lowell Research Inštitutu so pojasnili, da preden bi lahko vojak natisnil izstrelak na terenu, bi potrebovali kvalitetne, kontrolirane procese za izdelavo vseh komponent različnih materialov. Najtežji del je nato izdelovati povezave med posameznimi komponentami, recimo integrirano nadzorno vezje, ki prejema navodila za prižig varovalke. V neki točki procesa jih bo potrebno spojiti s pomočjo tiskanja ali pa ju bo v prihodnosti mogoče natisniti celo skupaj (Hipolite 2015).

## **5.2 Velika Britanija**

### **5.2.1 Letalstvo**

Panavia Tornado GR.4 ofenzivno letalo je prvo letalo, ki je uspešno vzletelo s 3D natisnjenimi deli. Tornado je letalo britanskih Kraljevih zračnih sil (RAF) in v sodelovanju z korporacijo BAE systems in podjetjem Combat Engineering jim je uspelo ustvariti nemogoče (Gething 2014).

Inženirji uporabljajo proces 3D tiskanja za izdelavo končnih delov:

- zaščitne pokrove radijev v pilotski kabini,
- podporne opornike za air intake doors,
- zaščitna varovala za odvzem moči gredi (Gething 2014).

Ta proces je del programa za zmanjšanje stroškov popravil, vzdrževanja in uporabe letal Tornado, ki bi bila drugače leta 2019 označena kot zastarela. Nekateri deli, ki jih natisnejo, stanejo manj kot 100 funtov za kos in BAE Systems tako ocenjuje, da so v obdobju parih mesecev že prihranili več kot 300.000 funtov ter da bodo v naslednjih štirih letih na ta način prihranili več kot 1.2 milijona funtov. (Gething 2014)

Proces se je izkazal za zelo uspešnega in tako ne samo Britancem, ampak celemu svetu odprl vrata v čisto nov svet 3D tiskanja (Gething, 2014).

### **5.2.2 Brezpilotna letala**

Junija letos je Britanska Kraljeva mornarica na vojaški vaji uspešno testirala dron, natisnjen s 3D tehnologijo. Z razponom kril 1,5 metra je SULSA (Southampton University laser sintered aircraft), dron s propellerskim pogonom prvič poletel iz patroljnega plovila z namenom demonstracije, kako se drone lahko uporablja v vojaških in reševalnih akcijah. Dron je bil natisnjen na obali, sestavljen pa na plovilu, kar prikazuje možnost skladiščenja natisnjenih delov, ki bi jih sestavili v primeru, ko se za to pokaže potreba. (Edwards 2015)

V Inštitutu mehaničnih inženirjev menijo, da bi tiskanje dronov direktno na ladji, ne samo zmanjšalo stroške, ampak tudi omogočalo posadki, da se hitro prilagodi novo nastalim situacijam. Zato v petih let načrtujejo, da bodo vse mornariške ladje opremljene s 3D tiskalniki, ki bodo sposobni tiskanja z večimi materiali naenkrat. (Edwards 2015)

Droni, ki vzletavajo z ladij, so v uporabi že nekaj časa, vendar so veliko večji in veliko dražji, zato so droni, natisnjeni s 3D tehnologijo, skoraj primerni za enkratno uporabo, če primerjamo stroške. Natisnjen dron je težak tri kilograme in je izstreljen iz tri metrskega katapulte. Dron, ki so ga uporabili v vaji, je bil v celoti natisnjen s 3D tiskalnikom, posadka pa ga lahko sestavi v zgolj nekaj minutah.(Edwards, 2015)

## **5.3 Kitajska**

### **5.3.1 Topografija**

Kitajske oborožene sile so februarja 2014 razkrile prvo topografsko karto natisnjeno s 3D tiskalnikom in sicer karto urbanega terena mesta Lanzhou, prestolnice severozahodne province Gansu. Projekt so izpeljali s pomočjo civilnih raziskovalnih inštitutov in univerz, ki so ustvarile program, v katerem so oblikovali mapo mesta Lanzhou. Topografskoinformacijski center v poveljstvu Lanzhou je natisnilo mapo že novembra 2013. (Wong 2014)

Raziskovalci pravijo, da so 3D natisnjene mape odlično orodje za pridobitev boljšega razumevanja geografskega področja in bodo vsekakor uporabne za vojaško načrtovanje, službe nujne pomoči in civilno zaščito(Mitra-Thakur 2014).

Z vojaškega vidika pa so te topografske karte najnovejša nepogrešljiva pridobitev, saj zagotavljajo točne in zanesljive osnove za vojaške topografske analize, tako za častnike, da se lažje odločijo, kot za enote, da izpolnijo svoje naloge. Mapa je lahka in lahko prenosljiva v nasprotju z prejšnjimi tradicionalnimi mapami (Mitra-Thakur 2014).

Direktor raziskovalne ekipe Mingxiao je povedal, da so v nadaljnjih poskusih natančnost karte, ki je velikosti formata A4, še povečali in sicer iz 1mm na 0.1 mm odstopanja. Prav tako pa so zmanjšali čas tiskanja iz 24 ur na zgolj 8 ur. (Wong 2014)

Oborožene sile vidijo tridimenzionalne karte kot pomembno pridobitev v načrtovanju misij, saj zagotavlja več prostorskih informacij, ki jih na dvodimenzionalnih kartah ni. Prav tako so se karte izkazale za izredno uporabne v humanitarnih akcijah, ker so veliko lažje berljive tudi brez podrobnega topografskega znanja.(Wong 2014)



### **5.3.2 Logistika**

Po večih poskusih so kitajske oborožene sile sedaj tudi uradno pričele uporabljati 3D tiskalnik na terenu. Funkcija tiskalnika je natisniti rezervni del okvarjenega vozila v odročnih delih regij. (Microfabricator 2015)

Za demonstracijo zmožnosti 3D tiskalnika na terenu so organizirali vojaško vajo v južno zahodni provinci Chengdu. Vaja je bila zasnovana tako, da so prikazali različne scenarije dogodkov na terenu. (Microfabricator 2015)

V enem izmed scenarijev je tovornjak naložen z šestimi sodi nafte zagorel. Ko so vojaki pogasili požar, so pregledali vozilo in opazili, da je poškodovana sklopka za dovod goriva. Ker te sklopke niso obravnavane kot potrošni material, jih niso imeli na zalogi. Zato je skupina takoj odprla prenosni računalnik in ustvarila datoteko za tiskanje nadomestnega dela s 3D tehnologijo. Ko je bil proces tiskanja zaključen, je mehanik lahko takoj zamenjal nadomestni del s pokvarjenim. Ko so namestili nov del, so naredili hiter test, ki je pokazal, da se je vozilo vrnilo v normalno stanje in ekipa je bila zmožna nadaljevati svojo nalogo (Microfabricator, 2015).

Z uporabo 3D tiskalnika na terenu so povečali zmogljivosti popravil na terenu, prav tako pa so zmanjšali število obvezne opreme za popravila na terenu. Na določene misije vojaki ne morejo vzeti veliko nadomestnih delov, ker enostavno teren tega ne dopušča. V primeru okvare se tako misija ustavi dokler ne prispe nadomestni del, kar pa lahko vzame veliko zelo dragocenega časa. Zato so se kitajske oborožene sile odločile 3D tiskalnik namestiti na inženirsko vozilo ter vzpostaviti bazo datotek, ki bo vsebovala načrte za izdelavo zobnikov, tuljav, gredi in mnogih drugih nadomestnih delov. (Microfabricator, 2015)

## **6 NEVARNOST 3D TISKALNIKOV V TERORIZMU**

Nekaj let nazaj so postali 3D tiskalniki dostopni tudi za domačo uporabo, kar sproža vprašanje ali predstavljajo grožnjo tudi za porast terorizma. V tem poglavju bom predstavila, kako se različne države spopadajo s to grožnjo, kakšni so ukrepi, da posamezniki ne bi tiskali orožja doma ter ali se takšno tiskanje kaznuje in kako. Z analiziranjem in primerjanjem podatkov v tem poglavju bom lahko odgovorila tudi na moje drugo raziskovalno vprašanje.

## 6.1 Varnostna tveganja

ZDA se kot največja in najpomembnejša velesila čutijo odgovorne za vzdrževanje globalne blaginje in miru, zato so po tragičnem dogodku, ki jih je prizadel 11. septembra 2001 napovedale vojno terorizmu. Tej asimetrični vojni namenjajo zelo veliko pozornosti in sredstev, zato so z napredkom in razvojem 3D tehnologije tiskanja postali pozorni tudi na različne možnosti, ki bi jih teroristi lahko izkoristili.

Možnost, da bi lahko preprost računalniški virus fizično poškodoval stroje in osebje, se nam poraja kot znanstvena fikcija, vendar je vdor v iranski nuklearni laboratorij junija 2010 dokazal, da to še zdaleč ni znanstvena fikcija, temveč realna možnost. Računalniški črv neznanega izvora, imenovan Stixnet, je uspel zbrati zelo pomembne informacije in kar je najbolj impresivno, uspel je povzročiti, da so se nuklearne centrifuge v zgradbi pričele vrteti ekstremno hitro, da so dejansko trgale same sebe. Pri reševanju težav je bilo poškodovano tudi osebje. Ocenjujejo, da je bilo v tem napadu poškodovanih okoli 20 odstotkov vseh centrifug. (Krassenstein, 2014)

Sedaj pa se moramo vprašati, kakšno vlogo ima pri tem 3D tehnologija. Postopek 3D tiskanja je brez računalnika nemogoč, programske datoteke pa so v računalniških bazah. Ali lahko teroristi to izkoristijo in vdrejo v programe ter pridobijo pomembne informacije ter še pomembnejše, ali pri tem lahko koga tudi poškodujejo?

Ameriški Nacionalni Inštitut za standarde in tehnologijo je izdal poročilo, ki je izpostavilo nekatera tveganja, ki bi jih lahko predstavljalo 3D tiskanje v smislu ranljivosti zunanjih napadov. Poročilo navaja različne možnosti, kako bi bili lahko 3D tiskalniki uporabljeni v napadu in sicer: lahko bi zatrli proizvodnjo, škodovali opremi in pri tem celo povzročili eksplozije ter tako poškodovali osebje. Napad bi bil lahko usmerjen tako na 3D tiskalnike, ki jih uporablja vojska, kot na tiste za domačo uporabo. Zato so poročilu dodali tudi usmeritve, kako se zaščititi pred takšnimi napadi. (Krassenstein, 2014)

Obstaja več načinov infiltracije hekerjev v obrambne proizvodne zgradbe: Na primer, član osebja bi izdeloval izdelek s pomočjo SLS tehnologije, z vdorom v sistem bi heker lahko izkoristil ranljivost sistema in povzročil eksplozijo, ki bi uničila tiskalnik, poškodovala osebje in zaustavila proizvodnjo. (Krassenstein, 2014)

### **6.1.1 Upočasnitev proizvodnje**

Napad bi lahko upočasnil proizvodnjo tako, da bi heker vdrl in preobremenil računalniški sistem, ki poganja tiskalnik. Prav tako pa bi se lahko infiltriral v trdi disk, poškodoval podatke, kar bi vodilo do okvare strojne opreme. Napad v tej smeri bi povzročil, da bi se proizvodnja ustavila za več dni. (Krassenstein, 2014)

### **6.1.2 Poškodovanje ali celo umor osebja**

Teroristi bi se lahko infiltrirali v trde diske in spremenili nastavitve določenega stroja. Trdi diski in mreže zagotavljajo osnovna navodila aditivnim proizvodnim strojem. Možnosti nadzora kontrolnih nastavitvev preko trdega diska ali mreže bi bile katastrofalne. Heker bi lahko spremenil nastavitve tiskalnika tako, da bi se pričel pregrevati, kar pa, kadar delamo z močnimi laserji, ki proizvajajo visoke temperature, pomeni veliko nevarnost eksplozije. (Krassenstein, 2014)

Prav tako predstavlja veliko nevarnost nepravilna mešanica določenih metalnih materialov, saj se topijo pri visokih temperaturah, kar bi lahko povzročilo kemijsko reakcijo, ki bi lahko vodila do eksplozije. Heker bi tako lahko prevzel nadzor in vnesel nastavitve, ki bi spremenile mešanice materiala ter povzročil eksplozijo. (Krassenstein, 2014)

V teh napadih sicer ne bomo doživeli množičnega uničevanja in velikega števila mrtvih, temveč pomembno spodkopavanje pomembnih proizvodnih mrež, na katere se močno zanašata tako vojska kot ekonomija. Z napredkom 3D tehnologije, vse večjo uporabo teh sistemov in širitvijo kemikalij in vnetljivih materialov, so vse bolj ogroženi tako zaposleni kot tudi sama infrastruktura, v kateri je proizvodnja. Zato so primerni varnostni ukrepi in varnostna merila nujno potrebni, da bi se možnosti za naštete napade zmanjšale. (Krassenstein, 2014)

## **6.2 Varnostni ukrepi**

Pomembno je razmisliti o informacijski varnosti v posameznih fazah razvoja sistema in vzpostaviti varnostne parametre že v začetnih fazah. Prav tako je pomembno razmisliti o zmožnostih in varnostni funkcionalnosti naprave skupaj z varnostnim položajem in toleranco tveganja organizacije pred nakupom oziroma uporabo naprave. (Dempsey in Paulsen, 2014)

Inštitut za standarde in tehnologijo je leta 2014 pripravil poročilo za vse vladne in nevladne institucije, kako zavarovati svoje naprave pred morebitnimi napadi. (Dempsey in Paulsen, 2014)

V uvajalni fazi naprave je potrebno razmisliti, kako se bo naprava uporabljala, ali bo povezana z omrežjem ter kakšne varnostne kontrole bodo potrebne za zaščito tajnosti podatkov. (Dempsey in Paulsen, 2014)

V razvojni fazi je potrebno raziskati in razmisliti o dosegljivih varnostnih možnostih, kot so:

- varnostna konfiguracija, ki jo zagotovi proizvajalec;
- fizično zavarovanje naprave (varovanje z verigo ali ključavnico);
- fizična zaščita trdega diska (ključavnica za dostop);
- vzdrževanje naprave izvaja notranje osebje;
- šifriranje pri prenosu ali shranjevanju (gesla);
- preverjanje pooblastil za dostop do naprave (gesla, varnostna kartica...);
- avtomatski varnostni izklop naprave (Dempsey in Paulsen, 2014).

V tretji fazi, preden se začne naprava uporabljati, je potrebno napravo varno konfigurirati in nato tudi izvajati ustrezen varnostni nadzor (Dempsey in Paulsen, 2014).

V fazi uporabe in vzdrževanja je potrebno vseskozi spremljati delovanje naprave. Včasih se le tako odkrije, da je prišlo do morebitnega vdora v smislu nepojasnjenih in neodobrenih sprememb konfiguracijskih nastavitev ali v počasnejšem delovanju naprave. (Dempsey in Paulsen, 2014)

### **6.3 Zakonodaja in ukrepi držav proti posameznikom ki nezakonito tiskajo orožje**

V tem delu poglavja bom predstavila, kako se posamezne države prilagajajo spremembam varnostnih tveganj, ki ji prinaša 3D tehnologija. Tudi v tem poglavju se bom osredotočila na tri države in sicer ZDA, Veliko Britanijo in Kitajsko.

#### **6.3.1 Združene države Amerike**

ZDA so ena izmed prvih držav, kjer so postali 3D tiskalniki dostopni tudi za domačo uporabo, zato so se morali zaradi različnih inovacij prebivalcev na področju tiskanja orožja dokaj hitro prilagoditi in tako so sprejeli zakon glede tiskanja orožja. Prepovedano je vsako tiskanje in posedovanje 3D natisnjene orožja. Vendar je ta zakon v velikem nasprotju z dvema amandmajema, ki spodkopavata ta zakon in sicer: 1. Amandma, ki poudarja pomen svobodnega izražanja ter 2. Amandma, ki zagotavlja pravico do nošenja orožja. (Blackman, 2014)

Alternativna možnost prepovedi tiskanja in posedovanja orožja je prepoved uporabe materialov, ki se uporabljajo za tiskanje 3D orožja. Kar pa spet ni sprejemljiva možnost, kajti praktično nemogoče bi bilo izločiti materiale, ki se uporabljajo za tiskanje orožja od tistih, ki za to niso primerni. (Blackman, 2014)

Nastaja pa tudi problem intelektualne lastnine, saj so določeni izdelki zaščiteni z patenti, blagovnimi znamkami in z avtorskimi pravicami. Širjenje uporabe 3D tiskalnikov bo zmanjšalo njihovo vrednost na trgu. Podjetja vlagajo v razvoj izdelkov, CAD datoteka za izdelavo je dosegljiva na spletu in jo lahko natisne vsak uporabnik. Zato obstaja več predlogov rešitve tega problema:

1. Filtriranje CAD datotek dosegljivih na internetu, kar pomeni, da filter identificira nelegalno prenesene datoteke.
2. Upravljanje z digitalnimi pravicami na 3D tiskalnikih. Ideja je zasnovana tako, da bi se v 3D tiskalnik naloži program, ki bi zaznal patentirane ali avtorsko zaščitene datoteke in tako sam preprečil njihovo tiskanje.
3. Zakon o digitalnem patentu, ki bi zavezoval spletne strani z datotekami za 3D tiskanje: v primeru, ko dobijo pritožbo glede patenta, odstranijo datoteko, v primeru da je ne odstranijo, kazensko odgovarjajo (Blackman, 2014).

V ZDA se odvijajo ogromne debate o tem, kaj bi bilo potrebno storiti, kakšen zakon uvesti... Vendar ne glede na vse debate, trenutni zakon o popolni prepovedi nima zakonske podlage, saj ga prva dva amandmaja razveljavita. Kalifornija je v ta namen predlagala zakon, ki bi tiskanje lastnega orožja brez dovoljenja in serijske številke označila kot kriminalno dejanje, dovolila pa bi tiskanje orožje, za katero bi uporabnik zaprosil in zanj pridobil serijsko številko. (Blackman, 2014)

### **6.3.2 Velika Britanija**

Velika Britanija je leta 2013 prepovedala izdelati, kupiti ali prodajati 3D natisnjeno orožje ali sestavne dele orožja. Kršitelji zakona lahko dobijo zaporno kazen in sicer do 10 let. Zakon so zaostriili, ko je več strokovnjakov izrazilo pomisleke glede tiskanja orožja. (Robertson, 2013)

Grožnjo natisnjenega orožja in tako posledično nesledljivosti proizvodnje orožja jemljejo ekstremno resno, saj so osumljenca, pri katerem so našli zgolj datoteko za tiskanje enega dela orožja, pridržali za več kot 10 ur ter ga na koncu tudi aretirali. (Thompson in Wheatstone, 2013)

### **6.3.3 Kitajska**

Kitajska je glede 3D tiskanja uvedla kar nekaj zakonov, vsi pa so bolj ekonomske narave in sicer predvsem glede 3D tiskanja blagovnih znamk in patentov (Murphy in Xuan, 2014). Predlagani mehanizmi za preprečevanje nelegalnega 3D tiskanja datotek, ki so zaščitene kot intelektualna lastnina ali blagovna znamka, so skoraj identični ameriškim mehanizmom, ki sem jih opisal v poglavju 6.3.1. Ni pa dostopnih podatkov o tem, kakšno imajo zakonodajo v primeru nelegalnega tiskanja orožja.

## 7 ZAKLJUČEK

V svojem diplomskem delu sem predstavila 3D tehnologijo tiskanja tridimenzionalnih modelov in uporabo le teh v vojaški industriji, na koncu pa sem predstavila še del grožnje, ki jo ta tehnologija predstavlja.

V sklopu diplomske naloge sem si postavila dve raziskovalni vprašanji.

### 1. V katerem rodu/zvrsti oboroženih sil imajo 3D tiskalniki največji potencial?

Po pregledu razpoložljive literature menim, da ima uporaba 3D tiskalnikov velik potencial na vseh opisanih področjih v diplomskem delu. Trenutno je res največji potencial v letalstvu, vendar s tem področjem se ZDA in Velika Britanija tudi najdlje ukvarjata. ZDA so začele s proizvodnjo prototipov za usposabljanje že leta 2004, kar pomeni da se s tem področjem ukvarjajo že več kot desetletje. Dejansko se je ves razvoj 3D tehnologije v vojaški industriji začel z letalstvom, saj uporaba 3D tehnologije za tiskanje rezervnih delov, dronov in brezpilotnih letal pomeni velik prihranek tako časa kot denarja. Vendar je med tem razvojem prihajalo do 'aha' trenutkov, ko so se pojavljale nove in nove ideje o možnih področjih, kamor bi se tehnologija lahko razvila. In tako danes že beremo članke o natisnjenih rokah za poškodovane veterane, o nadomestnih delih, ki jih je mogoče natisniti neposredno na terenu in o natisnjenih vodljivih izstrelkih. Kitajska na primer, potrjuje moj odgovor na raziskovalno vprašanje, saj svojo pozornost usmerja predvsem v razvoj uporabe 3D tiskalnika v logistični podpori ter izdelavi topografskih kart. Verjamem tudi, da bodo 3D tiskalniki postali sestavni del posameznega vojaka na vsakodnevni rabi uresničena prej kot v desetletju, kar bo popolnoma revolucioniziralo zmogljivosti logistične podpore.

Moje drugo raziskovalno vprašanje pa se nanaša na zadnje poglavje in sicer kako dostopnost 3D tiskalnikov omogoča njihovo zlorabo v teroristične namene.

### 2. Na kakšen način proizvajalci/države to preprečujejo in v kolikšni meri so uspešni pri tem?

Državi, ki sem ju za namen odgovora na to raziskovalno vprašanje obravnavala, ZDA in Velika Britanija (za Kitajsko žal nisem našla dostopnih podatkov na to temo), to preprečujeta tako, da sta prepovedali vsakršno tiskanje in posedovanje, prodajo ali nakup orožja, ki gre lahko čez detektor kovine, ne da bi ga le - ta zaznal. Velika Britanija je pri tem dokaj uspešna in grožnjo jemlje zelo resno, kljub temu, da še ni imela večjih varnostnih tveganj. Prav tako je predvidena zaporna kazen do deset let za morebitne kršitelje tega zakona.

Medtem ko se v ZDA odvija popolnoma drugačna zgodba. Natisnjeno orožje so prepovedali, vendar prvi in drugi amandma ameriške Ustave zakon popolnoma razveljavljata. Situacijo so poskušali rešiti z natančno določenim zakonom, ki prepoveduje natisnjeno orožje, ki gre lahko skozi detektor kovine ne da bi bil zaznan, vendar so pričeli ljudje v plastično natisnjeno pištolo potiskati majhen del kovine, ki ga je možno hitro odstraniti. Na takšen način so naredili nelegalno orožje 'legalno' v primeru ko jih je zajela policija. Idejo so uporabljale predvsem tolpe.

Predstavila sem tudi varnostna tveganja in varnostne ukrepe, ki jih je v svojem poročilu predstavil inštitut za standarde in tehnologijo, vendar to so zgolj temeljne usmeritve, za katere dvomim, da bi ob morebitnem hekerskem napadu zadostovale.

Na prvi del raziskovalnega vprašanja lahko tako odgovorim da se proizvajalci predvsem pa države trudijo preprečiti oziroma vsaj omejiti tiskanje orožja s 3D tehnologijo, koliko pa so pri tem uspešni, je relativno. Do določene mere so uspešni, saj so preprečili vsaj tiskanje orožja s strani posameznikov. Po drugi strani pa nobeden izmed teh ukrepov ne bo ustavil organizirane kriminalne združbe oziroma organiziranega napada teroristov.

Videli smo, kako hitro se razvija 3D tehnologija tiskanja na vseh področjih, vendar se pri vsem tem vrtoglavo hitrem napredku pozablja na najpomembnejše. Na možne grožnje, ki jih ta napredek povzroča.



## 8 Literatura

1. *Army technology*. 2014. Research vision,2(4): 4.
2. Asclipiadis, Adam. 2014. Getting to right faster. *Army Technology* 2(4): 12.
3. Beharič, Zdenka. 2008. *Materiali in obdelave v strojništvu: učbenik za modul materiali in obdelave*. Ljubljana:Tehniška založba Slovenije.
4. Benson, Jane. 2014 a. NSRDEC Uses 3 – D. *Army Technology*, 2(4): 23.
5. --- 2014 b. Wearable 3-D. *Army Technology* 2(4): 24.
6. Blackman, Josh. 2014. *THE 1ST AMENDMENT, 2ND AMENDMENT, AND 3D PRINTED GUNS*. Dostopno prek: <http://www.thefederalistpapers.org/wp-content/uploads/2014/09/SSRN-id2450663.pdf> (31. avgust 2015).
7. Bremen, Sebastian, Wilhelm Meiners in Andrei Diatlov. 2012. Selective Laser Melting: A manufacturing technology for the future?. *Laser Technik Journal* 9(2): 1–2 2. maj. Dostopno prek: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/latj.201290018/pdf> (14. avgust 2015).
8. Butler Millsaps, Bridget. 2015. *Israeli Military Now 3D Printing Drones With American-made Printers*. Dostopno prek: <http://3dprint.com/86114/israelis-3d-printers-robots/> (2. september 2015).
9. Dempsey, Kelley in Celia Paulsen,. 2014. *Risk Management for Replication Devices*. Dostopno prek: [http://csrc.nist.gov/publications/drafts/nistir-8023/nistir\\_8023\\_draft.pdf](http://csrc.nist.gov/publications/drafts/nistir-8023/nistir_8023_draft.pdf) (31. avgust 2015).
10. Edwards, TE. 2015. *Royal Navy Launching 3D Printed SULSA Drones Off of Naval Ship*. Dostopno prek: <http://3dprint.com/83805/sulsa-3d-printed-drone/> (1. september 2015).
11. Grünberger, Thomas in Robert Domrös,. 2015. Direct Metal Laser Sintering: Identification of process phenomena by optical in-process monitoring. *Laser Technik Journal*10(5). Dostopno prek: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/latj.201500007/pdf> (15. avgust 2015).
12. Gething, J. Michael. 2014. 3-D parts fly for first time on Tornado. *Jane's Defence Weekly* (9. januar).
13. Hipolite, Whitney. 2015. *3D Printed Guided Missiles are Now a Reality Thanks to Raytheon*. Dostopno prek: <http://3dprint.com/81850/3d-printed-guided-missiles/> (2. september 2015).

14. Joe Hiemenz. 2014. *3D Printing with FDM: How it works*. Dostopno prek: [http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Secure/White%20Papers/Rebranded/SSYS\\_WP\\_3d\\_printing\\_with\\_fdm.pdf?v=635393106532802826](http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Secure/White%20Papers/Rebranded/SSYS_WP_3d_printing_with_fdm.pdf?v=635393106532802826) (14. avgust 2015).
15. Krassenstein, Brian. 2014. *Could terrorists hack 3D printers to halt military manufacturing, or even kill?*. Dostopno prek: <http://3dprint.com/14970/3d-print-hack-terrorism/> (31. avgust2015)
16. Lafontaine, Dan. 2014. Medical applications for 3 – D. *Army Technology* 2(4): 14.
17. McNally, David. 2014. The future of 3D printing. *Army Technology* 2(4): 6.
18. Microfabricator. 2015. *Chinese military begins using part production library for 3D printing replacement parts in the field*. Dostpono prek: <http://www.3ders.org/articles/20150812-chinese-military-begins-using-part-production-library-for-3d-printing-replacement-parts.html> (1. september2015)
19. Mitra-Thakur, Sofia. 2014. Chinese military hails breakthrough in 3D map printing. *Engineering & Technology* 4 (2): 22.
20. Murphy, Matthew in Xuan, Sarah. 2014. *Chinese Intellectual Property Aspects of 3D Printing*. Dostopno prek: <http://www.hg.org/article.asp?id=30501> (2. september 2015).
21. Rider, Timothy. 2014. 3-D printing benefits for logistics. *Army Technology* 2(4): 8.
22. Robertson, Adi. 2013. *UK Home Office adds formal ban on 3D-printed guns to firearms rule*. Dostopno prek: <http://www.theverge.com/2013/12/6/5181948/uk-home-office-adds-formal-3d-printed-firearm-rules> (1. september 2015)
23. Stratasys. 2015 a. *Defense*. Dostopno prek: <http://www.stratasys.com/industries/defense> (14. avgust 2015)
24. --- 2015 b. *Direct digital manufacturing takes flight*. Dostopno prek: <http://usglobalimages.stratasys.com/Case%20Studies/Aerospace/SSYS-CS-Fortus-Sheppard-08-13.pdf?v=635139796169574446> (15. avgust2015).
25. --- 2015 c. *Printing with FDM tecnology*. Dostopno prek: <http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/fdm-technology> (14. avgust 2015).
26. Thompson, Dan in Richard Wheatstone. 2013. *Man arrested over '3D printed gun' admits he had downloaded blueprints, but never used them*. Dostopno prek: <http://www.manchestereveningnews.couk/news/greatermanchesternews/wythenshawe-man-arrested-greater-manchester-6243642> (1. september.2015).
27. Torruella, Anika. 2013. US Army printing accelerates prototype production. *Jane's Defence Weekly* (10. januar).

28. Wong, Kelvin. 2014. PLA masters 3-D map printing. *Jane's Defence Weekly* (24. februar).