



Försvarshögskolan

Rapport självständigt arbete

Kurs: Påbyggnadskurs Militärteknik: Självständigt arbete C-nivå	
Kurskod: 1OF048	Poäng: 15 hp
Handledare: Johan Granholm	Datum: 2025-03-31
Examinator: Hans Liwång	Antal ord: 7727
Svensk titel Additiv tillverkning i Försvarsmaktens logistik: Bidraget till militär effektivitet vid reparation och underhåll av fordonssystem i fältmiljö.	
<u>Sammanfattning</u> Detta arbete undersöker den militära effektiviteten för additiv tillverkning av reservdelar till fordonssystem i fältmiljö. Arbetet använder sig av en dokumentinsamling och tematisk analys för att utvärdera tillverkningsteknikens operativa och taktiska förmåga samt dess potentiella möjligheter och begränsningar. Resultatet visar att additiv tillverkning har en stor potential att förbättra den militära effektiviteten genom att minska beroenden av långa logistikflöden. Tekniken kan även möjliggöra snabb och flexibel produktion av reservdelar direkt i fält, vilket kan förkorta reparationstiden och underlätta upprätthållandet av fordonens driftsförmåga i utmanade fältmiljöer. Studien identifierar dock flera begränsningar med tekniken. En av de största begränsningarna är materialval och kvalitetskontroll där de utskrivna delarna behöver uppfylla olika typer av krav för att fungera i de sammanhanget den är tänkt att användas. Erfarenheter av additiv tillverkning från övningen Cold Response 2016 visar att produktionstider kan vara långa och att tekniska problem såsom strömavbrott kan påverka tillgängligheten på systemet. Det krävs även korrekt utbildad personal och säker tillgång till digitala ritningar för att tillverkningstekniken ska vara effektiv. I det stora hela visar studien att additiv tillverkning kan stärka den militära effektiviteten genom snabbare reparationer och minskat yttre logistiskt behov, men att tekniken ännu har begränsningar som behöver åtgärdas.	
<u>Nyckelord:</u> Additiv tillverkning, 3D-skrivare, Militär effektivitet, Militär nytta, Reservmaterielsförsörjning	



Thesis report

Course: Advanced Course Military Technology, Independent Project	
Course code: 1OF048	Credits: 15 ECTS
Supervisor: Johan Granholm	Date: 2025-03-31
Examiner: Hans Liwång	Number of words: 7609
English title Additive manufacturing in the Swedish Armed Forces Logistics: Contribution to military efficiency in the repair and maintenance of vehicle systems in a field environment.	
Abstract This work investigates the military effectiveness of additive manufacturing of spare parts for vehicle systems in a field environment. Through document studies and thematic analysis, the operative and tactical ability of the technology are evaluated, as well as its potential opportunities and limitations. The result shows that additive manufacturing has the potential to improve military efficiency by reducing dependence on long logistics flows. The technology can enable flexible and rapid production of spare parts directly in the field, which can shorten down the repair time and facilitate maintaining the vehicle's operational capability in challenging field environments. However, the study identifies several limitations with the technique. One of the biggest limitations is material selection and quality control, where the printed parts need to meet different types of standards to function in demanding environments. Experience from the Cold Response 2016 exercise shows that production times can be long, and that technical problems such as power outages can affect the availability of the printers. Furthermore, trained personnel and secure access to digital drawings are required for the system to be effective. Overall, the analysis shows that additive manufacturing can enhance military effectiveness through faster repairs and reduced external logistical needs, but that the technology still has limitations that need to be addressed.	
Keywords: Additive manufacturing, Military effectiveness, 3D-printer, Military Utility, Spare parts supply	

Innehåll

Begreppsförklaringar	4
1. Introduktion	5
1.1. Bakgrund	5
1.2. Problembeskrivning	5
1.3. Syfte	6
1.4. Avgränsningar	6
1.5. Frågeställning	7
1.6. Tidigare forskning och förväntat bidrag	7
2. Teori	9
2.1. Militär nytta	9
2.2. Val av teoretiskram – Militär effektivitet	10
3. Metod	11
3.1. Metod	11
3.2. För- och nackdelar med metoden	12
4. Empiri	13
4.1. Additiv tillverkning	13
4.1. Processen stegvis för additiv tillverkning	14
4.2. Reservdelsförsörjning i Fält	15
4.3. FOI- Rapport - Potentiell militära tillämpning med Additiv tillverkning	16
4.4. FFI- Rapport- Erfarenheter av additiv tillverkning under övning	18
4.5. Utskrifter av reservdelar till vanliga fältfordon	19
4.6. Additiv tillverkning i andra militära organisationer	20
5. Analys	21
6. Slutsatser och Diskussion	24
6.2. Diskussion	25
6.3. Källdiskussion	25
7. Framtida forskning	26
8. Källförteckning	27

Begreppsförklaringar

Fältmiljö – Begreppet fältmiljö innebär i Försvarmakten de förhållandet som råder under fältförhållanden. Det vill säga utanför militära anläggningar och i terrängen där militära övningar eller operationer genomförs. Exempelvis tillfälliga uppställningsplatser, stridsområden och andra miljöer där personal och materiel befinner sig.

Fordonssystem – Begreppet fordonssystem innebär i Försvarmakten alla de integrerade enheterna som omfattar fordon tillsammans med deras tillhörande system, komponenter och utrustning. Dessa system är utformade för att lösa specifika militära uppgifter. Exempel på fordonssystem kan vara stridsfordon, trupptransportfordon och sjukvårdsfordon.

3D-skrivare – Är en skrivare som tillverkar fysiska, tredimensionella objekt genom att lägga till material lager för lager utifrån en 3D-model. Tillverkningsprocessen som sker kallas med andra ord för additiv tillverkning.

1. Introduktion

1.1. Bakgrund

År 1981 var Hideo Kodama vid Nagoya Municipal Industrial Research Institute i Japan den första att studera och publicera forskning om tillverkning av en utskriven solid modell. Detta blev startskottet för det som idag kallas additiv tillverkning. Under de kommande decennierna har tekniken genomgått betydande förbättringar och utvecklats till ett värdefullt verktyg för forskare, tillverkare, designers, ingenjörer och vetenskapsmän. Additiv tillverkning bygger, som namnet antyder på att skapa material och objekt med hjälp av en digital modell genom att successivt lägga lager av material i en bestämd ordning (Pirjan & Petrosanu 2013).

I Försvarsmakten innebär en effektiv reservmaterieförsörjning en grundläggande förutsättning för att säkerställa materielens tekniska tillgänglighet över tid. Hög tillgänglighet är beroende av en väl fungerande försörjningskedja, vilket gör det avgörande att reservmateriel beställs så snart behovet har identifierats. Reservmaterieförsörjning sker antingen genom konventionella eller okonventionella metoder. De konventionella metoderna används både under fred och krigstid där reservmateriel som är säkerhetsgodkänd och testad tas från förrådssatser eller tillverkas enligt etablerade standarder. De okonventionella metoderna används främst i krigstid och följer samma principer som de konventionella, men utan krav på att reservdelarna måste vara säkerhetsgodkända eller testade innan användning (Försvarsmakten, 2019). I dagsläget har flera 3D-skrivare för additiv tillverkning köpts in på flera förband i Försvarsmakten som prov och försök i syfte att öka kunskapsnivån på systemen. Bland annat har det skapats en sida på Försvarsmaktens interna arbetsyta Emilia, där enklare 3D ritningar på mindre komponenter har lagts upp för att kunna spridas vidare mellan förbanden.

1.2. Problembeskrivning

Additiv tillverkning har en potentiell förmåga att underlätta Försvarsmaktens logistikkedja genom att möjliggöra snabb och enkel produktion av reservdelar och anpassade komponenter direkt i fältmiljö (Savage, 2020). Detta kan leda till ett minskat beroende av traditionella leveranskedjor och kortare ledtider, särskilt i kris, krig och konfliktsituationer där logistikflödena kan bli störda eller begränsade. Fordon som används i Försvarsmakten kan

variera i ålder, livslängd och teknisk uthållighet, vilket ibland kan skapa utmaningar för reservmaterielsförsörjningen. Äldre fordon kan även ha svåråtkomliga reservdelar, medan nyare fordon kan ha kräva specialiserade komponenter som inte alltid finns tillgängliga. Denna variation kan försvåra underhåll och reparationer, särskilt i en fältmiljö där tillgången till rätt delar kan vara begränsad. Under krigsförhållanden kan exempelvis underhållsresurser vara utspridda, vilket kan påverka reparationstider och tillgänglighet av materiel.

Lagerhållning av reservdelar kan bli begränsad och kan tömmas snabbt. Transporter kan även störas av fienden, vilket kan leda till långa väntetider på reservdelar.

Det råder fortfarande osäkerheter kring hur, var och när additiv tillverkning lönar sig rent ekonomiskt eller förmågemässigt inom militär tillämpning. Tekniken är redan etablerad inom den civila sektorn, vilket också innebär att den kan användas för att producera militära komponenter (Savage, 2020).

1.3. Syfte

Syftet med detta arbete är att undersöka den additiva tillverkningens förmåga att bidra till militär effektivitet i fältmiljö och att underlätta reservmaterielsförsörjningen av reservdelar i Försvarmakten. Arbetet syftar även till att belysa behov av ytterligare forskning kopplat till tillämpningen av additiv tillverkning i Försvarmaktens logistik.

1.4. Avgränsningar

Denna studie fokuserar på användningen av additiv tillverkning för att producera reservdelar till fordonssystem inom markarenan i Försvarmakten. Dock innebär det att studien är väldigt övergripelig kopplat till produktionen av själva delarna till olika typer av Fordonssystem som finns. Studien begränsas till att undersöka användningen i fältmiljö och förutsätter då att all materiell redan är grupperad, där reparationen och underhållet genomförs av reparationsplutoner. Studien kommer inte att specificera sig på en viss typ av additiv tillverkning, i stället kommer det vara en generell aspekt på tekniken.

Ekonomiska och kostnadseffektivitetsaspekter samt den organisatoriska placeringen av additiv tillverkning inom Försvarmakten ingår inte i studiens omfattning. Studien avser inte att undersöka huruvida additiv tillverkning kan byta ut de nuvarande konventionella metoderna helt och hållet.

1.5. Frågeställning

Hur kan additiv tillverkning bidra till militär effektivitet vid reparation och underhåll av fordonssystem i fältmiljö, samt vilka möjligheter och begränsningar medför tillverkningstekniken?

1.6. Tidigare forskning och förväntat bidrag

Det finns tidigare forskning om additiv tillverkning inom Försvarsmakten, särskilt kopplat till reservmaterieförsörjningen.

Pettersson (2018) fokuserar på hur additiv tillverkning kan användas vid internationella insatser för att förbättra tillgången på reservdelar och därmed öka den tekniska tillgängligheten. Slutsatserna som Petterson drar är att additiv tillverkning kan ge en högre teknisk tillgänglighet och bidra med militär nytta. Dock belyser Petterson att bristen på kvalificerade material gör det svårare för industrin att godkänna utskrivna delar. Pettersson menar att additiv tillverkning ger större militär nytta ju mer otillgängligt insatsområdet är.

Björk (2019) genomförde en större förberedande studie på implementeringen av additiv tillverkning i Försvarsmakten/FMV. Björk undersöker vilka möjligheter och begränsningar det finns med en implementering av additiv tillverkning i Försvarsmakten och undersöker ett urval av olika komponenter till vapen och fordonssystem utifrån hur stor effekt en eventuell tillverkning skulle medföra samt hur svåra det är att tillverka. Björk fokuserar på lämpligheten för enskilda reservdelar och inte lika mycket på hur användningen av tekniken ska gå till. Björk konstaterar att reservdelar som är lättillgängliga och vanligt förekommande inte bidrar med samma taktiska effekt som de som är mer svåråtkomliga. Han påpekar vidare att Försvarets materielverk har haft som strategi att avvakta tills tekniken för additiv tillverkning är fullt utvecklad innan den implementeras. Enligt Björk är dock tekniken redan i stort sett mogen och det som nu krävs är utredningar kring hur och på vilket sätt och i vilken omfattning den bör införas.

Det finns även två FOI rapporter skrivna av Savage (2017) (2020), där rapporten från 2017 beskriver bland annat en planerad containerlösning för additiv tillverkning i fält, men fokuserar främst på teknikens möjligheter snarare än den praktiska implementeringen. Enligt rapporten har militära tillämpningar hittills mest handlat om tester och demonstrationer av tekniken. En central fråga som lyfts är hur reservdelar tillverkade i fält ska kunna upprätthålla

samma höga kvalitetskontroll och tillverkningsprocess som konventionellt producerade delar. Dessutom påpekas att den civila industrin sannolikt kommer att stå för den största teknikutvecklingen inom additiv tillverkning, även om vissa tillämpningar är specifika för militärt bruk. Rapporten från 2020 ger en övergripande beskrivning av additiv tillverkning, inklusive dess möjligheter, begränsningar och påverkan på grundläggande förmågor. Den lyfter även fram viktiga frågor som behöver utredas innan tekniken kan implementeras inom Försvarsmakten. Enligt Savage pågår flera separata projekt i Sverige som undersöker olika typer av militära lösningar för additiv tillverkning, men han påpekar att tillverkning av metalleder är särskilt utmanande. Detta beror på de höga kraven på hantering av metallpulver, som kan vara giftigt, brandfarligt och känsligt för oxidation. Vidare identifierar Savage flera begränsningar och kritiska frågeställningar, såsom vem som har rätt att tillverka specifika komponenter och hur kvalitetskontrollen av dessa ska säkerställas. Han betonar behovet av icke-förstörande testmetoder för att verifiera komponenternas kvalitet samt ytterligare forskning om långtidsegenskaper, inklusive mekanisk och termisk utmattnings (Savage, 2020).

Elmfeldt (2024) undersöker vilka förutsättningar som krävs för att additiv tillverkning ska vara en lämplig lösning för reservmaterieförsörjning vid ett trosskompani. Elmfeldt kommer fram till att additiv tillverkning kan vara lämplig för reservmaterieförsörjning på ett trosskompani, särskilt vid uteblivet underhåll under längre perioder. Dock krävs anpassningar i Försvarsmaktens doktriner, förbättrad kvalitetskontroll och tydliga ansvarsområden för att tekniken ska fungera effektivt. Dessutom behövs en kostnadsnyttoanalys samt ytterligare studier innan tekniken kan implementeras fullt ut i Försvarsmakten.

Denna studiens förväntade bidrag i förhållande till tidigare studier inom ämnet additiv tillverkning är att fokusera mer på operativ och taktisk bidraget med additiv tillverkning kopplat till militär effektivitet i fältmiljö, snarare än organisatoriska, kostnads eller ekonomiska aspekter. De gör det möjligt att analysera tidsfaktorer, resursanvändning och tekniska begränsningar. Studien kommer även att avgränsas så att ett större fokus ligger på den additiv tillverkningen av reservdelar till fordonssystem än till andra typer av materielsystem.

2. Teori

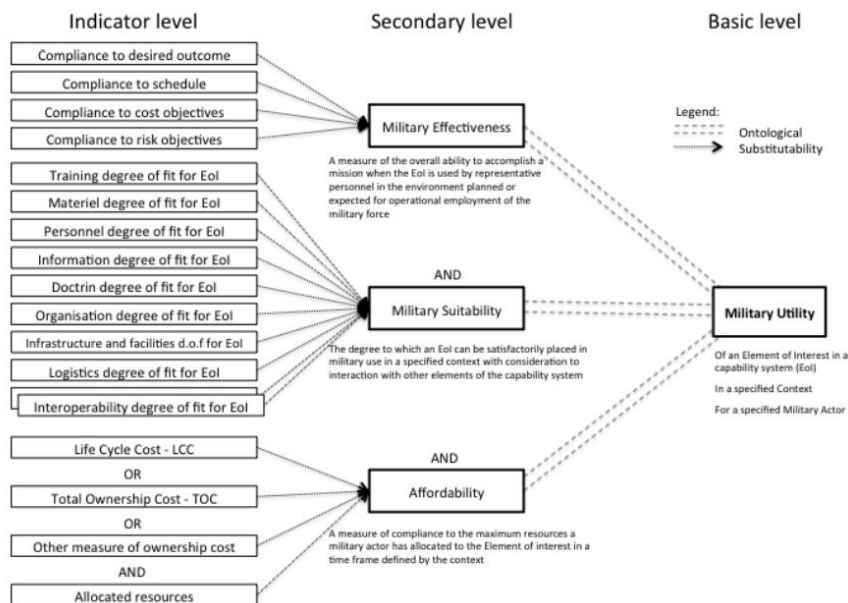
2.1. Militär nytta

Begreppet militär nytta har utvecklats vid Försvarshögskolan för att analysera militärteknik. Det delas in i tre huvudaspekter: militär effektivitet, militär lämplighet och kostnadseffektivitet. För att ett system ska anses ha militär nytta måste det uppfylla samtliga dessa kriterier. Teorin syftar till att stödja beslutsfattande kring nya teknologier och bedöma deras relevans och värde inom militära sammanhang (Andersson m.fl , 2015) .

Militär effektivitet är ett mått på hur väl en uppgift kan lösas med systemet när det används av representativ personal i den miljö där de är tänkta att verka. Detta är kopplat till bland annat organisationen, doktriner, taktik, underhållsmässighet, överlevnadsförmåga, svagheter och hot. Dessa faktorer gör att systemet måste klara av att understödja uppdraget på ett sådant sätt att det bidrar till att uppnå organisatoriska mål, främst inom utfall, kostnad, tidsplan och risk. Enbart att vara ett effektivt system räcker inte för att bidra med militär nytta. Systemet måste också kunna leverera effekt vid rätt tid, till rätt kostnad och med en acceptabel risknivå, *Se figur 1* (Andersson m.fl , 2015).

Militär lämplighet bedömer hur väl ett system integreras och fungerar tillsammans med andra system inom Försvarsmakten. Denna bedömning omfattar systemets kompatibilitet och samverkan, vilket kan kopplas till faktorer såsom träning, utrustning, personal, infrastruktur, koncept och doktriner, organisation, information och logistik. Ur ett militärtekniskt perspektiv har ett system endast militär nytta om det bidrar till en konkret förmåga. För att analysera nyttan av ett tekniskt system krävs därför en helhetsbedömning av dess påverkan på hela systemet, *Se figur 1* (Andersson m.fl , 2015).

Kostnadseffektivitet bedöms inte enbart utifrån ekonomiska faktorer, utan även utifrån de resurser som krävs för att driva systemet under en viss tidsperiod. Syftet med att beakta kostnadseffektivitet är att säkerställa att begränsade ekonomiska resurser används optimalt. För att garantera systemets långsiktiga hållbarhet behöver de ekonomiska parametrarna utvärderas ur ett livscykelperspektiv och stämma överens med organisationens långsiktiga mål. Det system som ger störst militär nytta är det som kombinerar hög militär effektivitet och lämplighet med god kostnadseffektivitet. Om ett system är militärt effektivt och lämpat men har bristande kostnadseffektivitet, riskerar det att bli för kostsamt att upprätthålla och därmed förlora sitt värde för den militära aktören, *Se figur 1* (Andersson m.fl , 2015).



Figur 1: Modell av militär nytta (Andersson m.fl , 2015).

2.2. Val av teoretiskram – Militär effektivitet

Inom arbete av militär effektivitet räcker det att fastslå att militär effektivitet vanligtvis bedöms utifrån fyra typer av utbytbara indikatorer: uppfyllelse av önskade resultat, kostnadsefterlevnad, tidsplansefterlevnad samt riskhantering. Om någon av dessa indikatorer inte är relevant för den specifika bedömningen kan den uteslutas från det sammansatta måttet, under förutsättning att den anses vara likvärdig för samtliga alternativ (Andersson m.fl , 2015).

Valet av militär effektivitet som teoretiskram baseras på dess relevans för att analysera den praktiska nyttan av additiv tillverkning i ett militärt sammanhang. Eftersom frågeställningen fokuserar på hur tekniken påverkar den militära förmågan i fältmiljö kan militär effektivitet ge en bra grund för att utvärdera teknologins inverkan.

För att kunna analysera militär effektivitet i kontexten av additiv tillverkning i fältmiljö har begreppet brutits ner i fem faktorer som anses relevanta för additiv tillverkning i fältmiljö och som sedan kommer användas i analysen:

1. Operativ effekt: Analyserar om tekniken förbättrar möjligheten att upprätthålla fordonens driftförmåga och därmed stödjer uppdragets genomförande.

2. Taktisk flexibilitet: Analyserar hur tekniken påverkar förmågan att snabbt anpassa sig vid förändrade förhållanden och akuta reparationer i fält.
3. Tid och resursoptimering: Analyserar om additiv tillverkning effektiviserar reparationstider och minskar beroendet av reservmaterielsförsörjning.
4. Teknisk hållbarhet i fält: Undersöker hur robust tekniken är i fältmiljön och hur externa faktorer såsom klimat och elförsörjning påverkar dess funktionalitet.
5. Risker: Vilka potentiella risker och sårbarheter tekniken tillför.

Dessa faktorer används som analysram för att identifiera möjligheter och begränsningar med additiv tillverkning och för att avgöra om tekniken bidrar till militär effektivitet i fältmiljö.

3. Metod

3.1. Metod

En dokumentinsamling valdes till detta arbete för att inhämta information som har hög relevans inom ämnet additiv tillverkning i Försvarsmakten. En dokumentinsamling innebär att använda sig av olika slags dokument som empiriskt material både som primär och som sekundärkällor. Det kan exempelvis vara brev, foton, självbiografier, officiella dokument från organisationer, virtuella produkter eller massmedia produkter (Blomkvist & Hallin, 2015). Eftersom additiv tillverkning är ett ämne som redan har studerats i vissa militära sammanhang, fanns det en stor mängd dokumentation att analysera. Genom användandet denna metod kan studien baseras på etablerad kunskap och undvika de tidskrävande processerna som är förknippade med andra typer av datainsamling, såsom intervjuer eller experiment. Dessutom ger dokumentinsamling en bred överblick över både teoretiska och praktiska aspekter av tekniken.

Därefter användes en tematisk analys för att analysera den inhämtade empirin och för att besvara frågan om additiv tillverkning kan bidra till militär effektivitet för reparation och underhåll av fordonssystem i fältmiljö. En tematisk analys innebär att kategorisera och strukturera det inhämtade empiriska materialet för att sedan utifrån kategorierna besvara frågeställningarna (Blomkvist & Hallin, 2015). Användandet av denna analysmetod

underlättade en bredare förståelse av hur additiv tillverkning kan bidra till den militära effektiviteten.

Valet av källor som används i empirin är en blandning mellan handböcker och rapporter som beskriver processen av additiv tillverkning samt tar upp erfarenheter från additiv tillverkning i fältförhållanden. En av de militära rapporterna är en rapport skriven av Savage (2020) som beskriver möjliga tillämpningsområden och begränsningar med additiv tillverkning. Därefter är den en rapport skriven av Norska FFI (Flathagen m.fl, 2016) som redovisar dragna erfarenheter av additiv tillverkning i fältmiljö från den internationella övningen Cold Response 2016. Slutligen används exempel på reservdelar till vanliga fordon i Försvarsmakten tagna från den förberedande studien av implementeringen av additiv tillverkning skriven av Björk (2019).

3.2. För- och nackdelar med metoden

Att använda dokumentinsamling och tematisk analys som metoder i en studie erbjuder fördelar och nackdelar. En av de största fördelarna med tematisk analys är dess flexibilitet. Eftersom den inte är bunden till en specifik teoretisk eller epistemologisk tradition kan den användas inom olika forskningsområden och anpassas efter forskarens behov. Detta gör metoden tillgänglig även för nybörjare inom kvalitativ forskning. Vidare kan tematisk analys identifiera mönster och teman i stora mängder text, vilket gör den särskilt användbar vid dokumentstudier där forskaren behöver strukturera och tolka omfattande material (Braun & Clarke, 2006).

Vid användning av dokumentinsamling kan en utmaning vara begränsad tillgång till relevanta dokument, vilket kan påverka forskningsresultaten. Vidare kan vissa dokument vara partiska eller ofullständiga, vilket kräver en kritisk granskning av källmaterialet (Blomkvist & Hallin, 2015). En av de huvudsakliga nackdelarna med tematisk analys är subjektiviteten i tolkningen. Eftersom forskaren själv identifierar och kodar teman finns en risk att analysen påverkas av förutfattade meningar. Braun & Clarke (2006) påpekar att forskaren måste vara medveten om sin egen roll i analysprocessen och tydligt redovisa de val som görs. En annan svaghet är att tematisk analys kan sakna djupgående teoretisk förankring om den inte genomförs systematiskt. Utan en tydlig ram för analysen kan forskningen bli ytlig eller osammanhängande (Braun & Clarke, 2006).

4. Empiri

4.1. Additiv tillverkning

Additiv tillverkning är en tillverkningsteknik där lager på lager bygger upp en tredimensionell struktur eller komponent med hjälp av pulver eller tråd av olika typer av material. Andra metoder finns också, såsom extrudering av trögflytande material, exempelvis blandningar av energetiska ämnen. Ett datorstyrt skrivhuvud eller en robotarm deponerar materialet enligt instruktioner från en digital fil som definierar komponentens geometri. Filen innehåller även specifikationer för maskinens drift, såsom temperatur, energiflöde, inmatningshastighet och bygghastighet. Numera loggas ett stort antal parametrar i realtid för att förbättra teknikens reproducerbarhet och möjliggöra framtida felsökning (Savage, 2020).

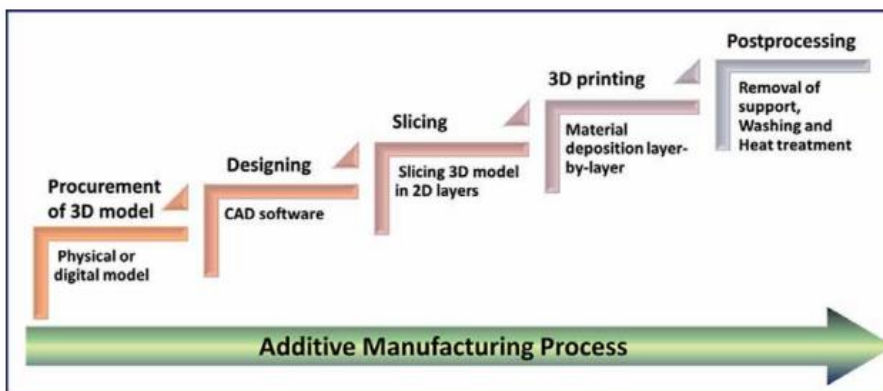
Utvecklingen av additiva tillverkningsmaskiner går snabbt framåt, med fokus på att förbättra produktkvalitet genom högre reproducerbarhet, bättre ytfinhet och färre defekter. Samtidigt strävar man efter att öka tillverkningshastigheten genom ökad förståelse och kontroll av processen. Dessutom dokumenteras maskinparametrar för att möjliggöra korrigering av avvikelser i realtid eller vid behov, avbryta processen (Savage, 2020).

Additiv tillverkning kan även ses som en cyber-fysisk process med starkt beroende av digitala filer och internetanslutna enheter, vilket innebär att det finns en ökad sårbarhet för cyberattacker. Det kan förekomma olika typer av säkerhetsrisker, däribland attacker på själva 3D-skrivarna, manipulation av råmaterial och digitala designfiler. Utrustningen kan utsättas för sabotage genom fjärrstyrning av skrivarinstruktioner eller strömförsörjning, vilket kan resultera i defekta produkter. Råmaterial kan förfalskas eller försämrats genom tillsats av föroreningar, vilket påverkar produktkvaliteten. Designfiler kan stjälas, modifieras eller säljas illegalt, vilket skapar risker för både immateriella rättigheter och produktsäkerhet (Gupta mfl, 2020)

4.1. Processen stegvis för additiv tillverkning

Processen för additiv tillverkning kan variera beroende på vilken specifik teknik som används men generellt omfattar den följande steg, *Se även figur 2* (Shivananda & Nilanjana 2022).

1. Insamling av 3D-modeller: Insamling av data om objektets utformning, antingen fysiskt eller digitalt.
2. Design av 3D-modell: Skapandet av en mycket detaljerade tredimensionell modell av objektet som ska tillverkas med hjälp av en CAD (computer aided design)-programvara
3. Konvertering och skivning: Exportering av CAD-modellen till ett format som 3D-skrivaren kan läsa, i vanliga fall STL(Standard Tessellation Language). Därefter importeras STL-filen till skrivarmjukvaran, där modellen placeras i den virtuella byggvolymen och skivas i tunna lager. Här kan även utskriftsparametrar som upplösning, hastighet och materialtyp justeras.
4. Utskriften: Här tillverkas objektet efter lager på lager enligt de instruktioner som genererats i föregående steg.
5. Efterarbetet: Slutligen genomgår de utskrivna delarna tvättning, borttagning av stödstrukturer och värmebehandling för att uppnå önskade egenskaper.



Figur 2: Illustration av processen för additiv tillverkning(Shivananda & Nilanjana, 2022).

De vanligaste processerna för additiv tillverkning är SLS (Selective Laser Sintering), FDM (Fused Deposition Modeling) och SLA (Stereolithography).

FDM är den vanligaste metoden för additiv tillverkning. Denna process fungerar genom att termoplastiskt material smälts och extruderas genom ett munstycke, vilket gör det möjligt att bygga upp objektet lager för lager. Detta lager på lager process skapar successivt den önskade formen. FDM är en kostnadseffektiv och relativt snabb tillverkningsmetod. Dock har de föremål som produceras med denna teknik ofta lägre hållfasthet och detaljrikedom jämfört med objekt tillverkade med andra additiva tillverkningsmetoder (Top3D, 2025).

SLS är en relativt komplex och dyrare tillverkning process. Det fungerar genom att värma ett lager av pulvermaterial, såsom plast eller metaller, med en laser. Lasern smälter samman partiklarna i pulvermaterialet och bygger sedan långsamt upp objektet lager för lager. SLS kan producera starkare och mer detaljerade objekt än FDM, men är något dyrare att använda (Top3D, 2025).

SLA är lämplig för visualisering modeller där det finns höga krav på detaljrikedom och ytfinish. SLA är en resinbaserad process där vätska härdas av flera ljusstrålar till önskad form. Ytornas kvalitet är redan mycket hög direkt efter utskriften, men den kan förbättras ytterligare för att uppnå transparenta eller högblanka resultat vid kromatering och lackering av olika slag. Materialen som används för SLA är hårdplaster, vilket innebär att de är relativt spröda och känsliga för UV-ljus och fukt (Top3D, 2025).

4.2. Reservdelsförsörjning i Fält

Enligt Försvarsmakten är reservmaterieförsörjning ett av de åtta centrala områdena inom teknisk tjänst. En effektiv reservmaterieförsörjning är en grundläggande förutsättning för att säkerställa materielens tekniska tillgänglighet över tid. Hög tillgänglighet är beroende av en väl fungerande försörjningskedja, vilket gör det avgörande att reservmateriel beställs så snart behovet identifieras. Reservmaterieförsörjningen omfattar allt från tillverkningen av reservdelen tills att den kan nyttjas till reparationer. Därför delas försörjningen in i fyra underkategorier: bortforsling, transport, konventionell och okonventionell. Transport och bortforsling säkerställer att reservdelar levereras till rätt enheter och att avfall från den tekniska tjänsten hanteras på ett miljövänligt sätt. Reservmaterieförsörjning sker antingen genom konventionella eller okonventionella metoder. De konventionella metoderna används både i freds och krigstid, där reservmateriel som är säkerhetsgodkänd och testad tas från förrådssatser eller tillverkas enligt etablerade standarder. De okonventionella metoderna används främst i krigstid och följer samma principer som de konventionella, men utan krav på

att reservdelarna måste vara säkerhetsgodkända eller testade innan användning (Försvarsmakten 2019). Tillfälligreparation eller krigsskadereparation innebär en alternativ reparation med icke ordinarie metod eller reparationskomponent i stället för originalreservdelar i väntan på en fullständig reparation. Sådana åtgärder kan vara nödvändiga för att möjliggöra förflyttning av skadad materiel, exempelvis inför bärgning eller transport till en verkstad (Försvarsmakten, 2022)

Reparationsplutonen är anpassade för de fordonstyperna som finns inom bataljonen. Plutonen innehåller resurser för tekniskt systemstöd och materielunderhåll. Plutonen upprättar normalt en bataljonsreparationsplats vid trosskompaniets bakre grupperingsplats. Plutonen omgrupperar växelvis genom att dela plutonen i två omgångar. De enskilda grupperna kan ingå i underhållsomgång eller understödja ett kompani (Försvarsmakten, 2023).

Reparationsplutonen har en maximal teknisk åtgärds tid på 24 timmar och en maximal dimensionerad reparationstid på 8 timmar, vilket innebär att tillverkningen av reservdelar och reparationen måste vara klar inom 24 timmar (Andersson m.fl, 2021). Om det råder reservdelsbrist samverkar teknisk chef bataljon med bataljonschefen om att i första hand genomföra reservdelslån och i andra hand felkoncentrering av materiel.

Reparationsplutonchefen sammanställer och lämnar förslag till teknisk chef bataljon om hur den tekniska tillgängligheten kan ökas med hjälp av reservdelslån eller felkoncentrering (Försvarsmakten 2023).

4.3. FOI- Rapport - Potentiell militära tillämpning med Additiv tillverkning

I en FOI rapport av Savage 2020 skriver författaren att den potentiella militära tillämpningen av additiv tillverkning är många och det är därför svårt att identifiera hur, var och när man bäst nyttjar teknikens potential. Bara för att det finns en möjlighet att tillverka något genom additiv tillverkning är inte en tillräcklig anledning att göra det (Savage 2020).

Nedan presenteras några exempel på tillämpningar och begränsningar som beskrivs i rapporten:

Fälttillverkning: Att kunna tillverka reservdelar direkt på plats vid behov förväntas kraftigt reducera leveranstider – från flera månader till enbart några timmar. Vid internationella insatser finns dessutom möjligheten att flera styrkor delar på en mobil tillverkningslösning, vilket kan förbättra logistiken och öka flexibiliteten. Samtidigt innebär en sådan lösning att extra utrustning behöver transporteras för att kunna möta eventuella behov. Dessutom krävs

utbildad personal, säkra kommunikationskanaler och tillgång till rätt material för att säkerställa en effektiv och fungerande produktion i fält. Ett konkret exempel på framgångsrik användning av mobil additiv tillverkning är US Rapid Equipping Force (REF). Enligt en rapport från oktober 2019 har REF med hjälp av 3D-skrivarteknik åtgärdat 400 operativa förmågebrister direkt i fält.

Tillfälliga reparationer: Om det finns ett akut behov av en reservdel kan det räcka med en tillfällig komponent som lösning fast den inte håller samma kvalitet som originaldelen, men som är funktionsmässigt bra nog. Fall där detta har tillämpats finns från operationer i Afghanistan och Mali.

Reservdelar enligt just-in-time-princip: Att lagra kostsamma reservdelar som sällan används är ineffektivt och kan resultera i långa leveranstider, eftersom varje enskild del måste tillverkas från grunden vid behov. Med additiv tillverkning kan produktionen starta nästan omedelbart, förutsatt att maskinkapacitet finns tillgänglig. Uppstartstiden är i princip endast begränsad till tiden det tar att ladda in rätt digital modell. Dessutom kan tillverkningen utföras av vilken certifierad leverantör som helst, vilket ger större flexibilitet och kortare ledtider

Obsoleta komponenter: Det finns inga tillgängliga reservdelar, och inga tillverkare kan producera komponenten. Däremot finns ritningar eller förlagor i form av trasiga eller utslitna komponenter som kan kopieras. Detta gör det möjligt att förlänga systemets livslängd. En sådan metod används redan inom civila tillämpningar.

Sällan-behövda verktyg: Det är möjligt att inte bara tillverka reservdelar utan även verktyg som behövs för att genomföra reparation och underhåll. Detta bidrar med att minska behovet av att ha tillgång till verktyg som oftast inte behövs i vanliga fall. Samma princip gäller för exempelvis temporära skyddskåpor som används för att skydda känsliga ytor och komponenter under demontering.

Begränsningar: Problematik som finns i dagsläget med additiv tillverkning är implementeringen är tämligen ny och det saknas av naturliga skäl erfarenhet av långtidsegenskaper, särskilt termisk och mekanisk utmattning och korrosionsbeständighet.

Vid additiv tillverkning likt produktion av kolfiberkompositer, skapas både material och komponenter inom samma process. Därav är det svårt att kvalitets säkra tredimensionella delar med dagen icke- förstörande testmetoder. Utmaningen är särskilt kritisk eftersom det fortfarande saknas tillräcklig kunskap om de långsiktiga egenskaperna hos additivt tillverkade komponenter såsom utmattningshållfasthet och korrosionsbeständighet.

Det har kollats på möjligheter att konstruera enklare elektroniska komponenter inuti en komponent genom additiv tillverkning. Detta är en stor teknisk utmaning och skulle man vilja skapa mer komplexa delsystem med inneslutna komponenter återstår många utmaningar då det skulle innebära många materialbyten

4.4. FFI- Rapport- Erfarenheter av additiv tillverkning under övning

Under övningen Cold Response 2016 så prövades det ett koncept av additiv tillverkning av reservdelar i fält. De utrustade en 20-fots container med tre olika 3D-skrivare: en nyinköpt modell med en utskriftskapacitet på $254 \times 254 \times 305$ mm för större komponenter samt två mindre, äldre skrivare. På grund av hanteringssvårigheter i mobila miljöer valde de att inte använda pulverbaserade skrivare. Utöver skrivarna inreddes containern med en rengöringsstation, arbetsbänkar, bord och olika handverktyg för efterbearbetning och montering (Flathagen, m.fl , 2016).

Nedan presenteras det ett antal erfarenheter av additiv tillverkning under övningen (Flathagen m.fl, 2016).

- Arbetsförhållanden: Det är påfrestande att arbeta under längre perioder i trånga containerutrymmen. Fönster, luftkvalitet och arbetsbelysning påverkar arbetsförhållanden och detta blir särskilt viktigt i en operativ situation. Ergonomin på arbetsplatsen blir också väldigt viktigt för att kunna arbeta smidigt och effektivt. Det kan vara till ens fördel att skapa större flexibilitet i hur alla komponenterna placeras inuti containern.
- Strömavbrott: Vid flera tillfällen under övningen inträffade strömavbrott. Detta innebär att produktionen i 3D-skrivaren avbryts, vilket brukar leda till att den pågående komponenten måste kasseras. Dessutom tar det relativt lång tid att göra maskinen redo för produktion igen när strömmen är tillbaka.
- Material: Under övningen var personalen begränsade till olika typer av ABS-plaster och nylon. Även om många reservdelar kan tillverkas i ABS, är det tydligt att fler material behövs för en hållbar lösning. På sikt bör även möjligheten att använda 3D-skrivare för metall utvärderas.
- Produktionstid: 3D-skrivarens produktionstid begränsar hur många komponenter som kan tillverkas. Vissa av de största delarna tog över 40 timmar att skriva ut och dessutom krävs ytterligare tid för att ta bort stödmaterial. Vid prototyputveckling kan

skickliga ingenjörer ofta rita en komponent mycket snabbare än det tar att producera den. För att effektivisera processen bör containermodellen utrustas med snabbare eller fler skrivare. Teknikutvecklingen inom detta område går snabbt framåt och nya innovationer inom FDM-tekniken kan möjliggöra betydligt kortare produktionsstider. Även andra utskriftstekniker kan vara värda att undersöka.

4.5. Utskrifter av reservdelar till vanliga fältfordon

Enligt Björk (2019) finns det vissa typer av komponenter som är enklare att tillverka med hjälp av additiv tillverkning och bidrar med en hög effektivitet. I rapporten redovisas några få exempel på komponenter till fordonssystem i Försvarsmakten som kan tillverkas med hjälp av additiv tillverkning.

Expansionskärl till Fältarbetsfordon 16T

Expansionskärlet är en del av kylsystemet på fältarbetsfordon 16T. Det är tillverkat i plast och har måtten cirka 300x300x300 mm, vilket gör det relativt enkelt att producera med additiv tillverkning. Komponenten finns för närvarande inte tillgänglig som reservdel och har vid flera tillfällen gått sönder. Detta innebär att möjligheten att tillverka den additivt skulle ha en stor positiv effekt på underhållet och tillgängligheten av fordonet (Björk, 2019).

Insug Mercedes GW (TGB14/15)

Insugget är en motorkomponent som leder luft till förbränningsrummet i motorn på Mercedes GW. Det är ett persontransportfordon som används av både det svenska och norska försvaret. Den ursprungliga komponenten är tillverkad i metall och har måtten cirka 300x200x100 mm. Dock skulle den kunna produceras i plast, vilket demonstrerades av FieldMade under NATO övningen Trident Juncture. Komponenten är relativt enkel att tillverka i plast och eftersom den inte fanns tillgänglig under övningen hade nytillverkningen av komponenten en stor praktisk betydelse (Björk 2019).

Bärhjul till Stridsfordon 90

Bärhjul är de hjul på ett bandfordon som bär upp och rullar längs med bandet. Eftersom bärhjulen spelar en central roll i underhållet av bandfordon finns det en tydlig fördel med att kunna tillverka dem med 3D-printning. För stridsfordon 90 och andra bandfordon är bärhjul dock ett exempel på en komponent där additiv tillverkning inte alltid är en optimal lösning. Det beror främst på att bärhjulen är stora, med en diameter på cirka 400 mm, och tillverkade i

metall. Detta innebär att de skulle ta lång tid att producera med additiv tillverkning och dessutom bli mycket kostsamma. Bärhjulen är kritiska för fordonets framdrift och utsätts ofta för slitage och skador. Eftersom bärhjul är avgörande för förbandets rörlighet och regelbundet behöver bytas ut, har försörjningen säkrats genom att ett lämpligt antal bärhjul finns tillgängliga på olika resursnivåer. Då komponenten redan är en del av organisationens underhållsplanering och försörjningskedja, bedöms nyttan av att tillverka dem additivt vara mycket begränsad (Björk 2019)

4.6. Additiv tillverkning i andra militära organisationer

Den brittiska armén tillämpar additiv tillverkning för att producera reservdelar till militära fordon i aktiv tjänst. Försvarsleverantören Babcock International Group har introducerat sina första 3D-printade metalldelar för den brittiska arméns Titan- och Trojan fordon. Detta är första gången som en brittisk försvarsleverantör tillverkar metalldelar med 3D-teknik för att förlänga livslängden på arméns pansarfordon (Stankiewicz, Kowalski & Kocur, 2023).

De 3D-printade metalldelarna ingår i fordonens periskopsystem som ger förarna full sikt över omgivningen. Denna utveckling representerar ett betydande steg framåt för användningen av additiv tillverkning inom den brittiska försvarsindustrin. Tekniken visar inte bara potentialen att hantera teknisk och kommersiell föråldring, utan även förmågan att snabbt tillverka reservdelar som kan stödja militära operationer direkt i fält. Den brittiska och amerikanska armén har samarbetat kring användningen av 3D-printing för att stärka sina kapaciteter på slagfältet inom ramen för Project Convergence. Genom detta samarbete har den brittiska armén kunnat bidra till tillverkningen av reservdelar för den amerikanska armén med hjälp av 3D-skrivarteknik. Projektet visar på möjligheterna med additiv tillverkning för att snabbt och effektivt producera komponenter direkt i fält och därmed stärka den operativa förmågan (Stankiewicz, Kowalski & Kocur, 2023).

5. Analys

Utifrån teorin och empirin kommer additiv tillverkning analyseras för att identifiera om de kan bidra till militär effekt och vilka möjligheter och begränsningar som tekniken kan medföra.

Operativ effekt

Det är relativt tydligt att additiv tillverkning skulle kunna förbättra den operativa effekten genom att möjliggöra snabb och funktionell tillverkning av reservdelar. Enligt FOI-rapporten av Savage (2020) har US Rapid Equipping Force använt 3D-skrivare för att åtgärda 400 operativa förmågebrister i fält. Den brittiska armén har redan infört additiv tillverkning av metalldelar till Titan- och Trojan-fordonens periskopsystem, vilket förlängt fordonens livslängd och ökat tillgängligheten. Expansionskärl till fältarbetsfordon 16T är också ett bra exempel på en komponent som är relativt enkel att tillverka med additiv tillverkning och som ofta går sönder, vilket möjliggör att tillverka komponenten additivt kan bidra med effekt. Ett ytterligare exempel är insuget till Mercedes GW som vanligtvis är gjord i metall men skulle kunna tillverkas i plast. Under en NATO övning som kallades Trident Juncture så fanns det ingen tillgänglighet på nya insug till fordonet, därmed hade en additiv tillverkning av insuget i plast bidragit med en praktisk nytta. Dessa exempel visar att additiv tillverkning kan förbättra den operativa uthålligheten genom att minska beroendet av externa leveranskedjor, särskilt i otillgängliga områden eller vid störda logistikflöden.

Det framgår av övningen Cold Response 2016 att begränsningar i materialval och produktionskapacitet kan hindra tekniken från att ersätta konventionella tillverkningsmetoder helt. Även för att behovet av att tillverka reservdelar direkt i fält ska behövas förväntas långa leveranstider för att få tillgång till ny reservmateriel. Ett exempel på en komponent som är mindre optimal att tillverka är bärhjulet till stridsfordon 90. Detta på grund av dess storlek och att den är gjord i metall, dessutom så är tillgängligheten redan hög på komponenten då den alltid finns i bataljonens försörjningskedja. Dessutom behövs rätt utbildad personal och tillgång till rätt material för att säkerställa en effektiv och fungerande produktion i fält.

Taktisk flexibilitet

En av de största fördelarna med additiv tillverkning är dess bidrag till taktisk flexibilitet. Förband kan snabbt anpassa sig till oförutsedda händelser genom att producera reservdelar

efter behov, vilket minskar sårbarheten för störningar i logistikkedjan. Tekniken skulle kunna möjliggöra att framställa komponenter som inte finns tillgängliga att beställa där inga tillverkare kan producera komponenten, men detta under förutsättningarna att det finns ritningar eller förlagor i form av trasiga eller utslitna komponenter som kan kopieras. Detta kan även möjliggöra att fordonens livslängd under uppdraget förlängs vilket kan vara en avgörande faktor under kris, krig eller konflikt. Det finns även möjlighet att kunna tillverka verktyg som sällan behövs i vanliga fall men kanske är nödvändig för att kunna göra reparationen eller underhållet som behövs i stunden. Dock kan användningen av 3D-skrivare i trånga containerutrymmen minska den taktiska flexibiliteten, då det kan vara svårt att optimera arbetsmiljön inom begränsade utrymmen. Den fasta placeringen av utrustning och arbetsstationer kan skapa hinder för snabb omorganisering och anpassning vid förändrade taktiska behov. Detta kan påverka både flexibiliteten och arbetsförhållandena negativt, särskilt om ergonomin och arbetsflödet inte kan justeras vid behov.

Tid och resursoptimering

Tid och resursoptimering är avgörande för militär effektivitet och additiv tillverkning erbjuder flera fördelar inom detta område. Genom att eliminera behovet av långa transportvägar och centraliserade lager med reservmateriel kan tekniken minska ledtiderna och effektivisera underhållsprocesser. Vid akuta reparationer kan additiv tillverkning potentiellt korta ner tiden som fordon är ur bruk, vilket ökar den operativa förmågan. Trots detta kan resurskraven för additiv tillverkning vara en begränsande faktor. Under Cold Response 2016 kunde flera av de större utskriftena ta över 40 timmar, vilket skulle kunna vara en lång tid i jämförelse med att beställa komponenten. En reparationspluton har maximalt teknisk åtgärds tid på 24 timmar, vilket gör att utskrifttiden är längre än vad reparationsplutonen har på sig att åtgärda problemet. 3D-skrivare kräver även tillgång till elektricitet och specialmaterial, vilket inte alltid kan vara lätt att säkerställa i en fältmiljö. Dessutom kan behovet av efterbearbetning och kvalitetskontroll av utskrivna delar göra processen mer tidskrävande än förväntat

Teknisk hållbarhet i fält

För att additiv tillverkning ska vara en tillförlitlig lösning i fält måste den kunna hantera de påfrestningar som uppstår i de miljöerna. 3D-skrivare och tillhörande utrustning behöver vara robusta nog att fungera i extrema väderförhållanden, inklusive höga temperaturer, fukt och damm. Lösningen till det kan vara att nyttja tekniken inuti i tält eller containrar. 3D-skrivare är beroende av elförsörjning vilket sätter krav på att det alltid finns en elanläggning i närhet för att försörja skrivaren. Just kopplat till elförsörjningen så var det under flera tillfällen under Cold Response där strömmen gick. Detta innebar att produktionen avbröts och den pågående komponenten var tvungen att kasseras. Dessutom tog det relativt lång tid att göra maskinen redo för produktion igen när strömmen är tillbaka. Det visade sig även under övningen att materialbegränsningar kan påverka produktionens tillförlitlighet. Dessutom kan vissa additiva tillverkningsmetoder, såsom FDM och SLS, ha svårt att uppnå samma mekaniska egenskaper som konventionellt producerade delar. För att tekniken ska kunna användas effektivt i fält krävs fortsatt utveckling av mer robusta 3D-skrivare och förbättrade material. Vidare måste de material som används vara tillräckligt hållbara för att ersätta traditionellt tillverkade komponenter.

Risker

Trots sina fördelar innebär additiv tillverkning även vissa risker. Kvalitetskontroll är en av de största utmaningarna, det kan vara svårt att säkerställa att utskrivna reservdelar håller samma standard som fabriksproducerade delar. Felaktiga komponenter kan leda till funktionsfel, vilket i värsta fall kan påverka säkerheten för personal och materiel. Additiv tillverkning räknas alltså till en okonventionell tillverkningsmetod eftersom de utskrivna komponenterna inte är säkerhetsgodkända eller testade, vilket det måste vara under fredstid. Dock

En annan risk är teknologins sårbarhet för cyberhot. Eftersom digitala ritningar används för att producera komponenter finns en risk att dessa kan manipuleras eller störas genom cyberattacker. Detta kräver att Försvarsmakten har robusta säkerhetsåtgärder för att skydda sina digitala tillverkningsprocesser. Vidare kan beroendet av specifika material och utrustning begränsa additiv tillverknings praktiska tillämpning i fält. Om en viktig del i 3D-skrivaren går sönder eller om nödvändigt material saknas kan hela produktionen avstanna, vilket kan påverka tillgången på reservdelar negativt.

6. Slutsatser och Diskussion

6.1. Slutsatser

Studiens frågeställning är enligt följande:

Hur kan additiv tillverkning bidra till militär effektivitet vid reparation och underhåll av fordonssystem i fältmiljö, samt vilka möjligheter och begränsningar medför tillverkningstekniken?

Denna studie har analyserat hur additiv tillverkning kan bidra till militär effektivitet vid reparation av fordonssystem i fältmiljö. Resultaten visar att tekniken har stor potential att förbättra förmågan att snabbare genomföra reparationer. En central aspekt är den taktiska flexibiliteten som additiv tillverkning kan ge. Möjligheten att snabbt producera reservdelar på plats innebär att förband kan anpassa sig till oförutsedda händelser utan att vara beroende av långsamma leveranser. Dock kräver denna flexibilitet att personal har rätt utbildning och att nödvändiga material finns tillgängliga. En annan viktig aspekt är tid och resursoptimering. Additiv tillverkning kan i vissa fall minska ledtider för reservdelar, men produktionstiderna är inte alltid korta. Vidare innebär användningen av 3D-skrivare i fältmiljö tekniska utmaningar. Miljöpåverkan, såsom extrema temperaturer, strömavbrott, fukt och damm, kan påverka utrustningens funktionalitet. För att tekniken ska vara pålitlig i fält kan det krävas robusta skrivare och redundanta energikällor.

Riskerna med additiv tillverkning bör inte heller underskattas. Kvalitetskontroll är en stor utmaning, eftersom utskrivna delar inte alltid uppfyller samma standarder som fabriksproducerade komponenter. Felaktiga reservdelar kan leda till tekniska fel som påverkar säkerheten och den operativa förmågan. Dessutom utgör cyberhot en risk, då digitala ritningar kan manipuleras eller stjälas. Säkerhetsåtgärder för att skydda dessa digitala tillverkningsprocesser kan vara avgörande.

I det stora hela visar studien att additiv tillverkning kan vara ett värdefullt komplement till traditionella metoder för reservmaterieförsörjning i fältmiljö. Genom att möjliggöra lokal produktion av reservdelar kan tekniken bidra till militär effektivitet och minskat beroende av externa leveranskedjor. Detta kan öka möjligheten till reparation och att upprätthålla fordonens driftsförmåga i utmanade fältmiljöer.

6.2. Diskussion

Studien fokuserar på additiv tillverkning i en militär kontext och specifikt på reparation och underhåll av fordonssystem i fältmiljö. Resultaten kan därför inte utan vidare generaliseras till andra typer av materiel eller civila tillämpningar av tekniken. Dock kan vissa slutsatser vara relevanta även utanför det militära området, särskilt vad gäller logistikutmaningar och tekniska begränsningar med additiv tillverkning i fält.

En annan aspekt som påverkar generaliserbarheten är att begreppet militär effektivitet är relativt brett och har definierats utifrån denna studies behov. Detta innebär att vissa aspekter, har avgränsats, vilket kan påverka hur väl resultaten kan överföras till andra studier eller praktiska tillämpningar. För att helt säkert avgöra om additiv tillverkning kan bidra till militär effektivitet krävs även studier av kostnadsaspekten. Utöver detta behöver tidsförhållandena för tillverkning av reservdelar till en mängd av olika fordonssystem undersökas och analyseras i en större omfattning ur ett taktiskt perspektiv för att bedöma hur tidseffektivt additiv tillverkning är i en fältmiljö. Det kan därför vara värdefullt att komplettera denna forskning med ytterligare studier som inkluderar en mer omfattande kostnadsanalys, tidsaspekt samt undersöker additiv tillverkning i olika militära och operativa sammanhang.

6.3. Källdiskussion

En nackdel kopplad till valet av källor i denna studie är att endast ett fåtal vetenskapliga artiklar används. De flesta referenserna utgörs av rapporter från FOI och norska FFI samt handböcker, där FOI-rapporten är den mest vetenskapligt grundade källan. Trots detta ger dessa källor en relativt god empirisk grund för att besvara studiens frågeställning.

En ytterligare nackdel är att den additiva tillverkningstekniken utvecklas snabbt, vilket innebär att vissa källor kan vara inaktuella. Erfarenheterna från Cold Response är från 2016 och FOI-rapporten är från 2020. Nyare empiriskt material hade kunnat ge en mer aktuell bild av teknikens utveckling och implementering i militära sammanhang. För framtida studier hade det rekommenderats att undersöka nyare erfarenheter och forskningsrapporter för att få en mer uppdaterad analys av ämnet.

Baserat på källorna kan även urvalet av empiri ifrågasättas. Urvalet gjordes genom att inkludera den information som bedömdes vara relevant i relation till de utvalda faktorerna

som bröts ner från begreppet militär effektivitet. Det är möjligt att en annan person som genomför denna studie skulle identifiera delvis annan information från källorna. Dock, eftersom innehållet för varje påverkansområde är tydligt definierat, bör den huvudsakliga informationen ändå vara liknande.

7. Framtida forskning och rekommendationer

Det går att konstatera att vidare forskning behövs inom området additiv tillverkning, framför allt kopplat till en implementering och nyttjande av tekniken i organisationen. Försvarsmakten kan behöva redan nu börja utbilda personal på 3D-skrivare för att kunna utveckla kompetensnivån inom organisationen. Då militärmakter, såsom USA och Storbritannien ligger på framkant både genom ett frekvent användande av tekniken och implementering, så kan det vara värt att Försvarsmakten börjar överväga att satsa ordentligt på tekniken.

För det framtida nyttjandet av additiv tillverkning i Försvarsmakten bör de undersökas ytterligare kring detta:

- Möjligheter för hög hållfasthet och slitstyrka hos utskrivna komponenter för att uppnå långtidsegenskaper.
- Kostnadsanalyser för additiv tillverkning jämfört med konventionella metoder.
- Standardiserade processer för kvalitetskontroll.
- Vilka typer av additiva tillverknings processer som är mest användbar för att uppnå kraven på kvalité.
- Säkerhetssystem för att skydda digitala ritningar från manipulation och cyberhot.

8. Källförteckning

- Andersson, J., Astell, M., Axberg, S., Brehmer, B., Brynielsson, J., Hagstedt, D. S., . . . Vatsel, S. (2021). *Lärobok i Militärteknik, vol. 3 Teknik till stöd för ledning*. Stockholm: Försvarshögskolan
- Andersson, K., Bang, M., Marcus, C., Persson, B., Sturesson, P., Jensen, E., & Hult, G. (November 2015). *Military Utility, a proposed concept to support decision-making*. Technology in society.
- Björk, O. (2019). *Additiv Tillverkning i Försvarsapplikationer*. Stockholm: KTH.
- Blomkvist, P., & Hallin, A. (2015). *Metod för teknologer - Examensarbete enligt 4-fasmodellen*. Lund: Studentlitteratur.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). *Using thematic analysis in psychology*. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77-101
- Elmfeldt, A. (2024). *Under vilka förutsättningar är det lämpligt med additiv tillverkning för reservmaterieförsörjning på ett trosskompani?*. Stockholm: Försvarshögskolan.
- Flathagen, J., Duun Norberg, C., Nilssen, J., Nonsvik, G., & Nordmoen, J. (2016). *Additiv produksjon av prototyper og reservedeler i felt forsøk under Cold Response 2016*. Forsvarets forskningsinstitutt.
- Försvarsmakten. (2019). *Handbok Teknisk tjänst mark*. Försvarsmakten.
- Försvarsmakten . (2022). *Hanbok Systemsäkerhet*. Försvarsmakten
- Försvarsmakten. (2023). *Handbok Förband – Trosskompani*. Försvarsmakten.
- Gupta, N., Tiwari, A., Bukkapatnam, S. T. S. & Karri, R. (2020) ‘*Additive manufacturing cyber-physical system: Supply chain cybersecurity and risks*’.
- Pettersson, A. (2018). *Additiv tillverkning för högre teknisk tillgänglighet i internationella insatsområden*. Stockholm: Försvarshögskolan.
- Pirjan, A. & Petrosanu, D-M. (2013). *The impact of 3D printing technology on the society and economy*. Journal of Information Systems & Operations Management, 1- 11.

Savage, S. (2017). *Additive manufacturing Advanced materials technology: feasibility study*. FOI.

Savage, S. (2020). *Additiv tillverkning*. i G. Kindvall, & A. Lindberg, *Militärteknik 2045 Ett underlag till Försvarsmaktens perspektivstudie*. (ss. 161-175). FOI.

Shivananda Devi, D., & Nilanjana, R. (2022). *Additive Manufacturing*. Bengaluru: Laxmi Publications.

Stankiewicz, G., Kowalski, K., & Kocur, R. (2023). *Additive manufacturing in military using*. Warszawa: Institute of Logistics.

Top3D. (2025). *Additiv tillverkning*. Hämtad 24 februari 2025 från <https://www.top3d.se/additiv-tillverkning/>