



CHALMERS

Hållbarhetsanalys av tillverkningstekniker

En fallstudie om skärande bearbetning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi och
Produktionsteknik

LISA GUSTAFSSON
EVELINA KARLSSON

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
AVDELNINGEN FÖR MATERIAL OCH TILLVERKNING**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2020
www.chalmers.se

Hållbarhetsanalys av tillverkningstekniker

En fallstudie om skärande bearbetning

LISA GUSTAFSSON
EVELINA KARLSSON

INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
Avdelning för Material och Tillverkning
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2020

Hållbarhetsanalys av tillverkningstekniker
En fallstudie om skärande bearbetning

LISA GUSTAFSSON
EVELINA KARLSSON

© LISA GUSTAFSSON, 2020
© EVELINA KARLSSON, 2020

Industri- och materialvetenskap
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Göteborg, Sverige 2020

Gothenburg, Sweden 2020

Sustainability assessment of manufacturing techniques
A case study on machining

LISA GUSTAFSSON
EVELINA KARLSSON

Department of Industrial and Materials Science
Chalmers university of technology

ABSTRACT

Sustainability can sometimes be hard to assess when different options are available. This report describes a way to choose between different manufacturing methods in metal cutting processing from a sustainability perspective. A assessment tool is developed with indicators for sustainability that should be answered and be used as the basis for the assessment of sustainability for each method. The starting point is a change project in an existing factory where a new technology is considered to be implemented.

Normally sustainability is divided into three categories. These are ecological, social and economic sustainability. This is how UN in the Brundtland report from 1987 define sustainability. The assessment tool is developed with aim to be used in manufacturing processing, but with potential to be further developed into a wider perspective. Machining process is often energy consuming and uses a lot of chemicals. Cutting fluids are used which contain chemicals and can be contaminated with bacteria, which is a risk for workers health.

The method for the development of the assessment tool consists of literature studies and a visit at a factory's shopfloor to get a picture of what the existing technology looks like. A new way of choosing relevant indicators with inspiration from SMART and UN was developed and indicators from UN:s and GRI was the base for the new indicators, along with other indicators from the literature study. The assessment tool was made in Excel. The scope of assessment is limited to the machining area. A verification of the tool was made, with the existing data for cryogenic machining and machining with emulsion fluid, to show how the tool is meant to be used.

The sustainability tool is meant to be used for comparison, as a foundation to make a decision of which of the methods is the most sustainable based on the needs of the company

Keywords: Sustainability, indicators, manufacturing, machining technology, cutting

Göteborg, Sverige 2020

Hållbarhetsanalys av tillverkningstekniker
En fallstudie om skärande bearbetning

LISA GUSTAFSSON
EVELINA KARLSSON

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Hållbarhet kan vara svårt att bedöma när det finns flera alternativ tillgängliga. Rapporten beskriver ett sätt att välja mellan olika tillverkningstekniker inom skärande bearbetning ur ett hållbarhetsperspektiv. Ett bedömningsverktyg är framtaget med indikatorer på hållbarhet som bör besvaras och användas som grund för bedömningen av hållbarhet för varje teknik. Startpunkten är en existerande fabrik där ett förändringsprojekt sker för att bedöma om ny teknik ska implementeras eller ej.

Normalt delas hållbarhet delas in i tre kategorier. Dessa är ekologisk, social och ekonomisk hållbarhet och är hur FN definierar hållbarhet i Brundtlandrapporten från 1987. Bedömningsverktyget är framtaget med syfte att användas inom skärande bearbetning men med potential att senare kunna vidareutvecklas för användning inom ett bredare perspektiv. Skärande bearbetning är ofta energikrävande och använder stora mängder kemikalier och kan bli förorenade av bakterier som är en hälsorisk för de som arbetar med det.

Metoden för framtagandet av bedömningsverktyget består av litteraturstudier och ett besök på en fabrik där skärande bearbetning är en huvudsaklig syssla, för att få en inblick i existerande tillverkningsteknik. Ett nytt sätt för att bedöma indikatorer har tagits fram med inspiration från SMART och FN. Indikatorer från FN samt GRI låg till grund för de nya indikatorerna, tillsammans med indikatorer från litteraturstudien. Bedömningsverktyget gjordes i Excel. Området för bedömning begränsades till något som benämns som bearbetningssystem. Ett test gjordes av verktyget, med hjälp av existerande data för kryogenbearbetning och bearbetning med emulsion skärvätska, för att visa på hur verktyget är tänkt att användas.

Det är ett jämförande verktyg och är menat som en grund för att kunna ta ett beslut vilken av de jämförda tillverkningsteknikerna som är mest hållbara sett utifrån företagets behov.

Nyckelord: hållbarhet, indikatorer, tillverkningstekniker, skärande bearbetning,

Innehållsförteckning

1. INLEDNING.....	1
1.1 BAKGRUND.....	1
1.1.1 Hållbarhet.....	1
1.1.2 Skärande bearbetning.....	1
1.1.3 Intressenter	2
1.2 SYFTE.....	2
1.3 AVGRÄNSNINGAR	2
1.4 PRECISERING AV FRÅGESTÄLLNINGAR	2
2. TEORI.....	4
2.1 UTVECKLINGEN AV SKÄRANDE BEARBETNING.....	4
2.2 KYLNING	4
2.3 SMÖRJNING	5
2.4 FN´S INDIKATORER.....	5
2.5 SMART	5
2.6 HÅLLBARHET.....	6
2.7 LCA- LIVSCYKELANALYS	8
3. METOD.....	10
3.1 LITTERATURSTUDIE	10
3.2 INDIKATORER	10
3.3 FRAMTAGNING AV INDIKATORER	11
3.4 VERKTYG	12
4. RESULTAT	13
4.1 NY METOD FÖR VAL AV INDIKATORER.....	13
4.2 UTFORMNING AV VERKTYG.....	13
4.3 BEDÖMNINGSMALL FÖR EKOLOGISK HÅLLBARHET	14
4.4 BEDÖMNINGSMALL FÖR EKONOMISK HÅLLBARHET	14
4.5 BEDÖMNINGSMALL FÖR SOCIAL HÅLLBARHET.....	15
4.6 ANVÄNDNING AV VERKTYG.....	15
4.7 TEST AV VERKTYG	15
4.8 REKOMMENDERAT PROJEKTTEAM.....	17
5. ANALYS.....	18
5.1 RESULTAT AV TEST.....	18
5.2 KRITISKT TÄNKANDE VID ANVÄNDNING AV BEDÖMNINGSVERTYGET	18
5.3 HÅLLBARHETSBEDÖMNING SOM JÄMFÖRANDE PROCESS.....	19
5.4 BEGRÄNSNINGAR PÅ GRUND AV COVID-19.....	19
6. SLUTSATS.....	20
6.1 SVAR PÅ FRÅGESTÄLLNINGAR.....	20
6.1.1 Hur mäter man hållbarhet?	20
6.1.2 Vilka indikatorer är relevanta för att kunna bestämma om en tillverkningsteknik är hållbar eller inte?	20
6.1.3 Vilka indikatorer är relevanta för all tillverkning och vilka är specifika för skärande bearbetning.....	20
6.2 REKOMMENDATIONER OM FORTSATT ARBETE	21
6.2.1 Test av verktyg.....	21
6.2.2 Utveckling av verktyg	21

1. Inledning

I inledningen kommer bakgrund, syfte, avgränsningar och frågeställning för arbetet att beskrivas.

1.1 Bakgrund

Det utvecklas hela tiden nya tillverkningstekniker inom skärande bearbetning som ska vara bättre än de tillverkningstekniker som redan existerar. En ny tillverkningsteknik kan vara snabbare, säkrare eller mer precis men något som är svårt att mäta är om den nya tillverkningstekniken är bättre utifrån ett hållbarhetsperspektiv. Hållbarhet är idag något som är viktigt för kunder och något som företag strävar efter att förbättra för att vara konkurrenskraftiga. Det är även viktigt för att kunna göra världen till en bättre plats genom att till exempel bidra till att uppnå FN's globala mål.

Hållbarhet är viktigt för kunder i den mån att allt fler människor blir mer medvetna om hur miljön påverkas av deras livsstil. Det är idag trendigt att tänka mer hållbart och det speglar människans konsumtion och vilka företag som ligger i framkant.

“Volvo Group applies a life cycle approach to developing and delivering products and services responsibly and sustainably, throughout the value chain – from product development to reuse.” (Volvo Group AB, 2018, s.31)

Detta skriver Volvo Group i sin hållbarhetsrapport är ett sätt att arbeta med hållbarhet inom koncernen. Även SKF tar upp hållbarhet i sin årsrapport och skriver om FN's 17 hållbarhetsmål och vilka som de tycker är mest relevanta för deras koncern.

***“The most relevant goals for SKF are:
#5 Gender equality
#7 Affordable and clean energy
#8 Decent work and economic growth
#12 Responsible consumption and production
#13 Climate action
#16 Peace, justice and strong institutions”***
(SKF, 2019, S.37).

1.1.1 Hållbarhet

Hållbarhet kan enligt Brundtlandrapporten (Persson. 2018. s 31) delas in i tre olika dimensioner. En av dimensionerna riktar sig mot ekologiska aspekter, en mot de ekonomiska och en mot de sociala aspekterna. Brundtlands definition av hållbarhet är (fri översättning) “En hållbar utveckling tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjlighet att tillfredsställa sina behov” (World Commission on Environment and Development, 1987).

Det som bland annat kommer klassas som social påverkan, detta kommer i detta fall rikta sig mot arbetsgivare och arbetstagare. I den miljö som tillverkningstekniken kommer användas är bland annat buller och oljud, ergonomi, kemikaliehantering, arbetsmiljö, olyckor och övriga arbetsförhållanden. Ekonomisk hållbarhet innefattar i detta fall inköpskostnader, fasta och rörliga kostnader, lönsamhet, samt försäkringar. Ur det ekologiska perspektivet kommer energiförbrukning, bidragandet till förorening, förbrukandet av fossila medel, utsläpp och toxicitet att analyseras.

1.1.2 Skärande bearbetning

Skärande bearbetning är en tillverkningsteknik där geometrin på arbetsstycket förändras genom att ta bort material från arbetsstycket. Det finns många olika tekniker inom skärande

bearbetning redan idag och industrin utvecklas hela tiden. Då mycket av den skärande bearbetning idag, så som svarvning, fräsning och slipning, kräver mycket kemikalier som i till exempel skärvätska och oljor (I.S. Jawahir et al., 2016) krävs det en bra hantering av dessa vätskor för att inte det ska påverka de ekologiska, ekonomiska och sociala hållbarhetsaspekterna negativt. Det används också verktyg där hårdmetaller är vanligt, som wolfram och kobolt (Furberg, 2019, s.4), dessa metaller är dyra och finns bara på få platser i världen och på platser där det skapas mycket konflikter på grund av detta. Skärverktygen slits vid användning och behöver bytas efterhand, allt detta bidrar negativt till alla hållbarhetsaspekterna, ekonomiska, ekologiska och sociala.

Kryogentekniken, som kommer utvärderas som första steg, är en process där man kyler ner skärvätskan/smörjningen till runt -150°C och på så sätt minskar de skadorna på arbetsstycket som kan skapas av värmen som uppstår vid skärande bearbetning (I.S. Jawahir et al., 2016). I denna teknik använder man sig av kryogen i gas eller vätskeform, mer specifikt kväve, istället för att använda sig av vattenbaserad skärvätska.

1.1.3 Intressenter

De intressenter som bör tas i beaktning vid skapandet av verktyget är RISE IVF, men även Chalmers och Smarta Fabriker. Smarta Fabriker och Chalmers tillhandahåller handledning och möjligheter till testande av verktyget. Chalmers kommer även in i arbetet genom att det är de som tillhandahåller den kryoteknik maskinen som testen ska utföras på. De har information om hur maskinen är uppbyggd och dess miljöpåverkan.

Mottagare förutsätts vara personer med god kunskap inom skärande bearbetning. Denne eller dessa bör vara väl pålästa om tillverkningsteknikerna innan genomförandet av bedömningen samt ha tillgång till samlad information om drift och övriga specifikationer för samtliga tillverkningstekniker som ska jämföras. Detta för att både spara tid samt för att få en verklighetstrogen ifyllnad där så många av indikatorerna är besvarade som möjligt. Den eller de kan sedan föra vidare sin uppfattning om vilken metod som är mest lämplig ur ett hållbarhetsperspektiv till beslutsorgan samt inköp. Samlad information om förslag till arbetsgrupp kommer presenteras senare i denna rapport.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att ta fram ett verktyg för att utvärdera kylning och smörjning för skärande bearbetning utifrån de olika hållbarhetsperspektiven, ekonomi, ekologi och social.

1.3 Avgränsningar

Arbetet kommer att fokusera på tillverkningsindustrin, mer specifikt skärande bearbetning, och kommer kräva vidareutveckling om det ska implementeras inom andra områden. Detta då aspekterna som tas hänsyn till kan variera beroende på vilken typ och vilken del av verkstan som ska utvärderas. De aspekter som inkluderas i detta arbete kan vara icke-relevanta för annan typ av företag och det kan även i motsats fattas relevanta aspekter om verktyget implementeras i andra sammanhang utan att korrigeras. Vissa indikatorer är mer allmänna och kan även passa för analys på andra tillverkningsindustrier, till exempel indikatorer om energibehov och kemikaliehanteringar.

1.4 Precisering av frågeställningar

De frågeställningar som kommer vara relevanta att svara på under arbetets gång är:

Hur mäter man hållbarhet?

Hållbarhetsaspekter kan även vara svåra att mäta på ett konkret sätt. I många fall kan det innebära en personlig bedömning och risken är då att man förlorar objektiviteten. Det är

något vi vill undvika i detta arbete genom att ställa frågor som är både entydiga och som kräver ett svar grundat på fakta och inte personliga bedömningar.

Vilka indikatorer är relevanta för att kunna bestämma om en tillverkningsteknik är hållbar eller inte?

Hållbarhet är ett begrepp som kan ha olika innebörd beroende på vilket perspektiv man har. I många fall kan det vara svårt att avgöra vad som bör räknas som hållbarhet och synen på vad hållbarhet innebär har skiftat över åren. Därför behöver ett sätt för att välja ut indikatorer som är relevanta för hållbarhet tas fram.

Vilka indikatorer är relevanta för all tillverkning och vilka är specifika för skärande bearbetning?

En del av de indikatorer som kommer väljas ut är specifikt riktade till skärande bearbetning och kommer därför inte vara relevanta för ett mer generellt verktyg.

2. Teori

I teoriavsnittet kommer teori som diskuteras eller nämns i rapporten att beskrivas.

2.1 Utvecklingen av skärande bearbetning

Skärande bearbetning är en förstörande bearbetning som går ut på att skära bort material från ett arbetsstycke för att förändra dess geometri.

Det var under 1700-talet som metall blev det dominerande arbetsmaterialet istället för trä. Skärande bearbetning för metall var begränsad och primitiv men hade utvecklats (AB Sandvik Coromant, 1994, s.I-3). Under 1800-talet utvecklades skärande bearbetning allt mer då motordrivna maskiner började användas och det helt manuella arbetet minskade. Det var de amerikanska vapentillverkarna som var ledande inom utvecklingen av konstruktionen av maskiner, vilket banade vägen för universella fräs- och slipmaskiner utöver svarvar. Det var även under denna tiden som svarvrevolvern utvecklades för att lättare kunna byta verktyg i svarven (AB Sandvik Coromant, 1994, s.I-5).

Höghaltiga stål och legerade kolstål var de mest använda metallerna i verktyg, dessa värmebehandlades och blev väldigt hårda men blev mjuka igen när de användes vilket resulterade i väldigt korta livslängder på verktygsstålen. Detta skulle komma att utvecklas under hela 1900-talet, nya, värmebehandlade stål och mer tåliga legeringar togs fram för att kunna bearbeta mer och snabbare utan att slita så mycket på verktyget. Snabbstål, gjutlegeringar och hårdmetaller är några av dessa verktygsstål (AB Sandvik Coromant, 1994, s.I-8).

Det hände mycket inom skärande bearbetning under 1900-talet men på 1950-talet kom numerisk styrning (NC-Numerical Control), då styrdes maskinen av hålkort istället för att köras manuellt (AB Sandvik Coromant, 1994, s.I-33). Detta var början till en helt ny era inom skärande bearbetning med mer ökad produktivitet och ökat resursutnyttjande genom mer automatisk produktion, som sedan utvecklades till CNC-styrning (CNC-Computer Numerical Control). Där en dator styr vad som ska göras i bearbetningsmaskinerna genom ett program.

2.2 Kylning

Idag utvecklas mängder av olika tillverkningstekniker inom skärande bearbetning och en av dessa är en teknik inom kryogen. Ordet kryogen härstammar från grekiskans Kryos som betyder kyla och frost (I.S. Jawahir et al., 2016, s.1). Kryogentechniken går ut på att kyla ner ett arbetsstycke eller skärverktyg till väldigt låga temperaturer, The Cryogenic Society of America menar att Kryogeniska temperaturer börjar vid 120K, det vill säga, -153°C men det finns andra som säger att det inte är kryogeniskt förens vid 93.15K, -180°C (I.S. Jawahir et al., 2016, s.1).

Idag är kryogenisk kylning mycket vanligt att använda inom flygplanstillverkning då dessa material är väldigt kraftfulla och måste klara av väldigt höga temperaturer. Ett flygplan behöver även vara tåligt mot kylning vid höga temperaturer då det detta kan ske vid höga höjder (A.E. Hayes, 2010, s.1). I annan bearbetning som inte är för flygplanstillverkningen används vanligtvis vatten som kylmedel (I.S. Jawahir et al., 2016, s.2).

För att kunna kyla till väldigt låga temperaturer, under -150°C, använder man sig av gas i vätskeform och flytande kväve är det vanligaste kylmedlet idag (I.S. Jawahir et al., 2016, s.1). Flytande kväve används vanligen för att det är ett effektivt kylmedel, är flytande vid -196°C, och är inte farligt för varken miljö eller människa då luften vi andas består till 78% av kväve (Kopac, J., Krajnik, P., Pusavec, F., 2010, s.176). Flytande kväve förångas snabbt och lämnar inget som förorenar spånor eller påverkar skärverktyg eller operatör.

2.3 Smörjning

Vid skärande bearbetning använder man sig av skärvätska för att kyla och smörja mellan skärverktyget och arbetsstycket (AB Sandvik Coromant, 1994, s.XII-8). Skärvätskan som vanligen används idag är en blandning av vatten och mineraloljor, vilket i längden varken är bra för människor som jobbar med skärvätskan eller miljön (Kopac, J., Krajnik, P., Pusavec, F., 2010, s.175). Vattnet blandas med mineraloljor för att få en mer smörjande effekt än vad bara vattnet kan ge, detta är vanligast vid högre skärhastigheter. Vid låga skärhastigheter används ofta bara olja (Brinksmeier, Herrmann, Huesmann-Cordes & Meyer, 2015, s.606). Dessa emulsioner har en negativ miljöpåverkan och kan skapa dimma och är inte hälsosamt för de operatörer som blir utsatta för dimman.

High pressure jet assisted machining, HPJAM, eller högtrycksskylning som det heter på svenska, är en teknik för skärvätska där man använder sig av naturliga oljor och en väldigt liten mängd av olja, i jämförelse med smörjning med emulsion, som smörjmedel för att minska friktionen, denna teknik används ofta tillsammans med kryoteknik. Denna teknik har resulterat i bättre spånbrytning och kortare tid som spånan och verktyget har kontakt samt är bättre för miljön då den olja som används inte är fossil (Kopac, J., Krajnik, P., Pusavec, F., 2010, s.177).

2.4 FN's Indikatorer

Indikatorer används bland annat både i millenniemålen och FN:s 17 globala mål för hållbar utveckling och är mätbara hjälpmedel för att bedöma hur väl ett mål uppfyllts. FNs kommission för hållbar utveckling påstår att indikatorer inom hållbarhet ska vara följande (United Nations, 2007):

1. Primärt nationellt omfattande
2. Relevanta för att bedöma framsteg inom hållbarhet
3. Begränsade i antal, men öppna och anpassningsbara för framtida behov
4. Täcka Agenda 21 och alla aspekter av hållbar utveckling
5. Lätta att förstå, tydliga och entydiga
6. I enhet med konceptet
7. Till största möjliga mån vara representativa internationell konsensus
8. Inom regeringens kapacitet att kunna utveckla
9. Beroende av kostnadseffektiv data av känd kvalitet

Punkt 2-4 handlar till stor del om att indikatorerna ska vara tillräckligt omfattande för att fånga upp den stora omfattning och mångsidigheten som hållbar utveckling innebär men att heller inte använda sig av för många indikatorer. Argumentet för att de ska vara av begränsat antal är för att de annars kan bli för svårt att använda och tolka. Vidare förklaras också varför vikten av att skapa tydliga och entydiga indikatorer då exempelvis ett högt utslag på en indikator kan vara positivt i ett sammanhang men inte i ett annat, beroende på vart man använder den. Ett annat exempel är att en indikator som har en positiv effekt på den ekonomiska hållbarheten kan ha en negativ effekt på ekologiska (United Nations, 2007).

2.5 SMART

Det finns många olika sätt att ta fram en indikator på, ett sätt som kan användas för detta är SMART. SMART är ett arbetssätt för att kunna ta fram mål på ett sådant sätt att de är uppnåbara och tydliga. SMART står för:

Specific - För att förstå ett mål behöver det vara tydligt och specifikt. Alla som läser ska kunna förstå vad målet är.

Measurable - Ett mål måste kunna mätas för att kunna följas upp. Det kan vara t.ex. kvantitet, tid eller kvalitet.

Achievable - För att kunna nå ett uppsatt mål är det viktigt att det faktiskt går att uppnå. Det ska finnas resurser och vilja till att uppnå mål.

Relevant - Målet måste vara relevant för den eller de som ska uppnå det.

Time-bound - En tidsram gör att målet blir mer konkret och lättare att följa upp (Kerzner, 2019, s.170).

SMART används vanligtvis i projekt men är enkelt att applicera till alla sorters mål.

2.6 Hållbarhet

Enligt Andrews och Granath skapades uttrycket hållbar utveckling 1981 av en man vid namn Lester Brown, amerikansk författare och miljövetare. 1987 skapade FN:s världskommission för miljö och utveckling, i ledning av Gro Harlem Brundtland, den så kallade Brundtlandrapporten som på svenska kallas "vår gemensamma framtid". Man hade förstått att man hade problem med miljön och världens resurser och använde sig utav begreppet hållbar utveckling som ett sätt för att försöka lösa detta (Nationalencyklopedin, Brundtlandrapporten, n.d).

I rapporten gjorde man indelningarna ekologisk hållbarhet, social hållbarhet och ekonomisk hållbarhet. Den ekologiska dimensionen behandlar luft, jord, vatten, biologisk eller ekologisk mångfald, ekosystemtjänster o.dyl och kan delas in i naturens assimilationsförmåga, som är hur väl naturen klarar hantera utsläpp och påverkan samt produktionsförmåga, som innebär hur väl naturen klarar förse oss med olika naturresurser (Persson. 2018. s 32-35). Det är alltså den ekologiska delen av hållbarhet. Ekonomisk hållbarhet kan innefatta exempelvis värde på naturresurser, investeringar, marknaden och är hur vi hushållar med de resurser vi har för att de ska hålla långsiktigt (Persson. 2018. s 38-40). Den sociala dimensionen tar bland annat upp det som rör människors välmående och behov, makt, utbildning, rättigheter och jämställdhet (Persson. 2018. s 40-43). Enligt litteraturen behövs alla tre dimensioner i ett samspel för att skapa en hållbar framtid (Persson. 2018. s 43-44). Man hävdade att alla tre måste stödja varandra för att uppnå en hållbar utveckling. Man myntade även det som senare skulle bli en klassisk definition av hållbarhet genom följande uttryck

"En hållbar utveckling är en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov"

(World Commission on Environment and Development, 1987)

Brundtlandrapporten gav en bild av nuläget som har varit användbar men mötte också kritik. Bland annat riktade sig kritiken mot hur olika typer av hållbarhet rankades i förhållande till varandra där ekonomisk hållbarhet blev överordnad den ekologiska (Brundtlandrapporten n.d).

Då Brundtlandrapporten inte var ett verktyg för handling utan endast visioner så bestämde FN att det skulle hållas en konferens i Rio 1992, som kom att bli den dittills största globala konferensen som hållits, med företrädare och representanter från olika områden och från hela världen. Under Riokonferensen bestämdes det att all utveckling bör vara hållbar utveckling och man kom fram till handlingsplanen Rio-deklarationen, skogsprinciperna och Agenda 21 (Andrews och Granath. n.d).

Riodeklarationen är 27 principer som man ansåg grundläggande för arbetet med miljö och utveckling. Konsumtionsvanor var något som togs upp och behandlades. I Riodeklarationen ifrågasattes den livsstil med hög konsumtion som den nutida civilisationen har och det ledde till att man för första gången kunde läsa om behovet av ändrat beteende gällande produktion och konsumtion (Andrews och Granath. n.d)

Skogsprinciperna innebar en samling principer gällande hur man ska bruka och bevara skogen (Andrews och Granath. n.d). Målet är att skogen ska bevaras så att både dagens men också framtidens generationer ska kunna tillgodose sina behov ur både det ekonomiska, ekologiska och sociala perspektivet men också det kulturella och andliga behovet. Skogsägarna själva ska få arbeta med hållbarhet ur ett långsiktigt perspektiv (Söderström. n.d. Sid 4). Man tog även upp staters handlingsfrihet i hur skogsmaterial ska användas men att detta ska vara i linje med den miljöpolitik man har kommit överens om nationellt. Skogsprinciperna ska innefatta alla sorters skogar och man ska enligt denna se skogen ur ett helhetsperspektiv. (Söderström. n.d. sid 10.)

Agenda 21 är en plan som uppkom under Riokonferensen för hur man skulle arbeta med dessa frågor under 2000-talet och 180 stater skrev på. Den innefattar bland annat de tre dimensionerna, vikten av att jobba med samtliga dimensioner, att man involverar alla samhällsgrupper i arbetet samt att de lokala myndigheterna ska göra egna versioner av Agenda 21 för att arbetet med hållbarhet lokalt. 10 år efter att Riokonferensen ägt rum hölls ett toppmöte i Johannesburg år 2002 som behandlade hållbar utveckling. På detta möte bestämdes det att Agenda 21 även skulle vara en grund för arbetet med hållbar utveckling även i framtiden. Man tog då fram mål och tidsplaner för hur arbetet skulle genomföras (Elvingson. Agenda 21).

I september år 2000, två år innan mötet i Johannesburg, formulerades de så kallade millenniemålen ur den så kallade millenniedeklarationen som skapades under ytterligare ett stort toppmöte med stats- och regeringschefer i New York. Millenniedeklarationen skapades då man fastslog att man behövde jobba gemensamt med hållbarhet för att få en helhetssyn. Man diskuterade sambanden mellan fred, säkerhet, fattigdom, mänskliga rättigheter, demokrati, utbildning, miljö och hälsa. 193 stater, vilket då var samtliga av FN:s medlemsstater, antog detta samt lite över 20 internationella mellanstatliga organisationer. Utifrån detta skapades millenniemålen som bestod av 8 mål med tillhörande 21 delmål och 60 indikatorer på uppfyllandegrad. Större del av målen skulle uppnås till 2015. De första sju målen riktade sig till samtliga länder som skrivit under och behandlade bland annat miljö, fattigdom, hälsa och vatten. Det åttonde målet var menat för de rikare medlemsländerna och innefattade hur dessa länder skulle stödja arbetet med att uppnå målen genom exempelvis ökat bistånd. Arbetet med att uppfylla millenniemålen övervakas på både global och nationell nivå och varje år skrevs en rapport som lämnades över till FN:s generalförsamling så dessa kunde följa uppfyllandet (Snellman n.d).



Figur 1. Millenniemålen (Svenska FN förbundet, 2014)

2015 hölls ett toppmöte i New York för hållbar utveckling där statschefer och regeringschefer från hela världen deltog. Under detta möte fastslogs FN:s 17 globala mål för hållbar utveckling. Dessa blev en fortsättning av milleniemalet som skulle varit uppfyllda och består även likaså av delmål och indikatorer. Skillnaden mellan milleniemalet och de globala målen var att de denna gången inte till störst del riktade sig mot de fattigaste länderna utan hade ett mer globalt perspektiv där alla världens länder inkluderades och ansvaret fördelas mellan både rika och fattiga länder för att skapa mer gemensamt ansvarstagande. Även denna gång gjorde man indelningen ekonomisk, social och ekologisk hållbarhet. (Schmidt, J. n.d).



Figur 2. FN's 17 hållbarhetsmål. (FN, 2020). CC BY-NC-ND

På figuren ovan ses de 17 hållbarhetsmål som FN har tagit fram. Under dessa mål finns även undermål för att kunna uppnå huvudmålen, undermålen är i sig uppdelade i indikatorer som beskriver vad som mäts för de olika målen. Som exempel, under mål nr. 7, Hållbar energi för alla, finns flera undermål. Ett av dessa är: "7.1 Tillgång till modern energi för alla" (FN, 2020). Detta undermål formulerar FN i två indikatorer: "7.1.1 Proportion of population with access to electricity" och "7.1.2 Proportion of population with primary reliance on clean fuels and technology" (FN, 2020).

2.7 LCA- Livscykelanalys

Livscykelanalys, LCA, är ett verktyg som används för att räkna ut den totala miljöpåverkan för en produkt (Grant, Horne & Vergheze, 2009, s.14). Det vanligaste sättet att använda LCA är att jämföra en produkts miljöpåverkan med en alternativ produkt för att sedan kunna bedöma vilken som är bästa valet utifrån ett miljöperspektiv. En livscykelanalys görs från vaggan till grav av produkten, allt från miljöpåverkan vid utvinning av material till leverans av detta materialet till tillverkare och återvinning av materialet (Grant, Horne & Vergheze, 2009, s.14). LCA är ett bra verktyg för att mäta miljöpåverkan, det tar bara hänsyn till de ekologiska aspekterna inom hållbarhet, inte ekonomiska eller sociala, vilket det inte är avsett för (Baumann & Tillman, 2004, s.4). Dessa aspekter används endast då det är relevant för att bestämma om vilken produkt som är bäst lämpad, tillsammans med den risk som produkten kan ha.

ISO14040 definierar LCA som:

"LCA är en teknik för bedömning av miljöaspekter och potentiella miljöeffekter förknippade med en produkt genom

- sammanställning av en inventering av relevanta inflöden och utflöden hos ett produktsystem,
- utvärdering av de potentiella miljöeffekterna förknippade med dessa inflöden och utflöden,
- tolkning av resultaten från inventerings- och miljöpåverkansfaserna i förhållande till studiens målsättning.” (Baumann & Tillman, 2004, s.4).

Detta är inte den nyaste standarden, 2006 kom en uppdatering av ISO-standard. Definitionen av ISO14040 har inte förändrats utan det har lagts till en ny standard ISO14044 (Christiansen, Finkbeiner, Inaba, Klüppel & Tan , 2006, s. 83).

3. Metod

I metoden beskrivs hur arbetet har gått tillväga för att kunna få fram det efterfrågade resultatet.

3.1 Litteraturstudie

Detta arbete påbörjades med en litteraturstudie där relevanta teorier och ämnen som krävdes för att kunna få en djupare förståelse studerades. De ämnen som studerades var skärande bearbetning, hållbarhet och hur större aktörer arbetade för att kunna utvärdera hållbarhet i olika perspektiv.

Efter litteraturstudien gjordes ett studiebesök där skärande bearbetning är en stor del av produktionen, för att få en bättre inblick över hur den existerande tillverkningstekniken ser ut. Detta för att främst få en inblick över de sociala faktorerna och hur arbetsmiljön ser ut. Då kunskapen om maskiner och tillverkningsteknik saknades i praktiken var detta studiebesök relevant för att få arbetet att komma vidare. Då verktyget kommer att prövas på en ny, innovativ tillverkningsteknik, kryotekniken, gjordes även ett besök till Chalmers maskinlabb där den tekniken idag finns och testas.

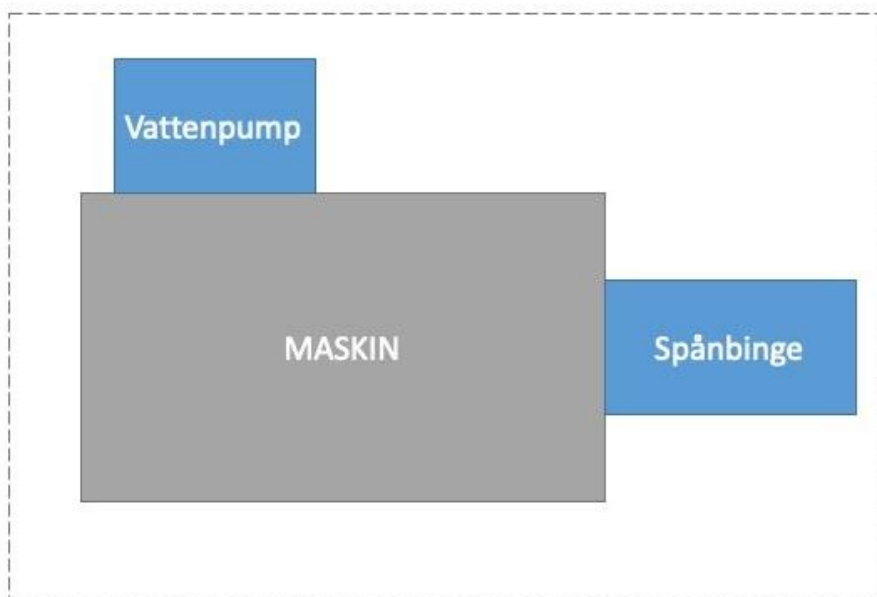
3.2 Indikatorer

För att kunna utvärdera hållbarhet använder sig FN och GRI av indikatorer. En indikator är ett verktyg för att kunna mäta hur något förbättras eller förändras (Chen, Heyer, Seliger, Kjellberg, 2012, s. 464). FN har 17 hållbarhetsmål med delmål som bygger på olika indikatorer som FN använder sig av för att mäta hur dessa mål uppnås.

För att kunna ta fram indikatorer gjordes en litteraturstudie av tidigare arbeten om hållbarhetsindikatorer och även en studie över vilka indikatorer som används av FN och GRI. Utav detta sammanställdes de indikatorer som kunde vara relevanta för ämnet för att kunna få inspiration till hur en indikator kan vara uppbyggd. Vid en första blick av FN's 17 hållbarhetsmål kan det verka som att många av dessa undermål är relevanta och kan användas vid tillverkning av ett verktyg för hållbarhetsanalys av tillverkningstekniker. Efter att kollat närmare på alla dess undermål och vilka indikatorer som används för att mäta dessa var det inte många som passade in i detta arbete.

Ett exempel för detta kan vara mål nummer 6, *Rent vatten och sanitet för alla* (FN, 2020). Vatten används ofta inom skärande bearbetning som kyl- och smörjmedel, vilket gör att detta mål kan låta relevant. Till detta huvudmål finns 8 stycken undermål, det enda undermål som vi ansåg vara relevant vid hållbarhetsanalys av tillverkningstekniker var mål 6.4 *Effektivisera vattenanvändning och säker vattenförsörjning* (FN, 2020). Då det är stora mängder vatten som används vid skärande bearbetning är det bra om det återanvänds så mycket som möjligt för att spara på vattenresurserna. De indikatorer som FN använder sig av för att mäta just detta undermål är: "6.4.1 Change in water-use efficiency over time" (FN, 2020) och "6.4.2 Level of water stress: freshwater withdrawal as a proportion of available freshwater resources" (FN, 2020). Indikator 6.4.1 skulle kunna vara relevant för att mäta hur mycket som förändras av vattenanvändning utifrån vilken tillverkningsteknik som väljs men inte relevant för att just välja tillverkningsteknik och 6.4.2 är inte relevant alls inom skärande bearbetning.

För att kunna bestämma vilka indikatorer som är relevanta för att kunna utföra en hållbarhetsanalys på en tillverkningsteknik har det valts att göra en begränsning till ett specifikt område där olika delar av tillverkningstekniken används. Området refereras till som ett bearbetningssystem, detta för att inte endast fokusera på själva bearbetningsmaskinen utan för att även kunna analysera den energi som till exempel krävs för att kyla skärvätskan eller till återvinning av överblivet material och spånhantering.



Figur 3. En illustration över ett bearbetningssystem. Maskin, spånhantering och vattenpump eller annat kylsystem.

3.3 Framtagning av indikatorer

För att indikatorerna skulle vara konceptuellt enhetliga behövdes en metod, eller ramverk, för att bedöma deras relevans. Då ingen enskild befintlig modell var användbar i urval av indikatorer var en egen modell av stort behov. Genom att titta på de kriterier som FN använt för urval av deras indikatorer samt SMART-modellen som egentligen syftar till mål sattes en ny metod ihop som var mer lämplig i detta fall.

Ur SMART plockades kriterierna specifikt, relevant och tidsbundet som inspiration. Mätbart och uppnåbart användes ej då många av indikatorerna inte går att mäta exakt utan är ja eller nej frågor. Dessa indikatorer som ej mäts kan bland annat grunda sig på uppfattning eller bara konkreta fakta om ett visst medel används eller inte och kommer inte besvaras på ett kvantitativt sätt. Då indikatorerna inte används som riktmärken för uppfyllnadsgrad var heller inte uppnåbart relevant för urvalsmetoden. Detta verktyg kommer endast kolla till hur det ser ut idag och indikatorerna ger en bild över nuläget. Skillnad hade varit om verktyget hade använts för att bedöma hur långt man kommit med utvecklingen av hållbarhet.

Vid genomgång av FN's kriterier valdes nummer 1, 7 och 8 bort helt (se nedan). Detta då de är utformade för att bedöma hållbarhet ur ett mycket större perspektiv, både globalt och internationellt, och därför inte relevanta för val av hållbarhet inom tillverkningstekniker, särskilt inte med avgränsning till skärande bearbetning. En del av FN's indikatorer var användbara till viss mån, och en del behövde omformulering. Detta gällde nummer 2, 4, 6 och 9. Nummer två behövde omformuleras till att inte rikta sig mot framsteg utan nuläge. Vid omformulering blev denna istället "Relevanta för att bedöma nivån av hållbarhet". Detta återfinns även i SMART och kombinerades till ett kriterium. Nummer fyra valdes att omformuleras för att inte enbart adressera Agenda 21 och för att få ett kriterium som inte är lika starkt kopplat endast till FN. Den utvecklades även för att bli tydligare och mer entydig i formuleringen genom att framföra att det är hållbarhetens tre pelare social, ekonomisk och ekologisk hållbarhet som syftas på. Detta blev efter omformulering "Ska täcka både social, ekonomisk och ekologisk hållbarhet". Det sjätte kriteriet som tidigare var "i enhet med konceptet" omformulerades till "Inom relevans för tillverkningstekniker" då konceptet redan är tillverkningstekniker. Nummer 9 fick en omformulering till att mer syfta till att indikatorerna i

helst ska kunna besvaras på ett objektivt sätt och omformulerades till "I största möjliga mån besvaras baserad på objektiva värderingar"

De kriterier som fanns väl användbara i ursprunglig form var nummer 3 samt nummer 5. Dessa handlade främst om hur indikatorerna skulle vara formulerade.

1. Primärt nationellt omfattande
2. Relevanta för att bedöma framsteg inom hållbarhet
3. Begränsade i antal, men öppna och anpassningsbara för framtida behov
4. Täckta Agenda 21 och alla aspekter av hållbar utveckling
5. Lätta att förstå, tydliga och entydiga
6. I enhet med konceptet
7. Till största möjliga mån vara representativa internationell konsensus
8. Inom regeringens kapacitet att kunna utveckla
9. Beroende av kostnadseffektiv data av känd kvalitet

Figur 4. FN's lista för val av indikatorer

3.4 Verktyg

Efter att dessa indikatorer tagits fram, placerades dessa in i verktyget under diverse indelningar där de passar in utefter deras karaktär. Dessa är indelade i ekologisk, ekonomisk och social. De indikatorer som togs fram var indelade i tre olika delar där dessa indikatorer ska på olika sätt som beskrivits i verktyget.

Ett första test av verktyget gjordes med hjälp av den information och de siffror som idag finns tillgängliga för kryotekniken och som jämförs med den vanligaste bearbetningen med emulsion som skärvätska, för att kunna visa på hur verktyget ska användas. Denna data hämtas ifrån *Transitioning to sustainable production - part II: evaluation of sustainable machining technologies* (Davorin, Kopac, Krajnik & Pusavec, 2010). Då utvecklingen av kryotekniken är ett pågående projekt och det finns inte tillräckligt med data för att kunna göra ett fullständigt test på den tekniken kommer ett ordentligt test senare att genomföras av RISE forskningsinstitut när mer data finns och det kan göras mer utförligt och objektivt.

4. Resultat

Det slutresultat som blev är ett verktyg utformat i excel som är indelat i tre olika sektioner utefter de tre olika hållbarhetsaspekterna med indikatorer som passar in under dessa. Detta förklaras mer utförligt nedan.

4.1 Ny metod för val av indikatorer

De indikatorer som skulle användas behövde genomgå en granskning så att bedömningsverktyget skulle bli enhetligt och för att försäkra att samtliga indikatorer är relevanta för ändamålet. Då det ej fanns en redan utformad metod för val av indikatorer som passade detta syfte var det tvunget att ta fram ett mer ändamålsenligt tillvägagångssätt. Genom att kombinera SMART och FN:s metod för urval av indikatorer samt diverse omskrivningar kunde en ny metod presenteras. Denna består av 6 punkter där punkt 1 och 2 syftar till indikatorernas utformning i formulering och antal. Punkt 3, 4 och 5 behandlar dess innehåll. Detta var de steg för bedömning som uppfattades som viktigast och därför är även dessa steg fler i antalet för att säkerställa att innehållet i indikatorerna var av god relevans och i hög grad användbara. Det sista steget tar upp hur indikatorerna ska kunna besvaras. Objektivitet är av stor vikt för att resultatet inte ska kunna skilja allt för mycket åt beroende på vem som utför bedömningen. Dessutom finns risk att personen medvetet eller omedvetet besvarar indikatorerna på ett sätt som är gynnsamt en av tillverkningsteknikerna om indikatorerna skulle besvaras på ett icke-objektivt sätt. De 6 stegen blev följande:

1. Specifika, lätta att förstå, tydliga och entydiga
2. Begränsade i antal, men öppna och anpassningsbara för framtida behov
3. Relevanta för att bedöma nivån av hållbarhet
4. Ska tillsammans täcka social, ekonomisk och ekologisk hållbarhet
5. Inom relevans för tillverkningstekniker
6. I största möjliga mån besvaras med grund i objektiva värderingar

Samtliga av de indikatorer som används i bedömningsmetoden har granskats mot denna lista innan de lagts till permanent. Även helheten på verktyget har setts över med detta som grund för att säkerställa helheten.

4.2 Utformning av verktyg

Då verktyget skulle vara lätt att använda och lätt att förstå valdes excel som program att utforma verktyget i. De flesta idag kan använda excel och har programvaran sen innan, det är lätt att spara dokument i excel och man kan lätt skriva ut olika delar för att kunna ta med sig. Första arbetsbladet i exceldokumentet är ett försättsblad där verktyget förklaras och utformning av verktyget och hur indikatorerna ska besvaras samt några förkortningar som används. Verktyget ska vara lättanvänt och gå relativt snabbt att genomföra för att det faktiskt ska användas och inte vara så omständigt att det inte används.

Vid utformning av verktyget delades de olika indikatorerna in i grupper utefter vilken av de tre pelarna, ekologisk, ekonomisk och sociala, som indikatorerna passade bäst under. Dessa olika delar tilldelades även varsin representativ färg för att på ett lätt sätt kunna skilja dessa åt. I de olika delarna är indikatorerna även indelade utefter svarsalternativ, det finns tre olika indelningar för att svara på de olika indikatorerna.

Den första indelningen är Ja, Nej, Vet ej eller N/A (Not Applicable), dessa indikatorer är lätta att svara på och ger en tydlig bild. Ett exempel på en indikator, under sociala indikatorer, är: "Finns det någon risk för lindrig fysisk skada hos de som arbetar med tillverkningstekniken?". Då dessa svar är väldigt korta finns även plats för att lämna kommentar om svaret.

Den andra indelning är svar i procentsatser, här återkommer indikatorer som utformas av att det är en del av något annat. Dessa ger ett specifikt och tydligt värde. Ett exempel på en indikator, under ekologiska indikatorer, är: "Hur många procent av hela lufrummet består av CO2 vid användning av bearbetningssystem?". Om inte ett specifikt värde finns att tillgå kan ett semikvantitativt värde användas istället.

Den sista och tredje indelningen är svar i kvantitativ mängd, det kan vara till exempel i kronor, liter/timme eller kWh men kan också besvaras genom att ange textsvar. Dessa indikatorer är väldigt specifika och ger ett enkelt svar. Ett exempel som besvaras med kvantitativ mängd, under ekonomiska indikatorer är: "Hur ofta behöver skärverktyget bytas ut?". Ett exempel som besvaras med textsvar, under sociala indikatorer, är: "Vilka skadliga ämnen kan människor som jobbar med tillverkningsmekaniken bli utsatta för?". Viktigt att komma ihåg är att göra mätningarna vid samma tillfälle och med samma inställningar. Ska exempelvis verktygets livslängd mätas behöver man se till resultatet mäts vid samma skärhastighet.

I den sista indelningen, där svaret ska ges i kvantitativ mängd, valdes timme som tidsenhet. Detta på grund av att per vecka eller per år är alldeles för lång tid och det varierar för mycket för att kunna använda per produkt. Enhet är tillåtna att ändras för att lättare kunna arbeta med verktyget. Exempel på detta kan vara om det redan är angivet i en annan enhet eller om det blir mer tydligt att skriva i en annan enhet såsom euro istället för kronor. Dock ska i så fall denna enhet användas även vid bedömning av de andra tillverkningsmekanikerna så att de blir lätta att jämföra. Man kan alltså inte besvara en indikator med kronor och sedan besvara samma indikator för en annan teknik med euro.

De tre olika indelningarna är även utformade på så sätt att alla indikatorer ska få plats på ett A4 för att det ska vara lätt att kunna skriva ut och ta med sig och för att på något sätt kunna begränsa hur många indikatorer som ska användas.

4.3 Bedömningsmall för ekologisk hållbarhet

Under svarsdelen som behandlar ekologisk hållbarhet återfinns frågor gällande framförallt utsläpp, material, energi och rengöring. Del 1, indikator 1-4, behandlar utsläpp. Främst gasformiga ämnen tas upp då det är den största anledningen till utsläpp, men även fasta ekoskadliga ämnen. Indikator 5-7 handlar om materialet. Dessa indikatorer undersöker materialets egenskaper i form av återvinning och föroreningar. Vidare behandlar indikator 8-11 energiförbrukning. Den sista delen av del 1 handlar om rengöring, då spånor och utrustning kontamineras av bland annat kylmedel vid bearbetning.

Del 2 där svarsalternativet är i procent ska mängden överblivet restmaterial, användandet av icke-vegetabiliska oljor samt andel flytande kväve som används till kylning besvaras.

Del 3 består av 6 indikatorer som besvaras med olika mängdenheter. Användandet av vatten besvaras i liter per timme, mängd energi i kilowattimmar, koldioxidavtrycket i koldioxid per timme, användandet av kritiska naturresurser i kilo och CLF koncentrat i liter. Den återstående indikatorn skiljer sig något från övriga då den kräver ett textsvar. Denna indikator behandlar vilka typer av ytaktiva medel som används.

4.4 Bedömningsmall för ekonomisk hållbarhet

Denna del av bedömningsverktyget är den mest omfattande och består av 40 indikatorer. De främsta återfinns under svarsalternativ 3 där många av enheterna innefattar kronor eller

kronor per timme. Flertalet av dessa indikatorer behandlar kostnader för kylning genom bland annat investeringar i kylsystem och CLF-kostnader.

Även maskinspecifika kostnader tas upp. Exempel på dessa är inköpspris, avskrivningstid, försäkringskostnader, skattekostnader och kostnader för underhåll. Liknande maskinkostnaderna finns även kostnader för verktyget som bör separeras från de övriga maskinkostnaderna då de ensamt kan stå för en betydande kostnad. Totalt finns 6 indikatorer som sammanfattar dessa kostnader genom bland annat hur ofta verktygen behöver bytas ut och kostnad för detta, både direkt genom själva verktygets specifika kostnad men också för kostnader för bland annat verktygshållare och installation.

Kostnader för vatten och energi återfinns i del 3 samt även ett flertal indikatorer gällande kostnader för operatörer. Dessa behandlar arbetskraftskostnader i form av lön till de operatörer som krävs i tillverkningstekniken för att utföra arbetet.

4.5 Bedömningsmall för social hållbarhet

Den sociala delen av hållbarhetsbedömningen är den med minst antal indikatorer. Detta ej på grund av att den är av mindre betydelse utan då det helt enkelt fanns mindre aspekter att undersöka. I detta fall handlar nästan samtliga av indikatorerna om risk för hälsa och välmående hos operatörerna. Dessa inkluderar om de utsätts för fara eller risk för personlig skada så som genom exempelvis bränn- eller kylskador samt om det finns risk att de utsätts för andra skadliga ämnen genom hud eller inandning. En indikator skiljer sig åt då den tar upp om det finns underlag för utbildning av operatörer.

4.6 Användning av verktyg

Det är svårt att mäta hållbarhet. Det finns inget dokumenterat sätt att följa som visar på hur hållbar en produkt, service eller teknik är. LCA är ett arbetssätt för att jämföra hur olika produkter står sig gentemot varandra utifrån ett ekologiskt hållbarhetsperspektiv. Genom att bara göra en LCA på en individuell produkt, service eller teknik säger inte så mycket och ger inget resultat. Därför valdes att göra ett verktyg där två olika tillverkningstekniker ska jämföras för att kunna få fram ett resultat.

Vid bedömning och mätning ska svaren vara så objektiva som möjligt för att kunna nå bästa möjliga resultat. När inspiration för uppbyggnaden av verktyget införskaffades hittades en annan liknande studie, ej publik, där ett verktyg tagits fram där även svarsalternativ från 1-5 fanns. 1 betyder stämmer ej, 2 betyder stämmer oftast inte, 3 varken eller, 4 stämmer delvis och 5 stämmer fullständigt. Dessa indikatorer är bra för att inte bara kunna svara ja eller nej eller där det inte går att svara i ett specifikt värde eller procenttal. Nackdelen med denna svarstyp är att det bidrar till en personlig bedömning och verktyget förlorar en del av sin objektivitet, därför valdes denna typ av svarsalternativ bort vid utformningen av verktyget.

4.7 Test av verktyg

Då alla data som återfanns i tidigare nämnd publicering (Davorin, Kopac, Krajnik & Pusavec, 2010) var mätt i euro och inte svenska kronor användes euro i testet av verktyget för att undvika fel vid konvertering av euro till svenska kronor. Vid testet jämfördes nuvarande data från bearbetning med kryogentekniken med samma data för bearbetning med emulsion, som är den vanligaste existerande tillverkningstekniken. Denna data är från ett test där nickelbaserade legeringar bearbetades. Då all data för kryotekniken idag inte finns tillgänglig har inte alla frågor besvarats i verktyget.

Testets resultat visar på att kryo är bättre till den delen att ingen kylvätska används, vilket besparar både den ekologiska aspekten och den ekonomiska. Den existerande bearbetningsmetoden idag, som är en emulsion med vatten och mineraloljor, använder sig

av oljor som inte är miljövänliga och det krävs mycket vatten för att använda som kylning och smörjning. Denna tillverkningsteknik kräver även att arbetsstycket tvättas och på så sätt bidrar det till mer användning av vatten som inte alltid kan återvinnas. En nackdel med kryotekniken är den energi som krävs för att få fram flytande kväve, vilket är en ekonomisk nackdel. Testsvaren kan ses i bilaga x och bilaga y.

När man ser till den ekonomiska delen av bedömningen märker man att kryotekniken är betydligt mycket dyrare. Detta visas bland annat genom investeringarna i kylsystem som inte kostar något för emulsion men är en investering på 10000 euro för kryoteknik. Ett annat exempel är den totala kostnaden för CLF. För emulsion är denna 0.2 euro per timme medans den är 7.2 euro per timme för kryo. Detta är 36 gånger mer och beror främst på att kostnaden för det flytande kvävet. Den är inte återanvändningsbar och måste köpas in på nytt efter användning vilket drar upp den totala kostnaden betydligt. Dock uppstår inga kostnader för CLF-koncentrat vid kryo. Även operatörskostnaderna är högre för kryotekniken, dock är verktygets livslängd längre.

Sett till den sociala hållbarheten finns det för- och nackdelar med båda. För kryoteknik uppkommer risken för kylskador och vid användning av emulsion finns det risk att operatören andas in oljebaserad ånga, vilket inte är hälsosamt i längden.

Nedan presenteras några av de indikatorer där skillnaderna var betydande stora. Indikatorerna är plockade från de olika delarna och färgmarkerade utefter den indelning de kommer ifrån. Grön för ekologisk, blå för ekonomisk och röd för social hållbarhet. Hela bedömningen kan även hittas senare i rapporten under bilagor (se bilaga 5.1, 5.2, 5.3).

Indikator	Conventional	Kryogen	Enhet
Vad är CLF-koncentratskostnaderna?	281.25	0	€/l
Hur mycket CLF behövs?	450	0	l
Hur stor är den totala CLF-kostnaden?	0.2	7.2	€/timme
Vad är volymfraktionen för CLF?	6.7	0	%
Kan operatörer få bränn- eller kylskador?	Nej	Ja	
Andas operatörer in oljebaserad ånga?	Ja	Nej	
Hur stora är investeringarna i leveranssystemet av kylsystemet?	0	10.000	€
Bidrar tillverkningstekniken till utsläpp av gasformiga eco-skadliga ämnen?	Ja	Nej	
Går det att återvinna det material som används vid kylning?	Ja, till viss del	Nej	
Hur stora är de totala operatörskostnaderna?	18.6	23.25	€/timme
Hur lång livslängd har verktyget? Vid bestämd skärhastighet	700	1000	s

Tabell 1. Sammanställning av relevanta indikatorer som visar på viktiga skillnader mellan kryogenbearbetning och bearbetning med emulsion, som idag är den vanligaste.

4.8 Rekommenderat projektteam

Då verktyget innehåller flera delar av olika karaktär kan det vara svårt för en enskild person att ha kunskap om alla delar. En del indikatorer besvaras bäst av någon med erfarenhet att jobba med tekniken, så att denna har en god förståelse för vad som behövs för bedömningen. För att utvärderingen ska gå så snabbt som möjligt samt bli korrekt rekommenderas ett projektteam bestående av flera personer med olika insikt och kunskap att tillsammans kolla över bedömningen.

För att kunna säkerställa att de ekonomiska delarna blir korrekta rekommenderas någon med insyn i inköp och ekonomi runt tillverkningstekniken. En person på högre nivå och som är med och tar beslut om tillverkningstekniken ska införas eller inte kan även ingå här då denna troligtvis har stort intresse av just den ekonomiska delen då den kan visa på om det ens är möjligt rent ekonomiskt. Ser man redan där att det inte finns tillräckligt med kapital kommer inköpet att vara omöjligt.

För den ekologiska delen av bedömningen rekommenderas någon med mycket god insikt i tillverkningstekniken och som har god kunskap om ekologisk hållbarhet. Denna del består till stor del av specifik information om hur det fungerar och vad som krävs under arbetet samt vad som händer efter med exempelvis återvinning.

De indikatorer som återfinns under den sociala delen av hållbarhetsbedömningen består till stor del av hur den upplevs. Därför vore en operatör med vana av att jobba i denna miljö vara användbar för att få en uppfattning som speglar verkligheten. Alternativt skulle en produktionsledare som spenderar stor del av sin tid ute i produktionen kunna ge en god insyn i detta.

I övrigt bör projektledaren vara involverad och leda arbetet med utvärderingen inom samtliga delar för att själv få en uppfattning och förståelse för bedömningen samt för att kunna dela med sig av kunskap och för att sedan kunna avgöra vilken metod som är mest lämplig att rekommendera till ledningen, som tar beslut huruvida tillverkningstekniken ska köpas in och användas eller ej.

5. Analys

I detta avsnitt kommer användandet av hållbarhetsverktyget analyseras samt hur begränsningar som uppstått har påverkat arbetet.

5.1 Resultat av test

Efter att test gjorts där vanlig skärande bearbetning och kryoteknik jämförts kan man se att det fortfarande inte är helt självklart vilken metod som är den mest hållbara. Den ekonomiska delen av jämförelsen står till fördel för metoden med emulsion medans den ekologiska delen talar för kryoteknik. Detta innebär att det kommer vara upp till beslutstagarna att avgöra vilken del som är av högst betydelse i detta fall. De kommer alltså vara tvungna att prioritera en typ av hållbarhet över en annan, något som är både svårt och som lätt kan mötas av kritik. Det finns en risk att beslutstagarna har olika personlig uppfattning och att åsikter krockar. I detta fall kan bedömningarna användas som underlag för diskussion.

5.2 Kritiskt tänkande vid användning av bedömningsverktyget

Under arbetet med att utföra hållbarhetsbedömningen är det viktigt att inte glömma att det kan finnas indikatorer som saknas eller som är extra viktiga när man arbetar med hållbarhetsverktyget. Det kan finnas specifika anledningar till att en tillverkningsteknik inte är lämplig även om den utifrån svaren på indikatorerna framstår som det mest hållbara alternativet.

För en del företag kan en viss indikator eller en viss del av hållbarhet vara viktigare (även om det inte är rekommenderat att prioritera olika delar av hållbarhet över varandra) för att tillverkningstekniken ens ska vara möjlig att införa. Det kan exempelvis vara en ekonomisk faktor så som inköpspris. Om inköpspriset överstiger det man har möjlighet att betala kommer man inte kunna köpa in tillverkningstekniken även om den visar sig vara det alternativ som är mest fördelaktigt ur alla andra synvinklar. Då kommer man bli tvungen att ta bort alternativet, alternativt vänta tills man ha mer kapital, och välja ett annat alternativ som rymms inom budget.

Man behöver även ha med i åtanke att det kan finnas avgörande information som inte återfinns i verktyget men som kan ha avgörande betydelse. Det kan exempelvis bero på att det är specifikt för bara en viss typ av skärande bearbetning och därför inte användbart för att jämföra andra metoder. Verktyget är utformat för att fungera på en generell nivå och kunna innefatta så många typer av skärande bearbetning som möjligt. Därför har indikatorer som är för specifika en viss typ av skärande bearbetning plockats bort. De betyder inte att de inte är viktiga och bör därför tas i beaktning vid sidan av arbetet med jämförandet i hållbarhetsverktyget.

Man får inte glömma att det är av stor vikt att inte "stirra sig blind" på verktyget. Det kan finnas indikatorer som missats på grund av okunskap eller på grund av att tekniken förändras. Verktyget ska ses som ett hjälpmedel och stöd för beslut och bör inte ensamt vara avgörande vid beslutstagande. Det är däremot ett bra sätt för att få en övergripande blick och för att kunna ha som grund att bygga vidare sin bedömning på.

Vidare kommer tekniken att utvecklas. En del av de indikatorer som är användbara idag kommer inte vara det senare och en del kommer kunna fortsätta användas. Tanken är att verktyget ska följa utvecklingen genom att uppdateras av de som använder det. Både genom borttagandet av icke-relevanta indikatorer och genom påfyllnad av nya. För att de nya indikatorerna ska vara av samma typ som de befintliga rekommenderas det att använda checklistan för val av nya indikatorer (se kapitel 4.1).

5.3 Hållbarhetsbedömning som jämförande process

Det finns inget facit att följa för vad som är hållbart och inte. En process kan fortfarande anses hållbar även om det finns andra motsvarande processer som har en mindre påverkan på de hållbara perspektiven. Det är upp till den som bedömer att avgöra vart gränsen går. I detta fall kommer därför hållbarhetsverktyget vara ett medel för jämförelse. Genom att endast undersöka ett alternativ med verktyget når man inte dess fulla potential, även om det kan fungera som underlag för att skaffa en egen uppfattning om nivån av hållbarhet. Bättre är däremot att använda verktyget för att kunna ställa två metoder mot varandra och jämföra dessa utifrån indikatorerna, för att sedan kunna ta ett beslut i vilken metod som är bäst av de två alternativen ur ett hållbarhetsperspektiv.

5.4 Begränsningar på grund av Covid-19

Under genomförandet av detta arbete uppstod stora begränsningar i form av pandemin Covid-19. Från början var det menat att delar av arbetet skulle skrivas på RISE i Mölndal där direktkontakt fanns med kunniga inom området och på så sätt kunna ha en ständig och kontinuerlig uppföljning. Detta gick dock inte då RISE stängde ner för besökare och kontakten fick fortgå genom videomöten. Verktyget skulle även testats i Volvos avdelning för skärande bearbetning med hjälp från sakkunniga inom området. Dessvärre kunde aldrig detta genomföras då fabriken i Göteborg fick stängas ner relativt tidigt under arbetet. Även personal som varit behjälpliga till en början blev permitterade vilket försvårade arbetet ytterligare. Detta då de främst var dessa som hade önskemål om verktygets utformning och innehåll samt hade information och siffror som krävdes för testandet av dess ändamålsenlighet. Hade arbetet fått fortsätta enligt plan hade verktyget testats på plats med nya, fullständiga siffror och information samt även med fler typer av skärande bearbetning än de som begränsade utvärderingen som gjordes istället.

En viktig källa till kritik samt värdefull input försvann då personal permitterades och detta kan leda till att indikatorer kan behöva läggas till när dessa väl får tillfälle att själva testa och använda verktyget. Detta är dock inte något problem då syftet med verktyget ändå är att i framtiden vidareutvecklas och användas ur ett bredare perspektiv vid val av andra metoder än skärande bearbetning.

6. Slutsats

I detta kapitel presenteras tydliga svar på de frågeställningar som har varit aktuella under arbetet samt rekommendationer om fortsatt arbete med detta projekt.

6.1 Svar på frågeställningar

I detta kapitel presenteras svar på frågeställningarna som besvaras i detta arbete.

6.1.1 Hur mäter man hållbarhet?

Hållbarhet är komplext och något som inte går att mäta med en specifik siffra, det finns ingen speciell enhet som visar på hur hållbart något är ur samtliga perspektiv. Ecological footprint kan till exempel användas, men det mäter endast den ekologiska hållbarheten. Det som används idag för att mäta hållbarhet är, till exempel, livscykelanalys som är en jämförande metod där två eller flera olika produkter jämförs från "vaggan till graven". Indikatorer är ett annat sätt att mäta hållbarhet med och det är det som FN använder sig av för att mäta sina 17 hållbarhetsmål.

Det verktyg som tagits fram i detta arbete kombinerar dessa två metoder för att mäta hållbarhet för en tillverkningsteknik. Genom att svara på de indikatorer som tagits fram till verktyget för två eller flera olika tillverkningstekniker kan ett beslut tas vilken av dessa metoder som är mest hållbar utefter de tre olika hållbarhetsaspekterna, ekologisk, ekonomisk och social.

6.1.2 Vilka indikatorer är relevanta för att kunna bestämma om en tillverkningsteknik är hållbar eller inte?

Det finns olika sätt att bedöma indikatorer. FN har som tidigare nämnt redan ett sätt för att bedöma vilka indikatorer de tycker är relevanta. En annan mer generell metod för att bedöma uppnåbarhet är SMART-modellen. Då det inte fanns en specifik modell som fullständigt passade detta arbete fick en ny modell skapas utifrån dessa två. En lista där man kan gå igenom olika punkter för att på så sätt kunna checka av om en indikator uppfyller kraven är ett bra sätt att visa på om en indikator är relevant eller inte. Detta gör så att indikatorerna håller en gemensam standard i utformning, svarsmetod och även i sin helhet.

De indikatorer som ansetts relevanta för detta arbete är de som genomgått en granskning mot den nya lista som skapats med krav på indikatorer. Detta gör det även lättare för användare att senare kunna lägga till indikatorer men ändå vara säkra på att de är relevanta, användbara och är av samma struktur som övriga indikatorer.

6.1.3 Vilka indikatorer är relevanta för all tillverkning och vilka är specifika för skärande bearbetning

De indikatorer som tagits fram är indelade utefter de olika tre hållbarhetsaspekterna, ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet. Under dessa olika indelningar finns det indikatorer som är specifika för skärande bearbetning som och inte går att använda för utvärdering av andra tillverkningsindustrier.

De indikatorer som är mer specifika för skärande bearbetning är de som är inriktade mot skärvätska, föroreningar och utsläpp. Indikatorer som handlar om energiförbrukning och inköp av maskiner och verktyg kan appliceras på flera tillverkningsindustrier än bara skärande bearbetning.

Även en del av de sociala indikatorerna är användbara för andra typer av tillverkning. Ljud, vibrationer, utbildning och en del hälsorisker för operatörer återfinns även under andra delar av framtagningen. Exempel på indikatorer som skulle kunna användas även vid annan typ av

tillverkning är "Finns det någon risk för lindrig fysisk skada hos de som arbetar med tillverkningstekniken?" och "Finns det underlag för att utbilda operatörer?". De som specifikt riktar sig mot skärande bearbetning är återigen de som riktar sig mot hälsorisker till följd av skärvätskan som används. Exempel på detta är indikatorn "Kan operatörer få oljebaserad CLF på huden?".

6.2 Rekommendationer om fortsatt arbete

För att kunna fortsätta med utveckling av detta arbete listas några rekommendationer nedan.

6.2.1 Test av verktyg

Då det test som utfördes av verktyget gjordes av skaparna och med den data som idag finns, kan inte detta test ses som helt tillförlitligt. Ett mer utförligt test bör göras av verktyget för att kunna utveckla detta vidare för ett optimalt resultat.

6.2.2 Utveckling av verktyg

Då verktyget är specifikt för skärande bearbetning och indikatorerna är utformade utefter detta är det svårt att applicera några av dessa på andra tillverkningsindustrier. Det finns även vissa indikatorer som skulle kunna användas till en hållbarhetsanalys av till exempel robotcell eller liknande, främst de indikatorer som syftar på energiförbrukning och arbetsmiljö.

För att kunna utveckla verktyget till en mer generell användning krävs det att indikatorer anpassas utefter de behov som finns. Med hjälp av den metod som beskrivs i kapitel 4.1 kan även nya indikatorer som är relevanta tas fram och komplettera verktyget.

Referenslista

AB Sandvik Coromant. (1994). *Modern Skärande Bearbetning: En praktisk handbok*. Sandviken: Tofters Tryckeri AB.

Andrews, A-L. Granath, B. (N.D), *FN-Fakta nr 2/12: Hållbar Utveckling*
Hämtad från: <https://fn.se/wp-content/uploads/2016/08/Faktablad-2-12-Hållbar-utveckling.pdf>

Baumann, H. & Tillman, A-M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application*. Göteborg: Studentlitteratur AB.

Brinksmeier, E., Herrmann, C., Huesmann-Cordes, A.G., & Meyer, D. (2015). Metalworking Fluids - Mechanisms and Performance. *Cirp Annals - Manufacturing Technology*. 61(2), s.605-s.628.
<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2015.05.003>

Brundtlandrapporten. (n.d). *Nationalencyklopedin*. Hämtad från <https://www-ne-se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/brundtlandrapporten>

Chen D., Heyer S., Seliger G., Kjellberg T. (2012). Integrating sustainability within the factory planning. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61(1), s463-466.
<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.03.067>

Davorin, K., Kopac, J., Krajnik, P., Pusavec, F. (2010). Transitioning to sustainable production – part II: evaluation of sustainable machining technologies. *Journal of Cleaner Production*, Volym 18, 1211-1221. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.01.015>

Elvingson, P. (n.d). Hållbar utveckling. *Nationalencyklopedin*. Hämtad från <https://www-ne-se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/h%C3%A5llbar-utveckling>

Elvingson. P. (n.d) Agenda 21. *Nationalencyklopedin*. Hämtad från <https://www-ne-se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/agenda-21>

FN (2020). *Globala målen - 7.1 Hållbar energi för alla*. Hämtad från <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-7-hallbar-energi-alla/>

FN (2020). *Globala målen - karta med ikoner* [Elektronisk bild]. Hämtad från <https://www.globalamalen.se/wp-content/uploads/2016/05/karta-globala-malen-logo-och-ikoner.jpg>

Furberg, A. (2019). *Environmental, Resource and Health Assessments of Hard Materials and Material Substitution: The Cases of Cemented Carbide and Polycrystalline Diamond* (Licentiatavhandling, Chalmers tekniska högskola, Göteborg). Hämtad från <https://research.chalmers.se/publication/514514>

Grant, T., Horne, R.E., Verghese, K. (2009). *Life Cycle Assessment: Principles, Practice and Prospects*. Hämtad från: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/chalmers/detail.action?docID=474357>

Hayes, A.E., (2011). *Cryogenics: Theory, Processes and Applications*. Hämtad från <https://ebookcentral.proquest.com/lib/chalmers/reader.action?docID=3019922&ppg=13>

I.S. Jawahir, H. Attia, D. Biermann, J. Duflou, F. Klocke, D. Meyer, S.T. Newman, F. Pusavec, M. Putz, J. Rech, V. Schulze, D. Umbrello. (2016). Cryogenic Manufacturing Process. *CIRP Annals*, Volym (65), s. 713-736. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.007>

Kerzner, H., (2019). *Innovation Project Management: Methods, Case Studies, and Tools for Managing Innovation Projects*. Hämtad från: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119587408>

Kopac, J., Krajnik, P., Pusavec, F. (2010). Transitioning to sustainable production – Part I: application on machining technologies. *Journal of Cleaner Production*, Volym 18, 174-184. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.08.010>

Schmidt, J. (n.d). Globala målen för hållbar utveckling. *Nationalencyklopedin*. Hämtad från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/globala-m%C3%A5len-f%C3%B6r-h%C3%A5llbar-utveckling>

SKF. (2019). *SKF Annual Report 2019*. Hämtad från <https://investor.skf.com/en/reports/annual-report-2019>

Snellman, K.(n.d). Milenniemålen. *Nationalencyklopedin*. Hämtad från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/millenniem%C3%A5len> (hämtad 2020-04-23)

Svenska FN förbundet (2014). *Milenniemålen*. [Elektronisk bild]. Hämtad från: <https://globalportalen.org/artiklar/nyhet/femhundra-dagar-kvar>

Söderström, J. (n.d) *Det rättsliga regelverket för skydd av skog: fjällnära skog i snålblåst* Hämtad från: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1021512/FULLTEXT02>

United Nations. (2007). *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. Tredje upplagan. Hämtad från: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/guidelines.pdf>

Volvo Group AB. (2018). *Annual and Sustainability Report 2018*. Hämtad från <https://www.volvogroup.com/en-en/events/2019/mar/annual-and-sustainability-report-2018.html>

World Commission on Environment and Development. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>

Christiansen, K. ,Finkbeiner, M., Inaba, A., Klüppel, H-J & Tan, R. (2006). *The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044*. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2006.02.002>

Bilaga 1

Hållbarhetsanalys av tillverkningsmetoder
Detta är ett jämförande verktyg och är föredraget att användas för se vilken av två eller flera tillverkningstekniker som passar bäst för syftet. Detta verktyg ger underlag för att värdera utifrån ett hållbarhetsperspektiv för att sedan kunna fatta ett beslut.
De indikatorer som används är utvecklade utifrån kriterier som tagits fram. Dessa är:
1. Specifika, lätta att förstå, tydliga och entydiga.
2. Begränsade i antal, men öppna och anpassningsbara för framtida behov.
3. Relevanta för att bedöma nivån av hållbarhet.
4. Ska tillsammans täcka social, ekonomisk och ekologisk hållbarhet.
5. Inom relevans för tillverkningstekniker.
6. I största möjliga mån besvaras med grund i objektiva värderingar.
Rekomenderat är även att den eller de som utför arbetet med bedömningen har god insikt i skärade bearbetning, är väl förberedd och påläst om metoderna som ska jämföras samt har information och specifikationer till hands
Verktyget är upp delat i tre delar, ekologisk, ekonomisk och social, där olika frågor ska besvaras med dessa i åtanke och varje del har olika indelningar av indikatorer. Hur dessa ska besvaras beskrivs nedan. Svaren ska vara så objektiva som möjligt.
Svara på indikatorerna enligt följande
DEL 1
Svara genom att kryssa i JA, NEJ, VeJ Ej eller N/A
DEL 2
Svara genom att ange i procent
DEL 3
Svara genom att ange kvantitativ mängd eller fritext
Förkortningar:
CLF - Cooling Lubrication Fluid
Bearbetningssystem - Hela systemet som påverkas av tillverkningstekniken, så som maskinen, spånhanteringen och vattenpump eller annan kylsystem.

Bilaga 1. Första sidan av hållbarhetsverktyget.

Bilaga 2

Ekologisk hållbarhet						
DEL 1						
No	Frågeställning	JA	NEJ	VET EJ	N/A	KOMMENTAR
1.1	Bidrar tillverknings tekniken till utsläpp av gasformiga eco-skadliga ämnen?					
1.2	Har tillverknings tekniken ett inbyggt system för att minska utsläppen av växthusgaser? (ex CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CFCs)					
1.3	Bidrar tillverknings tekniken till utsläpp av ozonnedbrytande ämnen? (ex BFC, HCFCs, CFC-x, CH ₃ Br, VOCs, SF ₆)					
1.4	Bidrar tillverknings tekniken till utsläpp av fasta eco-skadliga utsläpp? (ex rök, små partiklar)					
1.5	Går det att återvinna materialet som avverkats? Exempelvis om materialets egenskaper förändras					
1.6	Blir det några föroreningar i materialet som ska återvinnas?					
1.7	Går det att återvinna det material som används vid kylning?					
1.8	Finns det bearbetningssystem som är mindre energiförbrukande jämfört med den valda?					
1.9	Använder tillverknings tekniken mer energi till uppvärmning än alternativa metoder?					
1.10	Använder tillverknings tekniken mer energi till nedkylning än alternativa metoder?					
1.11	Använder tillverknings tekniken naturresurser på ett hållbart och effektivt sätt?					
1.12	Har bearbetningssystemet ett sätt att rengöra spånor?					
1.13	Behöver arbetsstycket tvättas efter bearbetning med nämnd tillverknings teknik?					
1.14	Kontamineras delar, spånor, maskinverktyg eller operatör av kylmedlet?					
DEL 2						
No.	Frågeställning	%				
2.1	Ange den del av det överblivna restmaterialet som återvinns					
2.2	Hur stor andel icke vegetabiliska oljor används?					
2.3	Hur stor andel flytande kväve används till kylning?					
DEL 3						
No.	Frågeställning	Svar	Enhet			
3.1	Hur mycket vatten används för tillverknings tekniken?		l/timme			
3.2	Hur stor energiförbrukning krävs för tillverknings tekniken?		kWh			
3.3	Hur stort koldioxidavtryck bidrar tillverknings tekniken för tillverknings tekniken?		CO ₂ /timme			
3.4	Hur stor mängd kritiska naturresurser återfinns i tillverknings tekniken		kg			
3.5	Vilka typer av yttaktiva medel används?					
3.6	Hur mycket CLF koncentrat behövs?		l			

Bilaga 2. Andra sidan i hållbarhetsverktyget, ekologiska indikatorer.

Bilaga 3

Ekonomisk hållbarhet						
DEL 1						
No	Frågeställning	JA	NEJ	VET EJ	NJA	KOMMENTAR
1.1	Bidrar bearbetningssystemet till en större kostnad för kylning?					
1.2	Bidrar utbyte av verktyg, för tillverkningstekniken, till en betydande större kostnad?					
1.3	Bidrar nödvändiga kemikalier, för tillverkningstekniken, till en betydande större kostnad?					
1.4	Bidrar reparation av bearbetningssystemet till en betydande större kostnad?					
1.5	Vid användning av bearbetningssystemet kräver man högre kostnader för återvinning eller återanvändning av material? Jämfört med andra tekniker					
1.6	Behövs det särskilda resurser/kompetens vid reparation?					
1.7	Skiljer sig omställningen något från tidigare använd teknik?					
1.8	Är försäkringen för maskinen giltig vid användning av tillverkningstekniken?					
DEL 2						
No.	Frågeställning	%				
2.1	Vad är volymfraktionen för CLF?					
DEL 3						
No.	Frågeställning	Svar	Enhet			
3.1	Vad är inköpspriset av en maskinen med tillverkningstekniken?		kr			
3.2	Hur lång är avskrivningsperioden?		år			
3.3	Hur stora är underhållskostnaderna?		kr/timme			
3.4	Hur stora är försäkringskostnaderna?		kr			
3.5	Hur stora är skattekostnaderna?		kr			
3.6	Hur stora är investeringarna i leveranssystemet av kylsystemet?		kr			
3.7	Vad är kostnaden för beredning?		kr/produkt			
3.8	Hur mycket vatten behövs vid användning av tillverkningstekniken?		liter/timme			
3.9	Hur mycket kostar den energiförbrukning som krävs för bearbetningssystemet?		kr/timme			
3.10	Hur lång livslängd har verktyget? Vid bestämd skärhastighet		ggr/timme			
3.11	Hur stora är verktygsinvesteringarna?		kr/verktyg			
3.12	Hur stora är kostnaderna för maskininverktysinstallation?		kr			
3.13	Hur stora är kostnaderna för verktygshållare?		kr/hållare			
3.14	Hur stora är den totala kostnaden för maskinverktyg?		kr/timme			
3.15	Vad är det volymmetriska priset för CLF?		kr/l			
3.16	Vad är CLF-koncentrationskostnaderna?		kr/l			
3.17	Vad är bortskaffningskostnaderna för CLF?		kr			
3.18	Vad är underhållskostnaderna för CLF?		kr/timme			
3.19	Hur stora är de icke returnerbara CLF-specifika användningskostnaderna?		kr/kg			
3.20	Hur stora är de övriga CLF kostnaderna?		kr			
3.21	Hur stor är den totala CLF kostnaden?		kr			
3.22	Vad är kostnaden för separation av spån och CLF?		kr/produkt			
3.23	Vad kostar oljan som används till tillverkningstekniken?		kr/l			
3.24	Vad är kostnaden för arbetskraft vid rengörande av delar?		kr/timme			
3.25	Hur stora är de direkta arbetskraftskostnaderna?		kr/timme			
3.26	Hur stora är de indirekta arbetskraftskostnaderna?		kr/timme			
3.27	Hur stora är övervakningskostnaderna?		kr/timme			
3.28	Hur stora är de totala operatörskostnaderna?		kr/timme			
3.29	Vad är kostnaden för omställning i bearbetningssystemet?		kr/timme			
3.30	Vad är rengöringskostnad per del?		kr/del			

Bilaga 3. Tredje sidan i hållbarhetsverktyget, ekonomiska indikatorer.

Bilaga 4

Social hållbarhet						
DEL 1						
No	Frågeställning	JA	NEJ	VETE J	N/A	KOMMENTAR
1.1	Finns det underlag för att utbilda operatörer?					
1.2	Finns det någon risk för lindrig fysisk skada hos de som arbetar med tillverkningsmekniken?					
1.3	Finns det någon risk för allvarig fysisk skada hos de som arbetar med tillverkningsmekniken?					
1.4	Utsätts de som arbetar med tillverkningsmekniken för buller eller annat ljud på grund av tillverkningsmekniken?					
1.5	Utsätts de som arbetar med tillverkningsmekniken för vibrationer som kan ge vibrationskador?					
1.6	Kan operatörer få bränn- eller kylskador?					
1.7	Utsätts de anställda direkt för skadliga ämnen?					
1.8	Andas operatörer in oljebaserad ånga?					
1.9	Kan operatörer få oljebaserad CLF på huden?					
DEL 2						
No.	Frågeställning	%				
2.1	Hur många procent av hela luftutrymmet består av CO2 vid användning av bearbetningssystem?					
DEL 3						
No.	Frågeställning	Svar	Enhet			
3.1	Vilka skadliga ämnen kan människor som jobbar med tillverkningsmekniken bli utsatta för?					

Bilaga 4. Fjärde sidan i hållbarhetsverktyget, sociala indikatorer.

Bilaga 5

Under bilaga fem visas testresultatet från utvärderingen av kryogentekniken.

Ekologisk hållbarhet								
DEL 1								
No	Frågeställning	JA	NEJ	VET EJ	N/A	KOMMENTAR		
1.1	Bidrar tillverkningstekniken till utsläpp av gasformiga eco-skadliga ämnen?		X					
1.2	Har tillverkningstekniken ett inbyggt system för att minska utsläppen av växthusgaser? (ex CO2, CH4, N2O, CFCs)		X					
1.3	Bidrar tillverkningstekniken till utsläpp av ozonnedbrytande ämnen? (ex BFC, HCFCs, CFC-α, CH3Br, VOCs, SF6)		X					
1.4	Bidrar tillverkningstekniken till utsläpp av fasta eco-skadliga utsläpp?(ex rök, små partiklar)			X				
1.5	Går det att återvinna materialet som avverkats? Exempelvis om materialets egenskaper förändras		X					
1.6	Blir det några föroreningar i materialet som ska återvinnas?		X					
1.7	Går det att återvinna det material som används vid kylning?		X					
1.8	Finns det bearbetningssystem som är mindre energiförbrukande jämfört med den valda?	X						
1.9	Använder tillverkningstekniken mer energi till uppvärmning än alternativa metoder?		X					
1.10	Använder tillverkningstekniken mer energi till nedkylning än alternativa metoder?	X						
1.11	Använder tillverkningstekniken naturresurser på ett hållbart och effektivt sätt?		X					
1.12	Har bearbetningssystemet ett sätt att rengöra spånor?				X			
1.13	Behöver arbetsstycket tvättas efter bearbetning med nämnd tillverkningsteknik?		X					
1.14	Kontamineras delar, spånor, maskinverktyg eller operatör av kylmedlet?		X					
DEL 2								
No.	Frågeställning	%						
2.1	Ange den del av det överblivna restmaterialet som återvinns	-						
2.2	Hur stor andel icke vegetabiliska oljor används?	0						
2.3	Hur stor andel flytande kväve används till kylning?	-						
DEL 3								
No.	Frågeställning	Svar	Enhet					
3.1	Hur mycket vatten används för tillverkningstekniken?	0	l/timme					
3.2	Hur stor energiförbrukning krävs för tillverkningstekniken?	-	kWh/produkt					
3.3	Hur stort koldioxidavtryck bidrar tillverkningstekniken för tillverkningstekniken?	0	CO2/timme					
3.4	Hur stor mängd kritiska naturresurser återfinns i tillverkningstekniken	-	kg					
3.5	Vilka typer av yttaktiva medel används?	-						
3.6	Hur mycket CLF konzentrat behövs?	0	l					

Bilaga 5.1 Test av ekologiska aspekter på kryogentekniken.

Ekonomisk hållbarhet							
DEL 1							
No	Frageställning	JA	NEJ	VET EJ	N/A	KOMMENTAR	
1.1	Bidrar bearbetningssystemet till en större kostnad för kylning?	X					
1.2	Bidrar utbyte av verktyg, för tillverkningstekniken, till en betydande större kostnad?		X				
1.3	Bidrar nödvändiga kemikalier för tillverkningstekniken till en betydande större kostnad?		X				
1.4	Bidrar reparation av bearbetningssystemet till en betydande större kostnad?			X			
1.5	Vid användning av bearbetningssystemet kräver man högre kostnader för återvinning eller återanvändning för material? Jämfört med andra tekniker		X				
1.6	Behövs det särskilda resurser/kompetens vid reparation?	X					
1.7	Skiljer sig omställningen något från tidigare använd teknik?			X			
1.8	Är förstärkningen för maskinen giltig vid användning av tillverkningstekniken?			X			
DEL 2							
No.	Frageställning	%					
2.1	Vad är volymfraktionen för CLF?	0					
DEL 3							
No.	Frageställning	Svar	Enhet				
3.1	Vad är inköpspriset av en maskinen med tillverkningstekniken?	-	€				
3.2	Hur lång är avskrivningsperioden?	7	år				
3.3	Hur stora är underhållskostnaderna?	-	€/timme				
3.4	Hur stora är försäkringskostnaderna?	-	€				
3.5	Hur stora är skattekostnaderna?	-	€				
3.6	Hur stora är investeringarna i leveranssystemet av kylsystemet?	10000	€				
3.7	Vad är kostnaden för beredning?	-	€/produkt				
3.8	Hur mycket vatten behövs vid användning av tillverkningstekniken?	-	liter/timme				
3.9	Hur mycket kostar den energiförbrukning som krävs för bearbetningssystemet?	-	€/timme				
3.10	Hur lång livslängd har verktyget? Vid bestämd skärhastighet	1000	s				
3.11	Hur stora är verktygsinvesteringarna?	150000	€				
3.12	Hur stora är kostnaderna för maskininverktysinstallation?	3000	€				
3.13	Hur stora är kostnaderna för verktygshållare?	1020	€/hållare				
3.14	Hur stora är den totala kostnaden för maskinverktyg?	13.29	€/timme				
3.15	Vad är det volymetriska priset för CLF?	0	€/l				
3.16	Vad är CLF-koncentrationskostnaderna?	0	€/l				
3.17	Vad är bortskaffningskostnaderna för CLF?	0	€				
3.18	Vad är underhållskostnaderna för CLF?	0	€/timme				
3.19	Hur stora är de icke returnerbara CLF-specifika användningskostnaderna?	0.2	€/kg				
3.20	Hur stora är de övriga CLF kostnaderna?	-	€				
3.21	Hur stor är den totala CLF kostnaden?	7.2	€/timme				
3.22	Vad är kostnaden för separation av spånar och CLF?	0	€/produkt				
3.23	Vad kostar oljan som används till tillverkningstekniken?	-	€/l				
3.24	Vad är kostnaden för arbetskraft vid rengörande av delar?	0	€/del				
3.25	Hur stora är de direkta arbetskraftskostnaderna?	15	€/timme				
3.26	Hur stora är de indirekta arbetskraftskostnaderna?	1.5	€/timme				
3.27	Hur stora är övervakningskostnaderna?	1.8	€/timme				
3.28	Hur stora är de totala operatörskostnaderna?	23.25	€/timme				
3.29	Vad är kostnaden för omställning i bearbetningssystemet?	-	€/timme				
3.30	Vad är rengöringskostnad per del?	0.004	€/del				

Bilaga 5.2 Test av ekonomiska aspekter på kryogentekniken.

Social hållbarhet							
DEL 1							
No	Frågeställning	JA	NEJ	VET EJ	N/A	KOMMENTAR	
1.1	Finns det underlag för att utbilda operatörer?			X			
1.2	Finns det någon risk för lindrig fysisk skada hos de som arbetar med tillverkningstekniken?	X					
1.3	Finns det någon risk för allvarig fysisk skada hos de som arbetar med tillverkningstekniken?		X				
1.4	Utsätts de som arbetar med tillverkningstekniken för buller eller annat oöjnd på grund av tillverkningstekniken?	X					
1.5	Utsätts de som arbetar med tillverkningstekniken för vibrationer som kan ge vibrationsskador?		X				
1.6	Kan operatörer få bränn- eller kylskador?	X					
1.7	Utsätts de anställda direkt för skadliga ämnen?		X				
1.8	Andas operatörer in oljebaserad ånga?		X				
1.9	Kan operatörer få oljebaserad CLF på huden?		X				
DEL 2							
No.	Frågeställning	%					
2.1	Hur många procent av hela lufrummet består av CO2 vid användning av bearbetningssystem?	-					
DEL 3							
No.	Frågeställning	Svar	Enhet				
3.1	Vilka skadliga ämnen kan människor som jobbar med tillverkningstekniken bli utsatta för?	-					

Bilaga 5.3 Test av sociala aspekter på kryogentekniken.

Bilaga 6

Under bilaga sex visas testresultatet från utvärderingen av metoden med emulsion som skärvätska.

Ekologisk hållbarhet						
DEL 1						
No	Frågeställning	JA	NEJ	VET EJ	N/A	KOMMENTAR
1.1	Bidrar tillverkningstekniken till utsläpp av gasformiga eco-skadliga ämnen?	X				
1.2	Har tillverkningstekniken ett inbyggt system för att minska utsläppen av växthusgaser? (ex CO2, CH4, N2O, CFCs)		X			
1.3	Bidrar tillverkningstekniken till utsläpp av ozonnedbrytande ämnen? (ex BFC, HCFCs, CFC-x,CH3Br, VOCs, SF6)		X			
1.4	Bidrar tillverkningstekniken till utsläpp av fasta eco-skadliga utsläpp?(ex rök, små partiklar)			X		
1.5	Går det att återvinna materialet som avverkats? Exempelvis om materialets egenskaper förändras	X				
1.6	Blir det några föroreningar i materialet som ska återvinnas?		X			
1.7	Går det att återvinna det material som används vid kylning?	X				
1.8	Finns det bearbetningssystem som är mindre energiförbrukande jämfört med den valda?			X		
1.9	Använder tillverkningstekniken mer energi till uppvärmning än alternativa metoder?		X			
1.10	Använder tillverkningstekniken mer energi till nedkylning än alternativa metoder?		X			
1.11	Använder tillverkningstekniken naturresurser på ett hållbart och effektivt sätt?			X		
1.12	Har bearbetningssystemet ett sätt att rengöra spånor?				X	
1.13	Behöver arbetsstycket tvättas efter bearbetning med nämnd tillverkningsteknik?	X				
1.14	Kontamineras delar, spånor, maskinverktyg eller operatör av kylmedlet?	X				
DEL 2						
No.	Frågeställning	%				
2.1	Ange den del av det överblivna restmaterialet som återvinnas	-				
2.2	Hur stor andel icke vegetabiliska oljor används?	-				
2.3	Hur stor andel flytande kväve används till kylning?	-				
DEL 3						
No.	Frågeställning	Svar	Enhet			
3.1	Hur mycket vatten används för tillverkningstekniken?	-	l/minne			
3.2	Hur stor energiförbrukning krävs för tillverkningstekniken?	-	kWh			
3.3	Hur stort koldioxidavtryck bidrar tillverkningstekniken för tillverkningstekniken?	-	CO2/minne			
3.4	Hur stor mängd kritiska naturresurser återfinns i tillverkningstekniken	-	kg			
3.5	Vilka typer av yttaktiva medel används?	Mineraloljor				
3.6	Hur mycket CLF konzentrat behövs?	450	l			

Bilaga 6.1 Test av ekologiska aspekter på emulsionstekniken.

Ekonomisk hållbarhet							
DEL 1							
No	Frågeställning	JA	NEJ	VET EJ	N/A	KOMMENTAR	
1.1	Bidrar bearbetningssystemet till en större kostnad för kylning?		X				
1.2	Bidrar utbyte av verktyg, för tillverkningstekniken, till en betydande större kostnad?		X				
1.3	Bidrar nödvändiga kemikalier för tillverkningstekniken till en betydande större kostnad?		X				
1.4	Bidrar reparation av bearbetningssystemet till en betydande större kostnad?			X			
1.5	Vid användning av bearbetningssystemet kräver man högre kostnader för återvinning eller återanvändning av material? Jämfört med andra tekniker		X				
1.6	Behövs det särskilda resurser/kompetens vid reparation?		X				
1.7	Skiljer sig omställningen något från tidigare använd teknik?		X				
1.8	Är försäkringen för maskinen giltig vid användning av tillverkningstekniken?			X			
DEL 2							
No.	Frågeställning	%					
2.1	Vad är volymfraktionen för CLF?	6.7					
DEL 3							
No.	Frågeställning	Svar	Enhet				
3.1	Vad är inköpspriset av en maskinen med tillverkningstekniken?	-	€				
3.2	Hur lång är avskrivningsperioden?	7	år				
3.3	Hur stora är underhållskostnaderna?	-	€/timme				
3.4	Hur stora är försäkringskostnaderna?	-	€				
3.5	Hur stora är skattekostnaderna?	-	€				
3.6	Hur stora är investeringarna i leveranssystemet av kylsystemet?	0	€				
3.7	Vad är kostnaden för beredning?	-	€/produkt				
3.8	Hur mycket vatten behövs vid användning av tillverkningstekniken?	-	liter/timme				
3.9	Hur mycket kostar den energiförbrukning som krävs för bearbetningssystemet?	-	€/timme				
3.10	Hur lång livslängd har verktyget? Vid bestämd skärhastighet	700	s				
3.11	Hur stora är verktygsinvesteringarna?	150000	€				
3.12	Hur stora är kostnaderna för maskininverktysinstallation?	3000	€				
3.13	Hur stora är kostnaderna för verktygshållare?	1020	€/hållare				
3.14	Hur stora är den totala kostnaden för maskinverktyg?	14.06	€/timme				
3.15	Vad är det volymetriska priset för CLF?	10	€/l				
3.16	Vad är CLF-koncentratskostnaderna?	281.25	€/l				
3.17	Vad är bortskaffningskostnaderna för CLF?	90	€				
3.18	Vad är underhållskostnaderna för CLF?	60	€				
3.19	Hur stora är de icke returnerbara CLF-specifika användningskostnaderna?	0	€/kg				
3.20	Hur stora är de övriga CLF kostnaderna?	-	€				
3.21	Hur stor är den totala CLF kostnaden?	0.2	€/timme				
3.22	Vad är kostnaden för separation av spån och CLF?	0.2	€/produkt				
3.23	Vad kostar oljan som används till tillverkningstekniken?	-	€/l				
3.24	Vad är kostnaden för arbetskraft vid rengörande av delar?	0.025	€/del				
3.25	Hur stora är de direkta arbetskraftskostnaderna?	12	€/timme				
3.26	Hur stora är de indirekta arbetskraftskostnaderna?	1.2	€/timme				
3.27	Hur stora är övervakningskostnaderna?	1.44	€/timme				
3.28	Hur stora är de totala operatörskostnaderna?	18.6	€/timme				
3.29	Vad är kostnaden för omställning i bearbetningssystemet?	-	€/timme				
3.30	Vad är rengöringskostnad per del?	0.074	€/del				

Bilaga 6.2 Test av ekonomiska aspekter på emulsionstekniken.

Social hållbarhet							
DEL 1							
No	Frågeställning	JA	NEJ	VET EJ	N/A	KOMMENTAR	
1.1	Finns det underlag för att utbilda operatörer?			X			
1.2	Finns det någon risk för lindrig fysisk skada hos de som arbetar med tillverkningsmekniken?	X					
1.3	Finns det någon risk för allvarig fysisk skada hos de som arbetar med tillverkningsmekniken?		X				
1.4	Utsätts de som arbetar med tillverkningsmekniken för buller eller annat oöj på grund av tillverkningsmekniken?	X					
1.5	Utsätts de som arbetar med tillverkningsmekniken för vibrationer som kan ge vibrationsskador?		X				
1.6	Kan operatörer få bränn- eller kylskador?		X				
1.7	Utsätts de anställda direkt för skadliga ämnen?	X					
1.8	Andas operatörer in oljebaserad ånga?	X					
1.9	Kan operatörer få oljebaserad CLF på huden?	X					
DEL 2							
No.	Frågeställning	%					
2.1	Hur många procent av hela lufrummet består av CO2 vid användning av bearbetningssystem?	-					
DEL 3							
No.	Frågeställning	Svar	Enhet				
3.1	Vilka skadliga ämnen kan människor som jobbar med tillverkningsmekniken bli utsatta för?	-					

Bilaga 6.3 Test av sociala aspekter på emulsionstekniken.

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
AVDELNINGEN FÖR MATERIAL OCH TILLVERKNING
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2020
www.chalmers.se



CHALMERS