

Espen Engtrø og Per-Henrik Audestad Lien

Reduksjon av støpeskjegg med automatisert etterarbeid

Bacheloroppgave i Maskin

Veileder: Rolf Alexander Skar

Medveileder: Ingrid Fjordheim Onstein

Mai 2023

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



Espen Engtrø og Per-Henrik Audestad Lien

Reduksjon av støpeskjegg med automatisert etterarbeid

Bacheloroppgave i Maskin
Veileder: Rolf Alexander Skar
Medveileder: Ingrid Fjordheim Onstein
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Oppgavens tittel: Reduksjon av støpeskjegg ved automatisert etterarbeid	Dato: 22/05 2023		
	Antall sider: 41		
	Bacheloroppgave	X	Masteroppgave
Navn: Espen Engtrø og Per-Henrik Audestad Lien			
Veileder: Rolf Alexander Skar og Ingrid Fjordheim Onstein			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Ragnar Grimstad			

<p>Sammendrag:</p> <p>Oppgaven tar utgangspunkt i å utvikle samt utforske verktøy som brukes til å redusere støpeskjegg, samtidig som en samarbeidende robot fra UR blir benyttet for generering av verktøybaner. Testene ble utført på en evakueringsbåre fra LESS laget av polyetylen.</p> <p>De ulike metodene for banegenerering har vist å være et levedyktig verktøy for reduisering av støpeskjegg, så sant det blir fastsatt en fast montering av produktet. Verktøyene hadde ulik grad av suksess, og dette området krever videre forskning som Nævanyttig AS vil fortsette med.</p>

Stikkord:

Støpeskjegg
Automatisering
Rutegenerering



Espen Engtrø



Per-Henrik Audestad Lien

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet som en del av Industriell Design studiet på NTNU Gjøvik. Vi vil først og fremst takke våre veiledere, Rolf Alexander Skar og Ingrid Fjordheim Onstein. Tilbakemeldinger har hjulpet oss til å forme teksten slik den er i dag. Vi vil også gi en stor takk til nær familie, Ann Elisabeth Engtrø og Thea Bredeveien Bergdølmo for all støtten vi har fått gjennom denne oppgaven. Videre vil vi takke Gustav Fredholm for uvurderlig opptrening av UR-robot, samt teknisk hjelp gjennom oppgaven. Til slutt vil vi gi vår takknemmelighet til Anders Haug Thomassen og Ragnar Grimstad for oppgaven. Den har vært svært lærerik og har gitt oss et godt inntrykk av arbeidslivet.

Abstract

The purpose of this thesis is exploring the possibilities/creation of tools used for deburring casting burrs, while taking advantage of different toolpath generation methods for a cobot made by UR. The tests were performed on an emergency stretcher from LESS made of polyethylene. Results for the deburring tools had varying degrees of success, and more research is needed in this area. However, the thesis has concluded that a cobot and its different methods for path generation is a viable tool for deburring. Meanwhile, for an effective use of a cobot, the fixing of the product should be consistent.

Innholdsfortegnelse

Innhold

Forord	iii
Abstract	iv
Innholdsfortegnelse	v
Figurliste.....	vii
Acronyms	viii
1 Innledning.....	1
2 Teori	2
2.1 Termoplast.....	2
2.1.1 Polyetylen.....	2
2.1.2 HDPE	3
2.1.3 LDPE.....	3
2.2 Støping.....	3
2.2.1 Rotasjonsstøping	3
2.2.2 Støpeskjegg	4
2.3 Universal robots.....	4
2.3.1 Universal robots	4
2.3.2 Cobots.....	4
2.4 Avgradering	5
2.4.1 Manuell.....	5
2.4.2 Termisk.....	6
2.4.3 Mekanisk	6
2.5 Programvarer	7
2.5.1 CAD	7
2.5.2 CAM.....	8
3 Case/ Materialer	9
3.1 Case	9
3.1.1 Bakgrunn	9
3.1.2 Problemstilling	9
3.1.3 Båren	9

3.2	Rammer	10
3.2.1	Toleranse for deformasjoner	10
3.2.2	Begrensninger.....	10
3.3	Tidligere forskning	10
3.3.1	“Deburring Using Robot Manipulators: A Review”	10
3.3.2	“An Approach to Automated Deburring by Robot Manipulators”	11
3.4	Måloppnåelse.....	13
4	Metode.....	14
4.1	Rutegenerering.....	14
4.1.1	CAM-programvare	14
4.1.2	Koordinater.....	14
4.1.3	Testdel	15
4.1.4	Testbåren	15
4.2	Verktøy	16
4.2.1	Utvikling av verktøy.....	16
5	Resultater.....	19
5.1	Rutegenerering.....	19
5.1.1	CAM.....	19
5.1.2	Koordinater.....	19
5.2	Verktøy	20
5.2.1	Kniv	20
5.2.2	Dremel.....	22
6	Diskusjon og analyse.....	23
6.1	Sammenligning rutegenerering.....	23
6.2	Innfesting av båren	24
6.3	Valg av verktøy	25
6.4	Veien videre.....	26
7	Konklusjon	27
	Referanser.....	28
	Vedlegg	30

Figurliste

Figur 1 Mekanisk kompensasjon for unøyaktigheter	12
Figur 2 3D modell av avkappet bære	16
Figur 3 Visualisering av tenkt verktøy med papir og teip.....	17
Figur 4 3D-printet løsning med blader satt inn	17
Figur 5 Tverrsnitt av fjærdempingsverktøy uten fjær og skrue	18
Figur 6 Buet avgraderingsverktøy som ble testet.....	21
Figur 7 Lineært avgraderingsverktøy som ikke ble testet	21
Figur 8 Skisse som viser festeprinsippet	25

Acronyms

CAD – Computer assisted design.

CAM – Computer aided manufacturing.

CNC – Computerized Numerical Control.

Cobots – Collaborative Robots.

HDPE – High Density Polyethylene.

LDPE – Low Density Polyethylene.

PE – Polyethylene.

PLA – Polylactic Acid.

POM – Polyoxymethylene.

UR – Universal Robots.

UV – Ultraviolet

1 Innledning

Denne rapporten tar for seg temaet «Redusering av støpeskjegg med automatisert etterarbeid». Støpeskjegg er uønsket materiale som oppstår under produksjonen av et produkt. Det dannes mellom støpeformene ettersom det blir en liten sprekk her, og materiale flyter ut og stivner sammen med produktet. Objektet oppgaven tar for seg er en evakueringsbåre fra Less. Materialet er polyetylen, som er en type termoplast. Hovedfokuset er rettet mot bruk av en samarbeidende robot fra Universal Robots (UR). Det blir beskrevet hvordan en rute for roboten blir skapt, samt valg av verktøy som kan redusere støpeskjegget. Det blir testet flere metoder både for rutegenerering og verktøy. Testene er hovedsakelig utført på en avkappet båre, og støpeskjegget her er hardt og sprøtt. Det kommer fram av rapporten at dette ikke er ideelle forhold for å fjerne materialet, da det gir en stor påkjenning på verktøyet som blir brukt.

Rapporten inneholder også andre metoder for å fjerne støpeskjegg, som bruk av CNC-maskin og «Cryogenic deflashing». Disse metodene er beskrevet, men hovedfokuset ligger på bruk av roboter. Dette er på bakgrunn av at det blir sett på løsninger for lav-volums bedrifter, hvor investering av disse metodene blir for kostbart.

2 Teori

2.1 Termoplast

Termoplast er en type polymer som har unike egenskaper når det gjelder formbarhet og fleksibilitet. I motsetning til herdeplast vil termoplast mykne og etter hvert smelte ved oppvarming, og deretter stivne ved avkjøling. Denne egenskapen gjør den utmerket til å bli resirkulert og omformert til ulike formål. Materialet vil også beholde sine mekaniske egenskaper, og er dermed også svært bærekraftig. Ved smeltet tilstand kan det anvendes i prosesser som sprøytstøping, ekstrudering og rotasjonsstøping. Til tross for mange gode egenskaper er det også noen negative sider som bør tas i betraktning; lav termisk stabilitet, lav mekanisk styrke sammenlignet med herdeplast, lav UV-stabilitet, begrenset kjemisk motstand og til tross for resirkulerbarheten, blir det en miljøpåvirkning (Protoplastics, 2019). Dette er på bakgrunn av at det er en utfordring å håndtere store mengder plastavfall på en bærekraftig måte, samtidig som plast bruker lang tid på å brytes ned, det kan ta opptil 500 år (Forgerecycling, 2022).

2.1.1 Polyetylen

Polyetylen (PE) er en allsidig, resirkulerbar, holdbar og lavkostnad termoplast. Dette gjør den til en av de mest produserte plasttypene i verden. En rekke produkter blir laget med PE, som emballasje, beholdere, rør og folier (SNL, 2022).

Polyetylen produseres ved å polymerisere ethylene-gass-molekyler som vi finner naturlig fra oljeindustrien. Fra dette kan vi få to ulike PE-typer, HDPE og LDPE.

Til tross for sine fordeler, slik som at det er resirkulerbart, kommer materialet fortsatt med sine ulemper. Materialet er basert på bi-produkter av oljeindustrien, og har dermed en indirekte miljøpåvirkning. I tillegg er ikke PE biodegraderbart, som kan føre til langvarig forurensing (Columbiatribune, 2019). En annen vesentlig ulempe er at PE har en tendens til å deformere seg når det varmes opp.

2.1.2 HDPE

High-density polyetylen er en termoplast produsert ved å polymerisere ethylene-gass-monomer under høyt trykk og høy temperatur. Noen fordeler med denne versjonen av polyetylen er motstandsdyktig mot kjemikalier og UV-stråling, samt at den har god stivhet og er sterk relativt til tyngden (Millenniumalloys, 2021). Produkter produsert med HDPE er hardt, slik som kanner og rør. Det er relativt enkelt å produsere og bearbeide, hvilket gjør det til en av de mest kostnadseffektive plasttypene som er på markedet. Ulempene med HDPE er at det kan være utfordrende å lime eller sveise sammen, og er dermed vanskelig å reparere. Grunnet den porøse overflaten vil det være utsatt for smuss og flekker.

2.1.3 LDPE

Low-density polyetylen er også en termoplast. Den har produksjonsbetingelser som lavt trykk og lav temperatur, noe som gir en polymer med lav tetthet av molekyler. LDPE har lavere smeltetemperatur enn HDPE, og bruksområdene vil derfor ikke være de samme som for HDPE. Karakteristiske kjennetegn med LDPE er at den er myk og fleksibel, samt at det også er vanntett (Xometry, 2022). Dette gir den bruksområdet som plastposer, folier og den kan brukes som et belegg på kartonger. Når det brukes som belegg skal dette merkes med at det er plast i produktet, slik at det blir kildesortert korrekt og ikke havner i papiravfall.

2.2 Støping

2.2.1 Rotasjonsstøping

Rotasjonsstøping er en metode som er mye brukt for hule- og spenningsfrie produkter. En form (ofte aluminium) fylles med plastgranulat og varmes opp samtidig som den roteres kontinuerlig etter et satt mønster. Ved å bruke sentrifugalkraft fordeles det smeltede granulatet jevnt langs veggene i formen, og det kreves dermed ikke noe ekstra trykk (Partnerplast, u.d.). Det er derimot noen negative sider med rotasjonsstøpte deler, slik som: langsom produksjonshastighet, begrenset design muligheter og dersom det brukes en todelt form kan det oppstå støpeskjegg (Geminigroup, u.d.).

2.2.2 Støpeskjegg

Støpeskjegg er uønsket materiale som oppstår under produksjonen av et produkt. Det dannes mellom støpeformene ettersom det blir en liten sprekk her, og materialet flyter ut og stivner sammen med produktet. Det er flere faktorer som spiller inn på hvor betydelig støpeskjegget blir: kvaliteten av støpeformene, design (mer kompleks gir mer støpeskjegg), temperatur, trykk, hastighet og materiale (Moldblade, 2021). Videre er det viktig med godt vedlikehold av utstyret. Støpeskjegg kan ha stor negativ effekt på produktets kvalitet. Ved mer betydelig støpeskjegg blir det fare for kutt, og generelt ødelegger støpeskjegget estetikken på produktet. I tillegg kan produktet kontaminere/forurense ettersom flakene kan falle av.

2.3 Universal robots

2.3.1 Universal robots

Universal Robots (UR) er en av de ledende produsentene innenfor sin bransje av roboter: «Cobots» (collaborative robots). Hovedkontoret ligger i Odense, Danmark og selskapet ble dannet i 2005 av 3 danske ingeniører. De fikk raskt anerkjennelse for robotene sine, og har vunnet en rekke priser for innovasjonene deres (Wikipedia, 2023).

2.3.2 Cobots

Tradisjonelle roboter brukt innenfor produksjonsindustrien utfører monotone og repeterende oppgaver. Cobots er utviklet for å samarbeide med mennesker i produksjonsmiljøer. Dette gjør at de er lettere å håndtere, både ved å fortelle den hva den skal gjøre, samt å bevege den unna dersom en uheldig situasjon skulle oppstå. Programvaren tillater også effektiv og sikker bruk, ettersom sikkerhetsparametere enkelt kan legges til. Ett parameter kan være å sette en maks motstand som vil gjøre at roboten stopper (Universal Robots, u.d.). Hvis arbeidsoppgaven roboten skal utføre tar hvor det ferdes mennesker og det kan risikeres skade på personell, kan den programmeres opp mot et lysgitter, eller det kan settes inn et sikkerhetsplan. Lysgitteret vil stoppe roboten så fort noe uønsket befinner seg innenfor

området. Ved å legge inn et sikkerhetsplan kan den programmeres til å bevege seg med redusert hastighet innenfor gitte områder.

2.4 Avgradering

2.4.1 Manuell

Kniv

Bruk av kniv for å fjerne støpeskjegg manuelt er en utbredt metode (når materialet tillater det). En skarp kniv vil kunne skjære bort det uønskede materialet, og man vil sitte igjen med produktet man ønsker. Fordelen ved bruk av kniv vil være at man kan få av store deler om gangen, og man unngår kondemnering av lufta man puster inn. Det finnes spesiellagde kniver for avgradering, som ikke har en for skarp kant (Sliceproducts, u.d.). Dette vil også være miljømessig bærekraftig, da lange remser kan omgjøres til ny pellets som kan brukes på nytt i andre produkter. En av hovedutfordringene ved bruk av manuell kniv på polyetylen, er at materialet blir hardt og vanskeligere å fjerne når det har størknet og blitt kaldt. Det er mindre motstand når det er varmt. Fjerningsprosessen er derfor avhengig av å skje raskt etter produksjon for å spare verktøyet, samt redusere kreftene det tar for den som utfører arbeidet. Sikkerhet for den som utfører arbeidet må også tas hensyn til, og sikkerhetsutstyr som hansker og briller er nødvendig for å ivareta en sikker arbeidsplass.

Sandpapir

Sandpapir er også vanlig å bruke for å fjerne støpeskjegg. Fordelen med sandpapir er at det finnes flere varianter med ulik grovhet. Det er også billigere enn spesialverktøy, og kan være effektivt når det brukes korrekt. Sandpapir vil kunne fjerne skarpe kanter som oppstår under produksjonen. Ulempene med sandpapir er at man kan skade overflaten til produktet hvis man har valgt for grovt papir. Det skaper også en del støv og partikler som vil forurense luften hvor arbeidet utføres i form av mikroplast. Dette vil også kunne feste seg til produktet. Bruk av maske vil være nødvendig for å sikre arbeidsplassen, og det vil kreve en del rengjøring.

Egnet ventilasjon kan også være nødvendig, avhengig av hvor mye støv som oppstår. Gjenbruk av materialet som fjernes vil være vanskelig, da det ikke kan samles og smeltes om.

Dremel

Dremel er et roterende verktøy som brukes for å fjerne uønsket materialet. Dersom en dremel blir brukt korrekt vil det gi høy presisjon, og er et effektivt avgraderingsverktøy. Man vil kunne fjerne støpeskjegg raskt og effektivt, og det finnes flere varianter man kan bruke (Wikipedia, 2023). Det egner seg godt til produkter hvor støpeskjegget ikke er stort, men forekommer flere steder på produktet. En dremel vil kunne komme til i områder som er utfordrende ved bruk av for eksempel sandpapir. Ulempene med bruk av dremel vil i likhet med sandpapir være at det oppstår plastpartikler i luften. Det vil også være støy og vibrasjoner, noe som kan gi en påkjenning til personen som bruker verktøyet. En dremel vil også være dyrere i pris, hvis man sammenligner det med sandpapir, og det vil kreve noe opplæring av riktig bruk slik at overflaten til produktet ikke skades. Friksjonen som oppstår mellom dremel og materialet vil skape varme. Dette kan være både positivt og negativt, da varmen kan smelte noe av støpeskjegget i selve produktet. Dette kan gi en glatt overflate, men om det er gitt spesifikasjoner som tykkelse på produktet kan dette gjøre at det blir for tykt.

2.4.2 Termisk

Cryogenic deflashing er en avgraderingsmetode som utsetter delen for ekstremt kalde temperaturer. Den etablerte industrien benytter metoden for stort volum av små deler, på bakgrunn av begrensningen i størrelsen på maskinene. Metoden bruker som oftest flytende nitrogen til å kjøle ned delen til under -100°C . Deretter brukes media pellets til å slippe bort det uønskede materialet. Dette er små korn i størrelsen 0,15-2,03mm av materialer som plast, keramikk, metall eller tørris. De benyttes på ulike måter for avgradering. En metode er å skyte dem inn med trykkluft, mens en annen metode er å benytte en trommel som roterer delen(e) sammen med pellets (Airproducts, u.d.).

2.4.3 Mekanisk

CNC er en automatisert produksjonsmetode. En datamaskin styrer hvilke verktøy som benyttes, og hvordan den bearbeider et arbeidsstykke. Dette er basert på programmeringen en operatør skriver i forkant. En CNC-maskin bruker kjølevæske eller skjæreolje for å minke

friksjon og varme på arbeidsstykke. En CNC-maskin vil derfor stå i et avlukket rom, for å unngå søl. Dette er også for å unngå forurensning av arbeidsstykket og sikre en trygg arbeidsplass.

Det er en rekke fordeler med maskinering med en CNC-maskin. Den kan anvendes for flere materialer som metall, tre, keramikk og ikke minst plast. Videre er maskinen konsekvent, nøyaktig og effektiv. I tillegg er den veldig fleksibel, da den også er veldig skalerbar.

Det er også noen ulemper. Først og fremst er det høye oppstartskostnader, spesielt da for små bedrifter eller for prototyping. Dette gjør det mest attraktivt for høy-volums selskaper. Den krever også opplæring og vedlikehold, som gjør at den også koster i løpet av livstiden dens. Maskinen kan ha begrensninger i kompleksitet, ettersom verktøy-holderen setter begrensninger for frihetsgrader, samt innspenningen av arbeidsstykket (LTC-Proto, 2021).

2.5 Programvarer

2.5.1 CAD

CAD er spesialiserte programvarer som brukes til å støtte en designprosess. Den tilbyr å utforme objekter som 3D-modeller, men også som 2D-tegninger. CAD tillater konstruktører, ingeniører, hobbybrukere og andre til å lage og manipulere digitale modeller av sine ideer. Dette gjør det raskere og enklere å visualisere og teste ut ideer på en datamaskin, kontra det å bygge fysiske modeller. Videre gir CAD bedre presisjon og nøyaktighet for designprosessen, og har muligheten for komplekse design (PTC, u.d.). Slik sett har CAD vært en revolusjon innenfor designindustrien. En god CAD er allsidig og har flere funksjoner bygd inn i programvaren. Dette kan være analyseverktøy til å evaluere materialstyrke, eller animasjoner til å visualisere modellene. En ferdig modellert modell kan bli virkelig på noen ulike metoder. Modellen kan «slices» og 3D-printes. 2D-tegningene kan benyttes til maskinering. Noen CAD-programmer har et innebygd verktøy for verktøybaner, CAM.

2.5.2 CAM

CAM er en essensiell del av moderne produksjonsindustri, ettersom prosessen er svært nøyaktig og effektiv. Det brukes sammen med CAD-modeller og er ofte integrert i CAD-programmer. Den vil hente ut/konvertere modellen til instruksjoner kalt G-kode (Autodesk, 2021). Dette er et programmeringsspråk som består av et sett med definisjoner som: bevegelse, hastighet og verktøyvalg. Dette brukes og utføres av CNC-maskiner, fresemaskiner, dreiebenker eller 3D-printere. Programvaren vil gi de instruksjonene som gir de mest effektive verktøybanene. Dette forbedrer hastigheten og reduserer menneskelige feil.

3 Case/ Materialer

3.1 Case

3.1.1 Bakgrunn

Bakgrunnen for oppgaven er en lyst til å finne løsning til et kjent problem i industrien. Det finnes metoder for å fjerne støpeskjegg i dag, men vi vil forsøke å videreutvikle dette og gjøre det mer effektivt og bærekraftig. Spesielt vil vi utvikle en metode for lav-volums produkter, slik som ved prototyping.

3.1.2 Problemstilling

Grunnlaget for problemstillingen oppstår når LESS har produsert produktet deres. Det aktuelle problemet er at det forekommer støpeskjegg etter støpeprosessen. Støpeskjegget oppstår langs kantene til produktet, mellom støpeformene ettersom materialet vil flyte ut her. Metoden som blir brukt i dag er å skjære det vekk med en halvmånekniv. Oppgaven blir å finne en løsning som gjør at dette kan gjøres på en automatisert metode.

3.1.3 Båren

Båren som oppgaven tar utgangspunkt i er en evakueringsbåre fra Less (LESS, u.d.). Materialet er resirkulert PE, og dens egenskaper er beskrevet i 2.1. Båren blir i dag rotasjonsstøpt, men det er i nyere tid produksjonsmetoden har blitt endret. Dette er på grunn av at fabrikken til LESS på Kapp brant ned, og produksjonen har blitt flyttet til PartnerPlast i Åndalsnes. Den gamle produksjonsmetoden var laminering. Materialene var da isopor i kjernen, deretter papp og til slutt en miks av polypropylen og polyetylen på utsiden. Dette gjorde det vanskelig å resirkulere bårene. Dette åpnet også rom for endring av utformingen til båren, men drastiske endringer er det ikke. Dette er siden de følger bårestandarder som blant annet tilfredsstiller kravene NATO benytter seg av. Videre er den også designet slik at den lett kan plasseres i en ambulanse og deretter stropes fast. Den nye produksjonsmetoden har derimot en negativ side ved seg, nemlig støpeskjegg.

3.2 Rammer

3.2.1 Toleranse for deformasjoner

Det er ikke kun støpeskjegg som er en utfordring med rotasjonsstøping, men også deformasjoner. Det er ulike faktorer som spiller inn på hvor betydelige disse deformasjonene blir: fyllingsgrad i støpeformen, kjølingshastighet og unøyaktigheter ellers. Dette øker vanskelighetsgraden av oppgaven, ettersom 2 bårer vil med minimal sannsynlighet være helt identiske. Videre fra dette vil de produserte bårerne avvike noe fra 3D-modellen. Det ble konstatert at toleransen for bårerne er +/- 1mm.

3.2.2 Begrensninger

Først og fremst vil oppgaven bli basert på bruken av en cobot. Den er lett å jobbe med, og i motsetning til andre roboter i industrien behøver den ikke å programmeres. Derimot vil dette komme på bekostningen av presisjon, nøyaktighet og styrke. Videre har roboten en begrenset rekkevidde grunnet størrelsen, noe som kan bli et problem siden bårerne er relativt lange. En CNC maskin kunne fjernet støpeskjegget mer effektivt, men dette har vi ikke tilgjengelig. Samtidig blir metodikken utviklet for lav-volums bedrifter, hvor investering av en cobot kontra en CNC maskin er langt billigere.

3.3 Tidligere forskning

Innenfor avgraderingsindustrien er det noe forskning, men de fleste publikasjoner omhandler bruk av CNC. Videre omhandler de fleste avgradering på metall, ikke polyetylen. Derimot har vi funnet noen aktuelle publikasjoner som har hjulpet oss i oppgaven.

3.3.1 “Deburring Using Robot Manipulators: A Review”

Den publikasjonen som er mest aktuell for oss er skrevet av en av oppgavens rådgivere, Ingrid Fjordheim Onstein, sammen med to andre. Den tar for seg å lage et overblikk av avgradering

med bruk av robot. Avgraderingen de skriver om er ikke kun for støpeskjegg, men for «burrs» generelt. «Burrs» er et engelsk ord som norsk ikke har et godt alternativ for. Med ordet menes uønsket materiale som kan oppstå fra produksjonsmetoder. Som det påpekes i publikasjonen, “Many production methods can cause burrs to form such as drilling, turning, cutting, punching and welding.” (Ingrid Fjordheim Onstein, 2020). De skriver også om rutegenerering og nevner noen eksempler, «human demonstration», CAD/CAM og «sensor-based path generation». Oversikten over disse vil det komme god nytte av i oppgaven. Videre skriver de om «tool-path correction». Følgende står først i avsnittet. “A workpiece can have deformations due to the casting process or due to clamping and gravity forces. These deformations are not negligible and should be taken into account”, (Onstein, Semeniuta & Bjerkeng, 2020). Dette er svært aktuelt for oppgaven ettersom det oppstår deformasjoner på båren, som nevnt i 3.2.1. Publikasjonen bruker algoritmer til å ta hensyn deformasjonene, mens denne oppgaven kommer til å kompensere for dette med en annen metode, mekanisk på verktøyet.

3.3.2 “An Approach to Automated Deburring by Robot Manipulators”

Den eneste publikasjonen som ble funnet på området om kompensasjon på en mekanisk måte (altså ikke algoritmer, sensorer o.l.) er denne publikasjonen fra 1986. Årsaken til kompensasjonen kommer av at robotene på den tiden ikke var like presise som de er i dag, og det var usikkerheter involvert med å følge verktøybanen som ble fastsatt. Løsningen de kom opp med kan man dog ta inspirasjon fra, samt understreke hvor kompleks en slik løsning er (H. Kazerooni, 1986).

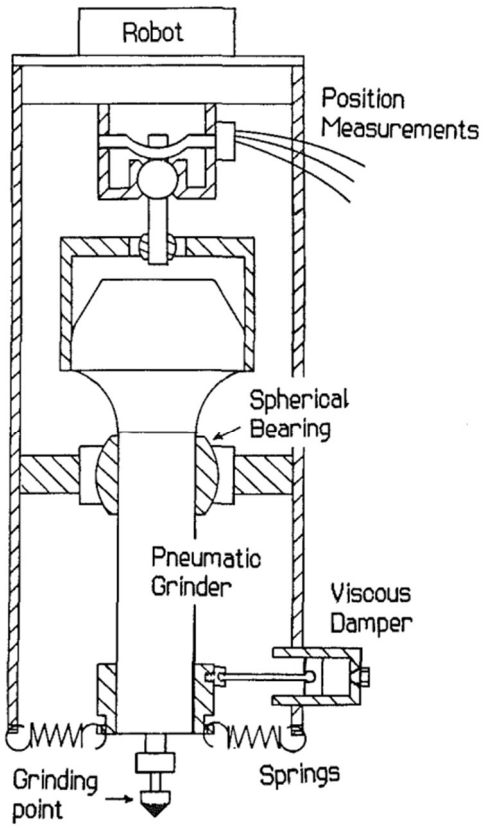


Fig. 3 A passive compliant end-effector

Figur 1 Mekanisk kompensasjon for unøyaktigheter

3.4 Måloppnåelse

Støpeskjegg er et bredt tema, og målet for denne oppgaven er ikke å komme opp med en metode som fungerer på alle typer støpeskjegg. Suksesskriteriet vil være å komme opp med en løsning som reduserer støpeskjegget på det spesifikke produktet automatisk ved hjelp av en robot. Det er suksessfaktorer involvert som innebærer å finne/utvikle riktig verktøy til jobben, samt rutegenerering for cobot som blir brukt under prosjektet.

Innenfor rutegenerering vil suksessfaktoren basere seg på om det blir generert en verktøybane som klarer å følge alle linjer hvor støpeskjegg oppstår, uavhengig om dette er ved bruk av CAM eller koordinatbasert. Målet med denne delen av prosessen er at det blir generert en verktøybane som er konsekvent, slik at man minimaliserer menneskelig interaksjon.

En suksessfaktor for verktøyet som skal fjerne selve støpeskjegget vil være å kun redusere det uønskede materialet, samtidig som det ikke etterlater seg skarpe kanter som frembringer kuttskader. For å oppnå dette er det et delmål å finne den angrepsvinkelen som minimaliserer det uønskede materialet, uten å redusere ønsket materiale. For å kunne eliminere enkelte verktøy må det først testes, så et annet delmål vil være å teste flere typer verktøy. Disse verktøyene har igjen to ulike måloppnåelser. Det første vil være å redusere langsgående støpeskjegg, mens det andre vil være å redusere det som forekommer ved hull.

4 Metode

I denne oppgaven har det blitt testet flere metoder for å fjerne støpeskjegg med bruk av cobot. Utfordringene har vært å finne en effektiv og presis metode, samt valg av verktøy.

4.1 Rutegenerering

4.1.1 CAM-programvare

For å kunne tilpasse en rute til baren fra SolidWorks måtte først programvaren finnes ut av. Det ble forsøkt med SolidWorks egen CAM-funksjon, men dette ga problemer ettersom CAM funksjonene blir brukt til maskineringsverktøy som CNC, og dermed var ikke cobot lagt inn som et verktøy. For å legge inn eget verktøy, eller cobot, må mange parametere tas hensyn til. Noen parametere er greie, slik som hastighet o.l. Derimot har en cobot betydelig flere frihetsgrader som må legges inn. Som nevnt er maskineringsverktøy mest vanlig, og dermed ville det istedenfor blitt en verktøybane for å produsere delen. Det som er nødvendig for oppgaven er at banen kan bli manipulert etter hvor støpeskjegget oppstår. Med disse faktorene lagt til grunn ble det bestemt å gå en annen vei. Det viste seg, etter mer søking, at UR har en egen programvare for e-serien deres, som er det som står til disposisjon hos Nævanyttig AS (Universal Robots, 2022). Dette kunne legges inn som en egen ad-in i SolidWorks. Denne CAM-programvaren har færre funksjoner enn en tradisjonell CAM, men det den har å tilby er mer aktuelt for denne oppgaven. Den bruker som input en 2D sketch, som ble tegnet der støpeskjegget oppstår. Dette «inputet» bruker den som verktøybanen som roboten skal følge. Videre er det en input som fastsetter et XYZ-referansepunkt som cobot kan bruke som utgangspunkt.

4.1.2 Koordinater

Cobot kan også manuelt programmeres til å følge en gitt rute. Her kan man legge inn punkter i et 3-akse-system, og bestemme om roboten skal innom hvert punkt som er gitt eller ta korteste vei. Man kan også legge inn en blenderadius om dette er ønskelig. Ved å legge inn at roboten skal følge en lineær linje går den til det angitte punktet før den går videre. Dette tærer

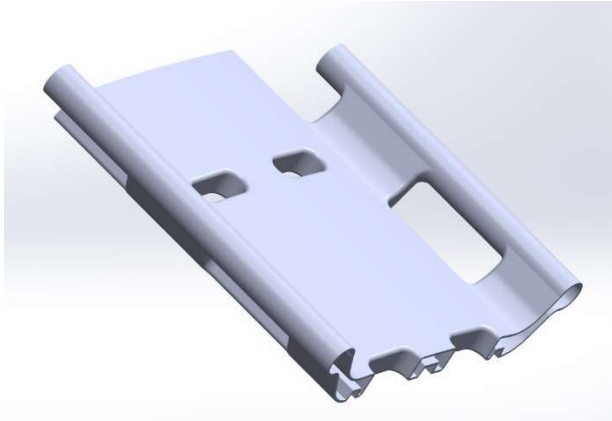
mer på roboten enn hvis den kan avrunde hjørner, og dermed få en mer uavbrutt bevegelse. Hva som passer best, vil være avhengig av hvilken jobb som skal utføres. På evakueringsbåren vil det være naturlig med lineære bevegelser langs ytterkantene, mens det på hullene vil være bedre med avrundende kanter. Dette vil være tidsbesparende og slite mindre på leddene til roboten.

4.1.3 Testdel

Siden båren har varierende geometri, ble det 3D-printet en test del som var enklere å følge. Delen er et lite rektangel (10x15x1cm), med et hull i midten for innspenning. For å bruke minimalt med materiale ble alt unntatt veggene og innspenningshullet nedsenket 3mm. Veggene og rundt innspenningshullet er tykkelsen 10mm, resten har en tykkelse på 4mm. I CAM og UR heter banen «toolpath», det er dette som er g-koden som blir overført med en minnepenn fra dataen over til cobot. Deretter må det fastsettes et plan (x og y), som er basisen for 2D tegningen. Det er viktig å definere hva som er positiv Z-retning, ettersom ruten blir flippet dersom dette ikke stemmer overens. Selv om XYZ i CAM ble basert på hvordan delen lå i virkeligheten stemte ikke koordinatsystemene overens. For at cobot skulle gå den tiltenkte banen måtte vi peke Z i «feil retning». Etter dette gikk den slik som tenkt, og ruten ble optimalisert før båren som støpeskjeget faktisk skal fjernes på skulle testes.

4.1.4 Testbåren

Testbåren er et avkapp av en full bære og har ujevne kutt. Lengden på håndtakene er ikke like. Dette avkappet er tidligere brukt for å se hvordan båren ser ut på innsiden, og er derfor ikke ideell å bruke når CAM skal testes. Den ble «splittet» etter beste evne i SolidWorks, men CAD-modellen har avvik fra den fysiske testbåren.



Figur 2 3D modell av avkappet bære

Innfestning/plassering av børen i forhold til cobot ble også en stor utfordring. Disse utfordringene forverret problemet som oppsto da forsøkene på testdelen foregikk: nemlig at Z retningen endret banen fullstendig. Det krevdes litt prøving frem og tilbake, men det gikk til slutt. Hittil hadde kun verktøybanen vært langs kanten på testdelen og testbøren, men støpeskjeget oppstår også i hullene på børen. Disse har en ulik høyde (Z) enn kanten som ble fulgt. 2D tegningen er i X og Y, så det ble lagt til et nytt segment som var i denne høyden. Ved flere segmenter, måtte det også bli lagt til manuelle punkt underveis, slik at roboten ikke krasjet i delen.

4.2 Verktøy

4.2.1 Utvikling av verktøy

Multi-kniv verktøy

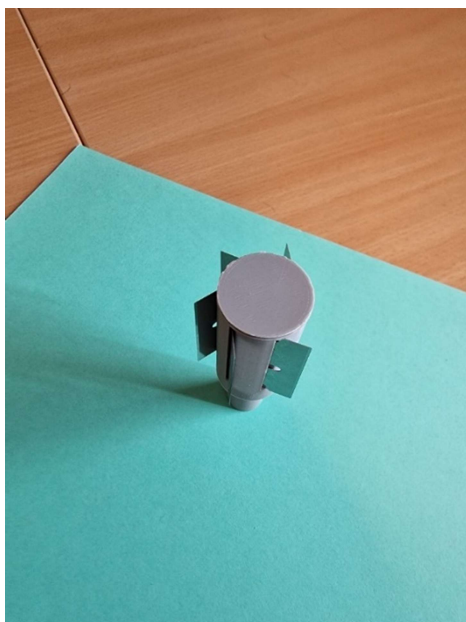
For å kunne fjerne støpeskjeget fra både ytterkantene og hullene måtte det konstrueres et spesialverktøy. For å kunne visualisere løsninger ble det laget en enkel konseptmodell med teip og papir (se figur 3). For å få en mer presis modell ble det modellert i CAD programmet SolidWorks. Her kan det også legges inn materialet og dermed få en oversikt over vekt. Det ble satt opp en sammenstilling bestående av egenmodulert holder, blader til malingskrape og en festemekanisme for å sikre at bladene ikke forflytter seg. Holderen og festemekanismen

ble satt til POM, og bladene til rustfritt stål. POM er en teknisk plast med god hardhet og styrke. Deler produsert i POM er ofte brukt i maskiner og i motorrom (plast, u.d.).

Delene i plast ble 3D-printet, men da i PLA siden det bare skulle fungere som en prototype. Bladene ble montert for å se om denne løsningen kunne funke (se figur 4).



Figur 3 Visualisering av tenkt verktøy med papir og teip

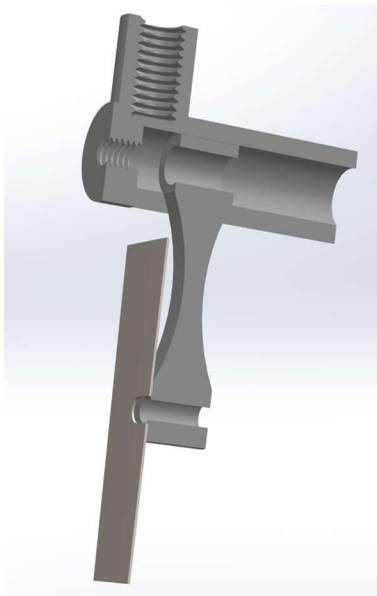


Figur 4 3D-printet løsning med blader satt inn

Kniv med fjærdemping

I motsetning til «multi-kniv-verktøyet», brukes det her bare en kniv/blad. Dette er for å sørge for at angrepsvinkelen er konsekvent og at man har mulighet til å optimalisere.

Designprosessen for verktøyet var først å tenke grovt ut hvordan den skulle se ut. Det ble målt relevante dimensjoner av deler som blad, aktuell fjær og skruer. Verktøyet ble designet i SolidWorks, og detaljene kom på plass. Verktøyet består av 2 deler. Den første delen, del A, er et hus, og det er denne som skal festes i roboten. Denne delen skal igjen romme litt av den andre delen, del B, fjæren samt skruen som bestemmer spenningen. Del B er utformet slik at den er et bindeledd mellom huset og kniven. Når disse blir kombinert vil designet ta hensyn til deformasjonene, og derav variasjonene, som oppstår under støperosessen.



Figur 5 Tverrsnitt av fjærdempingsverktøy uten fjær og skrue

Ettersom designet er lagt opp slik at bladet står i konstant spenn, vil den bli med 1mm inn mot godset dersom det oppstår ujevnheter inn mot delen. Dette tillater at fjæren tar hensyn variasjoner som «kuler» som peker ut fra delen. Dette blir optimalisert ved hjelp skruen som bestemmer spenningen i fjæren. Med disse egenskapene vil fjæren virke både dempende og strammende. Materialet vil være det samme som for multi-kniv verktøyet, POM. Som med multi-kniv verktøyet, ble også dette 3D-printet i PLA, da det fortsatt er en prototype for å teste funksjon. Dette nye verktøyet er tenkt til bruk langs kantene av båren, og er ikke designet for også å kunne ta støpeskjegg som oppstår i hull.

5 Resultater

5.1 Rutegenerering

5.1.1 CAM

Rutegenerering med CAM kom med både fordeler og ulemper. Først og fremst var det en fordel at man kunne legge inn hvilken som helst rute fra 2D-sketcher. På den andre siden var det en ulempe at disse rutene ikke kunne hentes ut, noe som hadde gjort prosessen mer automatisk. En annen fordel var hvor oversiktlig og minimalistisk programmet er. Det var lett å forstå hva forskjellige «inputs» gjorde, og det var ikke mange forskjellige funksjoner å velge mellom. Ytterligere fulgte roboten verktøybanen med høy presisjon, og samsvarte til enhver tid der «sketchen» ga den instruksjoner om å være. Dette var så lenge koordinatsystemet til cobot stemte overens med «sketchen». Dette ble en utfordring, men det skyldes lite erfaring med slike roboter, samtidig som at temaet er komplekst. Videre oppsto utfordringer på bakgrunn av varierende verktøydimensjoner, siden det måtte bli laget en ny rute, med ny offset (altså avstand fra delen til den faktiske ruten). Siden ruten ble basert på en 2D-sketch klarte ikke roboten transaksjonen mellom segmenter med ulik høyde Z. Det måtte derfor legges inn manuelle punkt, som ved koordinatbasert for å unngå kollisjon med baren når den gikk fra kanten til hullene.

5.1.2 Koordinater

Før man kan legge inn koordinater til roboten må verktøyet defineres og monteres. Deretter kan man angi koordinatene man ønsker at roboten skal følge. Valg av verktøy påvirket resultatet til ruten som ble valgt, da forskjell i størrelse gjorde at avstanden til baren måtte justeres for at verktøyet kunne gjøre tiltenkt arbeid. Det måtte derfor defineres en spesifikk bane for hvert enkelt verktøy. Siden det ikke ble brukt kamera i samarbeid med koordinatbasert rutegenerering, måtte det tas hensyn til produktets plassering når punkter ble lagt inn. Siden roboten vil ta korteste vei til neste punkt, ble det lagt inn enkelte punkter utenfor banen. Dette for å hindre at roboten forsøkte å gå gjennom produktet for å komme til neste punkt. Resultatet ble at roboten klarte å følge gitt bane med verktøy. Aksene til roboten

og produktet ikke var helt samstemte, og det ble derfor noe avvik når roboten skulle følge kantene.

5.2 Verktøy

5.2.1 Kniv

Som kniv i de to egenutviklede verktøyene ble det brukt blad som er tiltenkt en malingsskrape. Resultatet viste at dette bladet er skarpt nok til å fjerne det aktuelle støpeskjegget. Grunnet litt lange blad, og feil angrepsvinkel endte flere av bladene på «Multi-kniv verktøyet» med å komme i kontakt med overflaten samtidig. Dette verktøyet tok ikke hensyn til deformasjoner i båren. På steder hvor båren «bulte» litt ut, tok kniven tak i hovedmaterialet til båren, og kniven kom ut av posisjon grunnet for mye motstand.

Angrepsvinkelen

En tanke bak multi-kniv-verktøyet var å unngå og legge til vridning på verktøyet i verktøybanen. Det var kun i et lite angrepsvinkel-intervall at angrepsvinkelen tok støpeskjegget. Ble vinkelen for liten, var det verktøyholderen som ble ført bortover båren, og bladet kom ikke i kontakt med kanten. På den andre siden når vinkelen ble for stor, ville den kun rive i støpeskjegget. Om den da fikk tak i hardt støpeskjegg eller godset, vil kniven kutte seg inn i materialet og sette seg fast.

Fjærdemping

Fjærdempingen fungerte greit, men det var noen utfordringer som oppsto her også. Først og fremst var det ikke nok toleranse på printen, ettersom det ble valgt en hurtig «print» metode. Dette førte til at det oppsto friksjon mellom delene, og fjæren ble i praksis verdiløs. En nyere print av huset hvor toleransen ble tatt høyde for, fungerte mye bedre. Denne versjonen kunne fjærkraften justeres, og resultatene av det kunne sees. En begrensing her ble innfestingen til roboten. Før fjærkraften kunne vise fullt potensiale, ville den heller bli «dyttet» i griperen.

Det var også tiltenkt å bruke et avgraderingsverktøy i fjærdempingsverktøyet. Problemet var utformingen på verktøyet ettersom det var buet, og andre deler av verktøyet kom i kontakt materialet før avgraderingsflaten. Det finnes avgraderingsverktøy hvor utformingen på verktøyet er mer lineært, og vil da ikke krasje i materialet. Det ble ikke funnet noen som var tilgjengelige i Norge. Samtidig er disse tiltenkt til å være innfestet på et verktøy med en svivel, ettersom bruksområdet er å fjerne «burrs» på f.eks. innsiden av en skive. Dermed ble søkelyset på de andre verktøyene.



Figur 6 Buet avgraderingsverktøy som ble testet



Figur 7 Lineært avgraderingsverktøy som ikke ble testet

5.2.2 Dremel

Det ble utført en test med dremel uten robot, for å se om denne løsningen kunne fungere. Resultatet ble mye støv, og det roterende verktøyet spiste av materialet som ikke skulle fjernes. Kantene ble polerte og fine, men på bekostning av noe av selve produktet. En dremel klarte ikke fjerne støpeskjegg steder hvor det var store flak, da dette var for tynt. Dette ble brettet ned i stedet for å bli fjernet. Dette verktøyet fungerte best på områder med lite, men hardt støpeskjegg.

6 Diskusjon og analyse

6.1 Sammenligning rutegenerering

Når man skal velge metode for rutegenerering er det enkelte ting man må se på. Begge metodene vi har sett på i denne rapporten kommer med fordeler og ulemper. Rutegenerering er raskere og mer effektiv ved bruk av tradisjonell CAM (som maskinering benytter seg av), kontra den spesialdesignet for UR. Den krever som nevnt i resultat egne 2D «sketcher». Disse må manuelt tegnes inn, og modellen ruten genereres for ligger mer eller mindre i bakgrunnen som en referanse. Dette står i kontrast med den innebygde versjonen av CAM hvor man kan hente ut baner av arbeidsstykke. Samtidig er metoden mindre automatisk når det må tas i betraktning hvor verktøybanen går mellom segmenter. Dette var negativt for testingens del, siden det måtte justeres flere ganger. Når ruten først er laget, vil den kunne benyttes frem til bårens design endres. Dette er med andre ord en engangsjobb, så sant man vet hvordan det gjøres.

Det er fortsatt forarbeid før en cobot kan begynne å fjerne støpeskjegg, da XYZ referansepunktet må bli sentrert/kalibrert riktig. Hvis båren er plassert på samme måte hver gang, vil man ikke trenge kalibrering mellom hver bære. I ettertid ser vi at metoden ikke er så «plug and play» som først antatt, men kan spare en bedrift for mye tid etter ruten først har blitt laget, og rutiner for kalibrering og fastmontering av produktet blir konstatert og optimalisert. Dette blir videre diskutert i 6.2.

Hvis man går for en koordinatbasert rute, trenger man ikke mer en roboten. Her gjøres alle justeringer direkte med pendanten (skjermen man bruker til å gi roboten koordinater). Dette gjør at man slipper flere programvarer, og man lager banen basert på en fysisk modell. Ulempene med denne metoden, er om banen blir basert på en bære som allerede har deformasjoner. Banen har da ikke en ideell referanse som ved CAM. For eksempel kan referansebåren ha en deformasjon med maks toleranse innover, altså buer inn 1 mm. Når en bære som da skal bli fjernet støpeskjegg på, har en deformasjon med maks toleranse utover, vil verktøyet bli dyttet ut 2mm, når den er designet for 1mm.

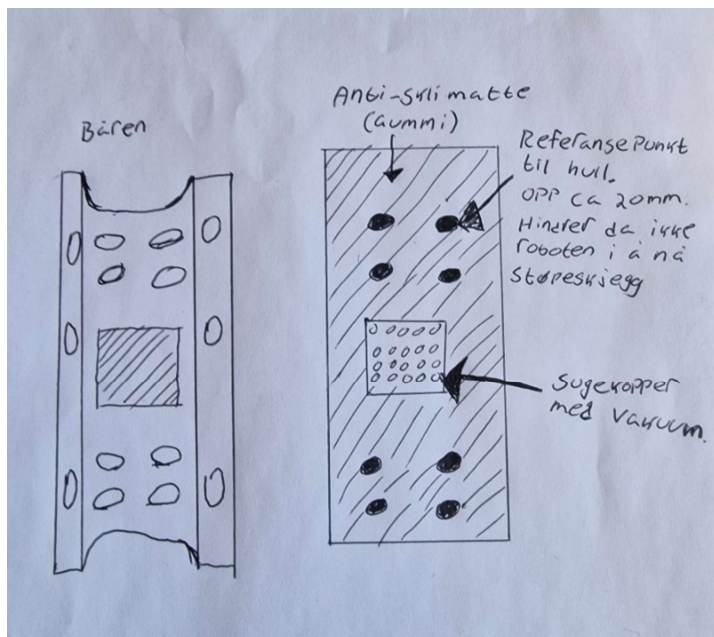
Hvis produktet man skal avgradere har en kompleks geometri, slik som båren, vil det ta en del tid og legge opp alle punktene verktøyet skal innom i løpet av ruten. Hvis det blir gjort endringer i designet til modellen, eller man har flere ulike produkter som skal avgraderes, må det manuelt lages ny rute for hvert produkt. Når en rute for et spesifikt produkt er laget, vil man ikke trenge gjøre endringer. Dette er også da en engangsjobb, gitt at båren er plassert og fastspent på samme metode. Se vedlegg 1 for en oversikt av sammenligningen.

Begge metodene krevde at det måtte lages en ny rute for hvert verktøy som skulle testes. Denne ulempen forsvinner når det blir fastsatt kun ett verktøy som skal benyttes. En positiv side med begge metodene er at nøyaktigheten og presisjonen til roboten var tilfredsstillende.

6.2 Innfesting av båren

For å teste hvordan roboten kunne redusere støpeskjegg på en effektiv metode måtte båren være festet. Som nevnt i 6.1 er vi avhengig av at båren blir plassert likt hver gang. Dette gjelder både for CAM og koordinatbasert rutegenerering. Det er også viktig at båren ikke flytter seg under fjerningsprosessen for å sikre et godt resultat. Under testingen ble båren stroppt fast til et bord for å sikre at den ikke beveget seg. Dette gjorde da at verktøyet ikke kunne gå alle steder hvor avgradering var nødvendig. For å sikre at roboten når alle steder den skal nå, er den avhengig å være plassert så nærme midtpunktet som mulig.

Når en bedrift skal utføre dette arbeidet, vil det være naturlig at roboten har en fast plass. Det vil være flere mulige løsninger for innfesting av båren. Noen kriterier må oppfylles, som at den plasseres likt hver gang og den rotasjonssikres for å unngå at den forflytter seg under prosessen. En mulig metode og løse dette på er med en anti-skli gummimatte som båren legges på. I denne matten er det et hull, hvor det er plassert sugeskopper tilkoblet vakuum, som gjør at båren blir dratt ned i gummimatten og dermed sikre at den ikke forflytter seg. Siden støpeskjegg ikke forekommer midt på båren hvor det ikke er hull, kan denne flaten festes med sugeskoppene uten at det blir til hinder for roboten. Ved å ha referansepunkter på gummimatten som samsvarer med hullene i båren vil man sikre at båren blir plassert likt hver gang. Da vil man slippe å kalibrere origopunktet for båren og roboten hver gang. Denne innfestningsmetoden er ikke testet.



Figur 8 Skisse som viser festeprinsippet

6.3 Valg av verktøy

Kniv-verktøy generelt ble begrenset av vinduet hvor angrepsvinkelen er optimal. Situasjoner hvor bladene får for stor vinkel oppfattes som farlige, ettersom bladet kan knekke. Der hvor støpeskjegget fjernes oppfyller kantene de gitte kravene, estetisk fin og vil ikke gi kuttskader. Når man tar i betraktning antall bærer det skal fjernes støpeskjegg på, vil bladene raskt bli utslitt. Dette vil øke faremomentene rundt blad-bruk. Samtidig vil dette kreve at bladene skiftes ut jevnlig. Det vi ser etter er et verktøy som skal redusere menneskelig arbeid, og vedlikehold inngår i dette. Vi tar i betraktning at det vil være mindre slitasje på bladene når støpeskjegget blir fjernet når det er fremdeles er mykt rett etter produksjon, kontra det sprø, kalde støpeskjegget vi utfører testene på. Vi ser at kniv-verktøy fjerner støpeskjegg på en tilfredsstillende måte, men kan være farlig og kan potensielt kreve mye vedlikehold.

Siden bladene som ble brukt i de egenutviklede verktøyene utgjorde et faremoment ved å kunne knekke, bestemte vi oss for også å teste en kniv med tykkere blad. Det ble da brukt et knivblad fra Jula, som var avrundet. Dette knivbladet klarte å fjerne støpeskjegget, uten fare for at det knakk. Utfordringene med denne kniven var i likhet med de egenutviklede

konseptene angrepsvinkelen. Ved for stor vinkel gikk kniven inn i hovedmaterialet, og ved for liten vinkel ble ikke støpeskjeget fjernet tilstrekkelig.

Dremel ble kun testet for hånd, og virker nok bedre på andre typer materiale enn polyetylen. Dette er fordi det kun tok støpeskjeget som hadde blitt hardt. Det tynne støpeskjeget klarte den ikke bite tak i, og klarte dermed ikke å fjerne støpeskjeget. Samtidig tok den fort godset på båren. Vi ser da at det kreves en nøyaktighet og presisjon kun industrielle roboter har, og ikke en cobot som vi benytter oss av. Se vedlegg 2 for en oversikt av sammenligningen.

6.4 Veien videre

UR har et stort potensial innenfor den moderne industrien når det gjelder samarbeid med arbeidere. Det finnes bedrifter som har spesialisert seg på sveising med cobot, men så vidt vi har klart å spore, er det ingen som har spesialisert seg på avgradering. Dette vil Nævanyttig AS fortsette å forske på, og denne oppgaven vil bli brukt som et grunnlag. Bedriften ser verdien av å kunne bruke en ikke-industriell robot for små og mellomstore bedrifter. Verdien ligger i at de er relativt billige å anskaffe, samt at de er relativt enkle i bruk. Dette vil gjøre at de kan brukes allerede fra prototype stadiet.

En metode det vil bli forsket på er å anskaffe det lineære avgraderingsverktøyet, og få testet det ordentlig. Spesielt i sammenheng med fjærdempingsverktøyet.

En annen ide kan være å utvikle et verktøy med prinsippene til «cryogenic deflashing» som en samarbeidende robot kan benytte seg av. Metoden bruker som omtalt i avsnitt 2.4.2 kjølemiddel og pellets, og vil kreve noe ressursbruk. Det er viktige faktorer som da må bli tatt hensyn til, som kan være på bakgrunn av miljø eller sikkerhet. Først og fremst bruker noen industrier gass, og rutegenererings metodikken krever menneskelig samarbeid, og det må være tilstrekkelig med lufting. Et annet aspekt er hvordan man kan bruke om igjen pellets, samtidig som støpeskjeget blir resirkulert.

7 Konklusjon

Denne rapporten har hatt som utgangspunkt å undersøke om en cobot fra UR kan brukes til å redusere støpeskjegg fra en evakueringsbåre fra Less. Det er blitt undersøkt hva som er den beste metoden for rutegenerering, og hvilket verktøy man kan, og ikke kan bruke. Hvilken rutegenereringsmetode man velger kommer an på hvor langt i utviklingsprosessen båren er. Hvis designet er satt, og det ikke vil bli gjort endringer, vil koordinatbasert være den raskeste metoden. Hvis det kommer endringer i designet av båren, vil det være mer gunstig å bruke en CAM-basert metode. Støpeskjegget burde fjernes mens det fremdeles er mykt, for å minimere motstanden på verktøyet. Det er essensielt at båren blir plassert og festet på samme måte hver gang, for å sikre en effektiv prosess.

Referanser

- Airproducts. (u.d.). *Croogenic Deflashing*. Hentet Mars 2, 2023 fra Airproducts: <https://www.airproducts.com/applications/deflashing>
- Autodesk. (2021, Mars 17). *What is CAM (Computer-Aided Manufacturing)?* Hentet April 17, 2023 fra Autodesk: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/computer-aided-manufacturing-beginners/>
- Columbiatribune. (2019, Januar 7). *Why is it so hard to decompose plastic?* Hentet Februar 5, 2023 fra Columbiatribune: <https://eu.columbiatribune.com/story/lifestyle/family/2019/01/07/why-is-it-so-hard/984920007/>
- Forgerecycling. (2022, Juni 22). *How long it takes everyday items to decompose*. Hentet Mai 16, 2023 fra Forgerecycling: <https://www.forgerecycling.co.uk/blog/how-long-it-takes-everyday-items-to-decompose/>
- Geminigroup. (u.d.). *Rotational Molding: Advantages and Disadvantages*. Hentet Februar 26, 2023 fra Geminigroup: <https://geminigroup.net/blog/rotational-molding-advantages-disadvantages/>
- H. Kazerooni, J. J. (1986, Desember 1). *An Approach to Automated Deburring by Robot Manipulators*. Hentet April 5, 2023 fra ASME Digital Collection: https://asmedigitalcollection.asme.org/dynamicsystems/article-abstract/108/4/354/400631/An-Approach-to-Automated-Deburring-by-Robot?redirectedFrom=fulltext&casa_token=GrYD0_MDZGwAAAAA:h3tILgIiSITWfXmqfoHdi4S0J-1sM8RFRzk9tJfLfx9oVsXeIIIEE70kYd7zl54In_Cs0xyI
- Ingrid Fjordheim Onstein, O. S. (2020, September 16). *Deburring Using Robot Manipulators: A Review*. Hentet April 5, 2023 fra NTNU Open: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2678101>
- LESS. (u.d.). *Beredskapssystemer*. Hentet Februar 26, 2023 fra LESS: <https://less.no/>
- LTC-Proto. (2021, Januar 3). *Key Facts that You Need to Know About CNC Machining Cutting Tools*. Hentet April 2, 2023 fra LTC-proto: <https://www.ltc-proto.com/blog/key-facts-that-you-need-to-know-about-cnc-machining-cutting-tools/>
- Millenniumalloys. (2021, Mai 17). *Interesting facts about hdpe*. Hentet Februar 6, 2023 fra millenniumalloys: <https://millenniumalloys.ca/interesting-facts-about-hdpe/>
- Moldblade. (2021, April 6). *Plastic Injection Moulding Main Defects In Injection Moulded Parts*. Hentet Februar 26, 2023 fra Moldblade: <https://moldblade.com/en/plastic-injection-moulding-main-defects-in-injection-moulded-parts/>

Partnerplast. (u.d.). *Rotational moulding*. Hentet Mai 9, 2023 fra Partnerplast:
<https://partnerplast.com/capabilities/rotational-moulding/>

plast. (u.d.). *POM*. Hentet Mars 28, 2023 fra plast: <https://webplast.no/shop/plastplater/pom>

Protoplastics. (2019, August 9). *All you should know about thermoplastic materials*. Hentet Mai 14, 2023 fra Protoplastics: <https://protoplastics.com/about-thermoplastic-materials/>

PTC. (u.d.). *What is CAD?* Hentet April 17, 2023 fra PTC:
<https://www.ptc.com/en/technologies/cad>

Sliceproducts. (u.d.). *Deburring Tools*. Hentet Mars 26, 2023 fra Sliceproducts:
<https://www.sliceproducts.com/collections/deburring-tools>

SNL. (2022, November 17). *Polyetylen*. Hentet Februar 2, 2023 fra Store Norske Leksikon:
<https://snl.no/polyetylen>

Universal Robots. (2022, Januar 19). *Universal Robots Toolpath Generator For SolidWorks*. Hentet Februar 28, 2023 fra Universal-Robots: <https://www.universal-robots.com/articles/ur/application-installation/universal-robots-toolpath-generator-for-solidworks/>

Universal Robots. (u.d.). *WHY COBOTS?* Hentet Mars 23, 2023 fra Universal Robots:
<https://www.universal-robots.com/products/collaborative-robots-cobots-benefits/>

Wikipedia. (2023, Januar 22). *Dremel*. Hentet Mars 28, 2023 fra Wikipedia:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Dremel>

Wikipedia. (2023, April 7). *Universal Robots*. Hentet Mai 14, 2023 fra Wikipedia:
https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Robots

Xometry. (2022, April 29). *Low Density Polyethylene (LDPE)*. Hentet Februar 6, 2023 fra Xometry: <https://www.xometry.com/resources/materials/low-density-polyethylene-ldpe/>

Vedlegg

Vedlegg 1: Sammenligning rutegenerering

	CAM	Koordinat
Krever ekstern programvare	✓	X
Lite forarbeid	X	✓
Fleksibilitet dersom produktet endres	✓	X
Nøyaktighet	✓	✓
Basert på ideell modell	✓	X
Lett å tilpasse hull	✓	-

Vedlegg 2: Sammenligning verktøy

	Malingskrape blad	Avrundet knivblad	Dremel
Reduserer tynt støpeskjegg			
Reduserer mykt (varmt) støpeskjegg			
Reduserer hardt støpeskjegg			
Reduserer i hull			
Nøyaktighet			
Ødelegger baren		Kan ta grep i båra	
Sikkerhet	Fare for knekking		

