

Digitalisering og automatisering af et støberi



Et erhvervsPhD-projekt hos Tasso af Ashish Chawla, DTU Mekanik

En større indsigt i kompleksiteten af støbeprocessen ved støbning af støbejern skal sikre grundlaget for fremtidig automatisering og digitalisering af produktionen i strengstøberiet hos Tasso i Odense. Den fagkundskabelige indsigt skabes i et samarbejde mellem virksomheden og DTU. Tasso fremstiller kontinuerligt støbt jernstangods til brug til produktion af dele til f.eks. pumper, kompressorer og industrimaskiner. Gennem tiden har Tasso samarbejdet med både DTU og Syddansk Universitet om adskillige mindre opgaver. Det har været så stor en succes, at det har banet vejen for en treårig ansættelse af en erhvervsPhD-studerende, Ashish Chawla fra DTU Mekanik. Ved DSFs årsmøde gav Ashish Chawla en fremragende præsentation af sit hidtil udførte arbejde. I denne artikel vil vi give en kort gennemgang af hans foreløbige resultater.

De industrielle revolutioner og digitalisering

Den industrielle revolution, der startede ved begyndelsen af 1800-tallet, har sidenhen løbende udviklet sig (fig. 1). Fra brugen af dampmaskiner, bilernes samlebåndproduktion og anvendelse af elektronik og computere befinder vi os nu i den 4. industrielle revolution, hvor internet og digitalisering er ved at blive en vigtig del af industriproduktionen.

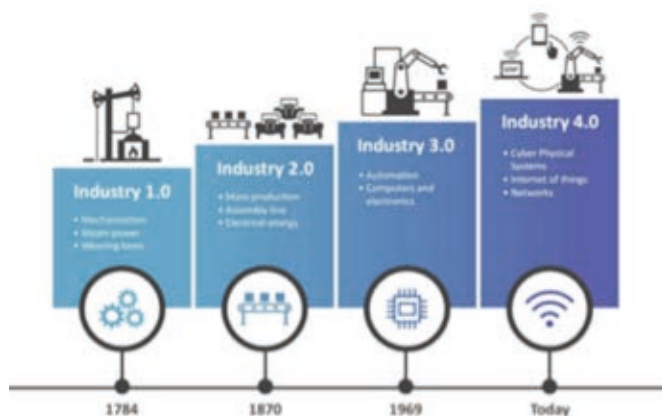


Fig. 1: Den industrielle revolution (Photocredit - b.telligent)

Hvad digitalisering betyder, er et godt spørgsmål. F.eks. er førerløse biler et resultat af digitalisering, og således er digitalisering dybest set en teknologisk proces, der tidligere var løst af menneskelig intelligens, men hvor nu en computer løser opgaver ved hjælp af oplysninger eller data indsamlet fra sensorer. Fig. 2 viser tre definitioner af digitalisering, hvoraf den midterste definition også kan bringe os til automatisering. Digital transformation refererer til det tilfælde at en hel industri er blevet omdannet ved hjælp af digitalisering, for eksempel telefonindustriens transformation til smartphones.

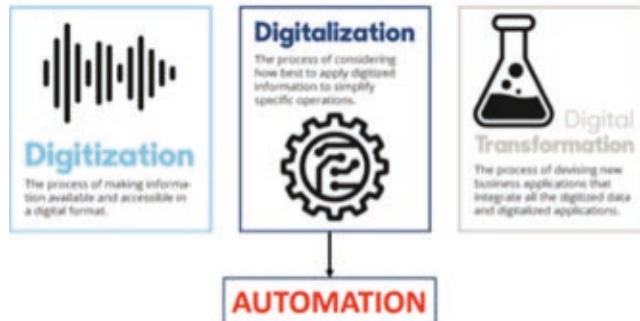


Fig. 2: Definitioner af digitalisering (Photocredit: The Digitalisation)

Digitaliseringsbehovet i støberiindustrien

Støberiindustrien har en konventionel tankegang og arbejder under farlige forhold. Støberierne er afhængige af medarbejdernes faglige evner, og der findes ingen tilpassede optimeringsforbedringer. De direkte fordele ved digitalisering omfatter øget produktivitet, stabil produktion, robust kvalitet og bæredygtighed. De indirekte fordele omfatter markant markedsdifferentiering, som kan udvirke en konkurrencefordel for virksomhederne samt digital transformation og øget dansk BNP.

Nøglekriterierne for digitalisering i støberier er vist i fig. 3. Digitalisering skaber meget proceskendskab og forbedret forståelsen af processen. Dette gøres primært via modellering eller fremstilling af en virtuel model af pro-

cessen ved hjælp af grundlæggende principper for matematik og videnskab. Med denne viden kan statistiske metoder og kunstig intelligens anvendes til at opnå digitalisering.

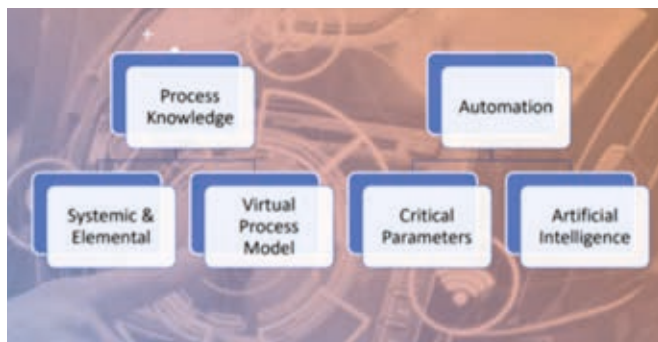


Fig. 3: Digitaliseringens nøglekriterier

TASSO ODENSE

Tasso er en del af Vald. Birn koncernen og producerer årligt ca. 18.000 tons strengstøbt støbejern, hvoraf 90 % eksporteres til 28 forskellige lande verden over.

Produktionmetoden hos Tasso er den såkaldte strengstøbning eller kontinuerlige støbeprocess, hvor det smeltede jern hældes i en modtagedigel, hvorfra det tappes gennem et udløb/kokille, som er udformet efter den ønskede stangegeometri. I kokillen størkner det yderste af metallet til en skal, der er stærk nok til at holde geometrien. Derefter trækkes det størknede materiale væk fra kokillen og samtidigt tilføres mere smelte fra modtagediglen, der holdes konstant fyldt med jern. Dette gør det muligt at støbe meget lange emner. Processen er vist på fig. 4.

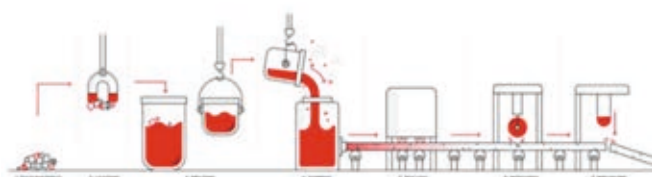


Fig. 4: Strengstøbningsprocessen
Fotokreditering: Tasso A/S

Fig. 5 viser skematisk modtagediglen og kokillen. Jernet i modtagediglen holdes flydende ved hjælp af induktionsvarme. Kokillen består af en stålramme med en vandkølet grafitmatrice (fig. 6).

Formålet med dette projekt er at udvikle en numerisk model, der simulerer horisontal strengstøbning af støbejern med det formål at opnå viden om kritiske parametre og at identificere passende placeringer for computerstyrede indbyggede sensorer. Disse sensorers numeriske modeller anvendes til at udlede unikke responsoverflader, der forbinder variationer i procesparametre med produktkvalitet. Herved skabes et allernyest kontrolsystem, der

er baseret på responsoverfladerne og bruges til at optimere produktiviteten af processen.

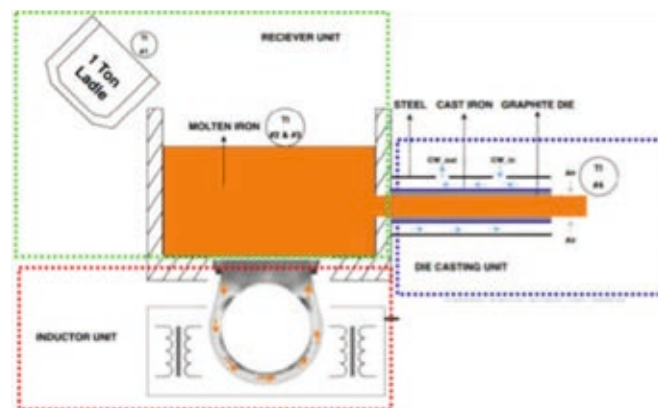


Fig. 5: Modtagedigel og kokille med grafitmatrice



Fig. 6: Kokille og jernstrengen. Fotokreditering: Tasso A/S

Projektet omfatter eksperimentel analyse af støbeprocessen, procesmodellering, procesanalyse og responsoverflademethodikken samt formidling og projektledelse. Fig. 7 viser tidslinjen for projektet.

Work Packages	Start	End	...
1 Introduction to the project			
2 Experimental analysis of the casting process			
3 Process modelling			
4 Process analysis and response surfaces			
5 Dissemination and project management			

Fig. 7: Projektets planlagte tidsforløb
Photo: Ashish Chawla

Projektets forløb er vist i fig. 8. Det starter med dataindsamling, der resulterer i en enorm mængde procesdata (grøn Big Data -boks). Disse store datamængder resulterer i aggregerede data, som er grundlaget for de fysik- og matematikbaserede modeller (røde bokse), som danner

grundlaget for simulering eller virtuel procesmodellering (røde bokse). Endelig resulterer feed-back fra de opnåede resultater i kunstig intelligens og maskinlæring (blå bokse), som derefter med alle de andre data resulterer i automatisering (gul-boks).

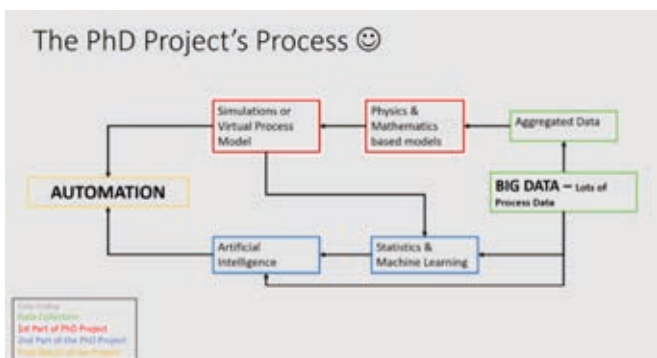


Fig. 8: PhD-projektets forløb Photo: Ashish Chawla

Simulering af processen

Strengkokillen består af forskellige dele (fig.9), nemlig en stålskal, vandkølingspassager og en grafitkerne. Og selvfølgelig jernsmelten. Den fysik, som anvendes i simuleringerne, omfatter væskestrømninger, varmeoverførsel og metallurgi.

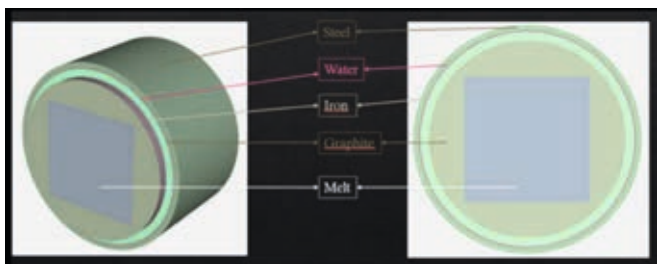


Fig. 9: Strengkokillens forskellige dele. Photo: Ashish Chawla

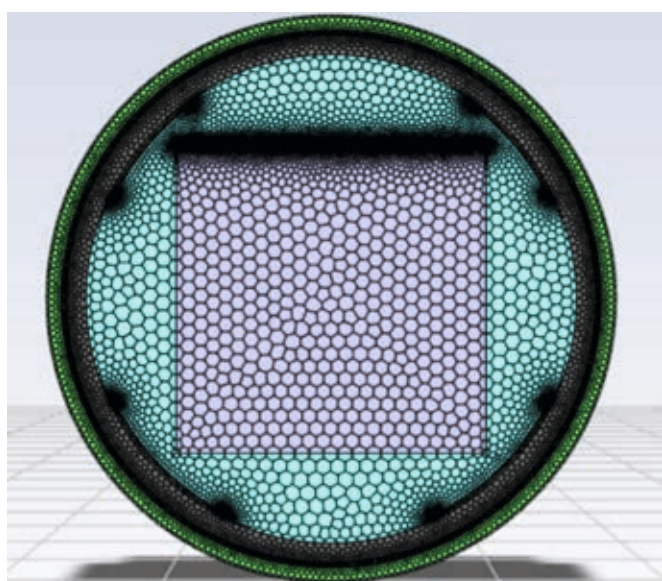


Fig. 10: Luftspalter. Photo: Ashish Chawla

Kokillen er dog ikke helt så enkel, som den ser ud til. Grafitkernen har luftfyldte hjørnespalter; disse er kendte designparametre hos Tasso. Data for den øverste luftspalte mellem smelte- og grafitvæggene, som dannes på grund af tyngdekraften, er ukendte og skal simuleres og valideres.

Simuleringsresultater

Simulation Model - Input Parameters	Real Life - Input Parameters
• Water Inlet Temperature - 38 °C	• Water Inlet Temperature - 38 °C
• Water Mass flow Rate - 2 kg/s	• Water Mass flow Rate - 2 kg/s
• Melt Inlet Temperature - 1230 °C (constant)	• Melt Inlet Temperature - 1230-1200 °C
• Melt velocity - 2000/sec (steady state)	• Melt Velocity - Pulling Parameters in Real Life
• Melt velocity - 15 m/s (12 sec) & 0 m/s (15 sec) (transient)	• Pulling Length - 30 mm
	• Pause time - 15 sec
• Latent Heat - 230,000 J/kg	• Inductor Effect KW } Not Included in Simulation
• Austenitic Phase - 1185 - 1145 °C (17%)	• Temperature Drop in b/w two consecutive cycles
• Ferritic Phase - 1144 - 1100 °C (83%)	

Fig. 11: Simuleringens inddata. Photo: Ashish Chawla

Simulation Model - Output Parameters	Real Life - Output Parameters
• Energy Balance (KW)	• Energy Balance (KW)
• Graphite Temperatures	• Graphite Temperatures Sensors (to validate the model)
• Solidification Percentage (Area & Volume)	• Temperature Sensors in Receiver Walls to PREDICT Inlet Melt Temperatures (in Process)
• Remelting	• Temperature Eye (not Yet installed)
• Heat Transfer Coefficient	

Fig. 12: Simuleringens slutresultater. Photo: Ashish Chawla

Fig. 11 og 12 viser henholdsvis inddata og slutresultater omfattende både reelle måleresultater samt simuleringresultater. Tallene fremhævet i det hvide er de samme for både reelle og simuleringresultater; de farvede er dog forskellige. Det er klart, at smeltetemperaturen altid vil variere.

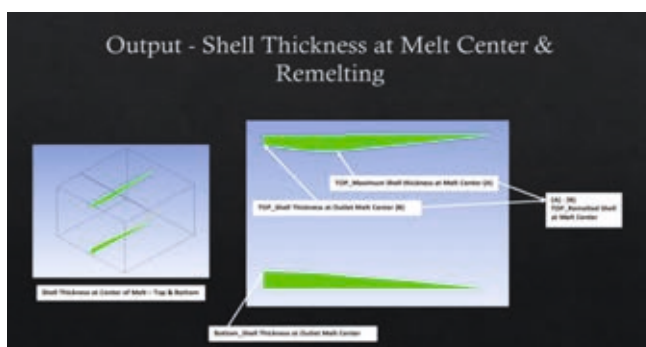


Fig. 13: Jernskallens tykkelse Photo: Ashish Chawla

Validering af simuleringresultaterne viser en forskel i skaltykkelse i toppen og bunden af matricen. Dette skyldes ikke kun naturlig varmeoverførsel/konvektion fra bund til top, men også luftgabet mellem smelten og matricen. Mens den nederste skal øger sin tykkelse konstant, oplever den øverste skal på et tidspunkt en begyndende

opsmeltning. Derfor blev der udført en række simuleringer med forskellige luftgab i toppen. Fig. 14 viser resultaterne.

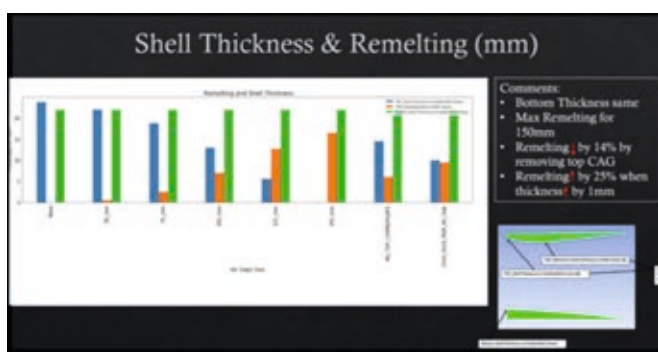


Fig. 14: Simuleringsresultater ved forskellige luftgab
Photo: Ashish Chawla

Resultaterne viser tydeligt den indflydelse luftgab i toppen har på skaltykkelse og opsmeltning. Begge forhold er vigtige for jernstrengens kvalitet. Indtil videre er resultaterne fra modelsimuleringer, at Tasso får adgang til en større forståelse for den storkning, der finder sted i støbeprocessen. Denne viden giver mulighed for bedre at styre processen og dermed gøre den så ensartet og forudsigelig som muligt. Tasso får yderligere kendskab til den allernyeste tilgængelige viden på området.

Det næste trin vil være at identificere og undersøge de kritiske parametre i processen. Der kan derefter etableres en strategi for at kontrollere dem. Dette skal gøres ved hjælp af data fra sensorer placeret i procesudstyret, statistiske teknikker og kunstig intelligens.

Bæredygtighed hos Tasso

Tasso har allerede i mange år beskæftiget sig med bæredygtighed. Det målrettede arbejde begyndte i 2010, og siden 2017 har virksomheden koblet indsatserne til FN's verdensmål med hovedfokus på mål nr. 12 om ansvarligt forbrug og produktion. I november 2020 tilsluttede Tasso

sig UN Global Compact, som i fremtiden skal danne rammen for virksomhedens arbejde med bæredygtighed og samfundsansvar. Eksempler på resultaterne af de udførte tiltag er officielt anerkendte jvf. de viste certifikater som vist i fig. 15.

Målsætningen for bæredygtig udvikling er formuleret i konkrete mål. Opfølgningen på disse mål er en del af erhvervsPhD-projektet hos Tasso og opfølgningen evalueres ved hjælp af en semi-kvantitativ metodologi inspireret af Greenhouse Gas (GHG) Protokollen. Den er en frivillig standard, som anvendes til opgørelse og rapportering om CO₂ og andre drivhusgasser. Projektets primære formål var øget produktivitet, stabilitet og energieffektivitet ved støbeprocessen hos Tasso.

For at kunne danne et sammenligningsgrundlag til at vurdere erhvervsPhD-projektets effektivitet, blev der anvendt baseline-målinger på basis af støberiet sædvanlige arbejdsgange. Et nyt system, der kan anvendes efter projektets implementering, blev udviklet på basis af de omfangsriges baseline-målinger. Disse målinger ændrede/tilføjede 10 aktiviteter, omtales som effekter. Virkningerne blev oversat til FN's verdensmål (SDG = Sustainable Development Goals) baseret på retning, sandsynlighed og størrelse (fig. 16).



Fig. 16: FN's 17 verdensmål for bæredygtig udvikling
Photocredit - Stockholm Resilience Center



Fig. 15: Bæredygtighedstiltag hos Tasso. Fotokreditering: Tasso A/S

Tassos bæredygtighedsvurdering er baseret på resultatet af ph.d. -projektet og er inspireret af GHG-Protokollens standard for livscyklusvurdering. Dette er en del af DTU-kursus 2,5ECTS

De fem faser af bæredygtighedsvurdering er:

- Definere forventninger af forskningsprojektet i samfundet
- Vurdere projektets omfang
- Opgørelse af effekter fra projekapplikationer
- Evaluering af applikationernes indvirkning på FN's verdensmål
- Fortolkning af vurderingsresultaterne

Fig. 17 viser de ændringer (effekter), der ville ske på grund af digitalisering. Disse ændringer har følgende betydning:

- Nye processer tilføjet til baseline-systemet (markeret med blå)
- Eksisterende processers betydning forøgedes i forhold til baseline-systemet (markeret med grøn)
- Eksisterende processers betydning formindskedes i forhold til baseline -systemet (fremhævet med orange)
- Eksisterende processer uændrede sammenlignet med baseline-systemet (fremhævet med hvidt)

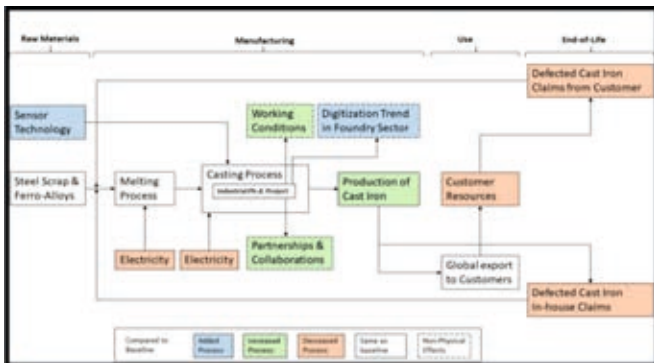


Fig. 17: Tassos verden efter PhD-projektet

Endelig blev det konkluderet, at SDG 12 (fig. 16) havde den mest positive indvirkning på projektets resultat. Det blev efterfulgt af SDG 9, SDG 8 og SDG 17, der også havde en positiv indvirkning. Resultaterne for ph.d. -projektet evalueret gennem SDG -vurderingsmetodik stemmer godt overens med PricewaterhouseCoopers SDG-udvælger vedrørende fremstillingssektoren. Udvælgeren kan hentes hos <https://data-tech.pwc.com/SDGSelector/>

Sammenfatning

En erhvervsPhD er et forskningssamarbejde mellem en virksomhed og DTU. Det er et treårigt forløb, hvor virksomheden har mulighed for at fokusere på et forretningskritisk udviklingsområde og samtidig indhente den nyeste forskningsbaserede viden på området.

Fra dag ét har det skabt værdi for Tasso at samarbejde med DTU om at ansætte Ashish som ph.d. -studerende. Værdiskabelse går også den anden vej. Universitetet får et indblik i de problemstillinger, som danske virksomheder er optaget af, og dermed er det ikke alene de studerende og virksomheden, men hele samfundet, der får et udbytte af projektet, siger Tassos administrerende direktør Kristian B. Pedersen.

Niels Skat Tiedje, lektor ved DTU Mekanik og vejleder for Ashish Chawla, er enig i dette synspunkt. Samarbejde med virksomheder er af stor betydning både for vores forskning og for undervisning af fremtidige ingeniører. Eleverne er glade for konkrete eksempler på opgaver og arbejdsområder, som de senere kan støde på som kandidater. Samtidig er det videnskabeligt udfordrende at arbejde med intelligent processtyring og udvikling af tilstrækkeligt præcise modeller i et støberi, hvor de meget høje temperaturer omkring 1400 grader gør det svært at sikre de korrekte måledata, siger Niels Skat Tiedje.

Artiklen er baseret på et foredrag af Ashish Chawla ved DFS's årsmøde i Søby 2021.



Fig. 18: Results. Photo: Ashish Chawla