



CHALMERS

Smart vattenhantering – effektivare produktionsflöden för mätutrustning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Ekonomi och Produktionsteknik

IDA SANDELL ÅGREN
ROMINA SHAHRIARI FARAH

INSTITUTIONEN FÖR TENIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION

AVDELNINGEN FÖR SUPPLY AND OPERATIONS MANAGEMENT

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026

www.chalmers.se

Smart vattenhantering – effektivare produktionsflöden för mätutrustning

IDA SANDELL ÅGREN
ROMINA SHAHRIARI FARAH

Handledare och Examinator: Torbjörn Jacobsson

TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
Avdelning för Supply and operations management
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2026

Smart vattenhantering - effektivare produktionsflöden för mätutrustning

IDA SANDELL ÅGREN
ROMINA SHAHRIARI FARAH

©IDA SANDELL ÅGREN, 2026
©ROMINA SHAHRIARI FARAH, 2026

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation
Avdelning för Supply and operations management

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

Göteborg, Sverige 2026

Göteborg, Sverige 2026

Smart vattenhantering – effektivare produktionsflöden för
mätutrustning

IDA SANDELL ÅGREN
ROMINA SHAHRIARI FARAH

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation
Chalmers tekniska högskola

FÖRORD

Detta examensarbete har genomförts som en avslutande del av vår utbildning. Detta har gett oss möjlighet att tillämpa våra teoretiska kunskaper i ett praktiskt projekt samt fördjupa vår förståelse inom ämnesområdet.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare vid Chalmers tekniska högskola, Torbjörn Jacobsson. Hans engagemang och kunskap har varit en viktig del av projektets genomförande.

Vi vill även framföra vårt tack till Aqua Robur för möjligheten att genomföra examensarbetet i samarbete med företaget. Ett särskilt tack riktas till vår handledare på företaget, Patrik Jakobsson, för hans stöd och tillgänglighet till arbetets utveckling.

Slutligen vill vi tacka alla som på olika sätt har bidragit med kunskap, idéer och uppmuntran under projektets genomförande.

Göteborg, Juni 2026

Ida & Romina

Göteborg, Sverige 2026

Smart vattenhantering – effektivare produktionsflöden för mätutrustning

IDA SANDELL ÅGREN

ROMINA SHAHRIARI FARAH

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation

Chalmers tekniska högskola

Den svenska vatten och avloppssektor-sektorn (VA-sektorn) genomgår en digitalisering där uppkopplade övervakningssystem spelar en central roll för att säkra hållbar vattenförsörjning. Detta ställer ökade krav på tillverkande företag inom branschen att hantera växande produktionsvolymmer med bibehållen kvalitet och korta ledtider.

Denna studie har genomförts som en kvalitativ fallstudie vid Aqua Robur Technologies, ett teknikföretag som utvecklar produkter för datainsamling och övervakning inom VA-nät. Syftet är att kartlägga det nuvarande produktionsflödet för produkten Fenix Hub X samt att identifiera flaskhalsar och föreslå förbättringsåtgärder för ökad effektivitet. Data har samlats in genom intervjuer, observationer och produktionsdata. Som analysmetoder har värdeflödeskartläggning samt en experimentell studie av gjutningsprocessen tillämpats.

Resultaten indikerar att den funktionella produktionslayouten erbjuder flexibilitet men begränsar flödeseffektiviteten vid högre volymer. Gjutningsprocessen identifieras som en kritisk flaskhals. Bristande standardisering i detta moment leder till variationer i utförande, materialspill samt kvalitetsavvikelser i form av luftbubblor. Den experimentella studien indikerar att en inledande självtorkningsfas, följt av ugnshärdning, reducerar förekomsten av luftbubblor och därmed minskar behovet av efterarbete. Vidare identifieras utmaningar relaterade till lagerhållning, kapitalbindning samt hantering av specialordrar. Dessa skapar störningar i det ordinarie produktionsflödet och försvårar samordningen av produktionen.

Studien rekommenderar standardisering av gjutningsmomentet genom tydligare arbetsinstruktioner samt fortsatt utvärdering av temperatur- och härdningsparametrar. Därutöver föreslås en översyn av produktionslayouten samt tydligare rutiner för specialorderhantering. Företaget rekommenderas även att utvärdera alternativa silikonsorter för att minska sårbarheten vid långa leveranstider. Sammantaget bedöms dessa åtgärder kunna reducera variation i produktionsflödet, minska kapitalbindning och stärka företagets förmåga att möta en växande efterfrågan utan att kompromissa med kvalitet eller leveransprecision.

Nyckelord: Produktionsflöde, värdeflödeskartläggning, Lean produktion, flaskhalsar, ledtid, slöseri, resursutnyttjande, gjutningsprocess, VA-sektorn

Göteborg, Sverige 2026

Smart vattenhantering – effektivare produktionsflöden för mätutrustning

IDA SANDELL ÅGREN

ROMINA SHAHRIARI FARAH

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation

Chalmers tekniska högskola

ABSTRACT

Smart water management - more efficient production flows for measurement equipment

The Swedish water and wastewater sector is undergoing a process of digitalisation in which connected monitoring systems play a central role in securing a sustainable water supply. This development places increasing demands on manufacturing companies within the sector to manage growing production volumes while maintaining high quality and short lead times.

This study was conducted as a qualitative case study at Aqua Robur Technologies, a technology company that develops products for data collection and monitoring in water and wastewater networks. The purpose of the study is to map the current production flow for the product Fenix Hub X, identify bottlenecks and propose improvement measures to increase efficiency. Data were collected through interviews, observations and production data. Value stream mapping and an experimental study of the casting process were applied as analytical methods.

The results show that the functional production layout provides flexibility but limits flow efficiency at higher production volumes. The casting process is identified as a critical bottleneck. Insufficient standardisation in this step leads to variations in execution, material waste and quality deviations in the form of air bubbles. The experimental study indicates that an initial self-drying phase, followed by oven curing, reduces the occurrence of air bubbles and thereby decreases the need for rework. Furthermore, challenges related to inventory management, capital tied up in stock and the handling of special orders were identified. These factors create disruptions in the regular production flow and make production coordination more difficult.

The study recommends standardising the casting process through clearer work instructions, as well as continuing the evaluation of temperature and curing parameters. In addition, it proposes both a review of the production layout and concrete measures for how parts of it can be developed, along with clearer routines for handling special orders. The company is also recommended to evaluate alternative silicone grades to reduce vulnerability to long lead times. Overall, these measures are considered likely to reduce variation in the production flow, decrease tied-up capital, and strengthen the company's ability to meet growing demand without compromising quality or delivery precision.

Keywords: Production flow, value stream mapping, Lean production, bottlenecks, lead time, waste, resource utilisation, casting process, water and wastewater sector

Innehållsförteckning

Beteckningar.....	1
1. Inledning.....	3
1.1 Bakgrund	3
1.2 Syfte	7
1.3 Avgränsningar	8
1.4 Frågeställning.....	8
2. Teoretiskt ramverk.....	9
2.1 Produktionsflödeslayouts	9
2.1.1 Fast positionslayout	9
2.1.2 Funktionell layout.....	9
2.1.3 Cellayout	10
2.1.4 Linjelayout	10
2.2 Flaskhalsar och kapacitetsbegränsningar.....	11
2.2.1 Flaskhalsar	11
2.2.2 Kapacitetsbegränsningar	11
2.3 Lean produktion	12
2.3.1 Standardisering.....	13
2.3.2 Slöserier	13
2.3.3 Värdeflödeskartläggning	13
2.3.3.1 Steg 1 – Skapa en produktfamilj	14
2.3.3.2 steg 2 – Kartläggning av nuläge	14
2.3.3.3 Steg 3 – Kartläggning av framtida läge.....	15
2.3.3.4 Steg 4 – Arbetsplan och implementation	15
2.4 Little's lag	15
2.5 Allmänt om materialet silikon	16
2.6 Tvåkomponents silikon - SilCool TIA 208R.....	17
2.7 Push och Pull	17
3. Metod	18
3.1 Studiens upplägg	18
3.2 Datainsamling	18
3.2.1 Primär datainsamling	19
3.2.1.1 Intervjuer och samtal	19
3.2.1.2 Observationer	20
3.2.2 Sekundär datainsamling.....	20

3.2.2.1 Befintlig produktionsdata	20
3.2.2.2 Litteraturstudie	20
3.2.3 Experimentell studie av gjutningsprocessen	21
Delstudie 1: Ugnshärdning följt av lufthärdning	21
Delstudie 2: Lufthärdning följt av ugnshärdning.....	21
3.3 Analys av insamlade data.....	21
3.3.1 Värdeflödeskartläggning	22
3.3.2 Analys av Littles lag	22
3.4 Etiska överväganden	23
3.5 Validitet.....	23
3.6 Reliabilitet	23
3.7 Generaliserbarhet.....	24
4. Verksamhetsbeskrivning.....	25
4.1 Företagsbeskrivning.....	25
4.2 Produktbeskrivning	26
4.2.1 Externa leverantörer	27
4.3 Produktionsprocessen idag.....	28
4.3.1 Moment 1: Förarbete	29
4.3.2 Moment 2: Klistermärken och SIM-kort.....	30
4.3.3 Moment 3: M12-skydd	30
4.3.4 Moment 4: Lim och ljusledare	30
4.3.5 Moment 5: Masstest	30
4.3.6. Moment 6: Gjutning.....	31
4.3.7 Moment 7: Reparation	31
4.3.8 Moment 8: Rengöring och montering	32
4.3.9 Moment 9: Slutgranskning och packning	32
4.4 Lager	32
4.4.1 Standardlager.....	33
4.4.2 Reklamationslager	33
4.4.3 Installationslager.....	33
4.4.4 Partnerlager	33
4.4.5 Kundfordringar	33
4.4.6. Lageruppbyggnad	33
4.5 Problembeskrivning	34
4.5.1 Silikon	34

4.5.2 Lager	34
4.5.3 Specialprodukter.....	35
4.5.4 Produktionsutformning och framtida kapacitet	36
4.5.5 Praktiska och operativa förbättringsområden	36
5. Diskussion	37
5.1 Experiment av gjutningsprocessen	37
5.1.1 Delstudie 1	37
5.1.2 Delstudie 2	38
5.2 Lagret	39
5.3 Behov av anpassad produktionslayout	40
5.4 Kontinuerliga förbättringar	41
5.5 Specialprodukter	42
5.6 Säljcykler.....	43
5.7 Felkällor	44
6. Rekommendationer och slutsats.....	45
6.1 Rekommendationer	45
6.1.1 Standardisera gjutningsprocess	45
6.1.2 Silikon alternativ.....	46
6.1.3 Ekonomisk jämförelse mellan silikonalternativen.....	46
6.1.4 Tekniska lösningar	47
6.2 Förbättrat produktionsflöde.....	48
6.3 Slutsats	49
6.3.1 Produktionslayout	49
6.3.2 Specialprodukter.....	50
6.3.3 Delstudie 1	50
6.3.4 Delstudie 2	50
6.3.5 Standardisering av produktionsflödet	50
6.3.6 Lager	51
Litteraturförteckning	52
Appendix	55
Intervjuguide	55

Beteckningar

Atex-krav = EU-regelverk som säkerställer att utrustning är säker att använda i explosionsfarliga miljöer.

Bräddning = Utsläpp av orenat eller delvis renat avloppsvatten vid överbelastning i avloppssystemet.

Fenix Hub X = IoT-enhet för datainsamling med stöd för flera sensorer. Aqua Roburs mest sålda produkt.

IoT (Internet of Things) = Uppkoppling av fysiska enheter via internet för att samla in, överföra och analysera data i realtid.

IP68K = Dammtät och skyddad för långvarig nedsänkning i vatten

IP69K = Dammtät och skyddad mot högtrycks- och högtemperaturspolning

LTE-M (Long Term Evolution for Machines) = Mobil nätverksteknik anpassad för IoT och maskin-till-maskin-kommunikation med stöd för realtidsdata och låg energiförbrukning.

NB-IoT (Narrowband Internet of Things) = Trådlös kommunikationsteknik för IoT-enheter med låg energiförbrukning och lång räckvidd.

Tillskottsvatten = Tillskottsvatten är oavsiktligt vatten (regn-, smält- och grundvatten) som tränger in i spillvattennätet via otätheter eller felkopplingar. Det leder till ökade flöden, risk för bräddning och sämre rening i avloppssystemet.

VSM = Value Stream Mapping

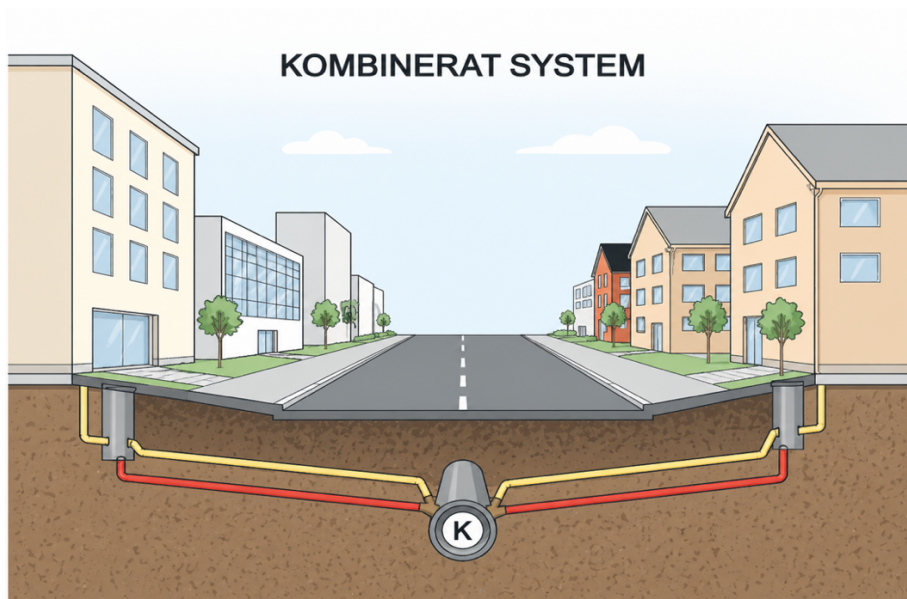
1. Inledning

Detta inledande kapitel redogör för studiens bakgrund, syfte, avgränsningar samt frågeställningar.

1.1 Bakgrund

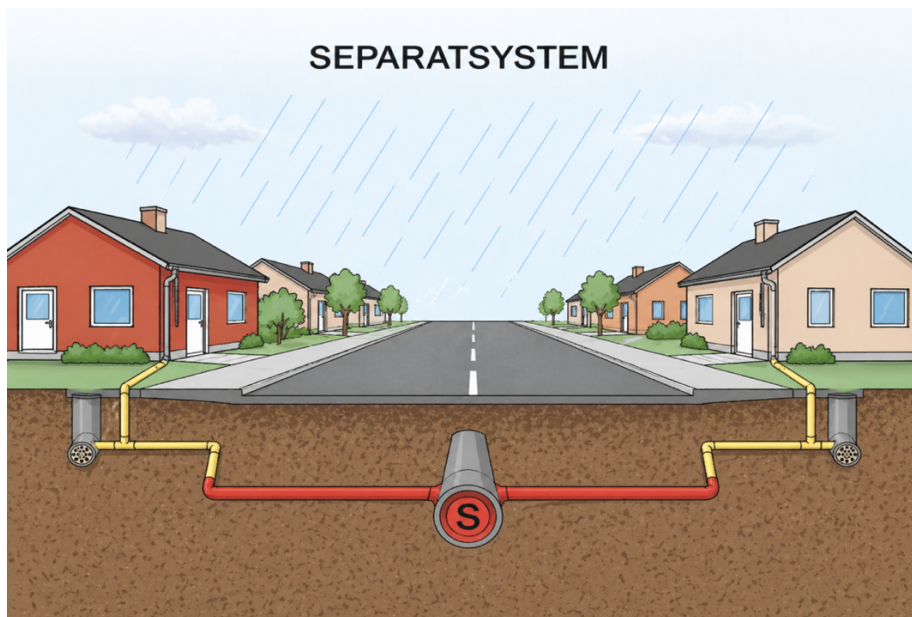
VA-sektorn, det vill säga vatten- och avloppssektorn, har till uppgift att säkerställa tillgången till rent dricksvatten samt en ändamålsenlig hantering av avloppsvatten i samhället. Detta utgör en grundläggande förutsättning för människors hälsa och för en långsiktigt hållbar samhällsutveckling. Dricksvattenförsörjningen utgör en förutsättning för människors dagliga liv och hälsa samt för samhällets funktionalitet i stort. Verksamheten klassificeras därför som samhällsviktig då störningar i dricksvattenförsörjningen snabbt kan få allvarliga konsekvenser för bland annat hushåll, livsmedelsförsörjning och andra kritiska samhällsfunktioner. VA-sektorn fyller därmed en dubbel funktion genom att dels tillhandahålla säkert dricksvatten, dels samla in, avleda och rena avloppsvatten (Naturvårdsverket, 2025).

VA-sektorn omfattar de tekniska system och komponenter som möjliggör vattenförsörjning och avloppshantering. Dessa system består bland annat av ledningsnät, pumpstationer, tankar, ventiler och andra infrastrukturella lösningar. Dessa bidrar tillsammans till robusta och säkra vatten- och avloppssystem. Systemens huvudsakliga funktion är att transportera vatten till hushåll, företag, industrier och offentliga verksamheter samt att leda bort och hantera avloppsvatten. Mot denna bakgrund framstår tillförlitlig drift och systemens robusthet som centrala aspekter inom sektorn (VVS-Fabrikanternas, 2026). Ett exempel på hur avloppssystem kan vara uppbyggda visas i Figur 1.1, där spillvatten, dagvatten och dräneringsvatten leds i samma huvudledning i ett kombinerat system.



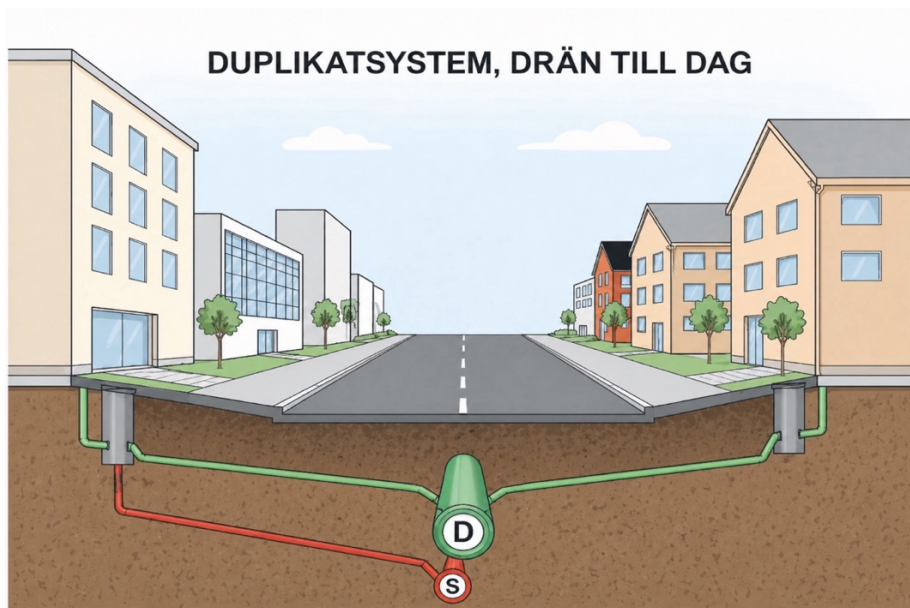
Figur 1.1. *Kombinerat system. Princip för kombinerat avloppssystem där spillvatten, dagvatten och dräneringsvatten leds i samma huvudledning.*

Svenska avloppssystem har historiskt utvecklats på olika sätt. Äldre avloppsnät har byggts upp under mer än 100 år och principerna för deras utformning har förändrats över tid. I äldre tätbebyggelse dominerade länge kombinerade system där spillvatten, dagvatten och dränvatten avleddes i samma ledning, se figur 1.1. I andra områden utvecklades så kallade separatsystem där dagvatten hanterades i diken medan spillvatten avleddes i en särskild ledning, se figur 1.2. Från 1950-talet skedde därefter en successiv övergång till duplikatsystem där spillvatten och dagvatten leds i separata system, detta demonstreras i figur 1.3. Denna utveckling är viktig att beakta eftersom dagens VA-infrastruktur ofta består av en kombination av äldre och nyare lösningar. Något som påverkar såväl funktion som underhållsbehov och sårbarhet (Svenskt Vatten, 2019). Svenska avloppssystem har historiskt utvecklats på olika sätt. Äldre avloppsnät har byggts upp under mer än 100 år och principerna för deras utformning har förändrats över tid. I äldre tätbebyggelse dominerade länge kombinerade system där spillvatten, dagvatten och dränvatten avleddes i samma ledning. I andra områden utvecklades så kallade separatsystem där dagvatten hanterades i diken medan spillvatten avleddes i en särskild ledning. Från 1950-talet skedde därefter en successiv övergång till duplikatsystem där spillvatten och dagvatten leds i separata system. Denna utveckling är viktig att beakta eftersom dagens VA-infrastruktur ofta består av en kombination av äldre och nyare lösningar. Något som påverkar såväl funktion som underhållsbehov och sårbarhet (Svenskt Vatten, 2019).



Figur 1.2. Separatsystem. Princip för separatsystem där spillvatten och dagvatten hanteras i separata ledningssystem. Spillvatten leds till spillvattenledning medan dagvatten avleds separat.

VA-sektorn har en central betydelse för miljö och hållbar utveckling eftersom förorenat avloppsvatten kan bidra till övergödning, syrebrist i sjöar och hav samt spridning av organiska föroreningar och mikroplaster. En effektiv avloppshantering utgör därmed en grundläggande förutsättning för att skydda både vattenmiljöer och människors hälsa. I Sverige är en majoritet av hushåll i tätorter anslutna till kommunala avloppsreningsverk. Detta illustrerar sektorns omfattning och samhällsbärande betydelse men också behovet av en väl fungerande och långsiktigt hållbar VA-infrastruktur (Naturvårdsverket, 2025). Den svenska VA-infrastrukturen står dock inför betydande utmaningar inte minst i form av ett omfattande investeringsbehov. Den offentliga sektorns årliga upphandlingar uppgår till cirka 700 miljarder kronor vilket medför koldioxidutsläpp på omkring 18 miljoner ton. Samtidigt uppskattas det årliga investeringsbehovet i VA-infrastrukturen till cirka 31 miljarder kronor medan den faktiska investeringstakten uppgår till omkring 20–21 miljarder kronor per år. Detta innebär en återkommande underinvestering och en växande investeringsskuld (Svenskt vatten, 2026).



Figur 1.3. Duplikatsystem. Princip för duplikatsystem där spillvatten leds i separat spillvattenledning, medan dagvatten och dräneringsvatten från byggnader leds till dagvattensystemet.

En central utmaning i detta sammanhang är klimatförändringarnas påverkan på dagvatten- och avloppssystem. Under senare år har det vuxit fram en ökad medvetenhet om samhällets sårbarhet inför extrema väderhändelser, både i dagens klimat och i ett framtida förändrat klimat. Detta medför ökade krav på att samhällen utformas för att bättre kunna hantera översvämningar samtidigt som dagvattnets miljöpåverkan behöver minska. Vid nybyggnation kan hållbar dagvattenhantering bidra till att begränsa skador vid översvämningar och reducera utsläpp av dagvattenföroreningar. Den största utmaningen återfinns dock ofta i befintlig bebyggelse där de fysiska förutsättningarna redan är etablerade och där möjligheterna till anpassning därmed kan vara mer begränsade. Samhällen riskerar även att drabbas av översvämningar både nedströms, till följd av stigande vattennivåer, och uppströms vid extrema skyfall. Detta understryker behovet av robusta, långsiktiga och genomtänkta VA-system (Svenskt Vatten, 2019).

Ett ytterligare problem i många avloppssystem är förekomsten av så kallat tillskottsvatten. Flödet i spillvattenledningar bör i ett duplikatsystem i princip inte öka vid nederbörd men i praktiken uppstår ofta avvikelser från detta. Stora flödestillskott kan belasta spillvattenledningarna till följd av inläckage, felkopplingar eller dräneringsvatten som leds till spillvattenförande ledningar. Detta kan i sin tur orsaka källaröversvämningar, ökad belastning på reningsverk samt att stora vattenvolymer behöver pumpas och renas i onödan. Problematiken med tillskottsvatten visar att även mindre brister i systemuppbyggnad eller anslutningar kan få betydande konsekvenser för både drift och resursanvändning. Arbetet med att minska tillskottsvatten behöver därför bedrivas utifrån en helhetssyn som omfattar både privata och allmänna VA-ledningar (Svenskt Vatten, 2019).

Mot denna bakgrund har digitalisering och smarta lösningar fått en allt viktigare roll inom VA-sektorn. Sådana lösningar har blivit alltmer etablerade och implementeras i ökande omfattning. Redan under början av 2010-talet började de mest avancerade vattenbolagen använda smart vattenmätning. Tekniken bygger på centraliserade och nätverkskopplade vatten- och avloppssystem där data från uppkopplade enheter används för att förbättra den övergripande driften. Smart vattenmätning och uppkopplade sensorer kan exempelvis användas för att samla in information om vattenförbrukning, läckage, flöden och systemtillstånd i olika delar av VA-systemet. Forskning indikerar att smart vattenmätning kan bidra till förbättrad drift, effektivare resursanvändning, snabbare läckagedetektering och bättre beslutsunderlag i vattenförsörjningssystem. Sådana lösningar utgör därmed viktiga verktyg för att möta sektorns krav på hållbarhet, effektivitet och robusthet (Okoli, 2024).

En vanligt förekommande kommunikationsteknik inom smart mätning är Narrowband IoT (NB-IoT). Tekniken är särskilt lämpad för stationära mätare och sensorer eftersom den kännetecknas av låg energiförbrukning, god täckning och tillförlitlig dataöverföring även i miljöer där signalstyrkan kan vara begränsad. NB-IoT lämpar sig därmed väl för vattenmätning och annan uppkopplad övervakning inom VA-system där lång batteritid och stabil kommunikation utgör centrala krav (Onmondo, u.d.).

Aqua Robur Technologies, hädanefter benämnt Aqua Robur, är ett teknikbaserat uppstartsföretag som grundades år 2015 av två tidigare Chalmersstudenter med visionen att utveckla och effektivisera vattenhanteringen. Företaget har successivt vuxit och har i dag produkter installerade hos fler än 100 kunder både nationellt och internationellt. I takt med företagets tillväxt har verksamheten ställts inför utmaningar kopplade till produktionsflöden, ledtider och resursutnyttjande. När produktionsvolymerna ökar ställs högre krav på att produktionen är strukturerad, effektiv och skalbar. För ett växande företag kan manuella arbetsmoment, varierande arbetssätt, materialhantering och begränsad produktionskapacitet skapa hinder för att möta en ökad efterfrågan utan att ledtider, kvalitet eller leveransprecision påverkas negativt. Inför lanseringen av företagets sjätte produkt har behovet av produktionsoptimering därför blivit alltmer betydelsefullt (Aqua Robur, 2024). Mot denna bakgrund blir det relevant att undersöka hur produktionsflödet ser ut i dagsläget, vilka flaskhalsar och slöserier som finns samt vilka förbättringsåtgärder som kan bidra till en mer effektiv produktion.

1.2 Syfte

Syftet med studien är att minska slöseri, förkorta ledtider och förbättra den övergripande effektiviteten i produktionen hos Aqua Robur. Målet är att undersöka hur delar av produktionen hos Aqua Robur fungerar i dagsläget, identifiera problem i produktionsflödet samt föreslå möjliga förbättringsåtgärder.

1.3 Avgränsningar

Examensarbetet avgränsas till en analys av produktionsflödet för produkten Fenix Hub X vilken utgör cirka 80 procent av Aqua Roburs totala produktionsvolym. Övriga produkter och produktvarianter ingår inte i studien. Detta möjliggör en mer fördjupad analys av företagets mest centrala produkt. Arbetet omfattar endast Aqua Roburs produktionsverksamhet och inkluderar därmed inte produktutveckling såsom konstruktion och design av nya produkter. Studien är även tidsmässigt avgränsad och genomfördes under perioden januari till maj 2026.

1.4 Frågeställning

Hur ser produktionsflödet för Fenix Hub X ut hos Aqua Robur Technologies och vilka förbättringsåtgärder kan identifieras för att minska slöseri, förkorta ledtider och öka effektiviteten?

Följande underfrågeställningar har även behandlats:

1. Hur är det nuvarande produktionsflödet för Fenix Hub X utformat?
2. Vilka flaskhalsar kan identifieras i det nuvarande produktionsflödet?
3. Vilka förbättringsåtgärder kan föreslås för att förbättra produktionsflödet och resursutnyttjandet?

2. Teoretiskt ramverk

I detta kapitel redogörs för det teoretiska ramverk som ligger till grund för rapportens problemanalys, lösningsförslag och diskussion. Ramverket omfattar centrala teorier och begrepp kopplade till produktionsflöden, däribland produktionsflödeslayout, flaskhalsar och kapacitetsbegränsningar, Lean produktion, värdeflödeskartläggning samt Littles lag. Därutöver behandlas materialet silikon med särskilt fokus på tvåkomponentsilikonet SilCool TIA 208R. Kapitlet behandlar även produktionsstyrning utifrån push- och pullsystem.

2.1 Produktionsflödeslayouts

I detta avsnitt presenteras de fyra huvudtyperna av produktionslayout: fast positionslayout, funktionslayout, celllayout och linjlayout.

2.1.1 Fast positionslayout

Fast positionslayout används när objektet som ska bearbetas är stationärt medan arbetare, material och maskiner förflyttas runt objektet. Denna layout används framför allt vid produktion av stora, känsliga eller svårflyttade produkter där det är mer praktiskt och kostnadseffektivt att flytta resurserna till objektet än att flytta själva objektet. Exempel på detta är uppförande av skyskrapor, skeppsbyggnation och flygplanstillverkning där huvudprodukten förblir på samma plats under större delen av produktionen (Slack et al., 2019; Heizer et al., 2017). Fast positionslayout medför både fördelar och nackdelar. En fördel är att produkterna kan kundanpassas i hög grad eftersom produktionen ofta sker i form av unika projekt med låg volym och hög komplexitet. Layouten innebär även en stor variation i arbetsuppgifter vilket kan bidra till ett mer stimulerande arbete för medarbetarna. En nackdel är att styckkostnaderna ofta blir höga eftersom produkterna är komplexa, produktionstiderna långa och resursutnyttjandet kan vara svårt att optimera fullt ut (Slack et al., 2019; Heizer et al., 2017).

2.1.2 Funktionell layout

I en funktionell layout grupperas liknande arbetsuppgifter eller resurser så att de är placerade tillsammans eller i nära anslutning till varandra. En sådan organisering kan bidra till ett mer effektivt resursutnyttjande eftersom produkter, material eller kunder förflyttas mellan olika aktiviteter utifrån sina specifika behov. Flödesmönstret kan dock bli komplext eftersom olika produkter eller individer ofta följer olika vägar genom verksamheten. Ett exempel på denna typ av layout är bibliotek där böckerna är organiserade i olika sektioner beroende på genre. Besökare rör sig därför främst mot de delar av biblioteket som innehåller de böcker de är intresserade av. På liknande sätt innebär en funktionell layout att resurser med liknande funktioner grupperas tillsammans medan flödet varierar beroende på vilket behov som ska

tillgodoses. Funktionell layout medför både fördelar och nackdelar. En fördel är att layouten ger goda möjligheter till produktvariation och kundanpassning, i likhet med fast positionslayout, samtidigt som produktionsvolymerna generellt är högre. En nackdel är att flödet kan bli komplext även om komplexiteten vanligtvis inte är lika hög som vid fast positionslayout. Vidare finns en risk för att vissa produkter överproduceras trots begränsad efterfrågan, medan andra produceras i för låg omfattning. Detta kan i sin tur leda till lagerbildning eftersom produktionen inte alltid är anpassad efter den faktiska efterfrågan (Slack et al., 2019).

2.1.3 Cellayout

Cellayout innebär att resurser och aktiviteter organiseras i avgränsade enheter, så kallade celler, där varje cell utformas för att hantera en viss produktgrupp, kundgrupp eller typ av arbetsmoment. Inom respektive cell kan arbetet organiseras enligt principer från exempelvis funktionell layout eller linjelayou, beroende på verksamhetens behov och flödets karaktär. Ett exempel som kan användas för att illustrera principen är detaljhandelsmiljöer, såsom matbutiker, där produkter av liknande typ placeras tillsammans i avgränsade sektioner, exempelvis drycker eller mejeriprodukter. På liknande sätt syftar cellayout till att skapa tydligare flöden genom att samla resurser och aktiviteter som hör samman inom samma enhet. Detta kan bidra till kortare genomloppstider, minskad intern förflyttning och ett mer överskådligt produktionsflöde. En potentiell nackdel är att vissa produkter eller arbetsmoment kan passa in i flera celler, vilket kan försvåra indelningen och minska layoutens effektivitet. Produktionsvolymen är generellt högre vid cellayout än vid tidigare nämnda layouttyper, medan produktvariationen tenderar att vara lägre (Slack et al., 2019).

2.1.4 Linjelayou

Linjelayou innebär att de transformerade resurserna förflyttas genom produktionsprocessen i en förutbestämd ordningsföljd mellan olika arbetsstationer. Layouten kännetecknas av ett linjärt flöde där varje arbetsstation utför ett specifikt moment innan produkten går vidare till nästa steg. Ett typiskt exempel är löpande band vilket är vanligt förekommande inom tillverkningsindustrin. En central fördel med linjelayou är möjligheten att producera varor i höga volymer vilket kan bidra till lägre styckkostnader. Samtidigt innebär layouten ofta en begränsad produktvariation eftersom flödet är standardiserat och anpassat för återkommande arbetsmoment. En nackdel är att medarbetare ofta utför monotona och repetitiva arbetsuppgifter vilket kan öka risken för ergonomiska belastningar och arbetsskador. Detta kan i sin tur få konsekvenser både för individens arbetsmiljö och för företagets produktivitet (Slack et al., 2019).

2.2 Flaskhalsar och kapacitetsbegränsningar

Nedan definieras och beskrivs begreppen flaskhalsar och kapacitetsbegränsningar.

2.2.1 Flaskhalsar

En flaskhals kan definieras som det steg i en produktionsprocess som har lägst kapacitet och därmed begränsar systemets totala genomströmning. Eftersom det långsammaste momentet ofta avgör processens maximala kapacitet har flaskhalsar stor betydelse för verksamhetens effektivitet och produktionsförmåga. Att identifiera och analysera flaskhalsar är därför centralt för att kunna förbättra flödet, öka produktionsvolymerna, minska väntetider mellan processteg och optimera resursutnyttjandet. Om flaskhalsar inte uppmärksammas kan de leda till ökade kostnader, förseningar, köbildning och underutnyttjade resurser i andra delar av processen (Liker, 2004).

En vanlig orsak till flaskhalsar är variation i tidsåtgången för olika arbetsmoment. Ett moment som teoretiskt beräknas ta exempelvis 15 minuter kan i praktiken variera beroende på produktens eller tjänstens karaktär samt personalens arbetssätt, erfarenhet och samordning. Sådan variation kan skapa ojämnheter i produktionsflödet, vilket i sin tur kan leda till köer, väntetider och ineffektivt resursutnyttjande. För att hantera detta kan arbetsfördelningen balanseras vilket innebär att arbetet fördelas så jämnt som möjligt mellan produktionsstegen. Vid behov kan ytterligare resurser, såsom fler arbetsstationer, tillföras för att minska belastningen på överbelastade moment. Ett vanligt sätt att analysera och förbättra arbetsbalansering är att använda precedensdiagram där arbetsmoment och deras inbördes ordningsföljd visualiseras. Detta underlättar planeringen av arbetsflödet och kan bidra till att minska balanseringsförluster samt skapa ett jämnare och mer effektivt produktionssystem (Liker, 2004).

2.2.2 Kapacitetsbegränsningar

Kapacitet kan definieras som den maximala produktionsvolym som ett produktionssystem kan uppnå under en given tidsperiod, utifrån tillgängliga resurser och rådande förutsättningar. I en organisation dimensioneras kapaciteten vanligtvis utifrån bedömningar av både nuvarande och framtida efterfrågan. Kapaciteten utgör därmed en grundläggande förutsättning för leveransförmåga, resursutnyttjande och kostnadseffektivitet. En central del av kapacitetsplaneringen är att dimensionera kapaciteten på ett ändamålsenligt sätt. Felaktigt dimensionerad kapacitet kan antingen leda till överkapacitet vilket medför höga fasta kostnader eller till underkapacitet vilket kan resultera i långa ledtider och låg servicegrad. Vid fastställandet av en optimal kapacitetsnivå är begreppen stordriftsfördelar och stordriftsnackdelar därför viktiga att beakta. Ökad kapacitet kan initialt bidra till lägre styckkostnader genom ett mer effektivt resursutnyttjande. En alltför hög kapacitet kan dock samtidigt skapa ökad komplexitet och större samordningsbehov vilket i sin tur kan medföra

stigande kostnader. Den optimala kapacitetsnivån uppnås således vid den punkt där balansen mellan dessa effekter minimerar den totala kostnaden (Slack et al., 2019).

Utöver valet av kapacitetsnivå är även tidpunkten för kapacitetsförändringar av stor betydelse. Det finns tre övergripande strategier för kapacitetsanpassning i förhållande till efterfrågan. Den första är en ledande strategi där kapacitet byggs upp i förväg för att kunna möta förväntade efterfrågeökningar. Den andra är en efterföljande strategi vilket innebär att kapaciteten först anpassas när efterfrågan faktiskt har ökat. Den tredje strategin är kapacitetsutjämning där lager eller buffertar används för att hantera variationer i efterfrågan under ledtider. Valet av strategi påverkar både risknivå, kapitalbindning och servicegrad. Organisationer kan även tillämpa en kombination av dessa strategier beroende på marknadsförutsättningar och verksamhetens flexibilitet (Slack et al., 2019).

2.3 Lean produktion

Lean produktion har sitt ursprung i Toyotas specifika syn på produktionssystem. Den bygger på en strävan att organisera tillverkningsprocesser utifrån kundens behov samt att systematiskt eliminera icke-värdeskapande aktiviteter. Med dessa menas de moment som inte bidrar direkt till produktens värde (Liker J. K., 2004). För att en verksamhet ska kunna beskrivas som Lean krävs ett övergripande förhållningssätt där fokus ligger på att skapa ett jämnt och effektivt flöde genom sammanhängande och värdeskapande processer anpassade efter kundens efterfrågan. Produktionen kännetecknas av ett dragande system där kundens behov styr takten. En annan viktig del handlar om organisationskulturen. Där är det viktigt att den präglas av kontinuerliga förbättringar och ett gemensamt ansvar för utveckling (Liker J. K., 2004). Lean som produktionsfilosofi utgör ett ramverk för att identifiera vad som skapar värde för kunden samt för att strukturera värdeskapande aktiviteter i en effektiv och ändamålsenlig ordning. Genom kontinuerligt förbättringsarbete syftar Lean till att successivt öka effektiviteten i verksamhetens processer. Detta kan möjliggöra högre produktivitet med minskad resursåtgång i form av arbetsinsats, utrustning, tid och yta. Detta samtidigt som verksamheten i högre grad kan fokusera på att leverera produkter och tjänster som motsvarar kundernas faktiska behov (Womack & Jones, 1996).

I detta arbete avgränsas analysen av Lean produktion till två centrala principer: standardisering och identifiering av slöserier. Avgränsningen motiveras av att dessa principer bedöms vara särskilt relevanta för ett tillverkande företag såsom Aqua Robur. De utgör centrala delar av Lean-filosofin och har en tydlig koppling till effektivisering av produktionsprocesser, förbättrat resursutnyttjande och kvalitetssäkring. Avgränsningen möjliggör därmed en fördjupad analys av hur Lean kan bidra till förbättrade arbetsprocesser i den studerade verksamheten

2.3.1 Standardisering

Standardisering är en central del av Lean produktion och utgör en grund för att skapa stabila och förutsägbara arbetsprocesser. Genom standardiserade arbetssätt kan variationen i hur arbetsmoment utförs minska vilket bidrar till ökad kvalitet och underlättar ett systematiskt förbättringsarbete. Inom Lean betonas det att kontinuerliga förbättringar förutsätter stabila processer eftersom avsaknaden av gemensamma arbetssätt kan leda till otydliga och kortsiktiga förbättringar. Standardisering innebär dock inte ett statiskt arbetssätt utan bör ses som ett levande verktyg som kontinuerligt utvecklas i takt med att avvikelser och förbättringsmöjligheter identifieras. För att standardiserade arbetssätt ska fungera i praktiken är medarbetarnas delaktighet avgörande, både vid framtagandet av standarder och vid den fortsatta utvecklingen av dem. Detta kan stärka såväl efterlevnaden som lärandet inom organisationen (Liker J. K., 2006).

2.3.2 Slöserier

Inom Lean produktion är identifiering och eliminering av slöserier centralt för att kunna utveckla effektiva och kundanpassade processer. Genom att särskilja värdeskapande aktiviteter från icke-värdeskapande skapas förutsättningar för att synliggöra förbättringsbehov i en verksamhet (Petersson, Johansson, Broman, Blücher, & Alsterman, 2015). Slöserier förekommer i form av överproduktion, överflödiga lager, väntetider, defekta produkter, överarbete, onödiga transporter och rörelser samt outnyttjad kompetens. Dessa typer av slöserier bidrar till ökade kostnader, längre ledtider och minskat värdeskapande. Genom ett systematiskt arbete med att identifiera och reducera slöserier kan organisationer förbättra resursutnyttjandet och öka effektiviteten. Detta skapar bättre förutsättningar för kontinuerliga förbättringar (Petersson, Johansson, Broman, Blücher, & Alsterman, 2015).

2.3.3 Värdeflödeskartläggning

Värdeflödeskartläggning (VSM) är ett centralt verktyg inom leanfilosofin. Den används för att visualisera och analysera organisationens värdeskapande flöden. Syftet med VSM är att identifiera aktiviteter som inte skapar värde ur kundens perspektiv samt att skapa underlag för att reducera eller eliminera dessa. Det är dock viktigt att betona att VSM i sig inte eliminerar slöseri utan fungerar som ett analysverktyg för att synliggöra förbättringsområden. Metoden används främst för att kartlägga nuläget genom att identifiera såväl värdeskapande som icke-värdeskapande aktiviteter. Detta tydliggör hur material flödar genom produktionen samt hur informationsflödet ser ut mellan olika funktioner och avdelningar inom organisationen. VSM är emellertid ett begränsat verktyg då det främst ger en översikt och möjliggör identifiering av slöseri men inte analyserar systemets dynamik eller variation över tid (Andrade, Pereira, & Del Conte, 2015).

Inom Lean särskiljs generellt tre typer av aktiviteter kopplade till värdeskapande: värdeskapande aktiviteter, icke-värdeskapande men nödvändiga aktiviteter samt icke-

värdeskapande aktiviteter som bör elimineras. Värdeskapande aktiviteter är sådana som direkt bidrar till produktens funktion eller egenskaper ur kundens perspektiv. Icke-värdeskapande men nödvändiga aktiviteter skapar inget direkt kundvärde men krävs exempelvis av tekniska eller regulatoriska skäl. Den tredje kategorin består av aktiviteter som varken skapar värde eller är nödvändiga och dessa bör därför reduceras eller elimineras. Genom att minska icke-värdeskapande aktiviteter kan organisationen reducera kostnader, förkorta ledtider och därmed förbättra både leveransprecision och konkurrenskraft (Andrade, Pereira, & Del Conte, 2015).

En VSM består av fyra huvudsakliga steg: identifiering av produktfamilj, kartläggning av nuläge, kartläggning av framtida läge och sist arbetsplan och implementation. Kartläggningsprocessen är avsedd att genomföras inom ett fåtal dagar och framtidskartan ska därefter kunna omsättas relativt snabbt i praktiskt förbättringsarbete då metoden är enkel att tillämpa och förstå. Genom att analysera skillnaden mellan nuläge och framtida läge skapas ett strukturerat underlag för prioritering och implementering av Lean-verktyg i syfte att reducera icke-värdeskapande aktiviteter och förbättra flödet i organisationen (Andreadis & Garza-Reyes, 2017). I stycket nedan förklaras hur varje steg skapas och används i en Value Stream Map.

2.3.3.1 Steg 1 – Skapa en produktfamilj

Det första steget i en värdeflödeskartläggning är att identifiera vilken produktfamilj analysen ska avgränsas till. En produktfamilj definieras som en grupp produkter som genomgår samma eller liknande processer. Genom att avgränsa analysen till en produktfamilj möjliggörs en mer fokuserad och relevant kartläggning av värdeflödet (Rother & Shook, 1999).

2.3.3.2 steg 2 – Kartläggning av nuläge

Det andra steget innebär att beskriva och analysera produktionens nuvarande tillstånd. Detta genomförs genom att en observatör systematiskt kartlägger hur produkten, i kronologisk ordning, passerar genom olika processteg fram till färdigställande och leverans till kund. Kartläggningen har traditionellt utförts med papper och penna men kan i dag även genomföras med hjälp av digitala verktyg. Under kartläggningen används standardiserade symboler för att representera olika processkategorier. Syftet är att visualisera materialflödet inom en produktfamilj och skapa en övergripande bild av värdeflödet vilket underlättar identifieringen av slöserier i enskilda processer. Metoden kan dock vara svår att tillämpa när flera värdeflöden är integrerade. Detta kan hanteras genom att värdeflödena särskiljs och visualiseras parallellt i nulägeskartan (Braglia, Carmignani, & Zammori, 2006).

Vid genomförande av värdeflödeskartläggning, VSM, är det centralt att samla in relevant data för att analysera nuläget och utforma ett framtida flöde. I produktionsmiljöer är det särskilt viktigt att varje process kompletteras med nyckeltal, såsom cykeltid, ledtid, resursanvändning

och maskinupptid. Genom att relatera värdeskapande tid till den totala genomloppstiden kan processens effektivitet bedömas. Valet av nyckeltal, eller KPI:er, bör anpassas efter verksamhetens mål och strategier för att säkerställa att kartläggningen är i linje med det övergripande förbättringsarbetet (Braglia, Carmignani, & Zammori, 2006).

2.3.3.3 Steg 3 – Kartläggning av framtida läge

Det tredje steget omfattar utformningen av ett önskat framtida tillstånd för verksamhetens värdeflöde. Genom att jämföra nulägeskartan med framtidskartan möjliggörs identifiering av icke önskvärda processer och potentiella förbättringsområden. Framtidskartan bör utformas med utgångspunkt i en systematisk analys av det befintliga värdeflödet och de slöserier som har identifierats. Detta med ambitionen att reducera eller eliminera dessa i den utsträckning som verksamhetens förutsättningar medger. Samtidigt behöver hänsyn tas till rådande processmässiga och resursmässiga begränsningar. Utformningen av framtidsläget bör även vägledas av centrala frågeställningar kopplade till taktid, flödesstruktur och nödvändiga förbättringsåtgärder i syfte att skapa ett mer effektivt och integrerat värdeflöde (Rother & Shook, 1999).

2.3.3.4 Steg 4 – Arbetsplan och implementation

I det avslutande steget bör en ettårig, strategiskt förankrad handlingsplan utformas. Planen bör innehålla realistiska och prioriterade åtgärder med syfte att successivt reducera identifierade slöserier. Genom att initialt fokusera på de mest kritiska delarna av värdeflödet skapas förutsättningar för effektiva och relativt snabba förbättringar. Handlingsplanen bör vidare utgöra en central del av verksamhetens långsiktiga utvecklingsarbete. Kontinuerlig uppföljning och utvärdering av värdeflödet är av stor betydelse för att säkerställa att implementeringen av värdeflödeskartläggning leder till varaktiga förbättringar. Framsteg bör därför löpande följas upp och jämföras med såväl nuläget som uppsatta framtida mål (Rother & Shook, 1999).

Forskning betonar att framgångsrik implementering av Lean-verktyg förutsätter hantering av så kallade kritiska framgångsfaktorer, såsom ledarskap, utbildning, organisationskultur, informationssystem och kontinuerlig uppföljning (Andreadis & Garza-Reyes, 2017). Samtidigt måste potentiella hinder, exempelvis bristande engagemang, otillräcklig kompetens eller otydliga processbeskrivningar aktivt förebyggas. En felaktigt genomförd kartläggning riskerar annars att leda till ineffektiva beslut och uteblivna förbättringar. Sammantaget kräver implementeringen av VSM både strategisk förankring och organisatoriska förutsättningar för att bidra till långsiktigt förbättringsarbete (Dal Forno, Pereira, Forcellini, & Kipper, 2014).

2.4 Littles lag

Littles lag beskriver sambandet mellan en process genomloppstid, antalet flödesenheter i arbete inom systemets gränser och processens genomströmning. Genomloppstiden påverkas

bland annat av processens cykeltid, som i sin tur är beroende av arbetstakt och tillgänglig kapacitet. Genomloppstiden påverkas även av mängden produkter i arbete i systemet. Bristande kapacitet kan leda till längre cykeltider och därmed också ökade genomloppstider. Ett högt antal flödesenheter i arbete kan bidra till att köbildning uppstår mellan processteg vilket ytterligare förlänger genomloppstiden. Innan en ny produkt kan bearbetas måste de produkter som redan befinner sig i systemet passera genom processen, något som innebär att genomloppstiden ökar i takt med att mängden arbete i systemet ökar (Modig & Åhlström, 2015).

Little's lag uttrycks i ekvation 1.

$$\text{Genomloppstid} = \text{Cykeltid} \times \text{Flödesenheter i arbete.} \quad (\text{ekvation 1})$$

2.5 Allmänt om materialet silikon

Silikon är ett polymerbaserat elastomermaterial som används inom elektronikproduktion, exempelvis för ingjutning av komponenter. Materialet kännetecknas av god temperaturtålighet, flexibilitet och motståndskraft mot fukt och kemikalier. Detta möjliggör det lämpligt för applikationer där elektronik behöver skyddas mot yttre påverkan (Callister & Rethwisch, 2020).

Härdningsprocessen är en central del i gjutningen, då den avgör när materialet övergår från flytande till fast form. Silikonet härddas genom att det genomgår en kemisk process där polymerkedjor tvärbinds. Detta leder till att materialet successivt uppnår sina slutgiltiga mekaniska egenskaper (Young & Lovell, 2011).

Processen kan ske antingen vid rumstemperatur, alltså lufthårdning eller genom uppvärmning i form av ugnshårdning. I båda processerna har temperatur och tid stor påverkan på härdningsförloppet (Momentive Performance Materials, 2023). En viktig aspekt av härdningsprocessen är att den sker gradvis. Det förekommer olika definitioner av vad som avses med att ett material är färdig härdat, detta beroende på sammanhang. I praktiken kan en åtskillnad göras mellan den tidpunkt då materialet är tillräckligt härdat för att kunna flyttas, belastas eller levereras och den tidpunkt då det har uppnått sina slutgiltiga materialegenskaper. Fullständig härdning definieras ofta som den tidpunkt då materialet har uppnått sin slutliga hårdhet, vilket kan mätas i Shore A (Tribotec AB, 2026).

Härdningsförloppet varierar mellan olika silikontyper. Vissa material uppnår snabbt en initial hårdhet och kan därmed hanteras tidigt i processen medan andra silikonmaterial kräver betydligt längre tid för att uppnå fullständig härdning. Exempelvis kan ett silikonmaterial nå en stor del av sin sluthårdhet inom några timmar medan ett annat kan ta upp till ett eller flera dygn att härda. Härdtiden beror på materialets egenskaper och den härdningsmetod som används.

Uppvärmning kan påskynda processen, exempelvis genom att reducera härdtiden från cirka 24 timmar vid rumstemperatur till cirka 30 minuter vid förhöjd temperatur, exempelvis i ugn (Tribotec AB, 2026).

2.6 Tvåkomponents silikon - SilCool TIA 208R

SilCool TIA208R är ett tvåkomponents silikonmaterial med värmeledande egenskaper. Denna typ av silikon används främst för ingjutning av elektroniska komponenter och system. Materialet har vid häftning mot metaller och vissa plaster utan behov av primer. SilCool TIA208R består av två komponenter, benämnda A och B, vilka blandas i ett viktförhållande om 1:1. Efter sammanblandning kan materialet appliceras i den aktuella ingjutningsprocessen. En viktig egenskap hos SilCool TIA208R är dess relativt låga viskositet vilket innebär hög flytbarhet. Detta möjliggör att materialet effektivt kan fylla komplexa geometrier och håligheter (Tribotec AB, 2025). Enligt produktbladet ska materialet härdas vid 70 °C i 30 minuter. Vidare bör materialet avluftas för att undvika luftbubblor i den färdiga ingjutningen. I produktbladet rekommenderas därför att den blandade silikonmassan placeras i vakuum för att avlägsna instängd luft (Tribotec AB, 2025).

2.7 Push och Pull

Inom produktionsstyrning görs ofta en åtskillnad mellan pushsystem och pullsystem vilka utgör två olika sätt att styra material- och informationsflöden. Pushsystem baseras på prognoser och planerad efterfrågan där produktionen initieras oberoende av faktisk kundorder. Pullsystem innebär däremot att produktionen styrs av faktisk efterfrågan där varje steg i processen initieras först när ett behov uppstår i nästkommande steg. Valet mellan dessa styrprinciper påverkar bland annat lagerhållning, genomloppstid och verksamhetens flexibilitet (Slack et al., 2019). Pullsystem förespråkas inom Lean-filosofin, vilket bland annat framgår av principen om att använda dragande system för att undvika överproduktion. Detta beror på att pullsystem kan minska risken för överproduktion och onödiga lager genom att produktionen i högre grad anpassas till faktisk efterfrågan (Liker J. K., 2004).

3. Metod

För att besvara examensarbetets frågeställningar användes kvalitativa metoder. Arbetet genomfördes som en fallstudie av Aqua Roburs produktionsverksamhet. I följande kapitel presenteras studiens upplägg, datainsamling, analys av datainsamling samt etiska överväganden.

3.1 Studiens upplägg

Studien påbörjades i slutet av januari och pågick under 15 veckor. Studiens syfte formulerades genom inledande samtal med företagets VD samt Operations Manager, som även fungerade som handledare från företagets sida under studiens genomförande.

Efter att studiens syfte hade fastställts genomfördes en kartläggning av verksamheten i syfte att skapa förståelse för nuläget. Studien utgick från en kvalitativ ansats eftersom målet var att erhålla en djupare förståelse för verksamhetens arbetssätt, struktur och utmaningar (Bryman, Samhällsvetenskapliga metoder, 2018). Datainsamlingen omfattade intervjuer och observationer inom produktionen samt en genomgång av relevanta befintliga produktionsdata. Parallellt genomfördes en litteraturstudie med fokus på teorier med relevans för studiens problemområde. Litteraturstudien användes fortlöpande som stöd i analysarbetet. Därutöver genomfördes en experimentell delstudie i syfte att skapa en fördjupad förståelse för det identifierade problemområdet.

Den insamlade empirin analyserades successivt under projektets gång. Arbetet präglades av en iterativ process där datainsamling, dataanalys och rapportskrivande bedrevs parallellt. Empirin relaterades löpande till den teoretiska referensramen vilket innebar att teori och empiri utvecklades i samspel med varandra. Den sammanställda nulägesanalysen utgjorde därefter grund för problemanalysen, vilken i sin tur låg till grund för framtagandet av förbättringsförslag. Dessa förslag utvecklades med stöd av både empiri och teori.

3.2 Datainsamling

I detta kapitel redogörs för de metoder som har använts för datainsamling i studien. Datainsamlingen har utformats för att möjliggöra en fördjupad förståelse av verksamheten och dess produktionsprocesser med särskilt fokus på identifierade problemområden. Studien baseras på både primär- och sekundärdata.

Tabell 3.1. Översikt av intervjuer, samtal och observationer

Titel/arbetsområde	Antal intervjuer	Antal samtal	Antal observationer
VD och försäljningschef	1	-	-
Operationschef	2	3	-
Montör	4	4	8
Kundansvarig	1	-	-
Säljansvarig	1	-	-
Grundare och teknikchef	2	2	-
SUMMA	11	9	8

Tabellen visar de intervjuer, samtal och observationer som genomförts inom ramen för fallstudien. Tabellen visar vilka roller och arbetsområden som inkluderats i datainsamlingen samt antalet tillfällen för respektive datainsamlingsmetod.

Den sammanlagda tiden på fältet uppgick till cirka 35 timmar.

3.2.1 Primär datainsamling

Studiens primärdata samlades in genom kvalitativa metoder. Valet av dessa metoder motiverades av behovet att samla in detaljerad och verksamhetsnära information, grundad i medarbetarnas erfarenheter, upplevelser och praktiska kunskap. Datainsamlingen bidrog därmed till en helhetsförståelse av produktionsprocesserna samt de utmaningar som präglade den dagliga verksamheten.

3.2.1.1 Intervjuer och samtal

De genomförda intervjuerna användes som ett centralt verktyg för insamling av kvalitativt empiriskt material. Intervjuerna hade huvudsakligen en semistrukturerad utformning med en förbestämd intervjustruktur, samtidigt som flexibilitet möjliggjordes. Detta skapade utrymme för fördjupande frågor och nyanserade svar. Intervjuerna genomfördes med utgångspunkt i en intervjuguide som anpassades efter respektive respondent och aktuellt ämnesområde. Guiden fungerade som ett stöd för samtalet, samtidigt som respondenterna gavs möjlighet att formulera sina svar fritt och utveckla sina resonemang, vilket möjliggjorde fördjupande följdfrågor under intervjuens gång. Materialet breddades ytterligare genom kompletterande öppna samtal och diskussioner. Dessa var mer fria i sin form men utgick från specifika, i förväg bestämda ämnesområden anpassade efter respektive respondents kompetensområde.

Intervjuer genomfördes med nyckelpersoner inom företaget, såsom produktionstekniker, produktionsansvariga och andra relevanta personer. Syftet var att samla in erfarenhetsbaserad kunskap om produktionsprocesser, flaskhalsar och arbetssätt inom företaget. Samtliga intervjuer genomfördes på Aqua Roburs huvudkontor i Göteborg och intervjuerna varierade i längd beroende på respondent och ämnesområde. I Tabell 3.1 presenteras samtliga intervjutider. Vid varje intervjutillfälle medverkade studiens två författare, där den ena förde anteckningar och den andra ledde intervjun. Efter varje genomförd intervju följde en reflekterande diskussion, varefter insamlade anteckningar bearbetades och sammanställdes i ett gemensamt dokument.

3.2.1.2 Observationer

Observationer genomfördes i den dagliga produktionsmiljön i syfte att kartlägga arbetsflöden, materialrörelser samt väntetider. Datainsamlingen baserades på både deltagande och icke-deltagande observationer, vilket möjliggjorde en djupare förståelse för hur produktionen fungerar i praktiken samt hur arbetssätt och rutiner tillämpas. De observationer som genomfördes användes därefter som underlag för värdeflödeskartläggning och identifiering av förbättringsområden. Dessa områden presenteras vidare i rapporten.

3.2.2 Sekundär datainsamling

Sekundärdata avsåg data som tidigare hade samlats in av organisationen som en del av dess ordinarie verksamhet. Utformningen av sekundärdata kan således ha gjorts i ett annat syfte än vad den sedan används för i värdeflödeskartläggning. Detta innebär att dess innehåll och struktur inte var anpassad efter studiens specifika frågeställningar. (Bryman & Bell, Företagsekonomiska forskningsmetoder, 2017).

3.2.2.1 Befintlig produktionsdata

Befintliga produktionsdata från företaget användes som underlag för analys av produktionsflödet och kostnadsdrivare. Information såsom cykeltider, volymer, omställningstider och lagerinformation. Denna information användes sedan för att stödja observationer och intervjuer.

3.2.2.2 Litteraturstudie

En litteraturstudie genomfördes med fokus på relevant teori inom produktionsteknik och industriell ekonomi, såsom Lean produktion, värdeflödeskartläggning samt materialhantering. Litteraturstudien genomfördes dels genom läsning av tidigare examensarbeten med liknande studier som detta arbete. Även annan relevant litteratur lästes. Litteraturstudien är den teoretiska grunden för arbetet och användes för att tolka insamlad empiri till etablerad teori.

3.2.3 Experimentell studie av gjutningsprocessen

Som komplement till intervjuer, observationer och produktionsdata genomfördes en experimentell delstudie av gjutningsprocessen. Detta motiverades av att gjutningen hade identifierats som ett centralt problemområde i produktionen, där både härdningstid och förekomst av luftbubblor bedömdes påverka produktionsflöde och kvalitet. Syftet med experimentet var att undersöka hur olika kombinationer av ugnshärdning och lufthärdning påverkade härdningsprocessen samt förekomsten av luftbubblor i silikonmaterialet. Målet var att identifiera en metod som både kan reducera defekter och effektivisera härdningstiden. Experimentet utformades som två delstudier, där ordningsföljden mellan ugnshärdning och lufthärdning varierades. Efter genomförandet utvärderades enheterna visuellt med avseende på förekomst av luftbubblor och grad av härdning.

Delstudie 1: Ugnshärdning följt av lufthärdning

I den första delstudien undersöktes effekten av att initialt ugnshärda materialet och därefter låta det lufthärda i rumstemperatur. Totalt användes 48 enheter, vilka placerades i ugn under 15 minuter. Enheterna delades upp i fyra grupper om 12, där varje grupp exponerades för en specifik temperatur: 40 °C, 50 °C, 60 °C respektive 70 °C. Efter ugnshärdningen togs enheterna ut och fick därefter lufthärda i rumstemperatur under 24 timmar.

Syftet med denna metod var att undersöka om en initial ugnshärdning kan initiera härdningsprocessen och därigenom möjliggöra en snabbare fortsatt härdning under lufthärdning. Vidare studerades om denna metod kan bidra till att minska uppkomsten av luftbubblor i materialet.

Delstudie 2: Lufthärdning följt av ugnshärdning

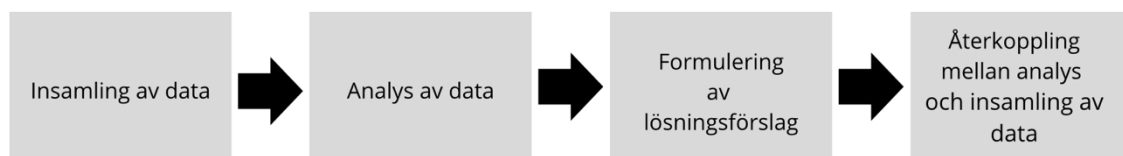
I den andra delstudien undersöktes det omvända tillvägagångssättet, där materialet först fick lufthärda innan det utsattes för ugnshärdning. Även här användes totalt 48 enheter. Enheterna fick initialt lufthärda i rumstemperatur under 24 timmar. Därefter placerades de i ugn vid varierande temperaturer för att slutföra härdningsprocessen.

Syftet med denna metod var att undersöka om materialet stabiliseras under den initiala lufthärdningen i sådan utsträckning att det därefter kan utsättas för högre temperaturer utan att defekter, såsom luftbubblor uppstår.

3.3 Analys av insamlade data

Grundad teori är en vanligt förekommande ansats vid analys av kvalitativa data och kännetecknas av ett iterativt arbetssätt där datainsamling och analys sker parallellt under studiens genomförande (Bryman & Bell, 2017). I föreliggande studie har analysarbetet inspirerats av denna iterativa logik genom att insamlad empiri analyserades löpande och

framväxande insikter användes för att justera och fördjupa den fortsatta datainsamlingen. Studien utgick dock inte från en helt förutsättningslös hållning eftersom det redan inför fältarbetet fanns viss förkunskap om kontexten samt preliminära antaganden om problemets karaktär. Arbetssättet kan därför snarare beskrivas som abduktivt än som en strikt tillämpning av grundad teori eftersom tidigare kunskap och empiriska observationer kontinuerligt sattes i relation till varandra. Detta möjliggjorde en successiv fördjupning av förståelsen för det studerade problemet och låg till grund för formuleringen av studiens slutgiltiga lösningsförslag. Se figur 3.1 för en illustration av arbetssättet.



Figur 3.1. Studiens arbetsprocess. Illustration av studiens arbetsprocess, från insamling och analys av data till formulering av lösningsförslag. Figuren indikerar även hur analysen och datainsamlingen skedde iterativt genom återkoppling mellan dessa steg.

Ett analytiskt moment genomfördes i syfte att skapa en djupare förståelse för det studerade problemområdet samt för att vägleda det fortsatta arbetet i relation till studiens frågeställningar. Analysen genomfördes cirka nio veckor efter studiens inledning, i samband med att den huvudsakliga intervjufasen avslutades. Det insamlade empiriska materialet organiserades och systematiserades genom en tematisk indelning baserad på återkommande problemområden som identifierades i data. Denna struktur möjliggjorde en mer fokuserad analys och bidrog till att tydliggöra centrala mönster och samband.

3.3.1 Värdeflödeskartläggning

I denna studie användes värdeflödeskartläggning (VSM) som en analysmetod för att kartlägga och analysera företagets värdeskapande flöde. Metoden valdes i syftet att identifiera flaskhalsar och icke-värdeskapande aktiviteter i produktionen. Denna metod gav en överblick över Aqua Roburs flöde och dess utmaningar.

3.3.2 Analys av Littles lag

Vid analysen av produktionsflödet användes Littles lag som ett stöd för att tolka sambandet mellan genomloppstid, antal enheter i arbete samt produktionens cykeltid. Detta genomfördes i syfte att skapa en tydligare förståelse för hur väntetider, batchstorlekar och mellanlager påverkar det totala produktionsflödet. Genom att relatera observerade ledtider och produktionssteg till antalet enheter som samtidigt befann sig i processen kunde potentiella orsaker till förlängda genomloppstider identifieras. Analysen fungerade därmed som ett komplement till värdeflödeskartläggningen.

3.4 Etiska överväganden

I syfte att värna deltagarnas integritet har samtliga medverkande anonymiserats i det presenterade resultatet. Vidare har särskild hänsyn tagits till att materialets utformning inte ska möjliggöra identifiering av enskilda personers uttalanden eller åsikter. Studien har inte krävt hantering av eller tillgång till sekretessbelagd information. Därmed har etiska överväganden kopplade till sekretessbelagt material inte varit aktuella inom ramen för studien.

3.5 Validitet

Validitet handlar om i vilken utsträckning en studie undersöker det som den avser att undersöka (Bryman et al., 2024). I denna studie har validiteten stärkts genom att flera datainsamlingsmetoder har kombinerats däribland intervjuer, samtal, observationer samt befintliga produktionsdata. Värdeflödeskartläggning och en experimentell delstudie har även genomförts. Kombinationen av dessa metoder har bidragit till en bredare och mer nyanserad förståelse av Aqua Roburs produktionsflöde för Fenix Hub X. Genom att jämföra information från olika källor har det varit möjligt att undersöka om de problemområden som identifierades i produktionen även bekräftades av personalens och ledningens beskrivningar av verksamheten. Detta har minskat risken för att analysen enbart bygger på ett enskilt perspektiv. Validiteten har även stärkts genom att observationerna genomfördes direkt i produktionsmiljön. Detta gjorde det möjligt att studera hur arbetsmomenten faktiskt utfördes i praktiken snarare än enbart hur de beskrevs i intervjuer och samtal. Den experimentella delstudien kring silikon och härdning bidrog dessutom till en mer fördjupad analys av gjutningsprocessen som tidigt identifierades som ett kritiskt problemområde. Samtidigt bör det beaktas att studien genomfördes under en avgränsad tidsperiod och inom en specifik produktionsmiljö. Resultaten behöver därför förstås utifrån de förutsättningar som rådde vid Aqua Robur under studiens genomförande.

3.6 Reliabilitet

Reliabilitet avser studiens tillförlitlighet och i vilken utsträckning en undersökning skulle kunna upprepas med liknande resultat (Bryman et al., 2024). I denna studie påverkas reliabiliteten av att arbetet genomfördes som en kvalitativ fallstudie i en specifik produktionsmiljö. Produktionsflödet hos Aqua Robur kan förändras över tid beroende på faktorer såsom efterfrågan, bemanning, materialtillgång, specialordrar och förändrade arbetssätt. Det innebär att en upprepning av studien vid ett annat tillfälle inte nödvändigtvis skulle ge exakt samma resultat. För att stärka studiens tillförlitlighet har datainsamlingen dokumenterats och analyserats så systematiskt som möjligt. Intervjuer, samtal och observationer har sammanställts och kopplats till studiens syfte och frågeställning. Användningen av flera datakällor, såsom observationer, intervjuer och produktionsdata,

bidrog också till en mer tillförlitlig bild av verksamhetens nuläge. Samtidigt bygger delar av analysen på tolkningar av arbetsprocesser och medarbetares upplevelser, vilket bör beaktas vid bedömningen av studiens reliabilitet.

3.7 Generaliserbarhet

Generaliserbarhet handlar om i vilken utsträckning studiens resultat kan tillämpas i andra sammanhang än det som har undersökts (Bryman et al., 2024). I denna studie är generaliserbarheten begränsad eftersom arbetet är avgränsat till Aqua Roburs produktion av Fenix Hub X. Resultaten är därmed nära kopplade till företagets specifika produktionsflöde, layout och materialval. Det innebär att slutsatserna inte utan vidare kan generaliseras till alla tillverkande företag. Samtidigt kan vissa resultat vara överförbara till andra mindre tillverkande företag med liknande förutsättningar. Detta gäller särskilt verksamheter som har växande produktionsvolym, manuella arbetsmoment, funktionell layout, materialrelaterade variationer och behov av ökad standardisering. Studiens förbättringsförslag bör därför inte ses som generella lösningar utan som exempel på åtgärder som kan vara relevanta i liknande produktionsmiljöer. I vilken utsträckning resultaten kan tillämpas i andra sammanhang behöver bedömas utifrån respektive verksamhets specifika förutsättningar.

4. Verksamhetsbeskrivning

Följande kapitel innehåller en beskrivning av Aqua Robur, inklusive företagsbeskrivning, produktbeskrivning och produktionsprocess. Kapitlet omfattar även en beskrivning av lageruppbyggnaden samt en problembeskrivning som främst baserats på material från studiens intervjuer.

4.1 Företagsbeskrivning

Aqua Robur är ett svenskt teknikföretag verksamt inom VA-sektorn. Företaget grundades år 2015 av två tidigare Chalmersstudenter med bakgrund inom maskinteknik och industriell ekonomi och har sitt ursprung i Chalmers entreprenörsskola. Sedan starten har verksamheten utvecklats från ett teknikdrivet startupföretag till ett företag med inriktning mot digitala lösningar för datainsamling och övervakning inom vatten- och avloppssystem. Företagets strategiska fokus är att tillhandahålla robusta och tillförlitliga produkter till kommunala och övriga aktörer inom VA-sektorn. Aqua Roburs produkter fungerar som mät- och kommunikationsenheter som samlar in, lagrar och överför data från installerade sensorer i VA-system. Genom denna datainsamling ges kommuner och andra aktörer möjlighet att övervaka bräddning samt identifiera läckage i dricksvattenledningar, inläckage och tillskottsvatten i avloppssystem.

Aqua Robur har en funktionsbaserad organisation där verksamheten är uppdelad i tre huvudfunktioner: försäljning, teknik och operations. Teknikavdelningen ansvarar för produktutveckling inom elektronik, mjukvara och mekanik. Operationsavdelningen omfattar produktion, inköp, lagerhållning, leveranser och prognosplanering. Försäljningsavdelningen ansvarar för kundrelationer samt försäljning till kommuner och partners. Utöver dessa funktioner bedriver företaget även kundnära aktiviteter kopplade till onboarding, support och uppföljning av installerade enheter. Dessa aktiviteter utgör en viktig del av företagets erbjudande eftersom produkterna inte enbart behöver uppfylla tekniska krav utan även vara användarvänliga och skapa praktiskt värde för kunderna. Företagets kundbas består huvudsakligen av kommunala VA-organisationer men försäljning sker även till privata aktörer och partners som integrerar Aqua Roburs produkter i egna systemlösningar. Marknaden kännetecknas av långa besluts- och upphandlingsprocesser vilket ställer höga krav på framförhållning och anpassningsförmåga inom verksamheten.

Marknaden för digital övervakning och datainsamling inom VA-sektorn har successivt mognat sedan företagets etablering. I takt med denna utveckling har även företagets strategi förändrats, där partnersamarbeten utgör en viktig del samtidigt som direktförsäljning fortsatt har stor betydelse. Verksamheten kännetecknas i dag av ett starkt fokus på robusta och högkvalitativa produkter, vilket utgör en viktig del av företagets konkurrenskraft. Enligt ledningen finns dessutom en tydlig prioriteringsordning där kvalitet utgör den främsta faktorn följt av kostnadseffektivitet och leveransförmåga. Företaget lägger därmed stor vikt vid att

utveckla tillförlitliga produkter samtidigt som snabba och förutsägbara leveranser är viktiga för att möta kundernas behov.

4.2 Produktbeskrivning

Aqua Robur utvecklar och producerar tekniska produkter med huvudsaklig inriktning mot övervakning och datainsamling i vatten- och avloppssystem. Produktportföljen består av flera produkter som kan anpassas utifrån kundernas specifika behov och förutsättningar.

Anpassningarna kan exempelvis avse funktionalitet, konfiguration eller integration med befintliga system. Den central produkten i denna studie är Fenix Hub X, vilken utgör fokus för analysen av företagets produktionsflöde. Utöver denna produkt erbjuder företaget även andra lösningar inom sortimentet som används i liknande tillämpningar. Företagets huvudsakliga marknad är Sverige samtidigt som verksamheten även har etablerats på närliggande marknader. På längre sikt finns dessutom ambitioner om fortsatt tillväxt. En stor andel av Aqua Roburs kunder installerar produkterna på egen hand vilket innebär att dokumentation och onboarding tillhandahålls i samband med leverans eller installation. Användarstöd och tydlig produktinformation utgör därmed viktiga delar av företagets övergripande erbjudande.

Den centrala produkten i detta arbete är som tidigare nämnt Fenix Hub X. Den utgör nästa generation av IoT baserat mät och kommunikationsenheter och är utvecklad för att möjliggöra en mer effektiv, flexibel och robust insamling av mätdata. Genom användning av NB-IoT/LTE-M-anslutning elimineras behovet av separata investeringar i ytterligare radioinfrastruktur. Produkten har en intelligent energispararfunktion och optimerade larmhantering bidrar till en förlängd batterilängd. Detta skapar förutsättningar för tillförlitlig drift med ett minimalt underhållsbehov. Fenix Hub X fungerar som en multisensornod med stöd för parallell anslutning av flera sensorer. Detta möjliggör en hög grad av flexibilitet och en mer heltäckande datainsamling i olika typer av övervaknings- och mätsystem. Den nyaste generationen har flera centrala tekniska förbättringar däribland IP68/IP69K-klassning som ger ett mycket högt skydd mot vatten, damm och högtryckstvätt. En annan väsentlig fördel för produkten är att den har fullt ingjuten elektronik i form av special utvecklat silikon för ökat skydd mot fukt, vibrationer och kemisk påverkan. Produkten har utökad minneskapacitet vilket möjliggör mer omfattande dataloggning och ökad operationell flexibilitet. Det förenklade installationskonceptet bidrar samtidigt till en snabbare och mer effektiv driftsättning. Den förbättrade batteriprestandan möjliggör längre drifttid i fält. Användningen av korrosionsbeständiga material främjar samtidigt lång livslängd och hög driftsäkerhet även i krävande miljöer. Fenix Hub X är även kompatibel med flera sensorprotokoll och stödjer ett brett urval av sensorer däribland nivågivare, regnmätare och temperatursensorer. Produkten är utvecklad för att erbjuda VA-organisationer en framtidssäker plattform för mätning, analys och beslutsstöd. Fenix Hub X:s teknisk robusthet, flexibla sensorintegration och lågt

underhållsbehov gör enheten särskilt lämpad för användning i komplexa och krävande driftmiljöer.

Efterfrågan på produkterna varierar över året, vilket påverkar produktionsplanering, lagerhållning och leveranskapacitet. Eftersom slutkunderna huvudsakligen består av kommuner påverkas efterfrågan även av upphandlingsprocesser, budgetcykler och andra externa faktorer. Detta ställer krav på god framförhållning vid planering av både produktion och materialförsörjning. Utöver standardprodukterna förekommer specialanpassade lösningar vilka utvecklas när kundernas behov inte fullt ut kan tillgodoses genom det befintliga standardsortimentet. Hanteringen av sådana lösningar skiljer sig från företagets standardprodukter eftersom de i högre grad kräver samordning mellan flera funktioner och ofta utgår från det enskilda ärendets specifika förutsättningar. Parallellt med den befintliga produktportföljen pågår även utveckling av nya lösningar vilket på sikt kan påverka kraven på produktionsupplägg, volymhantering och processutformning.

4.2.1 Externa leverantörer

Figur 4.1 företagets leverantörstyper

Aqua Robur är beroende av externa leverantörer eftersom företagets produkter består av flera komponenter som inte tillverkas internt. Leverantörsstrukturen utgör därmed en central del av företagets materialförsörjning och har direkt påverkan på produktionsplanering och genomförande. Planeringen av materialbehov och produktion sker genom samverkan mellan montören och försäljningsavdelningens prognoser. Försäljningsprognoserna utgör därmed ett viktigt underlag för inköp och batchplanering, särskilt med hänsyn till att vissa komponenter har långa leveranstider. Företaget har kategoriserat sina leverantörer i tre huvudsakliga grupper: katalogleverantörer, postorderleverantörer och proformaleverantörer. Företagets leverantörer beskrivs i figur 4.1.

LEVERANTÖRSTYP	BESKRIVNING	BESTÄLLNINGSSÄTT	GRAD AV STANDARDISERING	LEDTID	INKÖPSRISK / KOMPLEXITET
 Katalogleverantör	Tillhandahåller standardiserade komponenter som kan beställas direkt via digitala plattformar. Dessa omfattar exempelvis skruvar och andra standardartiklar.	 Beställning sker direkt via digitala plattformar.	HÖG  Standardiserade komponenter	KORT  Kort ledtid	LÅG  Låg inköpsrisk tack vare hög tillgänglighet och snabba leveranser.
 Postorderleverantör	Levererar komponenter som är mindre standardiserade än katalogartiklar men inte fullt specialanpassade.	 Kräver direktkontakt med säljare vid beställning.	MEDEL  Delvis standardiserade komponenter	MEDEL TILL LÅNG  Medel till lång ledtid	MEDEL  Högre administrativt arbete och mindre flexibilitet än katalogleverantörer.
 Proforma-leverantör	Tillhandahåller specialanpassade komponenter, exempelvis delar med specifik märkning eller kundanpassad utformning.	 Beställning sker vanligtvis genom offert- och specifikationsprocess.	LÅG  Hög grad av kundanpassning	LÅNG  Lång ledtid	HÖG  Hög komplexitet och större krav på planering och framförhållning.

Figur 4.1. Företagets leverantörstyper. Figuren illustrerar tre typer av leverantörer som Aqua Robur använder sig av.

Företaget har övervägt olika alternativ för den framtida produktionsstrukturen, däribland outsourcing av större delar av tillverkningen. I nuläget bedöms dock intern produktion vara det mest fördelaktiga alternativet, framför allt eftersom företaget därigenom kan upprätthålla hög kontroll över både kvalitet och processer. Samtidigt motiverar dagens produktionsvolymerna ännu inte en mer omfattande extern produktion. På längre sikt betraktas dock samarbete med produktionspartners som en möjlig strategi för att hantera större volymer och möjliggöra internationell tillväxt.

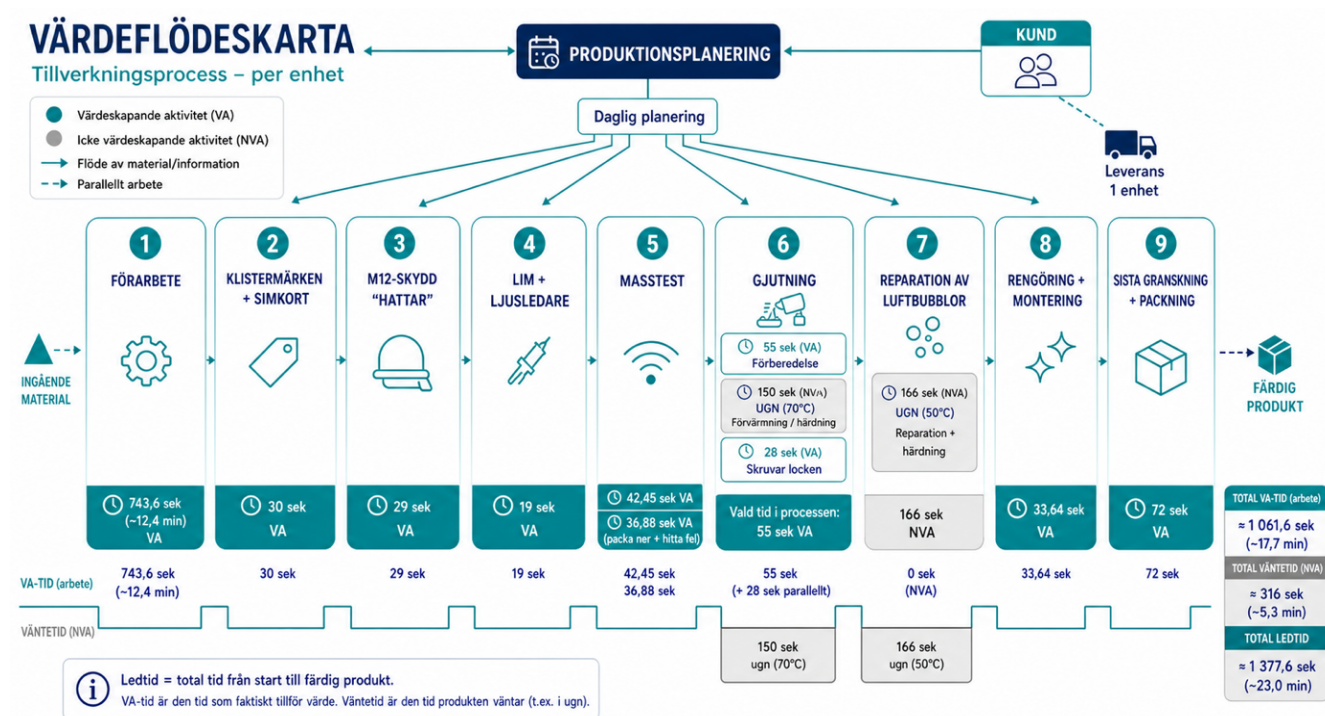
4.3 Produktionsprocessen idag

Den interna produktionsprocessen omfattar flera manuella arbetsmoment och präglas därmed i hög grad av operatörernas praktiska arbete och hantering. Tillverkningen organiseras i batcher om 200 enheter och genomförs stegvis där en montör ansvarar för merparten av monterings- och färdigställandeprocessen. Produktionsupplägget idag är anpassat för små volymer där flexibilitet är av stor betydelse. Detta eftersom kundanpassningar förekommer. Produkternas konstruktion och produktionsupplägg är därför utformade för att möjliggöra både standardiserad tillverkning och en viss grad av kundanpassning.

Produktionsmiljön är organiserad enligt en funktionell layout med enmansproduktion. Funktionell layout innebär att arbetsmomenten grupperas utifrån aktivitetstyp snarare än efter

ett sammanhängande produktionsflöde. Denna struktur medför att produktionen genomförs i tydligt avgränsade moment. Arbetsmiljön inom produktionen upplevs som trivsamt och präglas av en hög grad av inre arbetsmotivation hos personalen vilket är viktigt, speciellt i en enmansproduktion.

Produktionsprocessen kan delas in i nio huvudsakliga arbetsmoment, vilka illustreras i figur 4.2 genom en värdeflödeskarta.



Figur 4.2. Värdeflödeskarta av nuvarande produktion. Värdeflödeskarta över tillverkningsprocessen för Fenix Hub X. Figuren illustrerar processens huvudsakliga arbetsmoment, informations- och materialflöden samt fördelningen mellan värdeskapande tid och icke-värdeskapande tid.

4.3.1 Moment 1: Förarbete

Produktionsprocessen inleds med ett omfattande förarbete som syftar till att skapa förutsättningar för ett stabilt och jämnt produktionsflöde. I detta arbetsmoment ingår programmering samt hantering av batterier, där dessa doppas, färgas och hängs upp.

Därefter delas enheten upp tillsammans med två skruvar och en kabel, varefter komponenterna monteras samman och efterdras. Särskild hänsyn tas till kabelns riktning, eftersom denna påverkar SIM-kortets funktion.

4.3.2 Moment 2: Klistermärken och SIM-kort

I detta arbetsmoment appliceras klistermärken och SIM-kort installeras i enheten. Därefter skruvas muttrarna på plats och efterdras för att säkerställa korrekt fastsättning.

4.3.3 Moment 3: M12-skydd

Efterföljande arbetsmoment innebär montering av M12-skydd, även benämnda ”hattar”, vilket fungerar som skyddselement.

4.3.4 Moment 4: Lim och ljusledare

I detta moment appliceras ett transparent foglim på enheten. Därefter monteras ljusledaren, som möjliggör visuell indikering under senare delar av processen.

4.3.5 Moment 5: Masstest

Efter monteringsmomenten genomförs programmering och testning av enheterna. Tidsåtgången för programmeringen kan variera beroende på om tekniska avvikelser uppstår. Vid standardiserade problem används dokumenterade felsökningsinstruktioner medan mer komplexa problem hanteras i samråd med mjukvaruutvecklare eller leverantör. Därefter monteras antennkomponenter, svart kabel samt batterier, vilket initierar en uppstartssekvens där enheten börjar signalera. Under denna tid kan montören parallellt förbereda efterföljande moment, exempelvis genom att blanda silikon inför gjutning.

När uppstartssekvensen är avslutad genomförs ett masstest, där enheterna placeras på metallplattor och kopplas upp för att verifiera funktion och signal. Testresultatet kontrolleras i företagets system, där eventuella fel identifieras. Spårbarhet säkerställs genom att respektive enhets serienummer registreras och kopplas till den programvara som installerats.



Bild 4.1. Masstest av enheterna. Enheterna är placerade på metallplattor och uppkopplade för kontroll av funktion och signal. Foto: författarna.

4.3.6. Moment 6: Gjutning

Gjutningsmomentet utgör ett centralt steg i processen och syftar till att kapsla in elektroniken för att skydda produkten vid användning i krävande miljöer. Momentet inleds med att silikon förbereds genom en 50/50-blandning, varefter materialet appliceras med noggrannhet. Vid appliceringen är korrekt vinkel och metod avgörande för att undvika luftbubblor samt säkerställa en jämn fördelning av silikonet. Efter appliceringen placeras enheten i ugn för härdning. Under gjutningsmomentet kan parallellt arbete utföras, exempelvis montering av lock och bultar.



Bild 4.2. Applicering av gjutmassa i kapsling. Gjutmassan hälls över elektroniken för att skydda komponenterna. Foto: författarna.

4.3.7 Moment 7: Reparation

Efter gjutningsmomentet kan vissa enheter kräva efterbearbetning till följd av luftbubblor i silikonet. Dessa åtgärdas manuellt, varefter produkten genomgår ytterligare uppvärmning i ugn för att säkerställa att den uppfyller fastställda kvalitetskrav.



Bild 4.3. Fördelning av gjutmassa. Närbild av gjutningsmomentet. Bilden indikerar hur gjutmassan fördelas i kapslingen och täcker kretskortet. Foto: författarna.

4.3.8 Moment 8: Rengöring och montering

I detta moment rengörs enheten och kompletteras med metalledar. Stativ förbereds och gänglåsning appliceras innan enheterna slutmonteras. Därefter paras respektive enhet ihop med korrekt komponent utifrån streckkod, vilket säkerställer spårbarhet genom hela processen.

4.3.9 Moment 9: Slutgranskning och packning

Det avslutande momentet i processen består av slutgranskning och packning. Enheten kontrolleras visuellt och batteriets funktion verifieras. Därefter paketeras produkten i kartong tillsammans med tillhörande material, såsom silikon, kontaktfett och monteringsdetaljer. Slutligen registreras produkten i företagets affärssystem som färdigställd för leverans och placeras i lager i väntan på distribution.

4.4 Lager

Lagerstyrningen präglas av en balans mellan att minska kapitalbindningen och samtidigt säkerställa snabba leveranser till kund. Företaget har därför under en längre tid arbetat aktivt med att reducera lagernivåerna, bland annat genom att fasa ut äldre produkter och komponenter som inte längre ingår i det ordinarie sortimentet. Samtidigt upprätthålls ett säkerhetslager för standardprodukter i syfte att möjliggöra korta leveranstider och hantera variationer i efterfrågan. Företaget har i dagsläget fyra huvudsakliga lager: standardlager,

reklamationslager, installationslager samt ett särskilt lager kopplat till partners. I följande avsnitt beskrivs dessa lager mer ingående.

4.4.1 Standardlager

Standardlagret är företagets största lager och består av flera delar främst materiallager och färdigvarulager. Lagret omfattar både material och färdigmonterade produkter. Enligt företaget är det färdigvarulagret som i nuläget utgör den största kapitalbindningen i verksamheten, särskilt under perioder med lägre försäljning. Standardlagret innehåller även ett antal äldre produkter och komponenter som inte längre ingår i det ordinarie sortimentet men som fortfarande bevaras i lagret. Detta utgör ytterligare en bidragande faktor till den höga kapitalbindningen.

4.4.2 Reklamationslager

Reklamationslagret används för produkter som har returnerats eller som behöver genomgå felsökning. Dessa produkter förvaras på en separat hylla i lagret i syfte att de inte ska påverka det ordinarie lagersaldot.

4.4.3 Installationslager

Installationslagret består av komponenter och tillbehör som används vid installation hos kund. Lagret är placerat i företagets transportfordon och syftar till att säkerställa att montören har tillgång till nödvändiga reservdelar och kompletterande komponenter vid installationstillfället. Funktionen utgör därmed ett rörligt komplement till standardlagret. Installationslagret omfattar främst extra komponenter, reservdelar samt installationsspecifika artiklar.

4.4.4 Partnerlager

Partnerlagret fungerar som ett externt installationslager hos företagets samarbetspartners. Lagret omfattar produkter och komponenter som är avsedda för installation och service. Syftet är att säkerställa lokal tillgänglighet samt minska behovet av direktdistribution från huvudlagret vid varje enskilt installationsuppdrag.

4.4.5 Kundfordringar

Utöver kapitalbindningen i lager förekommer även kundfordringar med en betalningstid på cirka 30 dagar. I nuläget bedöms lagervärdet vara relativt högt, vilket delvis kan förklaras av säsongsvariationer i efterfrågan samt begränsad bemanning inom produktion och logistik under vissa perioder.

4.4.6. Lageruppbyggnad

Aqua Roburs lagersystem är organiserat utifrån en hyllstruktur där varje hylla motsvarar en specifik artikelkategori. Exempelvis förekommer separata hyllor för kretskort och tillhörande

komponenter, kabelrelaterat material samt teknikutvecklingskomponenter. Småkomponenter, såsom skruvar, muttrar och magneter, förvaras också på särskilda hyllor. Samtliga artiklar är registrerade i affärssystemet Fortnox, där varje artikel är kopplad till ett internt artikelnummer och en definierad lagerplats.

4.5 Problembeskrivning

Nedan presenteras de problemområden som har identifierats i företaget utifrån genomförda observationer och insamlat intervjumaterial. Dessa problemområden utgör underlag för den fortsatta analysen av verksamhetens nuvarande arbetssätt.

4.5.1 Silikon

Ett centralt problemområde som har identifierats vid Aqua Robur är gjutningsprocessen kopplad till silikon. I dagsläget saknas ett standardiserat arbetssätt för detta moment, vilket medför att utfallet av gjutningen varierar mellan olika enheter. I flera fall uppstår en ojämn ytfinish, exempelvis i form av rinnmärken. Även om dessa avvikelser inte påverkar produktens funktionella kvalitet, kan de ha en negativ inverkan på kundens uppfattning om produktens professionalitet. Avsaknaden av standardisering försvårar även utformningen av tydliga arbetsinstruktioner, vilket i sin tur begränsar möjligheten att kontrollera och säkerställa en jämn kvalitet i processen. Eftersom variationerna inte förebyggs systematiskt tenderar defekter dessutom att upptäckas först i efterhand, vilket indikerar brister i den löpande kvalitetskontrollen.

Gjutningsprocessen är även beroende av silikon som har en ledtid på cirka 180 dagar. Den långa ledtiden skapar utmaningar i planeringen och minskar produktionens flexibilitet, särskilt vid variationer i efterfrågan. Vidare utgör gjutningssteget en flaskhals i produktionen eftersom silikonet har en torktid på cirka två till tre dagar. För att reducera denna ledtid har ugn använts för att påskynda härdningsprocessen. Detta har dock visat sig kunna medföra kvalitetsproblem, såsom att luftbubblor bildas i silikonet. I vissa fall kan dessa luftbubblor skapa håligheter hela vägen ned till kretskortet. Problemet förekommer relativt ofta och medför att flera enheter behöver omgjutats eller efter bearbetas genom manuell rengöring. Detta leder till ökad tidsåtgång och minskad effektivitet i produktionsprocessen. Även om ugn kan användas för att påskynda härdningsprocessen begränsas den totala kapaciteten av ugnens storlek. Detta bidrar till att gjutningsprocessen fortsatt utgör en kapacitetsbegränsande faktor i produktionsflödet.

4.5.2 Lager

En central utmaning är att balansera behovet av hög leveransförmåga mot ambitionen att begränsa kapitalbindningen, vilket skapar en målkonflikt i lagerstyrningen. För att möjliggöra snabba leveranser upprätthålls lager av både material och färdigställda produkter. Samtidigt innebär detta att kapital binds i artiklar som ännu inte har omsatts. En ytterligare utmaning är

att lagret inte enbart består av standardprodukter och återkommande komponenter utan även omfattar äldre artiklar och material som inte längre ingår i det ordinarie sortimentet. Detta bidrar till högre lagernivåer än vad som annars hade varit nödvändigt och försvårar en effektiv lagerstyrning.

Lagerfrågan påverkas även av variationer i efterfrågan där säsongsmässiga svängningar samt kundernas långa besluts- och upphandlingsprocesser skapar osäkerhet i planeringen.

Sammantaget innebär detta att lagret utgör en central utmaning för verksamheten. Ur ett ekonomiskt perspektiv bidrar lagret till ökad kapitalbindning, medan det ur ett operativt perspektiv ställer krav på framförhållning, materialtillgänglighet och leveransberedskap.

4.5.3 Specialprodukter

När specialanpassade lösningar aktualiseras krävs i regel samordning mellan flera funktioner såsom försäljning, operations, inköp och montering. Hanteringen skiljer sig från företagets standardprodukter eftersom underlag, materialbehov och arbetsmoment inte alltid är fullt definierade från början. I stället utvecklas dessa successivt utifrån det enskilda ärendets specifika förutsättningar. Processen präglas därmed i högre grad av anpassning och löpande avstämmningar än av ett standardiserat arbetssätt.

Det nuvarande arbetssättet för specialanpassade produkter medför flera verksamhetsmässiga utmaningar. En central problematik är att speciallösningar i vissa fall initieras och kommuniceras till kund innan teknisk genomförbarhet, materialbehov, ledtid och resursåtgång har analyserats internt. Detta innebär att företaget riskerar att ta på sig åtaganden utan att nödvändiga förutsättningar för leverans har säkerställts. Avsaknaden av en standardiserad process leder även till att arbetet blir personberoende och reaktivt. Detta kan skapa bristande framförhållning, otydlig ansvarsfördelning samt svårigheter att planera inköp och produktion på ett effektivt sätt. Ytterligare en utmaning är att specialprodukterna ofta tas fram utan fullständiga ritningar, testade prototyper eller verifierade materialunderlag i ett tidigt skede. Detta ökar risken för omarbete, extra materialförbrukning och kompletterande inköp.

Arbetssättet påverkar även övriga delar av verksamheten. När specialärenden kräver akuta insatser från inköp, montering och operations finns en risk att resurser omfördelas från planerade aktiviteter. Detta kan leda till störningar i det ordinarie produktionsflödet och minska verksamhetens totala effektivitet. Ur ett kundperspektiv innebär processen dessutom en risk för bristande förväntanshantering, särskilt om produktens funktion, utformning eller leveranstid inte är tillräckligt förankrad i ett tidigt skede. Slutligen kan arbetssättet medföra ekonomiska konsekvenser eftersom specialanpassade produkter sällan återkommer i exakt samma form. Material eller färdiga komponenter riskerar därmed att bli kvar i lager utan tydlig framtida användning, vilket bidrar till ökad kapitalbindning och ett högre lagervärde. Sammantaget indikerar detta att den nuvarande hanteringen av specialanpassade produkter skapar slöserier i form av väntan, omarbete, överflödigt lager och outnyttjad resurskapacitet.

4.5.4 Produktionsutformning och framtida kapacitet

Verksamheten står även inför utmaningar kopplade till den nuvarande produktionsutformningen. Produktionsstrukturen fungerar i dagsläget men indikerar samtidigt tecken på begränsad kapacitet inför framtida volymökningar. Produktionen består av flera moment och är i nuläget organiserad utifrån en funktionell layout. En sådan layout kan vara ändamålsenlig i mindre skala men riskerar att skapa begränsningar avseende effektivitet, flöde och resursutnyttjande när efterfrågan varierar och produktionsvolymerna ökar. Detta är särskilt relevant mot bakgrund av verksamhetens säsongsmässiga efterfrågemönster och det redan höga lagervärdet. Produktionen präglas även av ett betydande personberoende, vilket medför en ökad sårbarhet vid personalfrånvaro. Eftersom företaget dessutom planerar för ökade volymer kopplade till en ny produkt uppstår ett behov av att undersöka hur produktionsupplägget kan utvecklas. Syftet är att bättre möta framtida krav samt skapa ett mer stabilt, effektivt och hållbart produktionsflöde.

4.5.5 Praktiska och operativa förbättringsområden

Utöver de större utmaningarna kopplade till produktionsupplägget och gjutningsprocessen med silikon har även mer praktiska förbättringsområden identifierats i verksamheten. Dessa berör aspekter av arbetsmiljön och den fysiska utformningen som inte nödvändigtvis kräver omfattande organisatoriska förändringar men som ändå kan påverka det dagliga arbetets effektivitet. Ett exempel är behovet av bättre tekniska förutsättningar, såsom en mer lättillgänglig wifi-anslutning.

Resultatet indikerar även på mindre operativa brister särskilt kopplade till inköpsrutiner och praktisk hantering. I vissa fall tycks inköp i högre grad styras av bekvämlighet än av ekonomisk effektivitet. Detta kan exempelvis ta sig uttryck i att mindre men dyrare förpackningar väljs framför större och mer kostnadseffektiva alternativ. Sammantaget kan detta ses som ett uttryck för att vardagliga praktiska hinder påverkar verksamhetens resursanvändning negativt.

5. Diskussion

I detta kapitel diskuteras studiens resultat i relation till det teoretiska ramverket. Experimentet som genomfördes på gjutningsprocessen diskuteras i relation till teorin. Vidare diskuteras olika lösningsförslag för att effektivisera Aqua Roburs produktionsprocess. Avslutningsvis diskuteras studiens felkällor.

5.1 Experiment av gjutningsprocessen

Experimentet som genomfördes inom gjutningsprocessen resulterade i flera intressanta iakttagelser. I följande avsnitt diskuteras dessa resultat närmare.

5.1.1 Delstudie 1

I experimentets första del observerades att de enheter som initialt härdades vid 40 °C följt av lufthärdning uppvisade luftbubblor i 1 av 12 fall. För de enheter som härdades vid 50 °C ökade detta till 2 av 12. Vid 60 °C uppvisade 10 av 12 enheter luftbubblor och vid 70 °C observerades luftbubblor i 11 av 12 enheter. Resultatet indikerar att temperaturen vid den initiala ugnshärdningen har en tydlig påverkan på uppkomsten av luftbubblor. Vid lägre temperaturer, 40–50 °C, var förekomsten låg medan en tydlig ökning observerades vid högre temperaturer, 60–70 °C. Detta tyder på att högre temperaturer i ett tidigt skede kan bidra till att luft kapslas in i materialet eller expanderar vilket i sin tur leder till fler defekter. Dessa defekter behöver därefter efterarbetas vilket medför extra tidsåtgång och skapar en flaskhals i produktionsprocessen.

Att inleda härdningsprocessen med ugnshärdning syftade till att påskynda härdningen. Resultaten indikerar dock att ingen av enheterna hade härdat fullständigt efter 24 timmar. Samtliga enheter uppnådde däremot en tillräcklig härdningsgrad för fortsatt bearbetning. Metoden möjliggjorde således inte en färdig produkt inom den förväntade tidsramen. Jämfört med den nuvarande processen där direkt ugnshärdning vid 50 °C i 35 minuter resulterar i packredo enheter framstår den testade metoden som mindre effektiv. Den nuvarande processen uppvisar därmed en högre effektivitet ur ett produktionsperspektiv. Särskilt vid högre temperaturer försämrades kvaliteten avsevärt på grund av den ökade mängden luftbubblor. Resultatet indikerar att en initial ugnshärdning vid högre temperaturer inte är lämplig. Detta beror på att risken för defekter ökar utan att en snabbare eller fullständig härdning säkerställs.

Detta kan förstås med stöd i Leanteorin där defekter och omarbete betraktas som två centrala former av slöseri (Petersson et al., 2015). Även om själva härdningstiden i ugnen är kortare än vid lufthärdning innebär ett ökat behov av efterbearbetning att den verkliga genomloppstiden inte reduceras i motsvarande grad. I stället riskerar processen att bli mindre effektiv som helhet. Resultatet indikerar därmed att effektivitet inte enbart bör bedömas utifrån tiden i ett

enskilt moment utan utifrån hur hela flödet påverkas. Utifrån teorin om flaskhalsar kan detta även tolkas som att gjutningen inte enbart utgör ett tidskrävande moment. Det är även ett processteg där variationer i kvalitet får direkt påverkan på efterföljande aktiviteter. När defekter uppstår i gjutningen belastas även senare steg i processen (Liker, 2004; Olhager, 2013).

Flaskhalsar kan därmed hindra en effektiv och jämn produktion, särskilt när de förstärks av oönskade variationer i processen. Att minska sådana variationer är en viktig förutsättning för att skapa ett snabbt och jämnt produktionsflöde. Ju snabbare och jämnare en process är desto mer produktiv blir den (Schmenner & Swink, 1998). Sammantaget framstår metoden som mindre effektiv trots en viss kvalitetsförbättring vid lägre temperaturer. Metoden innebär även en förlängd produktionstid jämfört med nuvarande process.

5.1.2 Delstudie 2

I experimentets andra del observerades att de enheter som först lufttorkades och därefter härdades vid 75 °C i 20 minuter var de mest härdade. Däremot förekom luftbubblor i 3 av 12 enheter, vilket innebar att efterarbete behövde utföras. Vid 75 °C i 15 minuter var enheterna något mindre härdade och även här observerades luftbubblor i 3 av 12 enheter. Vid 70 °C i 15 minuter var samtliga 24 enheter utan luftbubblor vilket innebar att inget efterarbete krävdes. Däremot var enheterna inte fullt härdade och behövde därför en längre efterföljande härdningstid jämfört med de enheter som härdades vid 75 °C. Tester vid lägre temperaturer genomfördes inte eftersom det inte bedömdes vara lönsamt med hänsyn till utfallet vid 70°C. En lägre temperatur hade sannolikt inneburit en ännu lägre härdningsgrad vilket därför inte ansågs vara relevant att testa vidare.

Den nuvarande processen innebär direkt ugnshärdning vid 50 °C i 35 minuter där vanligtvis 2 av 12 enheter kräver efterarbete. Jämförelsen med experimentet indikerar att 70 °C i 15 minuter ger bättre resultat med avseende på förekomsten av luftbubblor. Resultaten från experiment 2 indikerar att förberedelsen med 24 timmars självtorkning är avgörande för att uppnå en defektfri produkt. Genom att låta silikonet vila i rumstemperatur innan det utsätts för ugnsvärme skapas en stabilitet som nästintill helt eliminerar de luftbubblor som annars uppstår vid direkt uppvärmning. Vid 70 °C i 15 minuter uppnåddes en stabil process där ingen förekomst av nya luftbubblor observerades på de 24 enheter som testades. Trots detta var enheterna inte helt härdade. För att nå en högre härdningsgrad visade testerna vid 75 °C i 20 minuter bäst resultat.

Att implementera en 24-timmars självtorkningsfas innebär visserligen en förändring i produktionsflödet men reducerar samtidigt behovet av efterarbete. Reparation av luftbubblor tar i genomsnitt över 8 minuter per enhet, följt av ytterligare cirka 25 minuter i ugn. Genom att tillämpa metoden från experiment 2 trots den förlängda väntetiden kan företaget sannolikt

uppnå tidsbesparingar ur ett helhetsperspektiv. Detta beror på att andelen kasserade eller defekta enheter förväntas minska. Ur ett Lean-perspektiv kan detta förstås som att ett mer stabilt processteg minskar variationen och därmed skapar bättre förutsättningar för standardisering (Liker J. K., 2006). En stabil och förutsägbar process är dessutom lättare att förbättra över tid än en process där kvalitetsutfallet varierar kraftigt mellan enheter och batcher (Schmenner & Swink, 1998). Även om en längre härdningstid innebär att produkten befinner sig i systemet under en längre period minskar behovet av omarbete och kvalitetsrelaterade störningar. Detta kan bidra till en mer gynnsam total genomloppstid. Enligt Little's lag påverkas genomloppstiden både av mängden produkter i arbete och av hur länge dessa stannar i systemet (Modig & Åhlström, 2015). Om en mer stabil härdningsmetod tillämpas minskar behovet av omarbete i tidigare processteg. Detta kan därmed bidra till ett mer effektivt flöde som helhet. Sammantaget indikerar resultaten från experimentets andra del att Aqua Robur sannolikt kan uppnå en tidsbesparing totalt sett till följd av en minskad andel defekta och kasserade enheter.



Bild 5.1. Enheter efter genomfört gjutningstest. Enheterna är uppdelade efter olika temperaturförhållanden för att jämföra hur gjutmassan påverkas under härdning. Foto: författarna.

5.2 Lagret

I dagsläget tillämpar företaget ett pushbaserat produktionssystem vilket innebär att produkter tillverkas i förväg och lagerhålls i form av säkerhetslager. Syftet är att reducera ledtiden till kund. Detta möjliggör att produkter kan levereras omgående efter mottagen order förutsatt att det inte rör sig om kundanpassade lösningar. Tidigare tillämpade företaget ett pullbaserat arbetssätt där produktionen initierades först efter att en kundorder hade mottagits. Övergången

till ett pushbaserat system motiverades av behovet av ökad konkurrenskraft. En central faktor i detta är möjligheten att erbjuda snabba leveranser särskilt till kommunala kunder. Samtidigt medför det nuvarande arbetssättet att en betydande del av företagets kapital binds i lager. Detta begränsar kapitalets omsättningshastighet och kan därmed påverka lönsamheten negativt.

Detta kan tolkas med stöd i Lean där överflödigt lager betraktas som en form av slöseri eftersom det binder resurser utan att skapa direkt kundvärde (Petersson et al., 2015). Samtidigt indikerar teorin om push- och pullstyrning att lager i vissa sammanhang kan fylla en viktig funktion. Ett pullsystem innebär att produktionen styrs av faktisk efterfrågan, medan ett pushsystem i högre grad bygger på prognoser (Slack et al., 2019; Liker, 2004). I den studerade verksamheten förekommer tydliga behov av båda systemen. Företaget behöver planera utifrån förväntad efterfrågan och långa ledtider för vissa komponenter men riskerar samtidigt att bygga upp lager som inte fullt ut motsvarar den faktiska efterfrågan. Diskussionen indikerar därmed att problemet inte nödvändigtvis ligger i att lager förekommer utan snarare i hur lagerstyrningen är utformad. Lagerstyrningen behöver därför i högre grad anpassas till produktstruktur, säsongsvariationer och efterfrågemönster. För standardprodukter kan en viss lagerhållning vara motiverad för att upprätthålla leveransförmåga, medan äldre artiklar och lågomsatta komponenter i större utsträckning bidrar till onödig kapitalbindning.

5.3 Behov av anpassad produktionslayout

Mot bakgrund av företagets nuvarande ekonomiska förutsättningar bedöms det i dagsläget inte vara möjligt att utöka personalstyrkan med ytterligare en montör. Den nuvarande enmansproduktionen fungerar tillfredsställande vid rådande produktionsvolym. I samband med att företaget lanserar en ny produkt förväntas dock produktionsbehovet öka. Detta innebär att produktionslayouten kan behöva anpassas för att möta framtida kapacitetskrav.

Enligt teorin framstår cell- eller linjelayout som mer fördelaktiga alternativ vid större produktionsvolym. Dessa layoutformer kan stödja ett jämnare produktionsflöde och en högre grad av standardisering (Schmenner & Swink, 1998). Vid en ökad efterfrågan föreslås därför en successiv övergång till ett mer linjebaserat produktionsflöde. Ett möjligt upplägg är att produktionsteamet organiseras utifrån tre arbetsstationer. Detta är möjligt eftersom teamet består av tre personer. Nedan presenteras ett förslag på hur arbetsstationerna kan delas upp.

Arbetsstation 1 omfattar de inledande monteringsmomenten. Vid denna station appliceras klistermärken, SIM-kort installeras, M12-skydd monteras och limmas samt ljusledaren placeras.

Arbetsstation 2 fokuserar på vidare bearbetning och funktionskontroll. Vid denna station genomförs inledningsvis ett masstest i syfte att kontrollera att enheten fungerar enligt krav. Därefter genomförs gjutningsprocessen.

Arbetsstation 3 omfattar den avslutande delen av produktionsprocessen. Vid denna station rengörs produkten, monteras på stativ och genomgår en sista ytbehandling. Därefter genomförs en slutlig granskning där funktion och kvalitet säkerställs, innan produkten packas och färdigställs för leverans.

Syftet med denna uppdelning är att skapa ett mer effektivt och stabilt produktionsflöde. Samtidigt möjliggörs ett mer ändamålsenligt utnyttjande av tillgängliga resurser. Detta kan i sin tur bidra till att frigöra tid och ge medarbetarna möjlighet att fokusera på andra värdeskapande arbetsuppgifter.

5.4 Kontinuerliga förbättringar

Ett viktigt resultat i studien är att flera förbättringar inte kräver omfattande investeringar utan kan genomföras genom enklare justeringar i arbetssätt, hjälpmedel och teknisk utrustning. Idag präglas produktionen av ett antal mindre problemområden som kan åtgärdas genom enklare justeringar. Dessa problemområden avser exempelvis arbetssätt, hjälpmedel och teknisk utrustning. Ett av dessa problem är den svaga wifi-uppkopplingen i produktionsmiljön. I nuläget uppmärksammas inte detta i verksamheten. Problemet kan åtgärdas genom att antingen flytta routern närmare produktionslokalen eller genom att implementera en lösning med starkare signal, exempelvis via en förstärkare. Ett annat identifierat problem avser inköp av fasadfärg i små förpackningar. Genom att i stället köpa in färg i större förpackningar kan företaget uppnå kostnadsbesparingar. Ur ett Lean-perspektiv är detta särskilt intressant eftersom kontinuerliga förbättringar ofta sker genom många mindre förändringar snarare än genom enskilda större åtgärder (Monden, 1983). Även mindre förbättringar kan ge betydande effekt över tid om de påverkar återkommande moment i processen.

I denna studie är detta särskilt relevant i relation till gjutningsprocessen där materialspill har identifierats i flera moment. Materialspill uppstår exempelvis vid blandning, dosering och hantering av silikon, vilket påverkar både resursutnyttjande och produktionskostnader. Även om spillmängden per enhet i vissa fall är relativt begränsad kan den sammantagna effekten bli betydande vid större produktionsvolym. Detta stärker argumentet för att enklare förbättringar inte bör betraktas som marginella. Exempel på sådana åtgärder är färre överföringssteg mellan kärl och bättre doseringshjälpmedel.

5.5 Specialprodukter

Utifrån studiens resultat framgår att en central utvecklingsmöjlighet för företaget är att etablera ett mer strukturerat arbetssätt för hantering av specialanpassade produkter. En viktig utgångspunkt återfinns redan i försäljningsprocessen, där kundens behov behöver identifieras och tydliggöras i ett tidigt skede. Det är även betydelsefullt att kunden informeras om att en specialbeställning måste behandlas internt innan ett slutgiltigt beslut kan fattas. Detta är särskilt viktigt när efterfrågan avser lösningar utanför företagets standardiserade produktutbud. Ett sådant förhållningssätt kan minska risken för att förväntningar skapas innan företaget har säkerställt teknisk genomförbarhet och realistiska leveransförutsättningar. För att möjliggöra detta krävs en intern och tvärfunktionell bedömningsprocess. I denna process behöver relevanta funktioner gemensamt diskutera den inkomna specialförfrågan. Vidare bör det klargöras huruvida befintlig hårdvara kan användas som grund för lösningen samt vilka begränsningar och möjligheter som föreligger. Därutöver behöver det fastställas vilket material som finns tillgängligt i lager och vilket material som eventuellt behöver beställas. Därutöver bör en preliminär bedömning göras av möjligheten att ta fram ritning, prototyp och en mindre testbatch. Ett sådant arbetssätt innebär att flera perspektiv vägs in innan beslut fattas.

Ett mer formaliserat arbetssätt skulle även förbättra företagets förutsättningar att återkoppla till kunden med realistiska och väl förankrade besked. Efter den interna bedömningen kan kunden informeras om produktens genomförbarhet och den uppskattade ledtiden. På så sätt ges kunden möjlighet att ta ställning till erbjudandet utifrån mer realistiska förutsättningar. Först därefter bör offert upprättas och vid accepterad offert kan orderläggning samt eventuella materialinköp initieras. Ett ytterligare tvärfunktionellt möte bör även genomföras innan leverans av produkten. Detta skapar utrymme för justeringar före leverans och möjliggör identifiering av potentiella installationsmässiga utmaningar. Därmed kan flera möjliga fel och oklarheter hanteras proaktivt i stället för reaktivt efter att produkten har nått kunden. Arbetssättet kan även bidra till bättre kontroll över materialförsörjning och lagerhållning. I stället för att genomföra omfattande materialinköp i ett tidigt skede kan företaget begränsa inköpen till den mängd material som krävs för att producera den kundbeställda enheten. Därutöver kan inköpen omfatta material för framtagning av exempelvis en säljdemo, vilket möjliggör en mer resurseffektiv lagerhantering och minskad kapitalbindning. På så sätt minskar risken för att material resulterar i liggande utan användning, vilket i sin tur reducerar kapitalbindningen kopplad till specialanpassade produkter.

Detta kan förstås i relation till teorin om standardisering inom Lean. Standardisering innebär inte att alla produkter måste vara identiska, utan snarare ett arbetssätt, ansvarsfördelning och beslutsvägar bör vara tydliga och repeterbara även när uppdragens innehåll varierar (Krafcik, 1988). I nuläget tyder resultaten på att specialprodukter i hög grad hanteras utifrån det enskilda ärendets förutsättningar snarare än genom en tydligt formaliserad process. Det här

ökar risken för variation, otydlighet och reaktiv hantering. Således indikerar resultaten att förbättringsbehovet inte nödvändigtvis handlar om att minska förekomsten av specialprodukter. I stället handlar det om att skapa en tydligare intern process för hur sådana ärenden ska hanteras. Det föreslagna arbetssättet med tvärfunktionella möten kan förstås som ett sätt att skapa en sådan process. Genom att samla relevanta funktioner i ett tidigt skede kan företaget skapa ett bättre beslutsunderlag avseende teknisk genomförbarhet, materialbehov och ledtid. Detta framstår som särskilt viktigt eftersom specialprodukter annars riskerar att skapa störningar i det ordinarie produktionsflödet.

5.6 Säljcykler

En annan väsentlig flaskhals i verksamheten är de relativt långa sälj- och beslutsprocesserna hos företagets främsta kunder vilka till största del utgörs av kommunala aktörer. Företagets försäljning påverkas därmed i hög grad av offentliga beslutsprocesser, budgetperioder och kommunala upphandlingar. Detta medför att ledtiden från första kundkontakt till faktisk order ofta blir lång, samtidigt som denna del av flödet i praktiken ligger utanför företagets direkta kontroll. Problematiken förstärks ytterligare av att verksamheten präglas av säsongsmönster och därmed inte har en jämn försäljning över året. I och med detta uppstår en situation där företaget riskerar att binda kapital under långa perioder. Kundfordringarna uppgår idag till 30 dagar och lagervärdet upplevs som högt, vilket innebär att kapital binds både i lager och i väntan på betalning från kunder. Detta förstärker den ekonomiska belastningen och kan relateras till teorin om kapacitetsplanering där dimensionering av kapacitet och anpassning till efterfrågan är centrala frågor (Slack et al., 2019). När efterfrågan varierar och beslut fattas med lång framförhållning eller efter fördröjning blir det svårare att avgöra hur mycket som bör produceras. Det försvårar även bedömningen av när material bör beställas och hur stort lager som är rimligt att hålla. Detta påverkar i sin tur både resursutnyttjande och kapitalbindning.

Det centrala är att säljcyklerna i begränsad utsträckning kan påverkas av företaget eftersom de till stor del styrs av kommunernas arbetssätt och beslutsprocesser. Offentliga organisationer har ofta längre beslutsvägar, större krav på planering och mindre flexibilitet än privata kunder. Detta innebär att det inte är rimligt för företaget att på egen hand förkorta denna del av processen. Fokus bör i stället ligga på att minska konsekvenserna av processen till verksamhetens fördel. En möjlig åtgärd är att se över betalningsvillkoren. Om fakturatiden på 30 dagar exempelvis förkortas till 15 dagar kan betalningar erhållas snabbare, vilket minskar kundfordringarna och förbättrar kassaflödet. Detta löser dock inte de långa säljcyklerna i sig och det förekommer även begränsningar då kommuner ofta har standardiserade betalningsrutiner vilket kan göra kortare betalningstid svår att förhandla fram.

De långa säljcyklerna är därmed inte enbart en kommersiell fråga, utan även en produktions- och planeringsfråga. I praktiken innebär detta att företaget behöver ett arbetssätt där

information från säljavdelningen i högre grad integreras med produktion och inköp. Detta möjliggör en mer strukturerad hantering av osäkerhet i efterfrågan. Här blir push- och pullteorin relevant som analytiskt verktyg. Enligt teorin bygger ett pushsystem på prognoser och planerad efterfrågan. Ett pullsystem utgår i stället från faktisk efterfrågan och initierar produktionen först när ett behov uppstår i nästkommande steg (Slack et al., 2019). I den studerade verksamheten förekommer tydliga inslag av båda logikerna. Samtidigt kräver långa leveranstider och osäkra säljcykler att viss planering sker i förväg. Det innebär att produktionen delvis behöver styras utifrån prognoser snarare än faktisk efterfrågan. Detta kan å andra sidan innebära en alltför stark prognosstyrning en risk för överproduktion, lageruppbyggnad och ökad kapitalbindning vilket enligt Leanfilosofin är problematiskt eftersom pullsystem eftersträvas för att minska överproduktion och onödiga lager

5.7 Felkällor

Det är viktigt att tolka studiens resultat med viss försiktighet. Studien är avgränsad till en specifik produkt samt en begränsad tidsperiod. Resultaten bör därför tolkas med viss försiktighet då de inte nödvändigtvis kan generaliseras till hela verksamheten eller till framtida produktionsförhållanden. Vidare bygger delar av analysen på observationer och intervjuer, vilket medför att resultaten delvis kan påverkas av vilka situationer som observerats samt vilka personer som medverkat i studien.

En ytterligare aspekt som bör beaktas är den utrustning och det genomförande som präglade experimentet. Den ugn som användes i studien har en felmarginal på cirka 5 °C. Vid temperaturer omkring 70–75 °C observerades den bästa härdningseffekten. Ugnens felmarginal kan dock medföra temperaturavvikelser som påverkar slutresultatet. Vid ett eventuellt byte av ugn eller vid en uppskalning av produktionen blir denna parameter särskilt betydelsefull. Det är därför nödvändigt att kalibrera parametern för att säkerställa en jämn och reproducerbar kvalitet i produktionsprocessen. Det förekommer även en viss mänsklig felmarginal kopplad till genomförandet av experimentet, exempelvis i samband med att färdighärdade enheter tas ut ur ugnen och temperaturen därefter justeras. Detta kan medföra att förberedda enheter resulterar i liggande utanför ugnen under en kortare tid innan de placeras in, något som i sin tur kan påverka processens jämnhet och därmed slutresultatet.

6. Rekommendationer och slutsats

I detta kapitel presenteras rekommendationer till företaget och studiens slutsats.

6.1 Rekommendationer

I avsnittet nedan presenteras rekommendationer baserade på studiens resultat och diskussion med syfte att förbättra produktionsprocessen.

6.1.1 Standardisera gjutningsprocess

Om företaget väljer att behålla det nuvarande silikonet rekommenderas utifrån studiens resultat att gjutningsprocessen standardiseras. Syftet med studien är att minska variation, reducera materialspill och öka effektiviteten i produktionen. Genom observationer och genomförda experiment har flera förbättringsområden identifierats i den nuvarande hanteringen av gjutningsprocessen. Den befintliga processen är endast i begränsad utsträckning standardiserad och innehåller flera moment som varierar beroende på operatör, vilket påverkar både produktkvalitet och materialåtgång. Ett centralt förbättringsförslag är därför att standardisera blandnings- och appliceringsprocessen med särskilt fokus på hanteringen av silikonet.

I dagsläget används bland annat pappersmuggar och olika typer av behållare för överföring och dosering av silikon, vilket leder till onödigt materialspill. Därför rekommenderas att en fast och standardiserad behållare med tydliga volymmarkeringar införs samt att antalet överföringssteg mellan olika kärl minskas. Detta skulle kunna reducera materialförlusten och samtidigt skapa en mer effektiv och förutsägbar arbetsprocess. Observationerna indikerar att en betydande del av materialförlusten uppstår vid hantering av öppna behållare samt vid överföring mellan olika kärl. Silikonet står dessutom ofta öppet under längre perioder vilket ökar risken för förtjockning och försämrad bearbetbarhet. För att minska detta rekommenderas att behållare hålls stängda när materialet inte används aktivt eftersom detta kan minska både spill och variation i materialets viskositet över tid. Studien indikerar även att materialspill uppstår i flera delar av processen. Ett uppmätt spill på 700 gram fördelat över 300 enheter motsvarar cirka 2,3 gram per enhet. Vidare motsvarar 1,3 kg materialförlust fördelat över 1 923 enheter cirka 0,68 gram per enhet, medan silikon som fastnar på handskar uppgår till cirka 1 gram per enhet vid produktion av 100 enheter. Även om spillmängden per enhet i vissa fall kan framstå som begränsad resulterar i den sammanlagda effekten betydande vid större produktionsvolym, vilket stärker argumentet för att standardisera processen och minska onödiga materialförluster.

Vidare bör företaget överväga att införa nya arbetsverktyg såsom standardiserade smalpipiga behållare, engångsverktyg eller rengöringsvänliga slickepottar samt mått anpassade för exakt dosering. Dessa förändringar är relativt låga i kostnad men kan över tid bidra till en betydande

minskning av spill. I dagsläget består dessutom en stor del av gjutningsprocessen av efterarbete, vilket beror på att luftbubblor i många fall bildas efter härdning i ugn. Detta kräver efterföljande korrigering för att säkerställa produktens kvalitet. Momentet är tidskrävande men nödvändigt, vilket ytterligare stärker argumentet för att minska defekter i tidigare steg av processen. Varje reducerad defekt minskar behovet av efterbearbetning och kan därmed även bidra till att reducera den totala produktionstiden.

6.1.2 Silikon alternativ

I studien har det nuvarande silikonmaterialet använts som utgångspunkt för produktionen men flera alternativa material har identifierats och analyserats med avseende på processprestanda, kostnad och materialegenskaper. Mot bakgrund av den långa leveranstiden på cirka 180 dagar (Materials, 2023) bedöms det nuvarande silikonmaterialet inte vara det mest optimala alternativet. Ett större säkerhetslager skulle kunna minska risken för materialbrist. Samtidigt skulle ett sådant lager mot bakgrund av materialets höga kostnad binda betydande kapital och medföra ökade lagerkostnader. Därför rekommenderas det att företaget går vidare med utvärderingen av alternativa material med kortare leveranstid samt jämförbar processprestanda.

Ett alternativ är ELASTOSIL® RT 622 A/B från Wacker Chemie AG vilket är ett tvåkomponents additionshärdande silikon. Materialet kännetecknas av låg krympning ($<0,1$ %), hög töjbarhet (upp till cirka 550 %) samt god reproducerbarhet i härdningsprocessen (AG, ELASTOSIL® RT 622 A/B, 2026). Dessa egenskaper möjliggör den särskilt lämpligt för tekniska applikationer såsom inkapsling av elektronik där stabilitet och jämn kvalitet är viktigt. En viktig fördel ur ett produktionsperspektiv är att materialet uppvisar ett relativt kontrollerat härdningsförlopp, vilket skapar förutsättningar för kortare och mer förutsägbara cykeltider. Detta kan i sin tur bidra till en mer stabil produktionsplanering och minskad variation mellan batcher.

Ett alternativ är ELASTOSIL® RT 622 A/B från Wacker Chemie AG vilket är ett tvåkomponents additionshärdande silikon. Materialet kännetecknas av låg krympning ($<0,1$ %), hög töjbarhet (upp till cirka 550 %) samt god reproducerbarhet i härdningsprocessen (AG, ELASTOSIL® RT 622 A/B, 2026). Dessa egenskaper möjliggör den särskilt lämpligt för tekniska applikationer såsom inkapsling av elektronik där stabilitet och jämn kvalitet är viktigt. En viktig fördel ur ett produktionsperspektiv är att materialet uppvisar ett relativt kontrollerat härdningsförlopp, vilket skapar förutsättningar för kortare och mer förutsägbara cykeltider. Detta kan i sin tur bidra till en mer stabil produktionsplanering och minskad variation mellan batcher.

6.1.3 Ekonomisk jämförelse mellan silikonalternativen

En central aspekt vid materialval är inköpskostnad per kilogram, se figur 6.1.

Jämförelse av silikonalternativ

Silikonalternativ	Förpackningsstorlek	Total kostnad	Ca pris per kg
Nuvarande silikon	50 kg	20 488 kr	≈ 410 kr/kg
ELASTOSIL RT 622 A/B	50 kg	2 773 kr + 305 kr = 3 078 kr	≈ 62 kr/kg
Rött silikon	10 kg	8 303 kr	≈ 830 kr/kg

Pris per kg har beräknats utifrån total kostnad dividerat med förpackningsstorlek.

Figur 6.1. Ekonomisk jämförelse av silikon. Jämförelse av kostnad för tre silikonalternativ baserat på total inköpskostnad, förpackningsstorlek och beräknat pris per kilogram. Figuren visar att ELASTOSIL RT 622 A/B har lägst uppskattad kostnad per kilogram.

Utifrån dessa nivåer framgår att ELASTOSIL RT 622 A/B är betydligt billigare per kilogram jämfört med både det nuvarande silikonet och det röda alternativet. Det röda silikonet är däremot det dyraste alternativet och uppvisar samtidigt högre materialförbrukning i produktionen, vilket ytterligare påverkar totalkostnaden negativt. Det röda silikonet har i verksamheten testats som ett alternativ till det nuvarande materialet och uppvisar snabbare härdning samt lägre viskositet. Detta kan bidra till kortare processtid och potentiellt färre defekter i vissa fall. Samtidigt har det observerats att materialet är dyrare samt har begränsningar kopplade till tillgänglighet och certifiering, vilket har framkommit som viktiga faktorer i framtida produktion. Detta innebär att det röda silikonet lämpar sig bättre för specifika användningsområden snarare än som en generell ersättare.

Även andra materialtyper, såsom epoxibaserade system, har diskuterats som alternativ. Dessa erbjuder ofta hög mekanisk styrka och god inkapslingsförmåga men har samtidigt ett mer sprött beteende efter härdning. Detta möjliggör dem mindre lämpliga för applikationer där flexibilitet och vibrationstålighet krävs. Vidare indikerar jämförelsen att materialval inte enbart bör baseras på kostnad per kilogram utan även på faktorer såsom processbarhet, defektfrekvens, härdningstid och behov av efterarbete. Ett billigare material kan i praktiken bli dyrare om det leder till en ökad andel reparationer eller högre materialspill.

6.1.4 Tekniska lösningar

Ett alternativ vid fortsatt användning av det nuvarande silikonet är att införa vakuumbehandling i syfte att reducera förekomsten av luftbubblor i materialet. Detta skulle exempelvis kunna genomföras med hjälp av en vakuumkammare. Detta är något som kan bidra till att avlägsna instängd luft före härdning. På så sätt kan antalet defekter potentiellt

minska vilket i sin tur kan reducera behovet av efterarbete. En sådan lösning medför dock en investeringskostnad som behöver ställas i relation till nuvarande defektnivåer samt den tid som i dagsläget läggs på reparationer. Med hänsyn till företagets batchstorlek som uppgår till cirka 200 enheter per körning krävs dessutom en lösning med tillräcklig kapacitet för att kunna hantera större volymer på ett effektivt sätt. En vakuumkammare i storleksordningen 18–20 liter bedöms vara ett rimligt alternativ för mindre batchhantering medan större produktionsvolymer i praktiken kan kräva att processen delas upp i flera separata körningar.

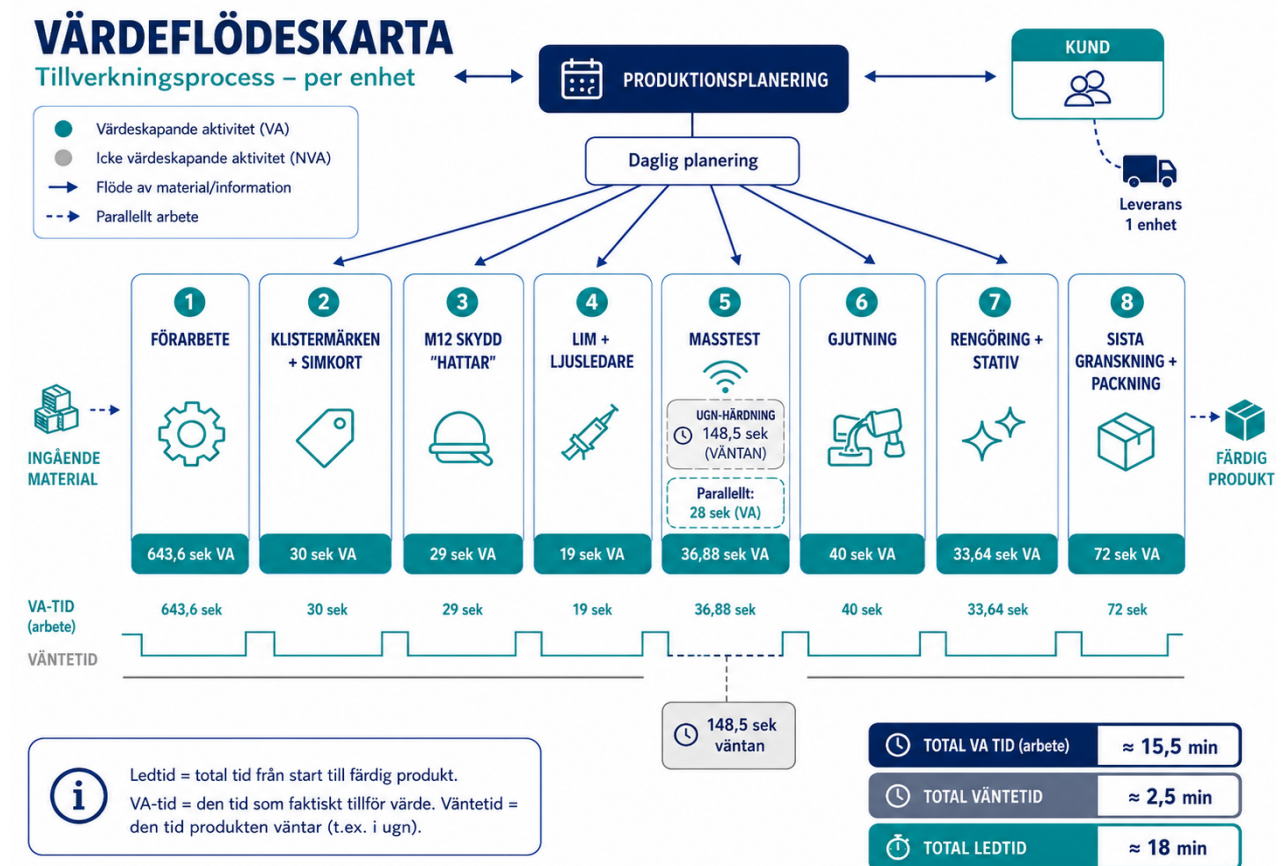
Marknadspriser indikerar att en vakuumkammare i denna storleksklass inklusive en enklare vakuumpump ligger i intervallet cirka 2 000–5 000 kronor beroende på kapacitet, specifikation och utförande. Exempelvis kostar en 20-liters vakuumkammare omkring 2 999 kronor hos svenska återförsäljare medan kompletta kit med pump varierar i pris beroende på teknisk prestanda och kapacitet (AG, u.å.; Carbix, u.å.; Snickeri, u.å.). En implementering av vakuumteknik kan därmed potentiellt minska förekomsten av luftbubblor i silikonet före härdning, vilket kan bidra till ett minskat behov av efterbearbetning och kassation. Detta är särskilt relevant vid större batcher där även en begränsad defektfrekvens kan medföra betydande tidsförluster och ökat materialspill.

6.2 Förbättrat produktionsflöde

Som stöd för det fortsatta förbättringsarbetet rekommenderas att företaget tillämpar den uppdaterade värdeflödeskartan, se figur 6.2, som underlag för den framtida utvecklingen av produktionsflödet. Figuren visualiserar ett möjligt framtida läge där flera av de förbättringsförslag som identifierats i studien har beaktats. Dessa omfattar bland annat förändringar i gjutningsmomentet, minskad väntetid samt ett mer standardiserat arbetssätt i produktionen. Värdeflödeskartan tydliggör vilka moment som fortsatt är mest tidskrävande samt vilka steg som har störst påverkan på den totala ledtiden per enhet. I den uppdaterade kartan har även förbättrad uppkoppling beaktats, vilket påverkar både moment 1 och moment 5. Figuren indikerar därmed hur en till synes begränsad förändring, såsom en mer stabil och ändamålsenlig uppkoppling, kan bidra till kortare ledtid i flera delar av processen.

En annan central förändring avser gjutningsprocessen. I det framtida läge som visualiseras i värdeflödeskartan utgår processen från att samma typ av silikon fortsatt används men att härdningen genomförs enligt det tillvägagångssätt som i studien identifierats som mest gynnsamt. Detta innebär initial lufthärdning under ett dygn, varav endast en del sammanfaller med arbetstid, följt av en kortare härdningstid i ugn. Därutöver förutsätts att behovet av reparationsarbete reduceras avsevärt, vilket med hög sannolikhet kan förväntas utifrån resultaten från de genomförda experimenten. Det innebär att moment 7 elimineras och att produktionsflödet totalt kommer att bestå av åtta moment i stället för nio. Mot bakgrund av detta rekommenderas att företaget successivt implementerar de föreslagna förändringarna och därefter följer upp utfallet i relation till den framtida värdeflödeskartan. På så sätt kan kartan

användas som ett levande förbättringsverktyg snarare än enbart som en beskrivning av ett teoretiskt framtida produktionsflöde.



Figur 6.2. Värdeflödeskarta över förbättrad produktion. Föreslagen förbättrad värdeflödeskarta över tillverkningsprocessen per enhet, där processteg, informationsflöden, värdeskapande tid, väntetid och total ledtid redovisas.

6.3 Slutsats

Nedan beskrivs studiens slutsatser för företagets produktionslayout, specifika produkt samt respektive experimentdel som har undersökts i studien.

6.3.1 Produktionslayout

Studiens resultat indikerar att företagets nuvarande produktionsupplägg inte fullt ut är anpassat för framtida volymökningar. Den funktionslayouten, tillsammans med flera produktionsmoment, säsongsvariationer och ett högt lagervärde, indikerar på vissa begränsningar i det befintliga produktionsflödet. Sammantaget tyder detta på att verksamheten behöver utveckla både sitt arbetssätt och sin produktionsstruktur. Detta är nödvändigt för att företaget på ett bättre sätt ska kunna möta framtida krav på effektivitet, flexibilitet och kapacitet.

6.3.2 Specialprodukter

Slutsatsen är att den nuvarande hanteringen av specialanpassade produkter medför flera utmaningar för verksamheten. Avsaknaden av en standardiserad och tvärfunktionellt förankrad process ökar risken för omarbete, väntetider och störningar i det ordinarie produktionsflödet. Den kan även bidra till ökad kapitalbindning i lager. Specialanpassade produkter påverkar därmed inte enbart enskilda kundorder utan har även betydelse för företagets övergripande effektivitet och resursutnyttjande. Studien indikerar därför på ett behov av en mer strukturerad process som kan bidra till att specialanpassade produkter hanteras på ett mer hållbart och resurseffektivt sätt.

6.3.3 Delstudie 1

När resultatet analyseras visuellt framgår det att initial ugnshärdning vid högre temperaturer inte är lämplig. Metoden ökar risken för defekter utan att säkerställa en snabbare eller fullständig härdning. Samtliga enheter uppnådde en tillräcklig härdningsgrad för fortsatt bearbetning men ingen enhet var packredo efter 24 timmar. Detta innebär att metoden medför en längre produktionstid jämfört med den nuvarande processen. Sammantaget tyder experimentet på att metoden generellt är mindre effektiv särskilt vid högre temperaturer. Däremot kan en viss kvalitetsförbättring observeras vid lägre temperaturer.

6.1.4 Delstudie 2

En visuell analys av resultaten indikerar att 24 timmars självtorkning i kombination med efterföljande ugnshärdning vid 70–75 °C utgör en effektiv metod för att undvika luftbubblor. Vid 70 °C uppnåddes en stabil process där inga nya defekter i form av bubblor observerades. Detta innebär en tydlig förbättring jämfört med direkt ugnshärdning. För att uppnå maximal härdning utan att kompromissa med kvaliteten framstår 75 °C under 20 minuter som det mest effektiva intervallet.

6.3.5 Standardisering av produktionsflödet

Studiens resultat indikerar att det förekommer tydliga möjligheter att förbättra produktionsflödet genom ett mer standardiserat arbetssätt samt genom riktade åtgärder i de moment som i dagsläget orsakar störst variation, väntetid och efterarbete. Särskilt gjutningsprocessen har identifierats som ett centralt förbättringsområde eftersom den påverkar såväl genomloppstid som kvalitet och resursutnyttjande.

Vidare indikerar studien att även mindre förändringar i arbetssätt, materialhantering och processupplägg kan få märkbara effekter på den totala effektiviteten. Sammantaget indikerar resultaten att ett mer strukturerat och standardiserat produktionsupplägg kan bidra till minskat slöseri, kortare ledtider och ökad förutsägbarhet i produktionen.

6.3.6 Lager

Lagerhanteringen utgör en central utmaning för Aqua Robur. Verksamheten behöver balansera kravet på hög leveransförmåga mot målet om låg kapitalbindning. I nuläget präglas situationen av osäker efterfrågan och ett högt lagervärde där även inaktuella produkter ingår. Det bidrar till förhöjda lagernivåer och en mindre effektiv lagerstyrning. Det nuvarande pushbaserade arbetssättet binder kapital i lager, men möjliggör samtidigt korta leveranstider. Problemet kan därför inte enbart förstås som en följd av att lager finns utan snarare som en konsekvens av hur lagerstyrningen är utformad.

För att minska lagernivåerna och förbättra effektiviteten krävs ökad prognossäkerhet. Detta skulle möjliggöra en bättre anpassning av produktionen till den faktiska efterfrågan och därmed minska risken för överproduktion. Vidare krävs åtgärder som reducerar onödigt lager, förbättrar planeringsprocessen och skapar en mer strukturerad hantering av sortimentet. Mot denna bakgrund föreslås att Aqua Robur övergår till ett delvis pullbaserat system. Det innebär att produktens mer kostsamma komponenter inte färdigställs förrän en kundorder har mottagits. Genom ett sådant arbetssätt kan företaget bibehålla en konkurrenskraftig leveranstid samtidigt som lagernivåerna reduceras och kapitalbindningen minskar.

Litteraturförteckning

- AG, W. C. (Maj 2026). *ELASTOSIL® RT 622 A/B*. Hämtat från WACKER:
<https://www.wacker.com/h/en-us/c/elastosil-rt-622-ab/p/000009558>
- AG, W. C. (n.d). Hämtat från ELASTOSIL RT 622 A/B: <https://www.wacker.com/h/en-us/c/elastosil-rt-622-ab/p/000009558>
- Andrade, P. F., Pereira, V. G., & Del Conte, E. G. (2015). Value stream mapping and lean simulation: a case study in automotive company.
- Andreadis, E., & Garza-Reyes, J. A. (2017). Towards a conceptual framework for value stream mapping (VSM) implementation: an investigation of managerial factors. *International Journal of Production Research*.
- Aqua Robur. (2024). *Aqua Robur*. Hämtat från Aqua Robur: <https://aquareobur.com/se/>
- Braglia, M., Carmignani, G., & Zammori, F. (2006). A new value stream mapping approach for complex production systems.
- Bryman, A. (2018). *Samhällsvetenskapliga metoder*. Liber.
- Bryman, A., & Bell, E. (2017). *Företagsekonomiska forskningsmetoder*. Liber.
- Bryman, A., Bell, E., & Harley, B. (2024). *Företagsekonomiska forskningsmetoder | 4:e upplagan*. Liber.
- Callister, W., & Rethwisch, D. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley.
- Carbix. (n.d). Hämtat från Vakuumpkammare 20 liter: <https://www.carbix.se>
- centralyrån, S. (u.d.). *Nyckeltalshandboken*. Stockholm.
- Dal Forno, A., Pereira, F., Forcellini, F., & Kipper, L. (2014). Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*. Boston: Pearson.
- Krafcik, J. (1988). Triumph of the Lean Production system. *Sloan Management Review*, ss. 41-52.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.

- Liker, J. K. (2006). *The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*. McGraw-Hill.
- Materials, M. P. (2023). *SILCOOL™ TIA208R Thermally Conductive Silicone Potting: Technical Data Sheet*. Momentive Performance Materials.
- Modig, N., & Åhlström, P. (2015). *Detta är lean: lösningen på effektivitetsparadoxen*. Rheologica.
- Monden, Y. (1983). *Toyota Production System: Practical Approach to Production Management*. Atlanta, Georgia: Industrial Engineering and Management Press.
- Naturvårdsverket. (den 25 juni 2025). *Avloppsvattnets miljöpåverkan*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avlopp/avloppsvattnets-miljopaverkan/>.
- Okoli, N. J. (2024). Building a Smart Water City: IoT Smart Water Technologies, Applications, and Future Directions. *Water*, 16(4), s. 557.
- Olhager, J. (2013). *Production and Operations Management*. Lund.
- Onmondo. (u.d.). *Building a Smart Water City: IoT Smart Water Technologies, Applications, and Future Directions*. Hämtat från <https://onomondo.com/blog/lpwa-smart-meter-connectivity/>.
- Petersson, P., Johansson, B., Broman, M., Blücher, D., & Alsterman, H. (2015). *Lean: Gör avvikelser till framgång! Part Development*.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*.
- Schmenner, W., & Swink, M. (1998). On the theory in operations management. *Journal of Operations Management*.
- Slack, N., & Brandon-Jones, A. (2019). *Operations management* (9th ed.). Pearson
- Snickeri, W. I. (n.d). Hämtat från Vakuumkammare och vakuumpumpskit: <https://www.wikstrominterior.se>
- Svenskt vatten. (2026). *svenskt vatten*. Hämtat från svenskt vatten: <https://www.svensktvatten.se/vara-sakomraden/klimat-och-hallbarhet/hallbara-upphandlingar-och-resurshushallning/>
- Svenskt Vatten, A. (2019). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. (S. V. AB, Red.) Stockholm.

- Tribotec AB. (2025). *TIA-208R TDS (Technical Data Sheet)*. Hämtat från
https://tribotec.se/wp-content/uploads/2025/02/TIA-208R_tds.pdf
- Tribotec AB. (2026). *När är ett silikon helt färdighärdat?* Hämtat från
<https://tribotec.se/hardning-tvakomponentsilikon/>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon & Schuster.
- VVS-Fabrikanternas. (2026). *VVS-Fabrikanternas*. Hämtat från VVS-Fabrikanternas:
<https://www.vvsfabrikanterna.se/verksamheten>
- Young, R., & Lovell, P. (2011). *Introduction to Polymers*. CRC Press.

Appendix

Intervjuguide

Bakgrund och organisation

- Kan du beskriva din roll inom företaget?
- Hur ser en vanlig arbetsdag ut för dig?
- Hur är företaget organiserat?
- Hur fungerar samarbetet mellan olika delar av verksamheten?
- Hur ser ansvarsfördelningen ut inom företaget?

Produkten

- Vilka produkter erbjuder företaget idag?
- Vad används produkterna till?
- Vilka produktvarianter finns?
- Hur stor del av produkterna är standardiserade respektive kundanpassade?
- Vilka kundbehov försöker produkterna lösa?
- Hur har produkterna utvecklats över tid?

Produktion och produktionsflöde

- Kan du beskriva produktionsflödet från start till färdig produkt?
- Hur är produktionen organiserad idag?
- Hur går monteringen till i praktiken?
- Vilka moment ingår i produktionsprocessen?
- Hur stora produktionsvolymerna har ni idag?
- Hur stora volymer bedömer ni att ni kan producera i nuläget?
- Hur hanteras material, lager och komponenter?
- Vilka delar tillverkas internt respektive av underleverantörer?
- Hur arbetar ni med kvalitetskontroll och testning?
- Hur hanteras variationer i efterfrågan eller akuta order?

Kapacitet och flaskhalsar

- Vilka delar av produktionen fungerar bra idag?
- Vilka delar upplevs som mest utmanande?
- Finns det moment där produktionen tappar tempo eller stannar upp?
- Var upplever ni att flaskhalsar uppstår?
- Finns det resurser eller moment som begränsar genomflödet?

- Hur upplever ni kapaciteten i de olika produktionsstegen?

Marknad och efterfrågan

- Vilka kundsegment riktar sig företaget mot?
- Vilka branscher använder produkterna?
- Hur ser efterfrågan ut idag?
- Varierar efterfrågan beroende på säsong eller period?
- Vad driver kundernas behov av produkterna?
- Hur ser ni på företagets framtida marknadspotential?

Förbättringar och framtid

- Vad definierar ni som en förbättring i verksamheten?
- Vilka förbättringsområden ser ni som viktigast?
- Finns det processer som skulle kunna standardiseras eller effektiviseras?
- Hur behöver produktionen utvecklas för att stödja ökade volymer och nya produkter?
- Vilka utmaningar tror ni blir viktigast de kommande åren?
- Vad hoppas ni att examensarbetet ska bidra med?

Arbetsmiljö och motivation

- Hur upplever du arbetsmiljön i produktionen?
- Vad upplever du som motiverande i arbetet?
- Hur påverkar arbetssätt och organisation motivation och trivsel?



CHALMERS