

JÖNKÖPING UNIVERSITY

School of Engineering

Utveckling av elektronik- inkapsling

Utveckling av elektronikinkapsling för sensorlösning
hos Brinja AB

HUVUDOMRÅDE: Maskinteknik: produktutveckling och design

FÖRFATTARE: Erik Norlin, Linus Willmont

HANDLEDARE: Lars Eriksson

JÖNKÖPING 2022 juni

Detta examensarbete är utfört vid Tekniska Högskolan i Jönköping inom maskinteknik: produktutveckling och design. Författarna svarar själva för framförda åsikter, slutsatser och resultat.

Examinator: Jonas Bjarnehäll
Handledare: Lars Eriksson
Omfattning: 15 hp (grundnivå)
Datum: 2022-06-11

Postadress:
Box 1026
551 11 Jönköping

Besöksadress:
Gjuterigatan 5

Telefon:
036-10 10 00 (vx)

Abstract

This is an experimental concept study that uses the *Design Thinking* methodology to explore how a company can improve its encapsulation of a connected sensor solution for concrete measurement. This sensor is used in a construction work environment at an early stage and therefore has certain requirements that must be met to be functional. The enclosure is a standardized electronics enclosure that proved unsuitable for the purpose when the project was done. The problems the company has witnessed are that it is a hassle to change the battery, start/switch off the unit, and that the process for doing this exposes the electronics to the environments at the construction site. The company does not have its own production but buys components from other suppliers and the number of units produced by the company is relatively small, which limits the possibilities for an optimized solution. The enclosure cannot be encapsulated with metal as the radio functionality must not be prevented, which limits the choice of material. Different manufacturing methods have been analyzed regarding cost and the possibility of meeting the requirements set by the company to develop an optimal solution as possible. Based on the implementation of the project, a complete, injection molded electronic enclosure provided by a supplier has been found and proven to be the most optimal solution together with a metal plate assembled on the back of the enclosure. This metal plate makes the product follow the company's design language better, facilitates installation of the unit and can protect the unit in the event of shocks and falls. The conclusion drawn from this project is that injection molding is the optimal manufacturing method when a plastic enclosure is desired. With a lower volume of acquisition of electronic enclosures, it's more reasonable to purchase a standardized complete injection molded enclosure from a supplier which is then modified to meet specific requirements and the desired design. This is because acquiring your own injection molding tool becomes too expensive at a lower volume of acquisition due to the high initial cost.

Sammanfattning

Detta är en experimentell konceptstudie som använder sig av *Design Thinking*-metodiken för att utforska hur ett företag kan förbättra sin inkapsling av en uppkopplad sensorlösning för betongmätning. Denna sensor används i byggarbetsmiljö i ett tidigt skede och har därav vissa krav som måste uppfyllas för att vara funktionell. Inkapslingen är en standardiserad elektronikinkapsling som visat sig olämplig för ändamålet då projektet utfördes. De problem företaget har bevitnat är att det är osmidigt att byta batteri, starta/stänga av enheten samt att processen för att utföra detta exponerar elektroniken mot byggarbetsmiljön. Företaget har ingen egen tillverkning utan köper komponenter från andra leverantörer och de antal enheter som produceras av företaget är relativt få, vilket begränsar möjligheterna för en optimerad lösning. Inkapslingen kan ej vara inkapslad av metall då radiofunktionalliteten ej får förhindras vilket begränsar materialvalet. Olika tillverkningsmetoder har analyserats med hänsyn till kostnad och möjlighet att uppfylla kraven som var satta av företaget för att ta fram en så optimal lösning som möjligt. Utifrån genomförandet av projektet har en färdig inkapsling hos en leverantör hittats och påvisats vara den mest optimala lösning tillsammans med en metallskiva som monteras på baksidan av inkapslingen. Denna metallskiva får produkten att följa företagets formspråk bättre, underlättar installation av enheten samt kan skydda enheten vid stötar och fall. Slutsatsen som tagits från detta projekt är att formsprutning är den optimala tillverkningsmetoden när en plastinkapsling är önskvärd. Vid lägre volym av anskaffning av inkapslingar är det mest rimligt att köpa en standardiserad färdiggjord formsprutad inkapsling av en tillverkare som sedan modifieras för att uppfylla specifika krav. Detta eftersom att införskaffa ett eget formsprutningsverktyg blir för dyrt vid lägre beställda volymer på grund av den höga initiala kostnaden.

Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	PROBLEMBESKRIVNING	2
1.3	SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	2
1.4	AVGRÄNSNINGAR.....	3
1.5	DISPOSITION.....	3
2	Teoretiskt ramverk	4
2.1	KOPPLING MELLAN FRÅGESTÄLLNINGAR OCH TEORI	4
2.2	PRODUKTUTVECKLING	4
2.2.1	<i>Design Thinking Bootleg</i>	5
2.3	RADIOVÅGOR	6
2.4	TILLVERKNINGSMETODER.....	6
2.4.1	<i>3D-Printning (FDM)</i>	6
2.4.2	<i>Spånskärande bearbetning; fräsning</i>	6
2.4.3	<i>Laserskärning</i>	6
2.4.4	<i>Formsprutning</i>	6
2.4.5	<i>Vakuumformning</i>	6
2.5	MATERIAL.....	7
2.5.1	<i>Elektronikinkapsling</i>	7
2.5.2	<i>PETG</i>	7
2.5.3	<i>HDPE</i>	7
2.5.4	<i>ABS</i>	7
2.5.5	<i>PET</i>	7
2.5.6	<i>Rostfritt stål 304</i>	7
2.5.7	<i>Aluminium 5083</i>	8
2.6	YTBEHANDLING	8
2.6.1	<i>Anodisering av aluminium</i>	8
2.7	KAPPSLINGSKLASSNING.....	8
3	Metod.....	9

3.1	EXPERIMENTELL KONCEPTSTUDIE	9
3.2	KOPPLING MELLAN FRÅGESTÄLLNINGAR OCH METOD	9
3.3	PROJEKTPLAN	9
3.3.1	Gantt-schema	9
3.4	EMPATHIZE	9
3.4.1	Marknadsundersökning	10
3.5	DEFINE	10
3.5.1	MoSCoW	10
3.5.2	Funktionsanalys	10
3.5.3	The Equalizer	11
3.6	IDEATE	11
3.6.1	Brainstorming	11
3.7	PROTOTYPE	11
3.7.1	CAD	11
3.7.2	Experimentell analys	11
3.7.3	Självkostnadskalkyl	11
3.7.4	SWOT	11
3.7.5	Go/No-Go	11
3.7.6	PUGHS	12
3.8	TEST	12
3.9	VALIDITET OCH RELIABILITET	12
4	Genomförande och resultat	13
4.1	GANTT-SCHEMA	13
4.2	EMPATHIZE	13
4.3	DEFINE	14
4.3.1	Moscow	14
4.3.2	Funktionsanalys	15
4.3.3	The Equalizer	16
4.4	IDEATE	16
4.4.1	Brainstorming	16

4.5	PROTOTYPE.....	24
4.5.1	CAD och experimentell analys.....	24
4.5.2	Materialval.....	32
4.5.3	Självkostnadskalkyl.....	33
4.5.4	SWOT.....	41
4.5.5	Go/No-Go	46
4.5.6	PUGHS.....	47
4.6	PROTOTYPE: ITERATION UTAV SLUTKONCEPT	47
4.6.1	Utveckling utav slutkoncept	48
4.7	SLUTLIGT RESULTAT UTIFRÅN FRÅGESTÄLLNINGARNA.....	54
5	Analys av resultat.....	55
5.1	FRÅGESTÄLLNING 1.....	55
5.2	FRÅGESTÄLLNING 2.....	57
6	Diskussion och slutsatser.....	58
6.1	SLUTSATS	58
6.2	IMPLIKATIONER	58
6.3	REKOMMENDATION	58
6.4	VIDARE ARBETE	59
6.5	DISKUSSION KRING VALIDITET, RELIABILITET OCH STUDIEN I HELHET.....	60
7	Referensers	63
	Bilagor.....	67

1 Introduktion

Kapitlet ger en bakgrund till studien och det problemområde som studien byggts upp kring. Vidare presenteras studiens syfte och dess frågeställningar. Därtill beskrivs studiens avgränsningar. Kapitlet avslutas med rapportens disposition.

1.1 Bakgrund

Studien utfördes i samarbete med företaget Brinja AB. Företaget arbetar med att göra byggarbetsplatser effektivare, säkrare och mer hållbara. Detta gör de genom att digitalisera byggarbetsplatser med olika sensorlösningar. En av företagets produkter är en uppkopplad sensorlösning för att mäta härdningsprocessen av betong, även kallat betongsensor (se Bilaga 3).

Denna betongsensor har möjligheten att underlätta och effektivisera gjutningen av betongplattor på byggarbetsplatser. Utan denna betongsensor behövs det tas stickprov från betongen utförd av specialiserad kompetens som skickas till ett laboratorium för att analysera att härdningen av betongen är rätt. Detta är ett kritiskt steg i byggarbetsprocessen för att få tillåtelse att påbörja nästa ”etapp” i byggarbetet, eftersom det finns lagar och krav kring härdningsprocessen av betong. Effektivisering av denna process förkortar byggtiden och minskar död tid för byggarbetsföretag.

Företagets betongsensor består av en inkapsling som omsluter elektroniken och kan ses som ”hjärnan” hos produkten (se Bilaga 4). Ur denna inkapsling går det en kabel som har en mätprob i andra änden (se Bilaga 5). Inkapslingen omsluter elektroniken vars funktioner är att samla mätdata i luften, skicka mätdata i form av radiovågor, starta/stänga av enheten, och förse strömkälla i form av batteri (se Bilaga 6).

Inkapslingen installeras på möjlig plats i omgivningen omkring betongen för att kunna samla mätdata i luften. Mätproben gjuts in i betongen för att samla mätdata i betongen. Denna mätdata skickas sedan till företagets molntjänst via betongsensors radiomodul. Med dessa två olika mätningar estimeras hållfastheten av betongen. Detta kan sedan läsas av i realtid i företagets egen mobilapplikation som används av ansvarig byggarbetare.

När härdningsprocessen är färdig klipps kabeln till mätproben av från betongsensors inkapsling och en ny kabel till en ny mätprob monteras in i inkapslingen. Detta för att kunna använda enheten vid nästa gjutning.

För att produkten ska kunna utföra dess uppgift behövs en lämplig inkapsling till elektroniken. Denna inkapsling är i behov av att förbättras på en mekanisk nivå som då kan kopplas till ett produktutvecklingsprojekt inom maskinteknik.

1.2 Problembeskrivning

Betongsensorns inkapsling är i dagsläget en standardiserad elektronikinkapsling (se Bilaga 4). Den har visat sig vara olämplig för ändamålet ur ett antal perspektiv, att användarens tillgänglighet att byta batteri, starta/stänga av enheten och möjligheten att fästa enheten är begränsad. Vid start/avstängning samt batteribyte av enheten som görs på byggarbetsplatsen så är elektroniken i inkapsling exponerad för smuts, vatten och mekanisk påverkan (se Bilaga 6). Inkapslingen har ingen upphängningslösning vilket gör det otympligt att installera enheten på arbetsplatser. Den standardiserade elektronikinkapslingen följer heller inte företagets formspråk.

Radiomodulen har vissa krav på antennenpassning, vilket innebär att vid material- och designval måste radioprestanda tas i beaktning. Enheten sitter mycket utsatt i ett tidigt skede av byggprocessen och utsätts för mekanisk påverkan, kraftig nedsmutsning, fukt, förorenat vatten och betongmassor. I dagsläget är betongsensorn radiofunktionell, hållfast och vattentålig (med lock på) till en önskad grad enligt Brinja. För att betongsensorn ska anses förbättrad behöver dessa egenskaper bibehållas samt att den förbättras med hänsyn till de observerade problemen hos produkten.

De relativt små volymerna som förväntas produceras gör att marginalkostnad och produktionsteknik måste analyseras. Således kan dessa problem som företaget upplever även existera hos andra företag som är i behov av en användarvänlig elektronikinkapsling med radiofunktionalitet som är utsatt av väderförhållanden. Detta är relevant i och med dagens digitalisering.

Observerade problem hos produkten

- Osmidigt att starta och stänga av enhet
- Osmidigt att byta batteri
- Finns ingen lösning för installation
- Inkapslingen följer inte företagets formspråk

Krav på produktens egenskaper från Brinja

- Radiofunktionell
- Hållfast
- Damm- och vattentålig
- Produktionskostnad inom prisram för Brinja

1.3 Syfte och frågeställningar

Syftet med arbetet är att förbättra och vidareutveckla inkapslingen av företagets betongsensor för att produkten ska bli mer attraktiv på marknaden. Detta görs utifrån de observerade problemen hos produkten och krav på produktens egenskaper från Brinja som tas upp i problembeskrivningen 1.2.

Därför formulerades följande frågeställningar:

- [1] Hur kan inkapslingen av Brinjas betongsensor förbättras med hänsyn till de observerade problemen hos produkten?
- [2] Hur kan inkapslingen av Brinjas betongsensor konstrueras för att vara möjlig att produceras för Brinja utifrån ett ekonomiskt perspektiv?

1.4 Avgränsningar

Fullständig ekonomisk analys utförs ej. Endast material, tillverknings och monteringskostnader av radiomodulens inkapsling har analyserats eftersom detta är de variabler projektet kan påverka.

Två krav för produkten är att inkapslingen inte förhindrar radiofunktionalitet samt bibehålla hållfasthet. I detta projekt avgränsas optimering av dessa krav och utgår endast från teori samt företagets tidigare upplevelser och tester. Detta bedömdes vara rimligt att avgränsa för en studie omfattande på 15 högskolepoäng.

De elektroniska komponenterna hos produkten studeras inte i studien. Detta tar företaget hand om själva. Fokus ligger på den mekaniska aspekten av inkapslingen. Testning och implementation av den framtagna produkten är beroende av elektronikens utveckling. Konsekvent innebär det att i studien utförs inte tester eller implementation av det framtagna resultatet då elektronikens utveckling inte kommer äga rum under tiden studien genomförs.

1.5 Disposition

Denna rapport börjar med att gå igenom relevanta teori för projektet och vilken arbetsmetodik som följts. När relevant teori är förklarad så fortsätter rapporten med de metoder som använts för att få fram resultatet. Dessa metoder är indelade i de olika stegen av arbetsmetodiken som förklaras i teorin. Efter det går rapporten igenom genomförandet av projektet och resultaten som dessa metoder givit. När resultaten är framtagna analyseras dessa. Sedan diskuteras implikationer av slutresultatet. Slutsatser och rekommendationer som kan dras utifrån resultatet sammanställs och vidare arbete för företaget diskuteras också. Avslutningsvis diskuteras validitet, reliabilitet och studien i helhet, bland annat vad som kunde gjorts annorlunda i studien och vad det skulle innebära.

2 Teoretiskt ramverk

Kapitlet ger en teoretisk grund som används i studieupplägget och en bas för att analysera resultatet av de frågeställningar som formulerats.

2.1 Koppling mellan frågeställningar och teori

Tabell 1: Koppling mellan frågeställningar och teori

Frågeställning	1	2
Teori		
2.2 Produktutveckling	x	x
2.3 Radiovågor	x	
2.4 Tillverkningsmetoder	x	x
2.5 Material	x	x
2.6 Ytbehandling	x	x

2.2 Produktutveckling

Produktutveckling är en process för att utveckla olika typer av produkter. Produktutveckling kan bestå utav antingen nyutveckling eller vidareutveckling där vidareutveckling är generellt sett är den dominerande typ av utvecklingsprocess [1].

Produktutveckling karakteriseras av **I**³.

- Iteration
- Integration
- Innovation

Produktutvecklingsprocessen är en iterativ problemlösningsprocess som pendlar mellan syntes och analys, där syntes är en process av skapelse. Detta kallas även för divergent problemlösning. Processen av divergent problemlösning kan beskrivas i följande steg:

1. Formulera problem
2. Bestäm kriterier
3. Sök lösningar
4. Utvärdera och välj
5. Utför

Praktiskt taget innebär detta att varje produktutvecklingsprocess bör innehålla [2]:

- Kravspecifikation
- Konceptmodell
- Prototypmodell
- Tillverkningsunderlag

Eftersom kravspecifikationen baseras på kundens krav och önskningar blir produktens användarvänlighet viktig. Användarvänligheten hos den utvecklande produkten lägger

därför bas för produktutvecklingsprocessen. Interaktionsdesign är precis vad detta handlar om. Kombinerar man divergent problemlösning med interaktionsdesign får man interaktionsdesignmetodik [3].

Många vetenskapliga områden idag är starka och mogna som akademiska forskningsområden. Detta är inte fallet för produktutveckling, mer specifikt för utvecklingsmetodik. Produktutveckling idag är ett ungt och omoget tvärvetenskapligt område med byggstenar från teknik, ekonomi och beteendevetenskap, vilket kan göra det svårt att anpassa forskningsmetodik till. Det finns alltså inte lika stark akademisk metodik och akademiskt underlag som många andra vetenskapliga principer [4].

2.2.1 Design Thinking Bootleg

Design thinking processen är en interaktionsdesignmetodik med fem faser som tydligt bryter ner komplexa problem till mindre mer hanterliga delar [5].

2.2.1.1 Empathize

Empathize är det första steget i denna produktutvecklingsprocess som innebär att observera vad kunden upplever i nuläget. Syftet är att skapa sig en förståelse för vad kunden tänker och känner i deras situation. Detta är endast en observerande fas.

2.2.1.2 Define

Det andra steget är att sammanställa observationerna från första steget och skapa en grundlig insikt om vad kunden behöver och ställer för krav. Detta kan ta form i en kravspecifikation.

2.2.1.3 Ideate

Ideate är det kreativa steget i produktutvecklingen. I detta steg sker brainstorming i syfte att ta fram potentiella koncept. Man ska helst inte vara lösningsorienterad i detta skede utan syftet är att vara kreativ för att spåna så många idéer som möjligt.

2.2.1.4 Prototype

I detta skede sållar man ut ett slutgiltigt koncept att jobba vidare på. I denna fas skapar man prototypen med lämpligaste tillverkningsmetoder. Efter att ha tagit fram en prototyp testas denna. Önskvärt är att ta fram en prototyp så snabbt som möjligt för att snabbt hitta potentiella fel efter tester (också benämnt "rapid prototyping"). Detta görs genom att ta fram grova prototyper och gå tillbaka i produktutvecklingsprocessen och ändra tills man har kommit fram till en slutprototyp som man är nöjd med.

2.2.1.5 Test

När man har tagit fram en slutprototyp och gjort den så bra man kan testas den att implementera produkten hos kunden eller på marknaden. Vid uppstående fel bör man gå tillbaka i utvecklingsprocessen och iterera fram en ny slutprototyp.

2.3 Radiovågor

Radiovågor är elektromagnetisk strålning inom ett specifikt frekvensintervall som i regel utnyttjas av människan för att transportera information trådlöst. Egenskaperna hos elektromagnetisk strålning liknar egenskaper hos vågor generellt. Radiovågor bryts, böjs, reflekteras och sprids beroende på hur vågorna interagerar med omgivningen. Radiovågor kan ej passera igenom material som är elektriskt ledande, det vill säga material som anses ha hög elektrisk konduktivitet som metall [6], [7].

2.4 Tillverkningsmetoder

2.4.1 3D-Printning (FDM)

FDM (Fused Deposition Modelling) är en additiv tillverkningsmetod inom 3D-printing. FDM bygger smält termoplastiskt polymermaterial lager på lager för att uppnå önskad geometri. Den smälta plasten blir en rand som blir synlig på geometrins yta. I förhållande till andra tillverkningsmetoder kostar 3D-printing mindre att tillverka samma geometri med i lägre volym [8].

2.4.2 Spånskärande bearbetning; fräsning

Fräsning är en subtraktiv tillverkningsmetod. Fräsningsverktyg består av bland annat fränskär som i sig består av hårdmetall med flera eggar som spänns fast i verktygets skärhållare. Fränskäret roterar i en specifik skärhastighet för att fräsa bort spån från det önskvärda materialet. Detta går att göra både manuellt och med datorer. Med datorer kallas det *computer numerical control* (CNC). CNC-fräsning utgår ofta från CAD-modeller. CNC-fräs kan operera från antingen tre axlar eller fem axlar. Med tre axlar fräses geometrin från ett håll. Med fem axlar kan geometrin fräsas från flera håll. CNC-fräsa från flera håll kostar i proportion mer än att CNC-fräsa från ett håll [9].

2.4.3 Laserskärning

Laserskärning är en process där man använder sig av en koncentrerad laserstråle för att smälta, förånga eller bränna genom material. Denna tillverkningsmetod används oftast för att skära ut metallplåt eller plastskivor. På grund av den höga precisionen krävs minimalt efterarbete. Eftersom att denna tillverkningsmetod styrs av en genomskärande laserstråle, blir den tillverkade geometrin 2D med materialets tjocklek [10].

2.4.4 Formsprutning

Formsprutning är en tillverkningsmetod som är vanlig för högvolymtillverkning. Plastgranulat matas in i en roterande skruv i en uppvärmd cylinder. Plasten smälts och injiceras sedan med högt tryck in i en form som är en vanligtvis gnistbearbetad. Materialet svalnar i verktyget och puttas sedan ut ur formen. Plastdetaljen blir formad av geometrin formen består av. Formsprutning är en tillverkningsmetod som har en hög initial kostnad i förhållande till andra tillverkningsmetoder då verktyget är dyrt att tillverka [11].

2.4.5 Vakuumformning

Vakuumformning är en tillverkningsmetod där man pressar eller drar en upphettad plastskiva eller plastfolie över en form. Detta görs genom att luften sugas ut ur maskinen underifrån för att skapa ett vakuum som drar plasten ner mot verktyget. Detta resulterar i att plasten blir en geometri som ser ut som verktyget, som en kåpa över verktyget.

Sedan tas plasten bort från verktyget när plasten har svalnat. Konsekvent av denna tillverkningsmetod är att alla detaljer kräver efterarbete för att ta bort materialet i kanten. Verktyget är relativt billigt och det är en relativt kort fabrikations tid som lätt går att skala upp efter önskad produktionsvolym [12].

2.5 Material

2.5.1 Elektronikinkapsling

Lämpligt plastmaterial för elektronikinkapsling för utomhusbruk bör ha dessa materiella egenskaper [13], [14]:

- Lämplig hållfasthet för att tåla belastning så som stötar och vikter.
- Kemiskt resistent för att bättre tåla väderförhållanden och syror
- Dimensionsstabil
- Resistent mot UV-strålning
- Termisk resistent
- Låg elektrisk konduktivitet, det vill säga elektriskt isolerande om bättre jordning utav enheten är önskvärt
- Hög elektrisk konduktivitet om skydd mot extern elektromagnetism är önskvärt

2.5.2 PETG

PETG är vanligt förekommande material att tillverka 3D-printade delar med. I förhållande till andra plaster har PETG bland annat hög slaghållfasthet, hög kemisk resistens, hög termisk resistens, hög dimensionsstabilitet och låg elektrisk konduktivitet. Dock är PETG inte särskilt UV-resistent [15], [16], [17], [18].

2.5.3 HDPE

HDPE är en av de mest använda plasterna i världen för tillverkade delar och komponenter för utomhusanvändning. I förhållande till andra plaster har HDPE bland annat hög slaghållfasthet, hög kemisk resistens, hög termisk resistens, hög UV-resistens och låg elektrisk konduktivitet. Dock har HDPE låg dimensionsstabilitet. HDPE är lätt att bearbeta, speciellt med CNC-fräs. [19], [20].

2.5.4 ABS

ABS är en av världens mest använda plaster när det kommer till elektronikinkapsling. I förhållande till andra plaster har ABS bland annat hög slagfasthet, hög kemisk resistens, hög termisk resistens, hög dimensionsstabilitet och låg elektrisk konduktivitet. Däremot är ABS inte särskilt UV-resistent [15], [21], [22].

2.5.5 PET

PET är också en av världens mest använda plaster. I förhållande till andra plaster har PET bland annat hög slagfasthet, hög kemisk resistens, hög dimensionsstabilitet, hög UV-resistens och låg elektrisk konduktivitet. Dock har PET låg termisk resistens. PET är lätt att tillverka med CNC-fräsning [23], [24].

2.5.6 Rostfritt stål 304

Rostfritt stål 304 ingår i stålgruppen som är känt för dess korrosionsbeständiga och värmeresistenta egenskaper. En av dess huvudkaraktäristiska egenskaper är denna typ

av stål innehåller minst 10,5% krom som ger dess tidigare nämnda egenskaper. Detta material används för sin korrosionsbeständighet, hög slagfasthet, renlighet, låga underhåll och återvinningsvänlighet [25].

2.5.7 Aluminium 5083

5083 Aluminiumlegering är känt för sin tålighet mot både sjövattnen och industriella kemiska miljöer. Denna legering erbjuder högsta hållfastheten av alla legeringar som inte går att värmebehandla, men bör ej användas över 65 grader Celsius. Aluminium är en av de lättaste metallerna [26], [27].

2.6 Ytbehandling

2.6.1 Anodisering av aluminium

Anodisering av aluminium är en elektrokemisk ytbehandling. I processen ökar man det naturliga oxidskiktet som bildas på aluminiumytan vid kontakt med syre. Detta gör aluminiumytan mer hållbar och används även i dekorativt syfte.

I processen för att anodisera aluminium sänks biten av aluminium ner i ett bad av elektrolytisk lösning. Ström passerar den elektrolytiska lösningen och badet bildar ett oxidskikt som tränger sig ner i metallen i stället för att enbart lägga sig på ytan av aluminiumet [28].

2.7 Kapslingsklassning

Kapslingsklassning, ofta refererat på engelska *IP code* (Ingress Protection Code), är en standardiserad metod för att bemärka hur väl en inkapsling skyddar mot damm och vatten. Nivån på skyddet en kapslingklassning ger avläses utifrån en kod enligt följande logik: "IPXX" där XX är en följd av två siffror. Första siffran indikerar inkapslingens skydd mot damm och andra siffran mot vatten [29].

Första siffran; nivåer för skydd mot damm [29]:

0. Inget skydd mot fasta föremål
1. Skydd mot fasta föremål större än 50 mm
2. Skydd mot fasta föremål större än 12 mm
3. Skydd mot fasta föremål större än 2,5 mm
4. Skydd mot fasta föremål större än 1 mm
5. Begränsat skydd mot damm
6. Fullt skydd mot damm

Andra siffran; nivåer för skydd mot vatten [29]:

0. Inget skydd vatten
1. Skydd mot vertikalt fallande vattendroppar
2. Skydd mot vattensprej upp till 15 grader från vertikalen
3. Skydd mot vattensprej upp till 60 grader från vertikalen
4. Begränsat skydd mot vattensprej från alla riktningar
5. Begränsat skydd mot vattenstrålar av lågt tryck från alla riktningar
6. Begränsat skydd mot starka vattenstrålar från alla riktningar
7. Skydd mot vatten vid nedsänkning i vatten mellan 15 cm och 1 m under 30 min.
8. Skydd mot vatten vid nedsänkning i vatten under längre perioder

3 Metod

Kapitlet ger en översiktlig beskrivning av i studien använda angreppssätt med referenser. Kapitlet avslutas med en diskussion kring studiens trovärdighet.

3.1 Experimentell konceptstudie

En experimentell konceptstudie är en kombination av en konceptuell och experimentell studie. Detta innebär att koncept genereras och sedan tas fram i verkligheten. Sedan testas detta under fysiska förhållanden för att kunna validera och utvärdera de framtagna koncepten.

3.2 Koppling mellan frågeställningar och metod

Tabell 2: Koppling mellan frågeställningar och metod

Frågeställning	1	2
Metod		
3.3.1 Gantt-schema	x	x
3.4.1 Marknadsundersökning	x	x
3.5.1 MoSCoW	x	x
3.5.2 Funktionsanalys	x	x
3.5.3 The Equalizer	x	
3.6.1 Brainstorming	x	x
3.7.1 CAD	x	x
3.7.2 Experimentell analys	x	
3.7.3 Självkostnadskalkyl		x
3.7.4 SWOT	x	x
3.7.5 Go/No-Go	x	x
3.7.6 PUGHS	x	x

3.3 Projektplan

3.3.1 Gantt-schema

Ett Gantt-schema är en metod för att planera projekt. Schemat visar vad som ska utföras, hur lång tid det ska ta och när det ska utföras [30].

3.4 Empathize

För att utföra Empathize-steget för att få förståelse för problemet kan dessa metoder användas.

3.4.1 Marknadsundersökning

Första steget i en produktutvecklingsprocess är att utföra en marknadsanalys. Det finns många olika parametrar att utforska och ta hänsyn till för att göra en utförlig analys. Två viktiga parametrar att samla information kring är marknadsinformation och produktinformation om konkurrerande produkter och kända tekniska lösningar. Det är också viktigt att konstruktören har en god uppfattning för hur användaren kommer att använda produkten. För att samla information om detta och skapa förståelse för produkten används alla tänkbara informationskällor för både produktinformation och marknadsinformation [31].

3.4.1.1 Internetsökning

En metod för att ta reda på grundlig information om marknaden av produkten vid okunnighet inom området då forskningsmaterial inte bedöms vara relevant. Detta är en dynamisk i Design Thinking-processen och har ingen specifik struktur som kan appliceras konkret.

3.4.1.2 Semistrukturerad Intervju

En intervju är en strukturerad konversation mellan två eller fler parter där ena parten utfrågar den andra för att anskaffa sig information. [32]

Vid en semistrukturerad intervju har ett frågeformulär sammanställts med frågor som ska leda intervjun. Frågeformuläret är bara vägledande och innehållet kan ändras efter respondentens svar [33].

3.4.1.3 Litteraturstudie

För att hitta relevant forskningslitteratur kan diverse sökmotorer användas så som *Primo* eller *Google Scholar*. Dessa sökmotorer används genom att söka på nyckelord för att hitta relevant litteratur för studien. Litteratur utgörs av vetenskapliga publikationer så som artiklar i tidskrifter och avhandlingar [34].

3.5 Define

För att utföra Define-steget i processen kan följande metoder användas.

3.5.1 MoSCoW

Moscow är en akronym för Must, Should, Could och Won't. Must innebär vad produkten/projektet måste uppfylla. Should innebär vad produkten/projektet bör uppfylla. Could innebär vad produkten/projektet skulle kunna uppfylla och Won't innebär vad produkten/projektet inte ska uppfylla vilket vill säga avgränsningar på produkten/projektet. Detta har använts för att snabbt utvärdera krav samt sätta upp avgränsningar för projektet/produkten [35].

3.5.2 Funktionsanalys

Funktionsanalys är en metod där man bryter ned funktioner i mindre delfunktioner för att enklare kunna se vad produkten behöver uppnå för att uppfylla de krav som satts upp. [36]

3.5.3 The Equalizer

Detta är ett verktyg för att visualisera vikten av olika designelement för en produkt. Man bryter ned hur produkten bör upplevas av kunden i adjektiv som sedan mäts mot de olika designelementen som kan justeras i hur stark korrelation det har med ett visst adjektiv [37].

3.6 Ideate

För att utföra steget Ideate där man genererar idéer kan följande metod användas.

3.6.1 Brainstorming

För att generera idéer är brainstorming det mest förekommande sättet. Det finns olika tekniker för att brainstorma där man kan dela upp metoden i antingen individbrainstorming- eller group-brainstorming [38].

3.7 Prototype

Följande metoder användes för att utföra steget Prototype.

3.7.1 CAD

För att skapa en prototyp är det vanligt att jobba i CAD program, som står för Computer Aided Design. Detta görs på datorer där man skapar 3D-modeller för att ta fram den specifika formen för produkten. Fördelarna med CAD är att det går fort att ändra geometrier och skapa tydliga ritningar som kan användas vid produktion och prototypframtagning [39].

3.7.2 Experimentell analys

Denna metod innebär att med experimentella försök tar man reda på svagpunkter och brister i ett särskilt scenario. Genom observation och dokumentation av händelseförlopp skapas underlag för produktkrav. Ett exempel på experimentell analys är krockförsök [40].

3.7.3 Självkostnadskalkyl

Självkostnadskalkyl är en metod för att ta reda på en produkts totala kostnad. I självkostnadskalkylen adderas kostnaden för tillverkning, administration, försäljning och direkta försäljning för att få fram totala självkostnaden. Tillverkningskostnaden innefattar kostnad för direkt material, direkt lön, direkt teknik/maskin, materialomkostnader, tillverkningsomkostnader och speciella direkta kostnader. [41]

3.7.4 SWOT

SWOT är en metod för att analysera hur situationen ser ut i nuläget. Metoden analyserar vad det finns för fördelar, nackdelar, möjligheter och hot för det scenariot som analyseras [42].

3.7.5 Go/No-Go

En Go/No-Go matris är en form av gate som används för att säkerhetsställa att de framtagna idéerna uppfyller minimumkraven. Den är relativt simpel då man ställer upp de väsentliga kraven och kollar om idéerna uppfyller dessa. Om alla kraven är uppfyllda för den givna idéen så får den ett "Go" och kan tas vidare till nästa steg. [43]

3.7.6 PUGHS

PUGHS-matris används för att på ett teoretiskt sätt välja den bästa av flera möjliga lösningar till ett problem. Man väger kriterierna efter hur viktiga de är och poängsätter lösningarna ut efter hur bra det uppfyller kriterierna. Man ser vilken lösning som är den optimala utifrån de krav som ställts upp genom att se vilken av lösningarna som fått flest antal totala poäng [44].

3.8 Test

På grund av avgränsningarna av studien skrivet i 1.4 utfördes inte detta steg av produktutvecklingsprocessen.

3.9 Validitet och reliabilitet

Validitet är hur säkert ett resultat eller en mätning är i förhållande till vad resultatet borde vara. Reliabilitet är hur förutsägbart ett test är och om det går att reproducera under samma förhållanden, men det säger inte om resultatet är validerat [45].

4 Genomförande och resultat

Kapitlet ger en beskrivning av studiens resultat samt studiens genomförande.

Genomförandet har följt Design Thinking-processen som förklaras i 2.2.1 och metoderna som använts vid de olika stegen av processen förklaras under respektive rubrik 3 Metod. De flesta metoder står till grund för båda frågeställningarna i studien, därför beskrivs genomförandet av båda frågeställningarna sammanflätat.

För att genomföra den experimentella konceptstudien togs koncept fram med hänsyn till material och konstruktion i syfte att utforska vad som var rimligt för företaget att gå vidare med för att förbättra de problem företaget observerat hos produkten. Tester och analyser utfördes på framtagna prototyper för att kunna utvärdera vilka koncept som uppfyllde detta. För att kunna genomföra tester och analyser på koncepten togs prototyperna fram i CAD för att i sig kunna ta fram verklighetsbaserade mock-ups av dem. Analyser bestod av självkostnadskalkyl och internetsökning för att ta reda på så som data, kunskap om komponenter, tillverkningsmetoder och fraktning, samt kostnader för dessa. Detta för att slutligen konkretisera vad de olika lösningarna kan innebära för företaget och därmed besvara frågeställningarna.

4.1 Gantt-schema

Projektet inledes med att skapa ett Gantt-schema för att strukturera, planera och uppskatta projektets olika faser och moment. Schemat har använts för att skapa struktur och tydliga delmål under projektets gång för att arbetet ska bli färdigt inom den givna tidsramen. Detta Gantt-schema var en uppskattning i början av projektet och ändrades allt eftersom projektet gick. Detta eftersom projekt har en tendens att inte alltid gå som det uppskattas i början. Scheman kan ses i bilaga 1 och bilaga 2.

4.2 Empathize

För att samla produktinformation, marknadsinformation och krav från företaget kring företagets produkter, konkurrerande produkter, teknik och teori för betongmätning, tillverkningsteknik och material för elektronikinkapslingar gjordes olika typer av observationer. Dessa observationer bestod utav litteraturanalys, internetsökningar samt semistrukturerade intervjuer med företaget. Möten var planerade veckovis med uppdragsgivaren från företaget. Under dessa möten utfördes semistrukturerade intervjuer för att samla information i kombination med besluttaganden för att gå vidare. Med detta sagt var marknadsundersökningen delvis iterativ under projektets gång.

Eftersom inkapslingen skulle innehålla radiofunktion behövdes kunskap om hur radiovågor fungerar. Litteratur studerades kring radiovågor. Semistrukturerade intervjuer utfördes med företaget kring deras erfarenhet av radiovågor i samband med deras produkter. Efter tester utförda av företaget sedan innan gällande liknande produkter i deras sortiment upptäcktes det att radiofunktionaliteten var sämre om inkapslingen var omsluten av metall. Vilket går hand i hand med teorin om radiovågor i 2.3; att precis som att elektriskt ledande material skyddar mot extern elektromagnetism kan heller ingen elektromagnetisk strålning passera ut inifrån.

4.3 Define

4.3.1 Moscow

Moscow-metoden användes i projektet som en kravspecifikation för produkten.

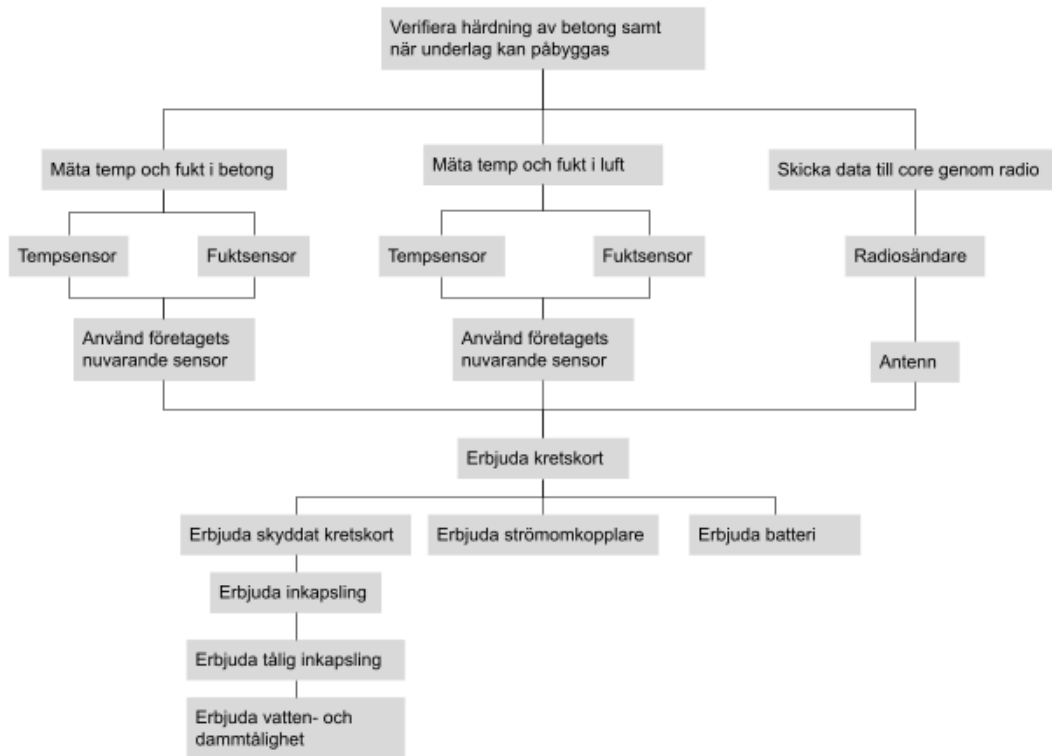
Utifrån den information som samlades in från företaget togs denna Moscow-matris fram för att definiera kraven.

Tabell 3: MoSCoW

MoSCoW	
<p>Must</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bibehålla radiofunktionalitet • Vara damm- och vattentålig • Bibehålla hållfastighet • Kunna mäta temperatur • Kosta mindre än 200kr per enhet vid minst 100st producerade 	<p>Should</p> <ul style="list-style-type: none"> • Smidig att byta batteri • Smidig att starta/stänga av • Smidig att installera • Förbättra damm- och fukttålig • Mer ekonomisk att producera
<p>Could</p> <ul style="list-style-type: none"> • Snabbare montering • Följa företagets formspråk • Enkel produktvård • Förbättra radiofunktionalitet • Förbättra hållfasthet 	<p>Won't</p> <ul style="list-style-type: none"> • De elektriska komponenterna i produkten tas hand om av företaget och studeras inte i rapporten • Kostnader som projektet ej kan förändra räknas inte med

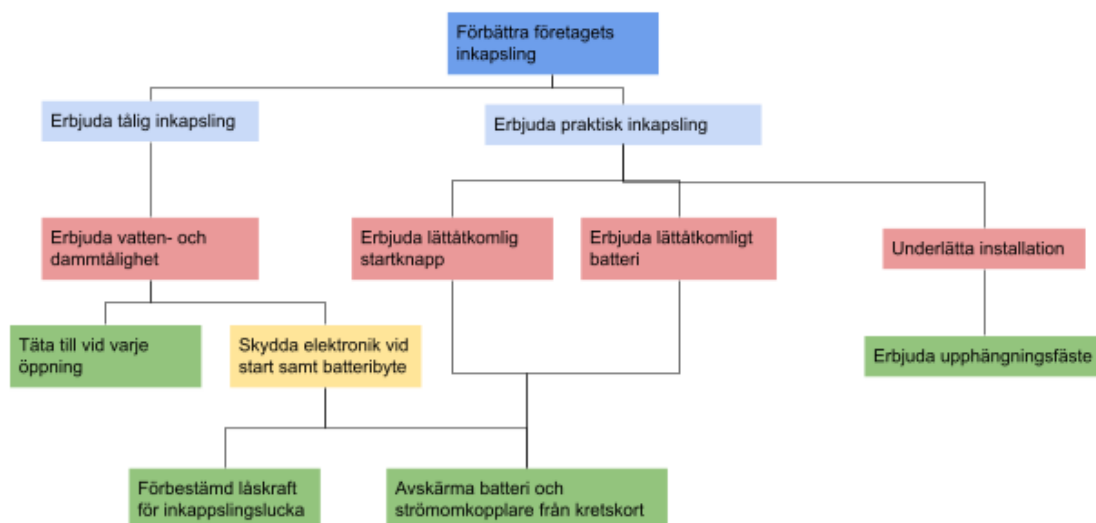
4.3.2 Funktionsanalys

Funktionsanalysmetoden användes för att bryta ner produkten i delfunktioner som sedan kunnat utvärderas i PUGHS matris i 0. I detta skede användes denna metod för att bryta ner produktens funktioner som den uppnår i dagens skede i syfte att definiera och tydliggöra produktens funktioner.



Figur 1: Funktionsanalys för produkten

Ytterligare en funktionsanalys skapades, men denna gång användes den för att bryta ner studiens huvudfunktion i delfunktioner. Detta gjordes för att lättare se vad som behövdes uppnås för att nå huvudfunktionen och uppfylla frågeställning 1.



Figur 2: Funktionsanalys för problemet

4.3.3 The Equalizer

I projektet har denna metod använts för att förstå vilka designelement som ska fokuseras på för att ta fram en produkt som passar in i företagets produktsortiment.

Utifrån företagets nuvarande produkter har deras formspråk brutits ner i följande adjektiv samt vad som får produkten att uppnå känslan av dessa adjektiv, detta kan ses i Tabell 4: The Equalizer.



Figur 3: Företagets produkter och formspråk [46]

Tabell 4: The Equalizer

Adjektiv	Form	Färg	Ljus	Material	Yta
Industrial	4	3	0	5	4
Hi-Tech	4	2	5	3	2
Edgy	5	2	2	3	4
Sturdy	5	2	1	5	5

4.4 Ideate

4.4.1 Brainstorming

Både individuell och grupporienterad brainstorming skedde i kreativa sessioner där kaotiska skisser och CAD-modeller skapades för att ta fram koncept. CAD-programmet SolidWorks användes som ett sketchverktyg för att förmedla idéer under brainstorming metoden.

För att uppfylla de funktioner som krävdes för att uppfylla frågeställning 1 genererades flera koncept som omfattade olika kombinationer av funktionerna:

- Täta till vid varje öppning,
- Erbjuder förbestämd låskraft för inkapsling
- Avskärma batteri för uppladdningsbart batteri och startknapp från kretskort
- Erbjuder upphängningsfäste

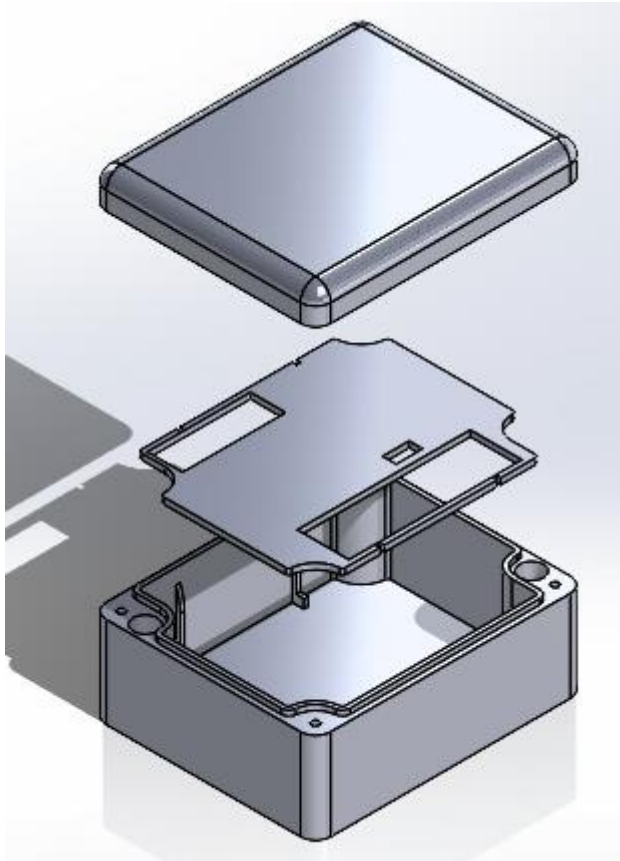
Brainstorm-sessioner ledde till att dessa funktioner konkretiserades till att erbjuda en användarvänlig lucka till batteri, till kabeln för att kunna byta sensor samt till strömomkopplare för att starta och stänga av enheten. Dessa elektroniska komponenter är separerat från ömtåliga komponenter såsom kretskort. Med andra ord; implementera ett användarvänligt utrymme, så kallat "user-space". Även gummipackningar vid varje öppning för att göra inkapslingen vatten- och dammtät. Utöver detta, ett upphängningsfäste anpassat till rör och/eller väggar för att underlätta installation. För att öka användarvänligheten föreslogs att undvika byta batteri genom att implementera ett uppladdningsbart batteri med ett USB-uttag för uppladdning. Företaget tyckte om detta förslag och insisterade att gå vidare med ett uppladdningsbart batteri i konceptgenereringen.

Det finns olika konkreta sätt att utföra dessa olika koncept i verkligheten eftersom olika tillverkningsmetoder innebär diverse olika implikationer för olika parametrar som så som designen av konstruktionen. För att uppfylla frågeställning 2 genererades olika koncept för inkapslingen baserat på vad som är realistiskt för olika tillverkningsmetoder. Dessa idéer ställdes sedan mot både kraven och varandra i PUGHS i 0.

Eftersom den framtagna produkten skulle skicka radiosignaler blev det relevant att ta hänsyn till hur radiovågor beter sig beroende på materialval och konstruktion av inkapslingen. I konceptgenerering togs materialval, konstruktion och radiovågors egenskapers hänsyn till för att inte försämra radiofunktionaliteten hos inkapslingen. Mer specifikt genererades inga koncept där radiosändaren potentiellt skulle kunna omslutas av metall, som företaget hade märkt försämrade radiofunktionaliteten hos deras andra produkter. Detta eftersom radiovågor har svårt med att passera genom metall då metall har hög elektrisk konduktivitet och elektriskt ledande förmåga vilket nämns i teoriavsnittet om radiovågor i 2.3. Konsekvent av detta ansågs plastmaterial vara det mest rimliga materialvalet för en inkapsling för att bibehålla radiofunktionen.

Idéer brainstormades om hur man skulle kunna fästa inkapslingen. En idé om att fästa en metallplatta på baksidan av inkapslingen skissades på för att smidigt kunna integrera hålbilder för olika typer av fästelement från olika håll. En metallbakplatta skulle i sådana fall även kunna framhäva företagets formspråk. Apropos företagets formspråk; alla koncept togs fram med hänsyn till företagets formspråk som definierades i The Equalizer i 4.3.3. En metallplatta skulle även kunna öka hållfastheten hos inkapslingen då metallplattans kanter skulle ta emot stötar som en "krockkudde" om inkapslingen skulle tappas.

4.4.1.1 Koncept 1: Avskärmning i färdig låda



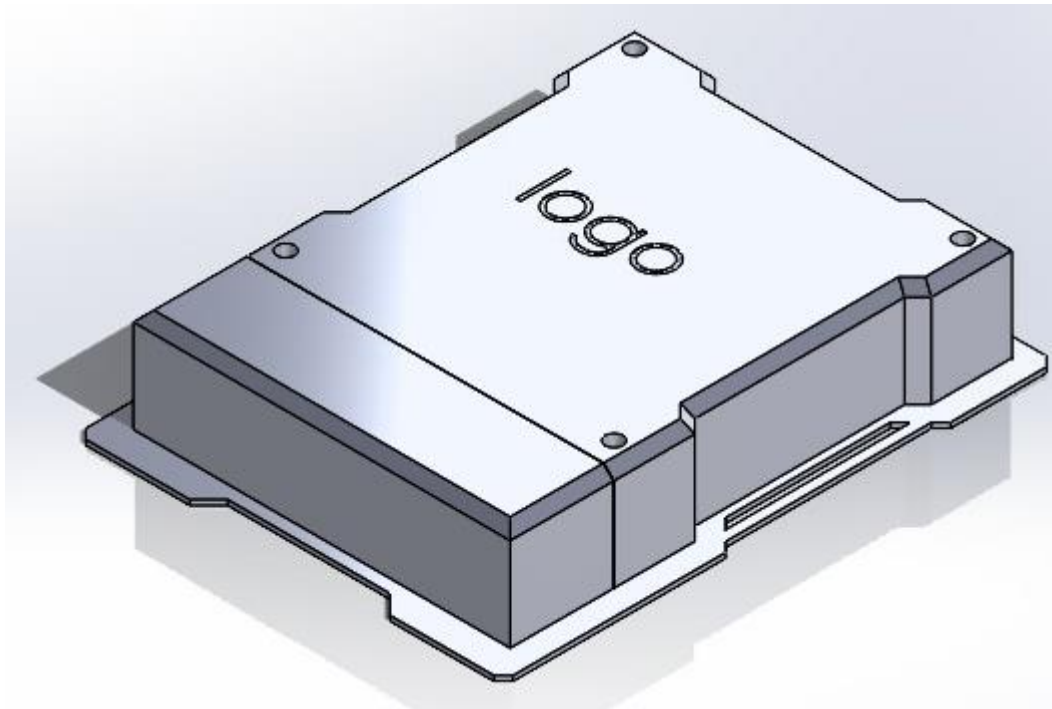
Figur 4: Koncept 1

En simpel och potentiell billig lösning som enkelt kan implementeras med företagets nuvarande produkt eller annan typ av färdig låda. Idéen är att man tillverkar en laserskuren skiva med hål för batteri och strömkopplare. Denna panel sätts in i inkapslingen och förhindrar användare från att kunna nå kretskort och andra väsentliga komponenter som ej ska röras. Hålen i skivan ger fortfarande åtkomst till de funktioner som användaren behöver interagera med vilket är att ladda batteri, starta samt stänga av enheten.

Denna lösning kan tillverkas genom laserskärning som går fort att producera. Den utnyttjar den nuvarande lösning som bibehåller hållfastheten och har IP-klassningen IP65, som gör den damm- och vattentät. Enheten är formsprutad i ABS eller PET som innebär god kvalitet på inkapslingen så som toleranser och fina ytor. Även enkel att montera för företaget. Denna idé är enkel och går snabbt att utveckla.

Utseendet av inkapslingen kommer antagligen inte förändras för att följa företagets formspråk, dimensionerna blir inte optimala och inkapslingen riskerar att bli klumpig. Man behöver fortfarande skruva av och på locket på inkapslingen för att komma åt batteri och strömkopplaren, om inte annan mer optimal låda med lucka hittas på marknaden. Att inte skruva åt locket med rätt vridmoment efter batteriladdning kan detta leda till att inkapslingen inte håller vattentätheten. Om den dras åt med för högt moment så går inkapslingens plastgångar sönder eller om den inte dras åt tillräckligt hårt uppfyller inte gummipackningen sin funktion och damm/fukt kan ta sig in.

4.4.1.2 Koncept 2: Inkapsling med lucka



Figur 5: Koncept 2

En idé är att man har två separata öppningar, en för användaren och en för företaget. Företagets lock är till för att få åtkomst till kretskort och andra väsentliga komponenter som används vid montering och underhåll. Detta lock behöver inte vara anpassat för att det ska vara smidigt att öppna för produktanvändaren. Det andra locket är för användaren och är lätt att öppna och är endast till för att kunna komma åt omkopplaren, sensorkabeln och USB-uttag för ett uppladdningsbart batteri. Detta hindrar användaren från att röra och smutsa ner viktiga komponenter runt kretskortet.

Med denna idé blir det smidigare att ladda batteri samt att komma åt strömomkopplare. Kretskortet blir mer svåråtkomligt och skyddat, detta gör produkten mer användarvänlig.

Om man tillverkar lådan själv går det att implementera företagets formspråk för produkten, möjligheten att optimera dimensionerna för inkapslingen finns. Med en egen design öppnar även fler möjligheter upp sig, som att implementera en upphängningslösning för produkten. Detta koncept kan samtidigt bli ett utvecklingskoncept för företaget därför att utveckla en egen låda kan även hjälpa företaget att utveckla deras andra produkter där liknande metodik kan appliceras. En egen design kan också innebära anpassad design för tillverkningsmetoder som formsprutning när det blir aktuellt för företaget i framtiden.

Denna lösning kan potentiellt bli dyr att tillverka och kan bli mer intressant när produktionsvolymen ökar då formsprutning blir aktuellt, vilket ligger längre fram i företagets tidshorisont. Vid mindre volymer är det mer lämpligt att använda sig av andra tillverkningsmetoder som CNC-fräsning och 3D-printing.

Koncept 2.1: Inkapsling med lucka; 3D-print (FDM)

Ett alternativ för att ta fram detta koncept är med 3D-printing.

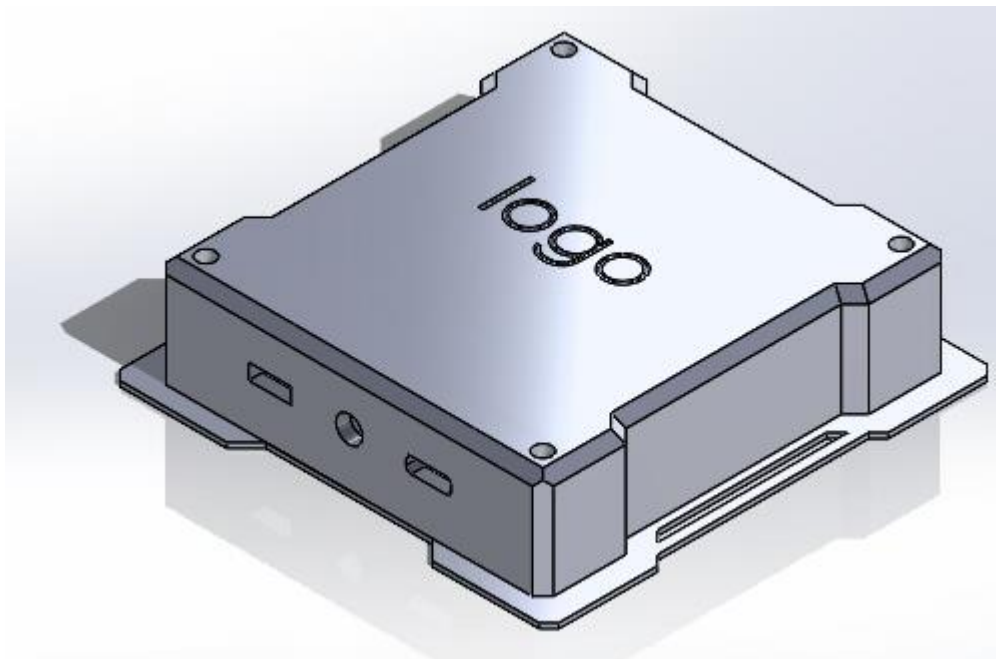
En 3D-printad lösning blir relativt enkel att montera för företaget. 3D-printing öppnar även möjligheten för företaget att ha en egen design som följer företagets formspråk då 3D-printing erbjuder möjligheter till komplex geometri. Detta kan även göras till en lägre kostnad jämfört med andra tillverkningsmetoder vid små volymer. Dock, enligt företagets erfarenhet har de haft problem med 3D-printade leveranser som har varit halvbra. Som följd utav att 3D-printing bygger lager på lager blir ytan av den tillverkade delen ojämn och kräver efterarbete.

Koncept 2.2: Inkapsling med lucka; CNC

Ett annat alternativ för att ta fram detta koncept är med CNC-fräsning.

Det kan bli potentiellt dyrt att fräsa ut en inkapsling ur ett plastblock om inkapslingen behöver ha en större tjocklek; det blir mycket spillmaterial i proportion till det material som blir kvar av inkapslingen. Möjligheterna att CNC-fräsa komplex geometri är relativt begränsad. Desto mer komplex geometrin är desto dyrare blir det att CNC-fräsa. Eftersom CNC-maskiner opererar huvudsakligen från 3 frihetsgrader (x, y, z) blir det betydligt enklare och därmed mer ekonomiskt att CNC-fräsa geometri som endast fräses ut från ett håll, det vill säga 2D- eller ”simpel” geometri. En ”komplex” geometri skulle innebära att CNC-maskinen behöver antingen operera från 5 frihetsgrader eller att en operatör vänder delen manuellt för att CNC-maskinen ska kunna tillverka en 3D-geometri. Konsekvent blir en ”komplex” geometri dyrare att tillverka, fördelen är dock att en komplex geometri möjliggör tillämpad konstruktion och design för ändamålet i större utsträckning. Efter fräsning lämnas verktygsmärken där det har skärts som behöver efterarbetning om de ej är önskvärda. Konceptet blir också relativt enkel att montera.

4.4.1.3 Koncept 3: Inkapsling utan lucka



Figur 6: Koncept 3

Det tredje konceptet är en modifiering av koncept 2 då man i stället för att ha en lucka över användarutrymmet låter de saker som användaren behöver interagera med som USB-uttag och strömkopplare sitta på utsidan på inkapslingen. Dessa kontakter och knappar kan använda komponenter av damm- och vattentät IP-klassning och därför skulle en lucka inte behöva vara nödvändig.

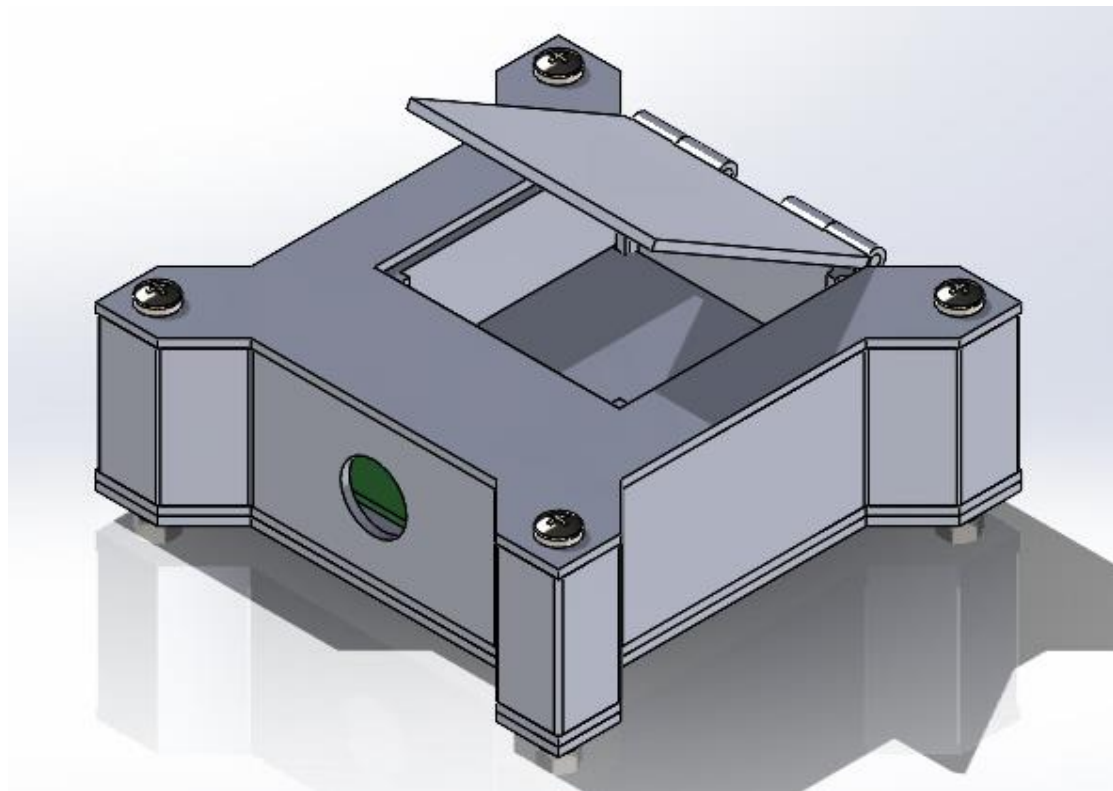
Koncept 3.1: Inkapsling utan lucka; 3D-print (FDM)

Ett alternativ att utföra detta koncept är med 3D-print. Egenskaper kring 3D-printing och vad de kan innebära för denna tillverkningsmetod nämndes i Koncept 2.1: Inkapsling med lucka; 3D-print (FDM).

Koncept 3.2: Inkapsling utan lucka; CNC

Ett annat alternativ att utföra detta koncept är med CNC-fräsning. Egenskaper kring CNC-fräsning och vad de kan innebära för denna tillverkningsmetod nämndes i Koncept 2.2: Inkapsling med lucka; CNC.

4.4.1.4 Koncept 4: Inkapsling; laserskärning

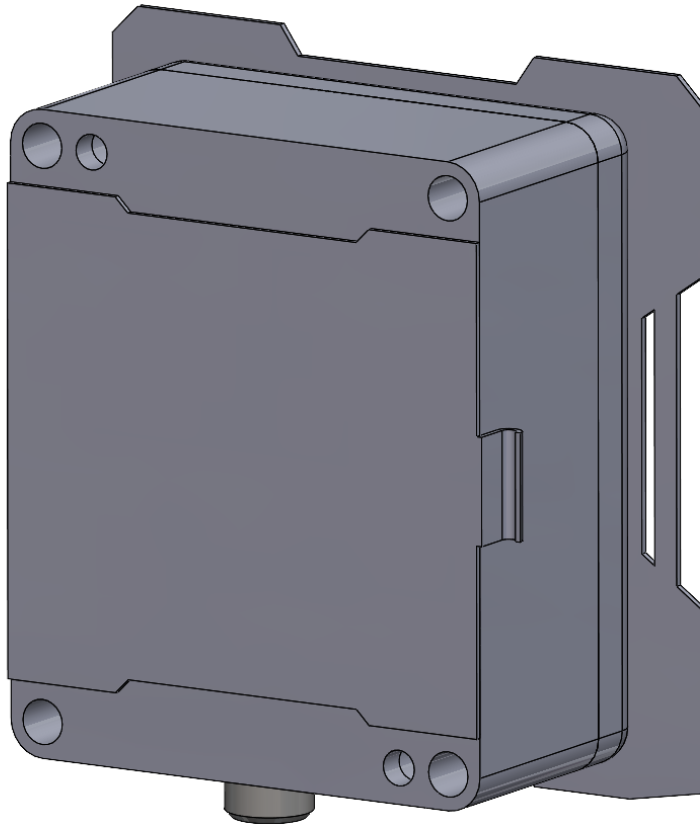


Figur 7: Koncept 4

Då laserskärning är en snabb och relativt billig tillverkningsmetod utforskades idén om att använda detta för att utveckla en inkapsling. Med laserskärning går det att skapa optimerade dimensioner för inkapslingen samt att följa företagets formspråk någorlunda eftersom konstruktionen är egengjord. Problematiken ligger i att det endast går att skapa 2D geometrier som sedan måste monteras ihop vilket skapar många skarvar som kan släppa in vatten och damm. Detta gör den även svår att montera. Även här utvecklades två separata utrymmen för användaren och företaget. En annan problematik är att det är svårt att hitta leverantörer som laserskar ut plastskivor som är tillräckligt tjockt för att skapa väggramen för inkapslingen, alternativet är att skära ut

varje vägg för sig, detta ger dock ytterligare mer skarvar som inte är önskvärt med tanke på vatten- och dammtäthet.

4.4.1.5 Koncept 5: Modifierad färdig inkapsling

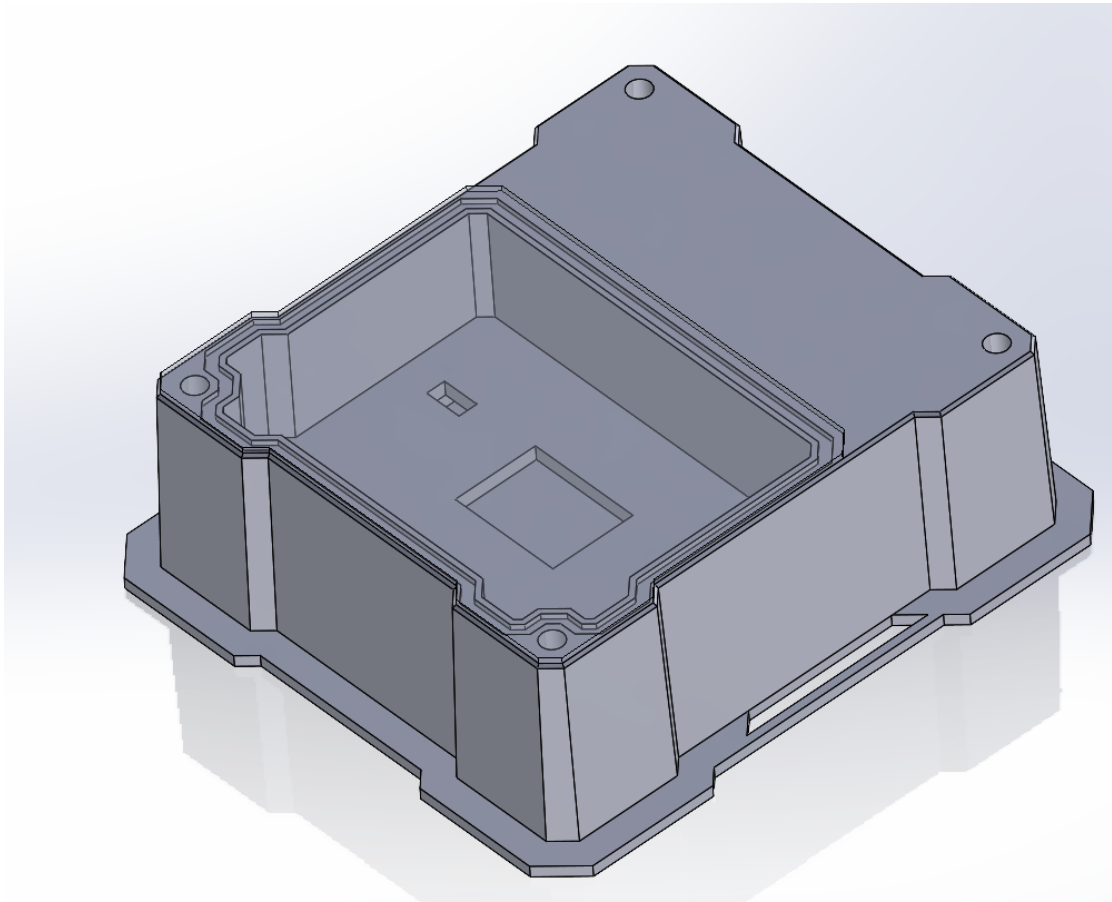


Figur 8: Koncept 5

Ett koncept där en färdig inkapsling köps in, CNC-fräser ut en hålbild för user-space samt spår för packning. En laserskuren metallplatta som monteras utanpå inkapslingens baksida för formspråk samt hållfasthet, en laserskuren metallplatta som lucka för user-space samt ett ”extra” kretskort som panel som avskärmar det ”riktiga” kretskortet från användaren. I detta extra-kretskort finns hål för att exponera endast de komponenter användaren behöver ha tillgång till.

Det är smidigt, snabbt och potentiellt billigt att anskaffa en färdig inkapsling som redan är vattentät av företag som specialiserar sig inom detta. Att köpa en färdig formsprutad inkapsling av tillverkare är fördelaktigt på det sättet det finns behov av formsprutade plastdetaljer på marknaden av intressenter som inte har möjligheter eller resurser att tillverka egna verktyg för formsprutning. Dock, att anskaffa färdiga formsprutade plastdetaljer från andra företag begränsar en att tillämpa sitt eget formspråk samt optimera för dimensioner för ens ändamål. Man är alltså begränsad av de val som finns på marknaden. Företagets formspråk kan dock följas till viss mån med de laserskurna metallplattorna. Implikationen med detta koncept är att egen vattentätning behövs ta fram för user-space-luckan.

4.4.1.6 Koncept 6: Formsprutning

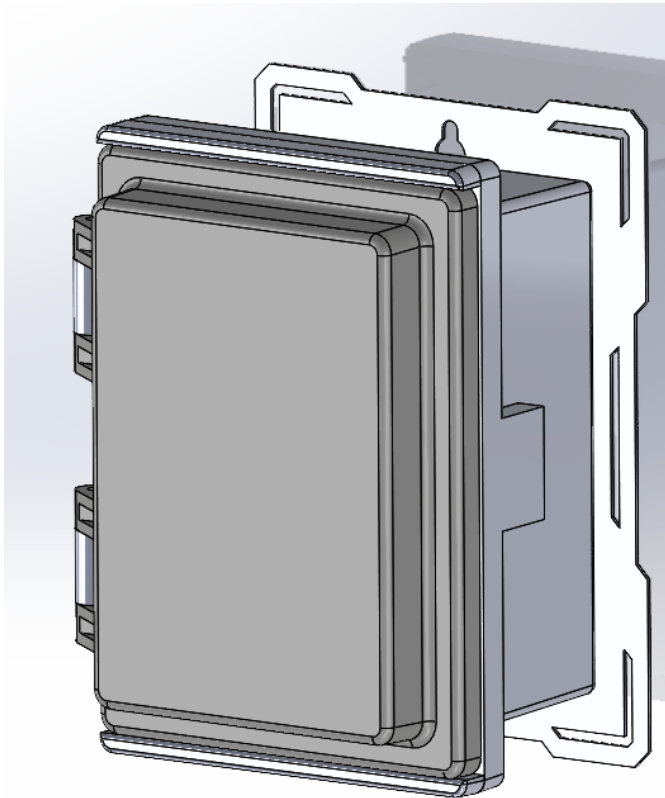


Figur 9: Koncept 6

Ett koncept där en helt egen design är framtagen som är anpassad för formsprutning. Lådan är formsprutad med ett utrymme för användaren att komma åt önskvärda funktioner och ett separat utrymme för elektroniken. De två utrymmena är sedan täckta med varsin metallucka som tillsammans med en packning tätar igen lådan.

Detta koncept möjliggör att en optimerad konstruktion och formspråk med hög kvalité för företagets produkt. Formsprutning kan potentiellt bli dyrt för företaget eftersom företagets beställningar baseras på 100st. enheter som är en relativt liten kvantitet för att formspruta i förhållande till den initiala kostnaden av denna tillverkningsmetod.

4.4.1.7 Koncept 7: Färdig inkapsling med integrerad lucka och låsmekanism



Figur 10: Koncept 7

Det finns en uppsjö av olika inkapslingar för elektronik i utomhusmiljö, ett alternativ är att hitta en ny låda som uppfyller kraven bättre än vad den nuvarande lådan gör. Inkapslingen för detta koncept innefattar integrerade gångjärn, lucka och låsmekanism. Syftet med detta är att inkapslingen får högsta kvalité på lucka, låsmekanism och vattentätning, till skillnad om man gör dessa mekanismer själv som i många föregående koncept. Detta underlättar även monterings tiden och därmed personalkostnaden. Dock får man betala för dessa integrerade mekanismer. En potentiell problematik ligger i att hitta en inkapsling som fortfarande ligger i en rimlig prisklass. För att integrera användarutrymme i detta koncept är tanken att montera ett tomt kretskort ovanför kretskortet med all elektronik för att avskilja elektroniken från användaren, och endast exponera de komponenter användaren behöver tillgång till.

4.5 Prototype

4.5.1 CAD och experimentell analys

SolidWorks användes för att ta fram konstruktion och formspråk för de olika koncepten. Konstruktionen för varje koncept baserades på två parametrar; produktens krav på funktioner samt begränsningarna och möjligheterna för de olika tillverkningsmetoderna. Att skapa koncepten i CAD gav tydlig förståelse för vad som var rimlig konstruktion för varje koncept eftersom CAD konkretiserar ens tankar och idéer. CAD möjliggjorde experiment som framtagning utav 3D-printade, laserskurna, vakuumformade mock-ups och testriggar. Experimentell analys utfördes för att ta reda på hur lämpliga vissa tillverkningsmetoder och material var för att uppfylla frågeställning 1. Inga tester gjordes för att testa radiofunktionalitet och hållfasthet. Val

av material och konstruktion för dessa parametrar avgränsades till att baseras på teori och observationer av företaget i stället som även kan läsas i avgränsningar 1.4.

För att ta reda på hur lösningförslagen uppfyllde kraven utsattes prototyper för olika experimentella analyser som testade dess egenskaper mot kraven från företaget.

Smidigheten att tillverka och montera vissa koncept uppskattades i de experimentella analyserna för att sedan kunna utvärdera smidigheten att tillverka koncepten i PUGHS matris.

4.5.1.1 3D-printing

3D-printing användes för att denna tillverkningsmetod möjliggör en snabb iterativ process vilket gjorde det enkelt att ta fram nya prototyper.

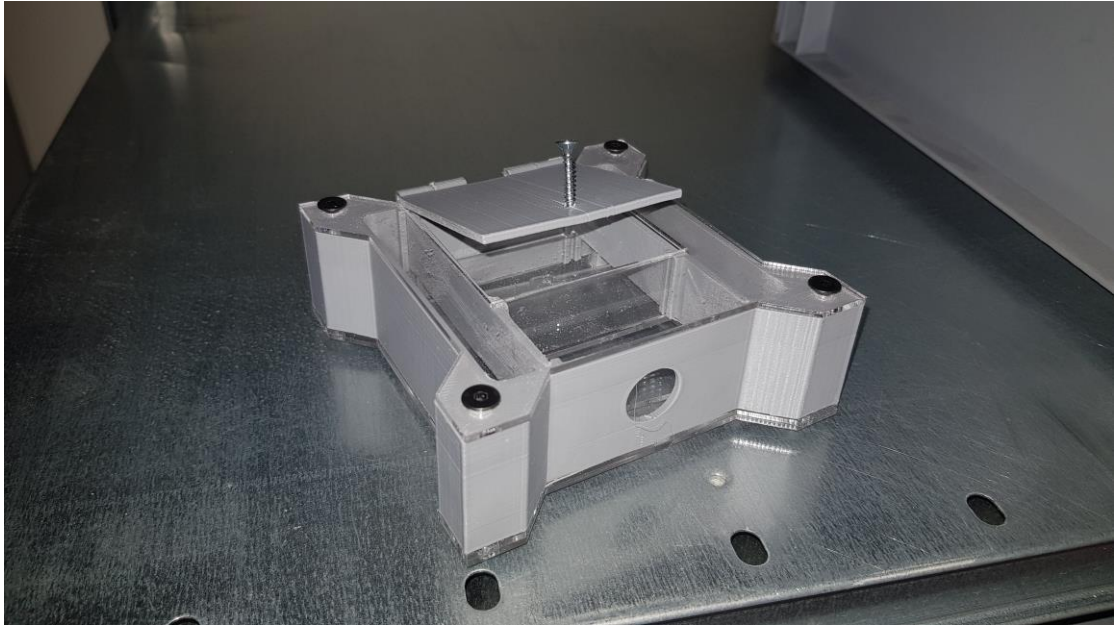
Det var smidigt att ta fram pålitliga konstruktioner med integrerat formspråk vilket resulterade 3D-printing till att kandidera till att vara ett potentiellt val av tillverkningsmetod för inkapslingen.



Figur 11: Mockup av Koncept 2: Inkapsling med lucka

4.5.1.2 Laserskärning

En inkapsling konstruerades för att kunna tillverkas med laserskärning. Insikten kom snabbt att laserskärning var otympligt att ta fram en inkapsling med. Eftersom laserskärningens tvådimensionella begränsningar togs hela inkapslingen fram i 2D-geometrier som sedan pusslades ihop. Vilket var krångligt att montera.



Figur 12: Mockup av koncept 4

4.5.1.3 Vakuumformning

Vakuumformning testades med 3D-printade verktyg. Plasten som användes för att skapa inkapslingen smälte fast i verktygen. I stället testades blockmaterial som verktyg. Hörnen av verktyget orsakade plasten att vika och "klibba ihop" sig. Med vakuumformning krävs det efterarbete hos plastdetaljen. Denna tillverkningsmetod ansågs såpass otymplig för projektets ändamål att denna tillverkningsmetod föll bort som en kandidaterande tillverkningsmetod helt och hållet.



Figur 13: Vakuumformning test 1



Figur 14: Vakuumformning test 2

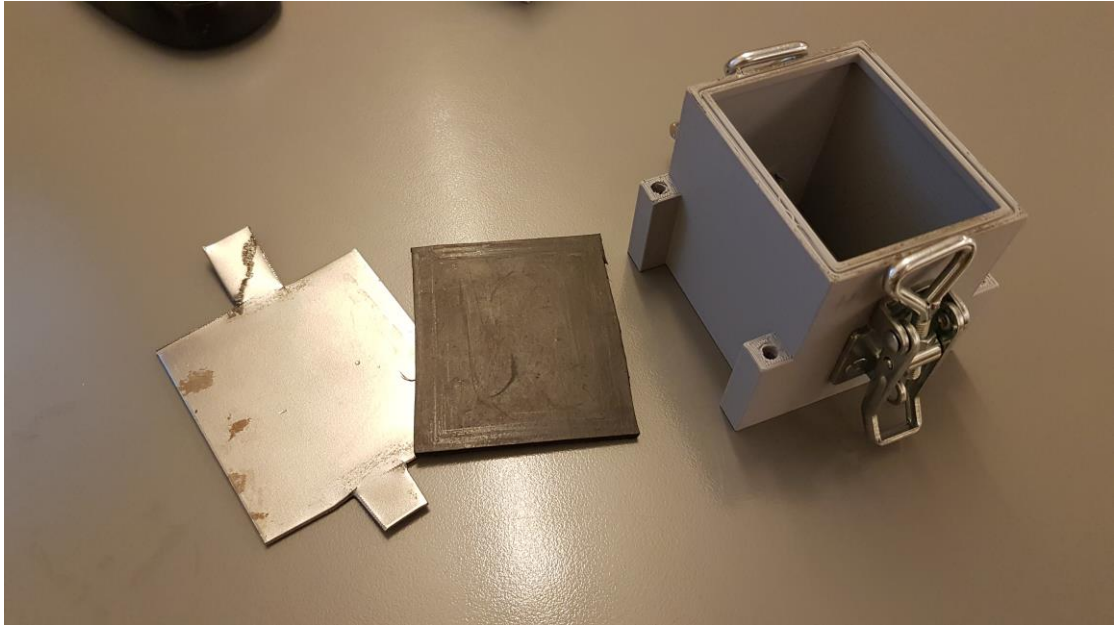
4.5.1.4 Damm- och vattentätningstest

De allra flesta experimenten som utfördes bestod utav vattentätningstester. Detta eftersom vattentätning visade sig vara den svåraste och viktigaste funktionen att uppnå.

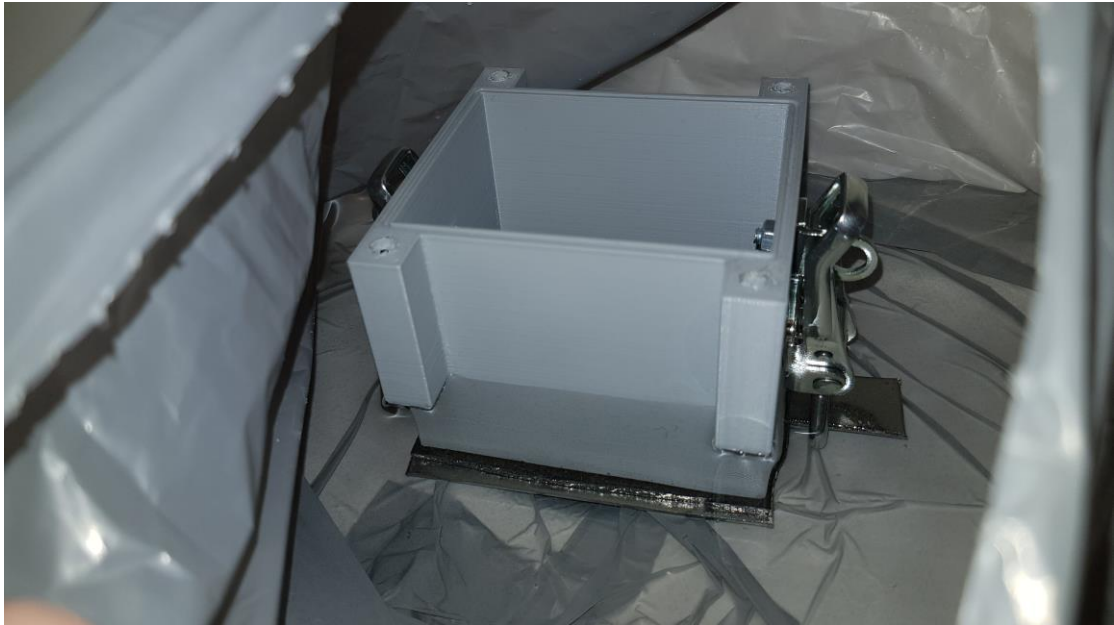
För att simulera en byggarbetsplatsmiljö där enheten i dagsläget placeras på golvet eller lågt upphängd på väggen, placerades enheten i stående grundvatten (2cm) samt utsattes för rikligt strömmande vatten i en kon ca. 60 grader från vertikalen.

För att testa vattentäthet togs olika testriggar fram med olika integrerade tätningsmaterial. Testriggarna bestod utav olika 3D-printade lådor, olika material på lucka för olika styvheter, olika låsmekanismer för att testa olika låstekniker och låskrafter. Tätningsmaterialen bestod utav gummiduk och o-ringar gjort på nitril, fönsterlist och snöre gjort på cellgummi. Locken bestod utav aluminium, stål och akryl. Låsmekanismerna bestod utav spännfästen, skruvar och tving.

Gummiduk av nitril spändes fast på en testrigg (mellan lucka och låda) och testades för vattentätning och gav opålitliga resultat. Vissa gånger blev testriggen vattentät och andra gånger inte, oavsett låskraft och låsteknik. Samma resultat gav testrigg med o-ring av nitril som tätningsmaterial. Fönsterlist och snöre av cellgummi testades för vattentäthet var och för sig med varsin testrigg. Båda typer av cellgummi visade sig göra testriggarna vattentäta, oavsett låskraft och låsteknik. Av dessa tester bedömdes både gummiduk och o-ringar av nitril ej vara lämpliga medan tätningsmaterial av cellgummi bedömdes vara godtyckligt materialval, om ett slutkoncept väljs där ett sådant val skulle bli aktuellt.



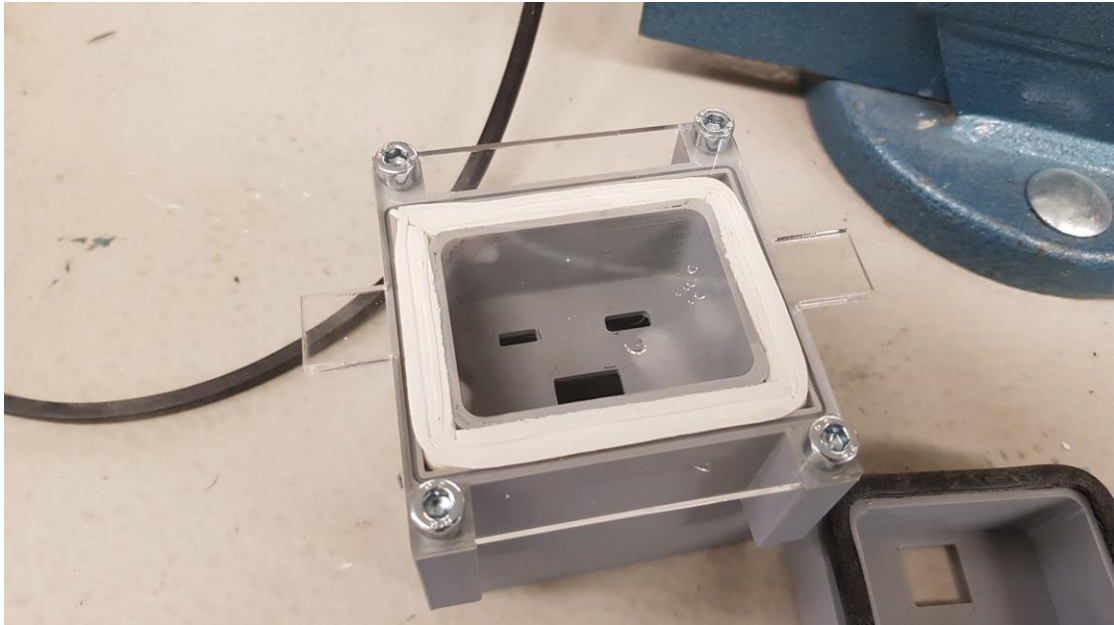
Figur 15: Stålplatta, gummiduk, 3D-printad testrigg



Figur 16: Gummiduk, vattentest



Figur 17: O-ring, tätningsmaterial



Figur 18: Fönsterlist, tätningsmaterial



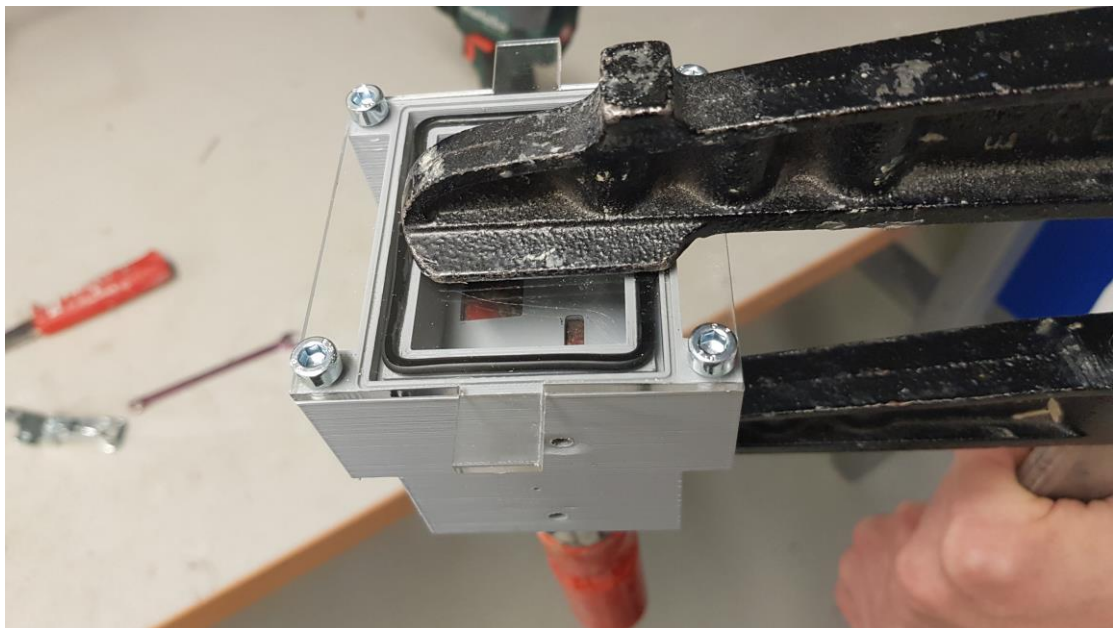
Figur 19: Cellgummisnöre, tätningsmaterial

Aluminium som lucka hade en tendens böja sig vid fastspänning vilket skapade problem vid vattentätningen. För att locket skulle göra inkapslingen vattentät behövde locket ligga helt plant mot packningsmaterialet, alltså inte vara böjt. Både stål och akryl höll styvheten bättre och därmed visade sig vara goda kandidater till materialval av lucka, om ett slutkoncept väljs där ett sådant val skulle bli aktuellt.

För att provisoriskt testa begränsningarna och möjligheterna för vattentätheten hos de olika testtriggarna användes en tving för att pressa ihop luckorna och lådorna. Detta för att skapa en jämn och stor låskraft över hela testtriggen. För alla låstekniker som testades var det endast cellgummi som gjorde testtriggarna vattentäta. Excenterlås fästes på olika testtriggar och fick luckorna, speciellt aluminium, att böja sig uppåt i mitten och nedåt utanför testtriggens kanter. För att motverka detta böjdes dessa flärpar ner för att ta bort all hävarmseffekt som orsakade detta. Excenterlåsen spände ner luckan vad som ansågs vara dugligt eftersom detta typ av spänne åstadkom vattentäthet.



Figur 20: Böjning av metallplatta



Figur 21: Tving som spänne

4.5.1.5 Smidighetstest

Smidigheten testades genom att använda framtagna testriggar i olika storlekar av användarutrymmet. Smidigheten bedömdes från en användares perspektiv där projektmedlemmarna agerade användare.

Några testriggar för olika storlekar på användarutrymmet 3D-printades för att testa vad som var en rimlig storlek på utrymme att navigera fingrarna i. Den mest rimliga

storleken ansågs vara ett användarutrymme på ungefär 70x50 mm. Dessa dimensioner bedömdes vara godtyckliga för byggarbetares karakteristiska övergenomsnittliga storlek på fingrar.



Figur 22: Userspace, testrigg

4.5.2 Materialval

De material som bedömdes vara relevanta för de framtagna koncepten var de material som tillverkare kunde tillförse baserat på koncept och tillverkningsmetod och samtidigt uppfyllde pris-, hållfasthet- och radiofunktionalitetskraven. Material och kostnad för material undersöktes hos tillverkarna HUBS, Xometry, Preformance och Takachi. De relevanta materialvalen för själva inkapslingen var PETG, HDPE, ABS och PET. För metallkomponenter var de relevanta materialvalen rostfritt stål 304 och aluminium 5083. Dessa material är vanliga inom tillverkning.

Utifrån teoriavsnittet 2.5.1 om vad för materialegenskaper en elektronikinkapsling bör erhålla ansågs dessa egenskaper matcha materialegenskaperna av PETG, HDPE, ABS och PET. Inga material uppfyllde alla kriterier för de önskvärda materialegenskaperna men alla material uppfyllde fem av sex önskvärda egenskaper, vilket ansågs vara dugligt. Materialegenskaperna som ansågs matchas var hållfasthet, kemisk resistens, termisk resistens, dimensionsstabilitet och elektrisk konduktivitet.

Tabell 5: Materialval

Önskvärda materialegenskaper för elektronikinkapsling utifrån 2.5.1	PETG	HDPE	ABS	PET
Hög slaghållfasthet	X	X	X	X
Hög kemisk resistens	X	X	X	X
Hög termisk resistens	X	X	X	
Låg elektrisk konduktivitet	X	X	X	X
Hög dimensionsstabilitet	X		X	X
Hög UV-resistens		X		X

Av de nämnda materialen som tillverkarna erbjöd för 3D-printing var PETG och ABS. För CNC-fräsning var det PET, HDPE och ABS. För laserskärning var det PETG, ABS, PET, aluminium 5083 och rostfritt stål 304. För egen formsprutad inkapsling och färdigköpt formsprutad inkapsling var det ABS.

4.5.3 Självkostnadskalkyl

Företaget skapar ej sina produkter själva utan de använder sig utav underleverantörer för att anskaffa material. Hos olika underleverantörer kan man skicka in CAD-modeller och få kostnaden kalkylerad automatiskt för vald tillverkningsmetod samt material. Kostnad för varje tidigare nämnd tillverkningsmetod togs fram för att jämföras med varandra. Detta gjordes i syfte att skapa en prisuppskattning för en framtiden inkapsling för respektive koncept. Olika underleverantörer jämfördes med varandra prismässigt. De leverantörerna som ansågs mest prisvärda var HUBS, Xometry, Preformance och Takachi. De priser som jämfördes med varandra var baserat på pris/enhet vid en kvantitet av 100, som var utifrån kravet från företaget.

Tillverkningskostnad i självkostnadskalkylen innefattar kostnad för direkt material, direkt lön, direkt teknik/maskin, materialomkostnader, tillverkningsomkostnader och speciella direkta kostnader. Att gå in på detalj om vad dessa kostnader innebär anses ej relevant då varje tillverkningskostnad som analyserades i projektet blev kvoter från olika underleverantörer. Monteringskostnad av produkten blir ett undantag då detta utförs på företaget. Detta innebär att lönekostnader är beroende på hur lång tid det tar att montera en enhet är relevant. Administrationsomkostnader omfattar företagets kontorsresurser vilket ej påverkas av projektets resultat så det anses ej relevant. Försäljningsomkostnader och direkta försäljningskostnader är de två resterande kostnaderna i självkostnadskalkyl som avgränsades då dessa kostnadsfaktorer inte

bedömdes som relevant för projektet av företaget. Resultatet blev en modifierad version utav denna metod som endast innefattade tillverkningskostnad och monteringskostnad. Självkostnaden räknades ut som summan utav dessa två.

Priserna i följande tabeller är de billigaste kombinationerna från de nämnda underleverantörerna.

Tabell 6: Sammanfattning pris

Koncept	Pris
1. Avskärmning i färdig inkapsling	46 kr
2.1 Inkapsling med lucka (3D-print)	245 kr
2.2 Inkapsling med lucka (CNC)	368–413 kr
3.1 Inkapsling utan lucka (3D-print)	317 kr
3.2 Inkapsling utan lucka (CNC)	387–419 kr
4. Inkapsling (laserskärning)	419 kr
5. Modifierad färdig inkapsling	188 kr
6. Formsprutning	921 kr
7. Färdig inkapsling	130 kr

Tabell 7: Kostnad för komponenter

Komponentkostnader	
Skruv (M4x40)	1 kr/st
Cellgummi (5x5mm)	24 kr/m
Excenterlås	22 kr/st
Monteringspris	
Ingenjör	6,25 kr/min

4.5.3.1 Koncept 1 (Avskärmning i färdig låda)

Tabell 8: Kostnad koncept 1

Inkapslingskostnad	
Befintlig inkapsling	30 kr
Laserskuren avskärmning (akryl)	16 kr
Totalt:	46 kr

4.5.3.2 Koncept 2.1 (Inkapsling med lucka; 3D-print (FDM))

Tabell 9: Kostnad koncept 2.1

Inkapslingskostnad	
PETG (alt. 1)	69 kr
ABS (alt. 2)	87 kr
Metallbottenplatta	50 kr
Komponentkostnad	
Excenterlås x 2	44 kr
Packning x 2	15 kr
Skruv x 4	4 kr
Estimerad monteringskostnad	
Tid ca 10 min	63 kr
Totalt:	245 kr (PETG)

4.5.3.3 Koncept 2.2 (Inkapsling med lucka; CNC)

Tabell 10: Kostnad koncept 2.2

Inkapslingskostnad	Simpel geometri	Komplex geometri
PET (alt. 1)	192 kr	241 kr
ABS (alt. 2)	198 kr	244 kr
HDPE (alt. 3)	205 kr	237 kr
Metallbottenplatta	50 kr	

Komponentkostnad		
Excenterlås x 2	44 kr	
Packning x 2	15 kr	
Skruv x 4	4 kr	
Monteringskostnad		
Tid ca 10min	63 kr	
Totalt:	368 kr (PET)	413 kr (HDPE)

4.5.3.4 Koncept 3.1 (Inkapsling utan lucka; 3D-print (FDM))

Tabell 11: Kostnad koncept 3.1

Inkapslingskostnad	
PETG (alt. 1)	48 kr
ABS (alt. 2)	61 kr
Metallbottenplatta	50 kr
Komponentkostnad	
Packning x 1	8 kr
Skruv x 4	4 kr
Pålägg för vattentäta komponenter	
USB-C	60 kr
Strömomkopplare	25 kr
Kopplingslåda för terminalblock	90 kr
Monteringskostnad	
Tid ca 5min	32kr
Totalt:	317 kr (PETG)

4.5.3.5 Koncept 3.2 (Inkapsling utan lucka; CNC)

Tabell 12: Kostnad koncept 3.2

Inkapslingskostnad	Simpel geometri	Komplex geometri
PET (alt. 1)	118 kr	164 kr
ABS (alt. 2)	122 kr	166 kr
HDPE (alt. 3)	137 kr	150 kr
Metallbottenplatta	50 kr	
Komponentkostnad		
Packning x 1	8 kr	
Skruv x 4	4 kr	
Pålägg för vattentäta komponenter		
USB-C	60 kr	
Strömomkopplare	25 kr	
Kopplingslåda för terminalblock	90 kr	
Monteringskostnad		
Tid ca 5 min	32kr	
Totalt:	387 kr (PET)	419 kr (HDPE)

4.5.3.7 Koncept 4 (Inkapsling; laserskärning)

Möjligheterna att laserskära tillräckligt tjocka plattor (>20mm) för projektets ändamål hos diverse leverantörer var begränsade. De delar som behövde ha större tjocklek konstruerades för att i stället 3D-printas eller CNC-fräsas. Detta koncept blev då istället en kombination utav laserskärning och 3D-print eller CNC-fräsning.

Tabell 13: Kostnad koncept 4

Inkapslingskostnad	
Laserskurna plastdelar (ABS)	101 kr
PETG (3D-print) (alt. 1)	117 kr
ABS (3D-print) (alt. 2)	140 kr
PET (CNC) (alt. 3)	245kr
ABS (CNC) (alt. 4)	244 kr
Metallbottenplatta	50 kr
Komponentkostnad	
Packning x 1	18 kr
Skruv x 8	8 kr
Monteringskostnad	
Tid ca 20 min	125 kr
Totalt:	419 kr (ABS + PETG)

4.5.3.9 Koncept 5 (Modifierad färdig inkapsling)

Tabell 14: Kostnad koncept 5

Inkapslingskostnad	
Inkapsling (med CNC-fräst hålbild)	48 kr
Metalllucka	45 kr
Metallbottenplatta	50 kr
Komponentkostnad	
Skruv x 8	8 kr
Packning x 2	6 kr
Monteringskostnad	
Tid ca 5min	31 kr
Totalt:	188 kr

4.5.3.10 Koncept 6 (Formsprutning)

Olika företag som sysslar med formsprutning kontaktades för att ta fram hur mycket det skulle kosta att ta fram ett verktyg för en egengjord konstruktion optimerat för företagets formspråk och komponenternas dimensioner.

Tabell 15: Kostnad formsprutning

Formsprutning	
Fackverktyg	69 000 kr
Ställkostnad	2000 kr
Formsprutnings kostnad per låda:	$(69\,000 + 2000) / 100 = 710\text{kr}$

Tabell 16: Kostnad koncept 6

Inkapslingskostnad	
Formsprutad låda	710kr
Metallbottenplatta	50kr
Metalllucka	45kr
Komponentkostnad	
Packning x 2	18 kr
Skruv x 4	4 kr
Monteringskostnad	
Tid ca 15 min	94 kr
Totalt:	921 kr

4.5.3.11 Koncept 7 (Färdig inkapsling med färdig lucka och låsmekanism)

Vid undersökning av att hitta en inkapsling för koncept 7 som bestod av rimlig kostnad hittades elektronikinkapslingen BCAP091207G hos leverantören Takachi (se Bilaga 7). Denna inkapslingen bestod av IP-klassning IP65 som gör den damm- och vattentålig.

Tabell 17: Kostnad koncept 7

Inkapslingskostnad	
Inkapsling	70 kr
Metallbottenplatta	50 kr
Komponentkostnad	
Skruv x 4	4 kr
Monteringskostnad	
Tid ca 1 min	6 kr
Totalt:	130 kr

4.5.4 SWOT

SWOT användes för att kartlägga fördelar, nackdelar, möjligheter och hot för de olika koncepten som genererades. Detta gjordes för att skapa en klarare bild över varje koncept för att motivera och underlätta koncepturval.

4.5.4.1 Koncept 1

Tabell 18: SWOT Koncept 1

SWOT (Koncept 1)	
Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> • Billig • Snabb och enkel montering • IP-klassning för vatten- och dammtäthet • Fin yta 	<ul style="list-style-type: none"> • Följer inte företagets formspråk • Ej optimerade dimensioner • Skruvar för att ta bort locket • Låst till lådor som finns på marknaden • Krånglig att använda • Avskiljer inte användaren från kretskort helt
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> • Kan sälja billigt • Enkelt att implementera • Laserskärning 	<ul style="list-style-type: none"> • Lätt produkt att efterlikna • Tillverkaren slutar producera lådan

4.5.4.2 Koncept 2.1

Tabell 19: SWOT Koncept 2.1

SWOT (Koncept 2.1)	
Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> • Optimerade mått • Följer företagets formspråk • Realistiskt pris • Relativt enkel att montera • Avskiljer användare från kretskort 	<ul style="list-style-type: none"> • Låg produktionshastighet • Dålig yta utan efterarbete • Fixa egen tätning • Lägre hållfasthet
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> • Igenkänningsbar design på arbetsplats • Kan konstruera design för att sedan övergå till formsprutning • Kan hjälpa företaget utveckla sina andra produkter 	<ul style="list-style-type: none"> • Kvalitet på 3D-print beror på leverantör

4.5.4.3 Koncept 2.2

Tabell 20: SWOT Koncept 2.2

SWOT (Koncept 2.2)	
Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> • Optimerade mått • Följer företagets formspråk • Relativt enkel att montera • Avskiljer användare från kretskort 	<ul style="list-style-type: none"> • Fixa egen tätning • Mycket spillmaterial (dyrt, miljövänligt)
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> • Igenkänningsbar design på arbetsplats • Kan konstruera design för att sedan övergå till formsprutning • Kan hjälpa företaget utveckla sina andra produkter 	<ul style="list-style-type: none"> •

4.5.4.4 Koncept 3.1

Tabell 21: SWOT Koncept 3.1

SWOT (Koncept 3.1)	
Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> • Optimerade mått • Följer företagets formspråk • Enkel att montera • Avskiljer användare från kretskort • Behöver ej fixa lucka och låsmekanism 	<ul style="list-style-type: none"> • Fixa egen tätning • Måste köpa IP-klassade användarkomponenter (dyrt) • Låg produktionshastighet • Dålig yta utan efterarbete • Lägre hållfasthet
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> • Igenkänningsbar design på arbetsplats • Kan sälja relativt billigt 	<ul style="list-style-type: none"> • Kvalitet på 3D-print beror på leverantör

4.5.4.5 Koncept 3.2

Tabell 22: SWOT Koncept 3.2

SWOT (Koncept 3.2)	
Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> • Optimerade mått • Följer företagets formspråk • Enkel att montera • Avskiljer användare från kretskort • Behöver ej fixa lucka och låsmekanism 	<ul style="list-style-type: none"> • Fixa egen tätning • IP-klassade användarkomponenter för damm- och vattentäthet (dyrt) • Mycket spillmaterial (dyrt, miljövänligt)
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> • Igenkänningsbar design på arbetsplats 	<ul style="list-style-type: none"> •

4.5.4.6 Koncept 4

Tabell 23: SWOT Koncept 4

SWOT (Koncept 4)	
Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> • Relativt optimerade dimensioner • Följer företagets formspråk någorlunda 	<ul style="list-style-type: none"> • Svårt att få till vattentäthet med många skarvar • Jobbig montering • Dyr att tillverka
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> • Igenkänningsbar design på arbetsplats 	<ul style="list-style-type: none"> • Hitta leverantörer för att laserskära tillräckligt tjocka plastskivor

4.5.4.7 Koncept 5

Tabell 24: SWOT Koncept 5

SWOT (Koncept 5)	
Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> • Fin yta • Relativt rimligt pris • Bra hållfasthet • IP-klassning för vatten- och dammtäthet mellan låda och lock • Relativt enkel att montera • Följer företagets formspråk hyfsat 	<ul style="list-style-type: none"> • Låst till de lådor som finns på marknaden • Inte optimerade mått • Fixa egen tätning mellan låda och lucka
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> • Hyfsad igenkänningsbar design på arbetsplats 	<ul style="list-style-type: none"> • Leverantör slutar tillverka inkapslingen

4.5.4.8 Koncept 6

Tabell 25: SWOT Koncept 6

SWOT (Koncept 6)	
Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> • Fin yta • Följer företagets formspråk • Optimerade dimensioner • Relativt enkel att montera • Bra hållfasthet 	<ul style="list-style-type: none"> • Väldigt dyrt vid låg orderkvantitet • Fixa egen tätning
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> • Igenkänningsbar design på arbetsplats • Kan använda låda för andra produkter 	<ul style="list-style-type: none"> •

4.5.4.9 Koncept 7

Tabell 26: SWOT Koncept 7

SWOT (Koncept 7)	
Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> • Fin yta • Endast montering för kabelförskruvning • Bra hållfasthet • IP-klassning för vatten- och dammtäthet • Integrerade gångjärn, fäste och lucka (behöver ej utveckla själv) • Enkel åtkomst till användarutrymme • Billigt 	<ul style="list-style-type: none"> • Låst till de lådor som finns på marknaden • Inte optimerade mått • Svårt att integrera företagets formspråk
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> • Sälja billigt 	<ul style="list-style-type: none"> • Lätt produkt att efterlikna • Tillverkaren slutar producera inkapslingen

4.5.5 Go/No-Go

Go/No-Go användes i projektet för att kolla att idéerna uppfyller de grundläggande kraven från företaget för att sedan kunna gå vidare för sållning i PUGHS, 0.

Kraven är tagna från ”must”-delen av Moscow-metoden i 4.3.1 som utfördes i början av arbetet. Då dessa var de krav som behövde uppfyllas för att produkten skulle fungera. De koncept som uppfyllde alla krav var koncept 1, 5 och 7.

Tabell 27: Go/NoGo

Go/NoGo									
Krav	Koncept 1	Koncept 2.1	Koncept 2.2	Koncept 3.1	Koncept 3.2	Koncept 4	Koncept 5	Koncept 6	Koncept 7
Bibehållen radiofunktionalitet	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Damm- och fukttålig	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y
Uppfyller hållfasthetskraven	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Kan mäta temperatur	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Kosta mindre än 200 kr vid 100 producerade	Y	N	N	N	N	N	Y	N	Y
Godkänd	Y	N	N	N	N	N	Y	N	Y

4.5.6 PUGHS

PUGHS användes i projektet för att ta fram ett slutgiltigt koncept. Företagets nuvarande inkapsling användes som referens Bilaga 4. Kraven använda i PUGHS är tagna från Moscow-metoden i 4.3.1 som utfördes i början av arbetet. Dessa utvecklades och viktades sedan utav uppdragsgivaren på företaget då denna person har arbetat länge med produkten och har kunskap om produktanvändaren. Utav de koncept som klarade Go/No-Go-matrisen fick koncept 5 och 7 högst poäng i PUGHS.

Anledningen till att även de koncept som inte klarade Go/No-Go-matrisen utvärderades i PUGHS är för att det sätta priset i Must-kravet kan ändras om resultatet är så pass bra att företaget anser det värt att investera i en sådan lösning.

Tabell 28: PUGHS

PUGHS											
Krav	Vikt 1-5	Nuvarande produkt	Koncept 1	Koncept 2.1	Koncept 2.2	Koncept 3.1	Koncept 3.2	Koncept 4	Koncept 5	Koncept 6	Koncept 7
Radiofunktionalitet	5	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
Damm- och fukttålig (Elektronik)	5	0	1	5	5	5	5	-3	1	5	4
Damm- och fukttålig (User space)	2	0	0	5	5	2	2	-3	4	4	5
Förbättrad hållfasthet	4	0	0	-1	1	-1	1	-3	1	1	1
Smidigt på och av/batteribyte	3	0	1	4	4	5	5	3	3	3	3
Smidig installation	3	0	0	3	3	3	3	1	3	3	3
Smidig montering	3	0	-1	-2	-4	-1	-2	-5	-4	-3	3
Pris	2	0	0	-2	-4	-3	-4	-5	-2	-5	-1
Följa företagets formspråk	4	0	0	5	4	5	4	3	3	5	2
Produktvård (Brinja)	2	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	2
Produktvård (Kund)	4	0	1	2	2	1	1	3	3	3	5
-		0	-5	-14	-20	-13	-14	-58	-16	-19	-2
+		0	8	89	89	82	82	36	64	92	89
Summa		0	3	75	69	69	68	-22	48	73	87

4.6 Prototype: Iteration utav slutkoncept

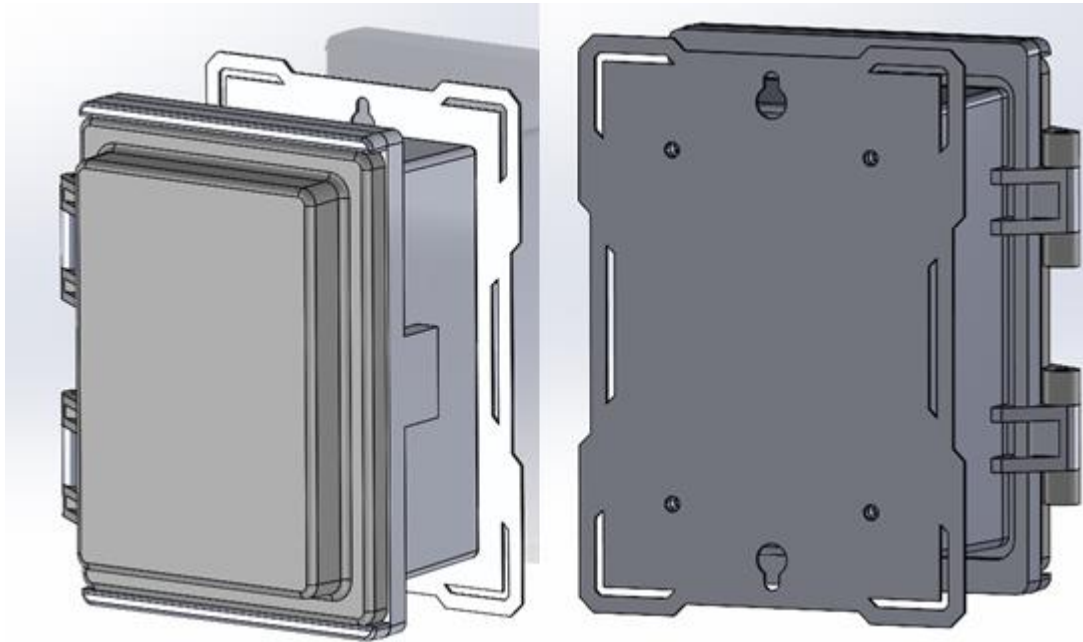
När ett eller flera koncept togs fram utvärderades koncepten tillsammans med företaget. Om det framtagna förslaget inte godkändes itererades projektet tillbaka till *Ideate* för att förbättra eller ta fram andra förslag följt av *Prototype*. I genomförande av denna sektion skrivs det om iterationer utav endast det slutgiltiga konceptet. Iterationer utav resterande koncept bedöms som underlag för att ta fram det slutgiltiga konceptet. Detta för att skapa en mer strukturerad sammanhängande logisk röd tråd i rapporten då iterationer i Design Thinking-metodiken snabbt gör processen kronologiskt rörig.

Utifrån resultatet från PUGHS samt dialog med företaget ansågs koncept 7 som det överlägsna konceptet och valdes därmed som slutkoncept. Detta valdes på grund av hur mycket man får för pengarna och även att det har god marginal till företagets priskrav. Damm- och vattentätighet samt lucka och låsmekanism är av högre kvalitet än om man

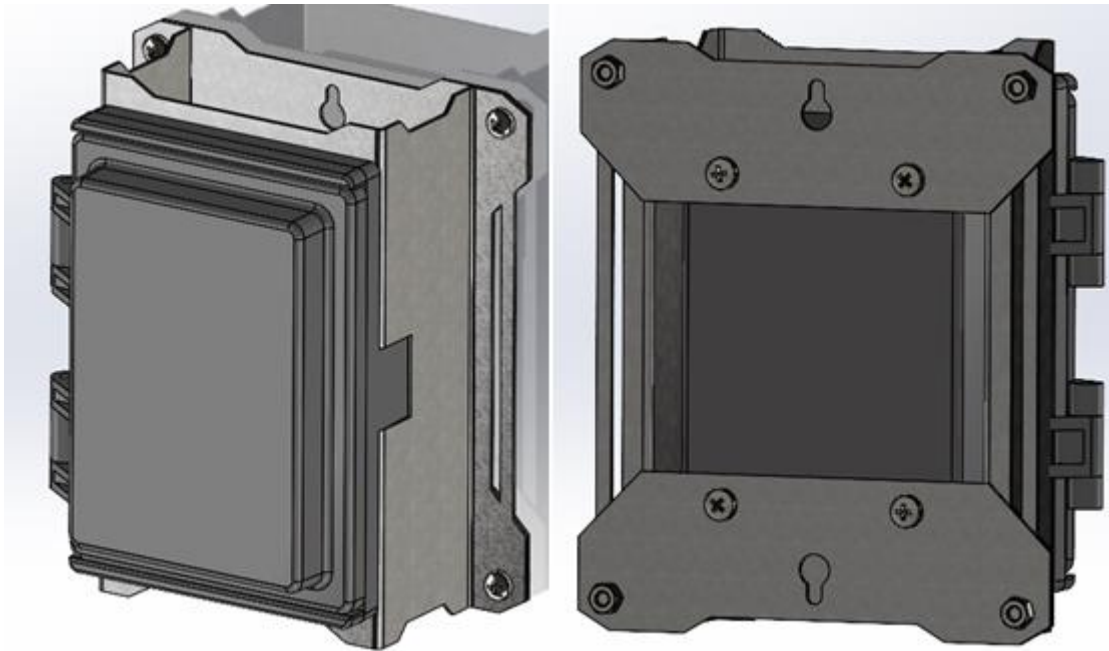
skulle konstruera detta själv. Dessa mekanismer är redan integrerade i denna färdigköpta inkapsling. Efter att ha valt slutkoncept itererades utvecklingen av detta fram till en slutprototyp.

4.6.1 Utveckling utav slutkoncept

Den färdigköpta inkapslingen ansågs vara klumpig och oattraktiv, därför var det väsentligt att försöka integrera företagets formspråk hos detta koncept så gott som möjligt. Den enda möjligheten som sågs för att kunna integrera företagets formspråk hos inkapslingen var att framföra företagets formspråk genom design utav metallbakplattan. Två koncept togs fram till företaget och presenterades. Det ena konceptet, 7.1, bestod utav en färdig inkapslingen och en metallbakplatta med integrerade fästhål. Fördelen med detta koncept var att det skulle vara simpelt att montera och även vara billigt. Nackdelen var att formspråket inte riktigt kom fram och att produkten såg ut som att bestå utav ”två delar”. Det andra konceptet, 7.2, som presenterades hade betydligt mer komplex geometri; en bockad metallplatta för att få inkapslingen och metallbakplattan att se ut som ”en del”. På detta sätt blev formspråket också bättre integrerat. Nackdelen med detta var att monterings tiden skulle bli längre samt materialkostnaden skulle bli betydligt högre.



Figur 23: Koncept 7.1



Figur 24: Koncept 7.2

Företaget ansåg att koncept 1 var mer relevant att inrikta sig på utifrån en rad olika anledningar, koncept 7.2 skulle:

- Bli betydligt dyrare
- Bli dyr i förhållande till funktion som metallen bidrar med
- Få sämre radioprestanda
- Få vassa kanter av metallen
- Oattraktiv design

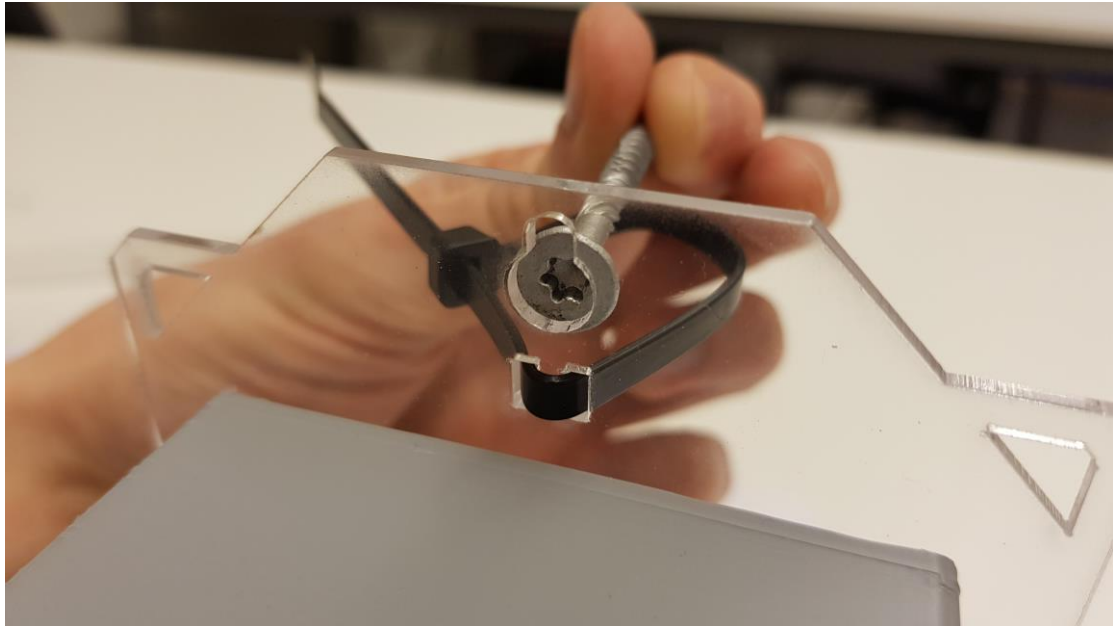
Företagets kritik mot koncept 7.1 var:

- Skruv- och spikhålen skulle behöva bli mer lättåtkomligt för användaren.
- De vinkelräta hålen i kanterna inte bidrog till funktion samt försämrade hållfastheten hos metallplattan
- De avlånga, vertikala hålen var för smala; det är önskvärt för byggarbetare att kunna vrida på buntband om buntband har fästs på "fel håll" i inkapslingen.

Företaget nämnde även att en transparent lucka skulle vara önskvärt för att byggarbetare ska kunna ha insyn till användarutrymmet. Även att avståndet mellan metallplatta och inkapsling bör vara noll (detta avstånd i både koncept 7.1 och 7.2 var 2 mm) eftersom massa smuts annars kan fastna i detta utrymme. Utifrån denna kritik itererades utvecklingen av koncept 7.1 och en ny konstruktion togs fram.

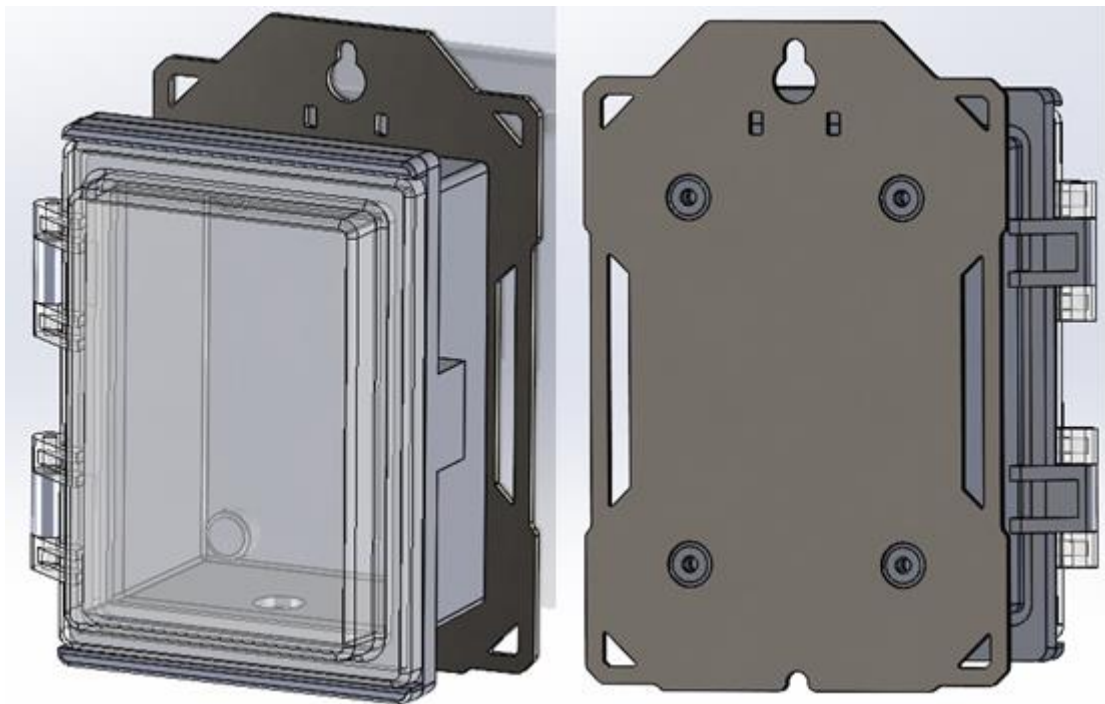
En likadan inkapsling hittades fast med transparent lucka som tillämpades i stället vilket var elektronikinkapsling BCAP091207T hos Takachi (se Bilaga 8), i stället för BCAP091207G som togs fram först. Metallbakplattan ändrades till att ha mer lättillgängliga skruv- och spikhål. Avståndet mellan metallplatta och inkapslingen förkortades till noll. Hörnhålen gjordes om och de vertikala hålen gjordes tjockare. Även två hål skapades för att ett buntband skulle kunna användas för smidig upphängning. För att testa den utvecklade metallplattan av koncept 7.1 laserskärdes en platta i akryl och skruvades fast i en 3D-printad mock-up av den valda inkapslingen.

Hålen för buntband visade sig vara för tätt intill varandra då ett provat buntband fastnade i hålen och inte kunde justeras då friktionen blev för hög. Skruv- och spikhålet visade sig även vara för litet.



Figur 25: Osmidigt buntband och för litet skruvhål

Hålen för buntband separerades för att buntandet skulle kunna smidigt justeras. Skruv- och spikhålet gjordes också större. Plattan laserskärdes igen och monterades på mock-upen. Även denna gång gled buntband inte smidigt genom hålen.

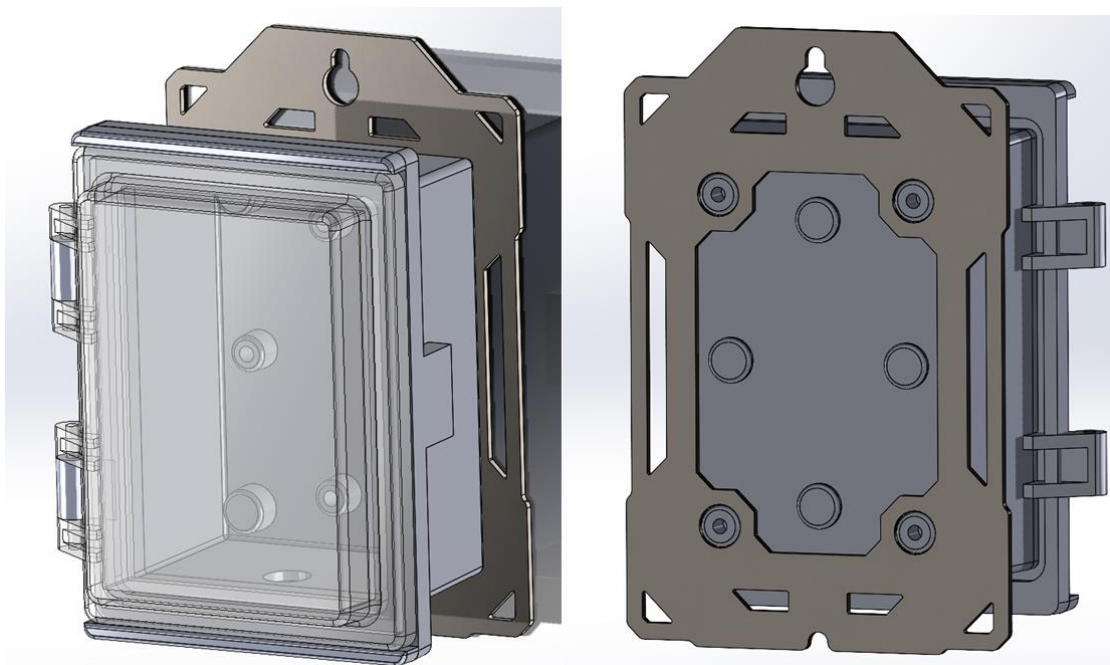


Figur 26: Iteration två

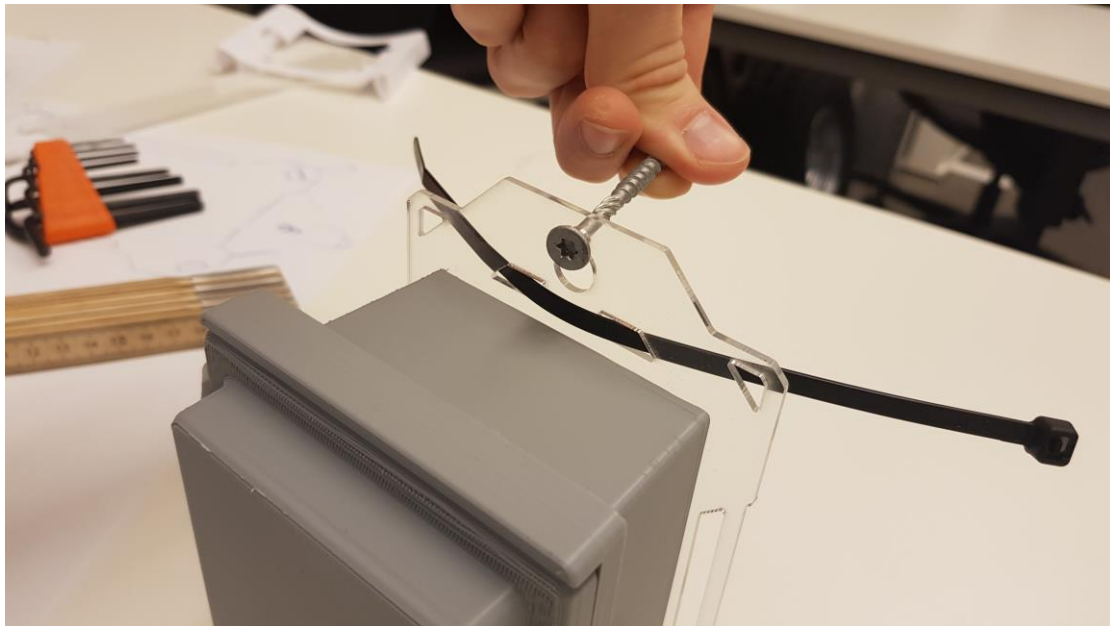


Figur 27: Iteration två, prototyp

Hålen gjordes bredare för att öka glidmöjligheten för buntband. Hål för buntband adderades på nedre sidan av plattan. Detta då om inkapslingen fästs på något med en cylindrisk form är det lämpligt att kunna fästa inkapslingen både under- och overtill. Baksidan öppnades upp för att minska metallplattans påverkan på radiovågor. Plattan laserskärdes ut igen och testades med buntband. Denna gång gled buntband lätt genom hålen. Skruv- och spikhålet visade sig vara i lämplig storlek efter att ha testat insätta olika typer av träskruvar i hålet.



Figur 28: Iteration tre



Figur 29: Iteration tre, prototyp

Materialval och pris utforskades kring metallbakplattan hos leverantörerna Hubs och Xometry. Xometry visade sig vara det mer ekonomiska alternativet. Priset på tjockleken undersöktes för att ta reda på hur stor påverkan tjockleken av metallen hade på priset. Prisskillnaden mellan 0,8 och 2 mm tjocklek utav plattan var i princip obefintlig oavsett material. Materialen som undersöktes var aluminium 5083 och rostfritt stål 304. Aluminium 5083 var billigast.

Pris från Xometry:

Aluminium 5083 2 mm	48 kr
Aluminium 5083 0,8 mm	46 kr
Rostfritt stål 304 2 mm	56 kr
Rostfritt stål 304 0,8 mm	54 kr

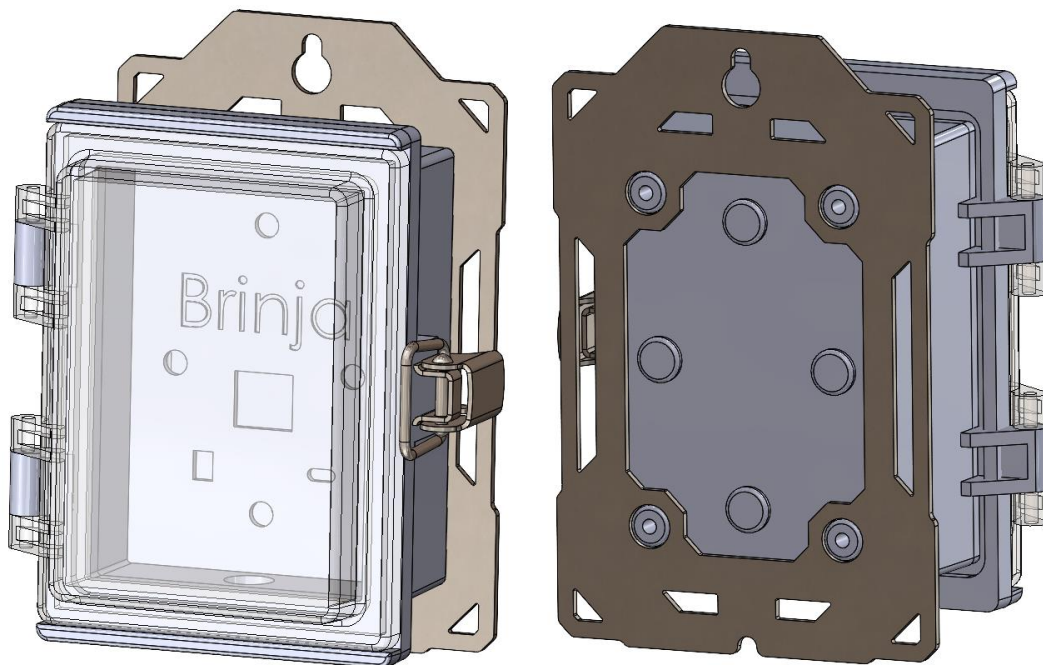
Önskvärt är en platta på 2 mm tjocklek då denna tjocklek uppfyller både design, konstruktion och funktion bättre hos inkapslingen. En tjockare platta innebär en starkare platta med högre hållfasthet, robust design som uppfyller formspråket bättre samt att avståndet mellan platta och inkapsling blir obefintligt som är fördelaktigt som nämndes tidigare.

Aluminium valdes därför att det är billigare, lättare samt att företaget ville utforska aluminium, speciellt anodiserad aluminium. En anodiserad aluminiumplatta på 2 mm skulle bli 6 kr dyrare.

Tabell 29: Totalkostnad för slutresultat

Inkapslingskostnad	
Inkapsling	70 kr
Anodiserad aluminiumplatta	54 kr
Komponentkostnad	
Skruv x 4	4 kr
Monteringskostnad	
Tid ca 1 min	6 kr
Totalt:	134 kr

För att skapa användarutrymmet och avskärma användaren från elektroniken användes ett kretskort som en panel. Detta kretskort fungerade endast som avskärmning och estetisk funktion. Ett kretskort användes eftersom företaget kan ta fram detta till ett lågt pris. Företagets logga kan även integreras på kretskortet utav kretskortstillverkaren. Avskärmningen är inte helt färdigställd då kretskortet är beroende av elektroniken som företaget utvecklar på egen hand.



Figur 30: Slutkoncept

4.7 Slutligt resultat utifrån frågeställningarna

Utifrån resultatet från PUGHS matris tillsammans med dialog med företaget valdes koncept 7 som itererades fram till en lämplig slutversion (se figur 30). Detta koncept uppfyller alla krav och klarar sig med marginal från priskravet. Konceptet består utav:

- Inkapsling BCAP091207T från Takachi med en maskinfräst hålbild för kabelförskruvning av sensorlösningen för att produkten ska kunna mäta temperatur
- 2 mm tjock laserskuren och anodiserad aluminiumplatta med integrerade hål för olika fästelement
- Logga appliceras på det avskärmande kortet inuti inkapslingen.
- Självkostnaden av konceptet uppskattas vara 134 kr/enhet vid 100 beställda enheter.

5 Analys av resultat

Kapitlet ger svar på studiens frågeställningar genom att behandla studiens resultat samt teorin från det teoretiska ramverket genom analys.

5.1 Frågeställning 1

Hur kan inkapslingen av Brinjas betongsensor förbättras med hänsyn till de observerade problemen hos produkten?

De problem företaget hade funnit med produkten var att det var osmidigt för användaren att byta batteri, starta och stänga av enheten, osmidigt att installera vid användning och känslighet för vattenintrång och skada hos elektroniken.

För att produkten ska kunna uppfylla sina funktioner behöver den tåla vatten- och dammslitage som förekommer i byggarbetsförhållanden. Den behöver tåla de mekaniska påfrestningar som finns på byggarbetsplatser samt att inkapslingen inte får förhindra radiofunktionaliteten.

På och av

För att sätta på och stänga av den nuvarande produkten måste man skruva ut fyra skruvar och öppna upp inkapslingen vilket ger åtkomst till all elektronik. Detta möjliggör att damm och vatten kan ta sig in till kritisk elektronik och även att användaren råkar förstöra de känsliga komponenterna. Ett användarutrymme på framsidan av inkapslingen förhindrar användaren att komma åt att skada elektroniken samt förhindrar vattenintrång till väsentlig elektronik. Att integrera och konstruera ett användarutrymme i inkapslingen kan göras på många olika sätt, dock är valmöjligheterna högst beroende av vad för tillverkningsmetod man väljer att använda. Olika tillverkningsmetoder ger olika begränsningar och möjligheter. Storleken av ett potentiellt användarutrymme utforskades och ett utrymme på minst ca. 7x5 cm anses mest rimligt för kraftigare fingrar av en byggarbetare att navigera i.

Batteribyte

Under ett möte med handledaren på företaget diskuterades möjligheten av ett uppladdningsbart batteri. Detta skulle underlätta batteribytet för byggarbetare och skapar en mer professionell känsla då den nuvarande produkten har ett AA-batteri som får bytas ut manuellt. För att kunna komma åt batteriet i den nuvarande produkten måste man skruva loss luckan för att sätta på och stänga av enheten. Samma problematik som beskrivs om ”på och av” finns även vid batteribytet. Företaget gillade denna idé och bestämde sig för att detta ska implementeras i deras nästa version. Med detta sagt anses ett uppladdningsbart batteri mer användarvänligt.

Smidigare att förflytta

Den nuvarande produkten bedöms vara osmidig att installera eftersom byggarbetare sätter buntband runt hela inkapslingen för att fästa den, i de flesta fall, på ett rör. Detta resulterar i att enheten ibland kan ha en tendens att lossna från fästningen. Eftersom enheten är otymplig att fästas på igen kan dessa enheter bli liggandes på byggarbetsplatsen. Därför är det väsentligt att hitta ett sätt som möjliggör smidig upphängning. Detta var en svår nöt att knäcka eftersom upphängning av en betongsensor kan se olika ut för varje situation på en byggarbetsplats. Det finns alltså inte ett specifikt antal sätt som betongsensorn fästs på. En bra lösning i detta fall är en lösning som möjliggör fästningar för många olika fästelement och olika håll. Nackdelen med en ”öppen”, universal lösning är att det är svårt att göra lösningen smidig och

konkret; som ett specifikt spänne som går i en specifik riktning som är lätt att fästa. Den mest universella lösningen som togs fram och anses förbättra upphängning utav inkapslingen var att integrera en rad olika hålbilder i en metallplatta som fästs på baksidan av inkapslingen för att möjliggöra fästning av valfri fästelement från valfritt håll. Alltså; byggarbetare måste fortsätta buntbanda fast betongsensorn, dock kan buntbanden fästas i smidigare fästningshål och inte behöva fästas runt hela inkapslingen. Även skruv- och spikhål är integrerade i metallbakplattan som tillåter upphängning av inkapsling på vägg.

Formspråk

Det är viktigt för ett företag att framhäva dess formspråk i de produkter de framför. Detta för att etablera sig symboliskt på marknaden. En symbol för företaget blir igenkänningsfaktor psykologiskt hos byggarbetare. Företagets unika igenkänningsfaktor för deras andra produkter är att de har två metallskivor som täcker fram- och baksidan av deras enheter. Eftersom en färdig inkapslingen är svår att ändra formspråk på bör formspråket integreras i metallbakplattan.

Radiofunktionalitet

För att bevara radiofunktionaliteten från inkapslingen bör radiosändaren inte vara omsluten av material som har hög elektrisk konduktivitet, såsom metall. Detta eftersom elektriskt ledande material förhindrar radiovågor att passera genom detta. När man utformar konstruktionen av inkapslingen är det viktigt att man tar hänsyn till detta. Plast generellt har låg elektrisk konduktivitet och passar utmärkt som material för en inkapslad radioenhet.

Hållfasthet

Hållfastheten utav inkapslingen är viktig eftersom produkten används i ett slitsamt klimat och utsätts för alla sorters olika slagkrafter.

Det enda sättet som koms på för att öka hållfastheten av produkten var att utnyttja metallbakplattan som kan potentiellt absorbera slagkrafter. Eftersom metallbakplattan designades att ha utgående kanter runt hela inkapslingen för att framhäva företagets formspråk samt att kunna integrera smidiga upphängningshål, kan dessa kanter av metallplattan agera som en ”krockkudde” om inkapslingen skulle tappas på marken.

Med hänsyn till radiofunktionalitetskravet behöver inkapslingen vara tillverkad av plast. Plastmaterial som visade sig ha lämplig hållfasthet för en elektronikinkapsling är PETG, HDPE, ABS och PET.

Damm- och vattentålighet

För att göra en inkapsling vattentät på egen hand testades olika tätningsmaterial. Det upptäcktes att o-ringar av nitril hade alldeles för hårt material för att kunna täta en inkapsling; locket böjdes innan ens packningen pressades ner vilket ledde till att inkapslingen inte blev vattentät. Det må vara så att o-ringar är mer ämnade till betydligt större krafter än ett excenterlås på en inkapsling. Cellgummi, ett mjukare material, visade sig vara ett mer lämpligt material att använda som packning för en inkapsling. Det visade sig att konkurrenters lösningar på tätningsmaterial av inkapslingar också var av mjukt cellgummi eller silikon-liknande material vilket styrker resultatet. För att konstruera en egen vattentät inkapsling bör man därför använda mjukt tätningsmaterial som cellgummi eller annat material av liknande mjukhet.

Ett annat sätt att lösa damm- och vattentålighet till användarutrymmet är att köpa en färdig inkapsling med rätt IP-klassning för damm- och vattentäthet som har en smidig färdig låsmekanism för användaren. Detta ger högre kvalité på låsmekanism och packning och därmed mer pålitlig vattentäthet hos inkapslingen än om vad försöker skapa ett eget användarutrymme. Varför detta skulle ge högre kvalité på vattentäthet än om man konstruerar vattentäthet och låsmekanism själv är att färdigköpta inkapslingar från etablerade leverantörer är optimerade konstruktions- och produktionsmässigt. Dessutom gör deras höga produktionsvolym att det sänker styckkostnaden vilket tillåter dem ha dyrare lösningar för att uppnå godtycklig IP klassning.

5.2 Frågeställning 2

Hur kan inkapslingen av Brinjas betongsensor konstrueras för att vara möjlig att produceras för Brinja utifrån ett ekonomiskt perspektiv?

Företaget har ingen egen tillverkning och förlitar sig helt på underleverantörer. Därav har priset för att tillverka olika kapslingar analyserats med hänsyn på olika tillverkningsmetoder och materialvalet är begränsat till vad leverantörerna använder sig av. De material som är lämpliga för en inkapslad radioenhet till ett sådant pris att de blir relevanta för företaget är PETG, HDPE, ABS och PET. Då orderkvantiteten är relativt låg (100st.) begränsas valmöjligheterna kring tillverkningsmetoder. Detta eftersom vissa tillverkningsmetoder har så pass höga initiala kostnader att det lönar sig ekonomiskt endast om orderkvantiteten är tillräckligt stor, vilket 100 enheter inte är i detta fall. Efter att priserna analyserats i rapportens självkostnadsanalys 4.5.3 sågs det tydligt att det var tre koncept som låg inom en relevant prisram för företaget. Två av dessa koncept är mer relevanta eftersom de även uppfyller första frågeställningen. Dessa två koncept är:

- Köpa en billigare färdig formsprutad inkapsling och konstruera egen lucka och låsmekanism för användarutrymme (koncept 5)
- Köpa en dyrare färdig formsprutad inkapsling med färdig lucka och excenterlås (koncept 7.1)

Det absolut mest tidseffektiva konceptet att producera bland dessa är koncept 7.1. Företaget behöver endast beställa två komponenter och skruva ihop dessa med fyra skruvar. Koncept 5 skulle kräva en betydligt längre monterings tid vilket i slutändan skulle göra koncept 5 också svårare och jobbigare att montera än koncept 7.1, för ungefär samma kostnad. Dock är den största nackdelen med koncept 7.1 att formspråket får ta en rejäl kompromiss. Företaget gjorde valet att ta den smällen för att vinna praktiskt och ekonomiskt. Däremot ska man inte sticka under mattan att koncept 5 fortfarande är ett rimligt alternativ för företaget.

6 Diskussion och slutsatser

Kapitlet ger en sammanfattande beskrivning av studiens implikationer (konsekvenser), slutsatser och rekommendationer. Kapitlet avslutas med förslag på vidare arbete/forskning.

6.1 Slutsats

Att inköpa en färdig formsprutad inkapsling med IP-klassning för damm- och vattentätthet är enligt denna studie mest tidseffektiv, ekonomisk och ger högst kvalitet på vattentätthet och användarvänlighet med integrerad låsmekanism. Med en metallplatta som monteras fast på baksidan av inkapslingen möjliggör detta upphängslösningar men bidrar också till en förbättrad hållfasthet. Nackdelen är att formspråket kompromissas samt att dimensionerna av konstruktionen inte är optimerade. Med detta sagt uppfyller resultatet studiens frågeställningar; detta resultat förbättrar de observerade problemen hos produkten som finns i dagsläget samt är framtaget på ett sätt som är möjligt för företaget att ta fram. Mer specifik diskussion och analys kring hur detta koncept besvarar frågeställningarna läses i analyskapitlet, 5.1 och 5.2.

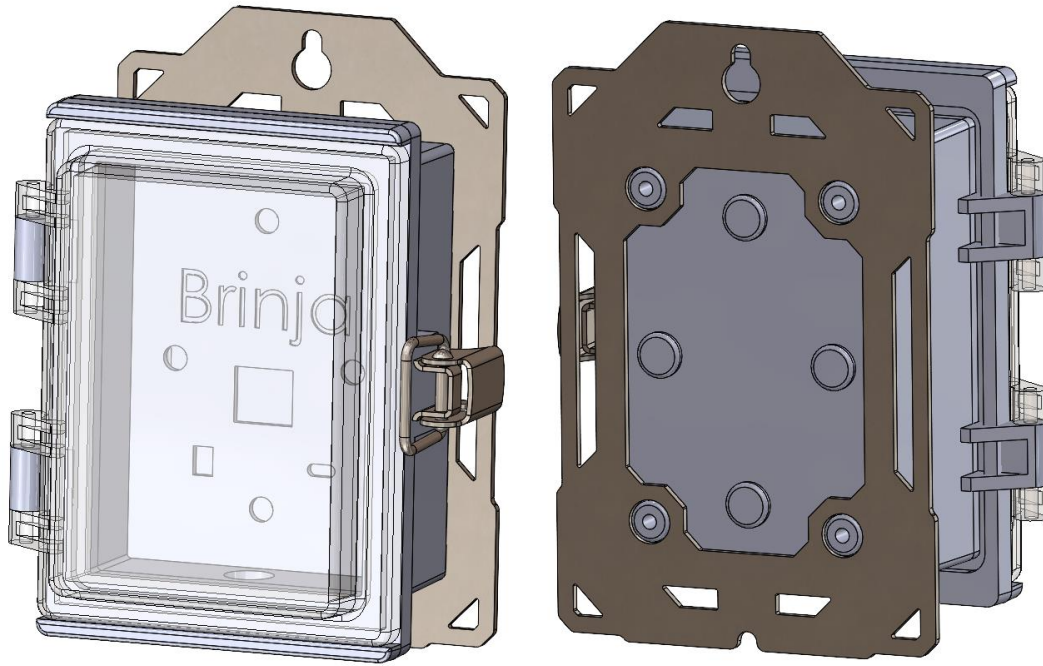
6.2 Implikationer

Att kompromissa formspråket leder till att företaget riskerar att inte etablera en unik igenkänningsfaktor på marknaden. Att markera en unik design på marknaden är likt att marknadsföra sig, vilket är en möjlighet som riskerar att gå förlorad för företaget. Då inkapslingen är överdimensionerad i förhållande till produktens elektronik betyder detta onödig materialkostnad. Detta i sig är också miljöovänligt.

Eftersom slutkonceptet består utav en metallplatta på baksidan av inkapslingen kommer radiofunktionaliteten potentiellt bli påverkad av detta. Som har nämnts tidigare har radiovågor svårt för att passera genom metall på grund av metallens elektriska egenskaper, vilket skulle kunna leda till att de radiovågor som sprider sig mot metallplattan antingen absorberas eller reflekteras av metallplattan.

6.3 Rekommendation

Vår konkreta rekommendation till företaget i dagsläget är att inköpa inkapslingen BCAP091207T av tillverkare Takachi med efterbearbetning som innefattar en maskinfräst hålbild för kabelförskruvning av sensorlösningen från samma leverantör. Tillsammans med inkapslingen, en 2 mm tjock laserskuren och anodiserad aluminiumplatta med integrerade hål för olika fästelement tillverkat av företagets egen underleverantör av metallkomponenter. Självkostnaden av att ta fram detta uppskattas vara 134 kr/enhet vid 100 beställda enheter.



Figur 31: Rekommendation till företaget

6.4 Vidare arbete

Kretskortet som avskärmar användaren från elektroniken är beroende av utvecklingen av elektroniken och är därför inte sammanställd. Efter att företaget har tagit fram elektroniken bör ett kretskort till panel sammanställas med rätt hålbilder för de komponenter användaren behöver ha åtkomst till samt distanser.

Om resultatet från denna rapport används hos företagets föreslås det att en prototyp testats i fält, detta för att kontrollera att produkten fungerar och kan användas som tänkt. Det som företaget bör vara observant på är hur radiofunktionaliteten påverkas av metallplattan. Det återstår att se vid implementering av produkten om metallplattan förbättrar, försämrar eller har knapp märkbar påverkan på radiofunktionaliteten.

Företaget bör också vara observant på och verifiera att den anodiserade aluminiumplattans uppfyller hållfasthetskraven ute i fält. Om det skulle visa sig att den valda aluminiumlegeringen är för svag för hållfasthetskraven bör en hårdare typ av aluminium väljas som material av metallbakplattan.

Det finns många olika alternativ av färdiga inkapslingar på marknaden. Detta innebär att det potentiellt kan finnas alternativ på marknaden som uppfyller kraven bättre än det som tagits fram i rapporten och därav kan mer tid läggas på att hitta en mer optimerad lösning.

För att ta med fördelarna av slutkonceptet men också förhindra de nämnda implikationerna rekommenderas att formspruta en egen konstruktion om företaget ökar produktionen av sina enheter. Utifrån de resultat och ekonomiska krav i rapporten så anses det ekonomiskt hållbart att formspruta en egen konstruktion vid en produktion av tusen enheter eller fler. Vidare arbete skulle då konkret innebära att utveckla en konstruktion för en inkapsling som är optimalt dimensionerad för produktens elektronik, integrera företagets formspråk samt göra denna konstruktion tillverkningsanpassad för att kunna formsprutas (konstruera med hänsyn till så som

släppvinklar och ribbor). Utöver att detta skulle uppfylla företagets krav bättre skulle en egenkonstruerad inkapsling förmedla en proffsigare känsla av företaget till företagets kunder.

6.5 Diskussion kring validitet, reliabilitet och studien i helhet

Efter att ha utfört studien kan det konstateras att det finns saker som kunde ha gjorts annorlunda eftersom det är alltid lätt retrospektivt med facit i hand att veta vad som borde ha gjorts från början.

Experimentell konceptstudie av en produktutvecklingsprocess

En experimentell konceptstudie genomfördes eftersom denna typ av studie ansågs vara mest relevant att utföra för att kunna besvara de specifika frågeställningarna. Variabler som påverkade val, analys och resultat av de framtagna koncepten var många gånger tvunget att utforskas experimentellt både genom fysiska tester och även genom internetsökning för att ta reda på ”experimentell data”, som inte ansågs vara direkt empiriskt underlag, som till exempel kostnader av olika komponenter. Detta eftersom empiri och teori inte ansågs vara tillräckligt underlag för att kunna fatta beslut för att besvara frågeställningarna i studien. Studien är dock till viss del baserad på empiri och teori, som kan läsas i teoretiskt ramverk, som lägger viss grund för beslut, analys och resultat utförda i studien, dock ligger tyngden på det experimentella, det vill säga iteration av produktutvecklingsprocessen.

Eftersom denna konceptstudie är experimentell finns det viss risk för avvikande reliabilitet. Detta eftersom produktutveckling består till stor del av experiment analys och iterationer. Det vill säga beroende på vad för förutsättningar utförande part har så som kunskap, erfarenhet, kontaktnät och verkstadsresurser. går det säkerligen att åstadkomma andra mer eller mindre optimerade resultat. Dock skulle resultaten troligtvis falla inom räckhåll av studiens resultat. Anledningen till detta är eftersom det finns tydliga avgränsningar och krav som lägger en relativt tydlig väg framåt för studien.

Validitet av produktutveckling är en paradox. Syftet med produktutveckling är att utifrån en produktutvecklingsprocess ta fram innovativa lösningar. Hade man vetat vad resultatet skulle teoretiskt bli för att kunna validera resultatet i studien skulle man aldrig behöva utföra utvecklingsprocessen eftersom man redan har svaret. Detta kan styrkas utifrån teoretiskt ramverk i avsnittet om produktutveckling i 2.2 där det konstaterades att produktutveckling fortfarande är ett ungt och omoget akademiskt forskningsområde.

Teoretiskt ramverk

Svårigheter kring att utföra litteraturstudien ägde rum eftersom den relevanta teori som lade grunden för projektet anses vara axiom inom industrin för produktutveckling; inte avancerad forskning i framkant som ofta anknyter metod och genomförande med teoretiskt ramverk i forskningsstudier. Produktutvecklingsprocessen har en tendens att te sig i iterationer kors och tvärs genom olika faser vilket gör det utmanande att dokumentera produktutvecklingsprocessen i en logisk röd tråd. Det har alltså varit en svår utmaning att genomföra ett produktutvecklingsprojekt i tidigt skede genom att tillämpa forskningsmetodik och basera studien på relevant forskning. Även denna problematik kan styrka att produktutveckling är ett ungt och omoget akademiskt forskningsområde som konstaterades utifrån teoretiskt ramverk i avsnittet om produktutveckling i 2.2. Detta innebär i praktiken att koppla produktutveckling med forskningsmetodik är i dagsläget betydligt mer osmidigt än andra mer etablerade

vetenskapliga områden som har mognats under längre tid. För att tackla detta borde vi ha lagt ner mer tid på att undersöka hur andra har utfört produktutvecklingsstudier för att ta inspiration, i stället för att snöa in oss på specifik teori och forskning och inte veta hur vi skulle ta oss framåt och utföra en produktutvecklingsprocess utifrån det. Hade vi gjort detta hade vägen framåt varit tydligare. Arbetet skulle nog kunna ha blivit mer strukturerat och därmed mer effektivt utfört, med mer optimerade resultat. I slutändan kom vi fram till att Design Thinking-metodiken var en relevant teori att stödja detta produktutvecklingsprojekt mot, även om det var svårt att dokumentera denna röriga och iterativa process. Hade projektet varit mer strukturerat och effektivt utfört skulle vi haft mer tid till att utföra Test-fasen i Design Thinking-metodiken och därmed potentiellt komma fram till en bevisad fungerande slutprodukt för företaget.

Det var svårt att hitta litterär empiri om materialernas egenskaper för att kunna empiriskt bekräfta vilka material som var godtyckliga för en elektronikinkapsling. För att utförligt välja material baserat på materialegenskapernas lämplighet för att vara en elektronikinkapsling borde materialtester ha utförts för att få fram empiri. Att utföra detta är en hel studie i sig och bedömdes inte vara lämpligt att utföras i denna studie. I stället utgick vi från företagshemsidor specialiserade inom material. Denna typ av källa kan riskera att försämra validiteten av materialvalen eftersom företagshemsidor kan formulera sig på sätt som gynnar dem. Dock handlar materialegenskaper om fakta och inte opinion. Därmed borde man ha överseende för att använda dessa källor. Dessutom hade vi inte mycket andra alternativ att gå på, därför valde vi att utgå från sådana källor vid materialval.

Beskrivningar från källor om vissa tillverkningstekniker kommer också från företagshemsidor som specialiserar sig inom olika tillverkningstekniker. Samma gäller för dessa källor som för materialfakta.

Eftersom inkapslingen hade krav på att bibehålla radiofunktionalitet var kunskap och teori om hur radiovågor fungerar väsentligt att utforskas för att ta reda på vad som potentiellt kunde begränsa valen under genomförandet. Det utmanande med att arbeta med radiovågor var att tolka teorin kring dess egenskaper och hur de skulle bli påverkade hos de olika påkomna koncepten. Det vi kunde ha gjort bättre var att vi borde ha pratat med fler experter inom området för att både anskaffa mer kunskap och validera den teori vi hade anskaffat. Detta för att komma fram till säkrare slutsatser om hur radiovågor påverkas av material och konstruktion av inkapslingen hos de olika koncepten. Hade vi haft bättre konkret förståelse för radiovågors beteenden och egenskaper skulle vi ha kunnat med högre säkerhet vetat hur man kan lämpligt konstruera och välja material till en inkapslad radioenhet. Detta skulle potentiellt kunnat ha lett att vi tog fram annorlunda koncept.

Metod

Under hela studiens genomförande var det problematiskt att få tillräckligt av den information som behövdes från företaget för att kunna gå vidare till respektive nästkommande fas i projektet. Mer tid till möten och handledning från företaget hade egentligen behövts för att effektivisera processen av projektet och nyttja tiden till fullo. Detta var dock något vi var begränsade till att kunna påverka. Mötena med företaget var fast satta och det var svårt att få kontakt och feedback från företaget utanför mötestiderna. Brist på information om produkten och produktkrav påverkade speciellt Empathize-fasen när observationer och datainsamling var väsentligt för att få förståelse för både företaget och byggarbetare som använder produkten, marknaden och tekniken för att kunna gå vidare i produktutvecklingsfasen.

Varje möte med företaget var som en GATE, alltså mötena med företaget var viktiga och beslutsorienterade. Dessa möten var ofta relativt ostrukturerade på det sättet att idéer tangerande åt olika håll och det kunde ibland vara svårt att komma till konkreta slutsatser och beslut. Detta ledde till att en stor del av idéprocessen, såsom skisser, mot företaget förblev odokumenterat men även att tiden för varje möte rann snabbt ut. Något vi hade kunnat göra bättre under mötena med företaget var att hitta och tillämpa en metod som skulle då strukturera mötena och de semistrukturerade intervjuerna för att bättre möjliggöra dokumentation av processen men även komma fram till beslut och slutsatser mer effektivt. Detta skulle innebära tydligare och effektivare väg framåt under projektet. Återigen hade projektet varit mer effektivt utfört skulle vi haft mer tid till att utföra Test-fasen i Design Thinking-metodiken och därmed potentiellt komma fram till en bevisad fungerande slutprodukt för företaget.

Till skillnad från många utav processerna är utvärdering av koncept en relativt subjektiv process. Detta eftersom kundkravens viktighet vägs på en skala. Dessutom bedöms koncepten hur väl de uppfyller kundkraven. Detta kan utföras av antingen projektdeltagarna, kunden eller konsumenten beroende på vad för metod man använder sig av. För att styrka reliabiliteten, och potentiellt validiteten, utav denna process kan en rad olika metoder utföras i detta steg av produktutvecklingsprocessen. I denna studie utfördes endast PUGHS matris som utvärderingsmetod, vilket kan innebära en risk för delvis avvikande reliabilitet. Dock som nämndes tidigare, sätter kraven och avgränsningarna tydliga ramar för studien vilket innebär att resultaten som togs fram i studien anses vara reliabla. Hade studien varit av större omfattningen hade konceptutvärderingsprocessen varit lämplig att utforska vidare på i större utsträckning.

Genomförande

Vi spenderade relativt mycket tid på att ta fram koncepten och utföra tester vilket ledde till att utförandet av självkostnadskalkylen skedde relativt sent i projektet. När vi väl gjorde självkostnadskalkylen insåg vi att många utav de framtagna koncepten var bortom prisrimligheten för företaget. Vi hade alltså underskattat totalkostnaden för varje koncept. Det vi borde ha gjort för att komma snabbare fram i Prototype-fasen i projektet var att lägga mindre tid på att ta fram utförliga koncept och i stället analysera alla parametrar av koncepten som totalkostnaden innan att utveckla koncepten utförligt. Detta hade sparat tid och varit mer effektivt. Risken med detta skulle vara att självkostnadskalkylen inte skulle bli lika säker men konceptutvärderingen skulle gå snabbare.

Angående experimenten och testerna för vattentäthet har vi i efterhand insett att vi borde ha tagit reda på mer information och kunskap om tätningmaterial. Tätningmaterial visar sig skilja mycket beroende på vad för applikation tätningen ska kunna klara av. Mycket tid gick åt att försöka göra 3D-printade testriggar vattentäta med o-ringar vilket visade sig inte fungera då de var för hårda. När vi insåg att mjukt cellgummi var ett bra material att täta testriggarna med började vi se denna typ av packningsmaterial runt omkring oss; fönsterlister, dörrlister, matlådor och mycket mer. Detta tyder på att vi borde i Empathize-fasen ha tagit reda på mer om packningsmaterial och inte ha antagit att "man ska" använda industristandard (o-ring) endast för att det är en standardiserad industrikomponent. Hade vi gjort det hade vi inte behövt ägna massor med tid åt att utföra vattentätningsexperiment som inte visade sig fungera.

7 Referensers

Kapitlet ger detaljerad information, i listform, om i studien använda referenser.

- [1] H. Johannesson, J-G.Persson, D. Pettersson, "Produktutveckling," i *Effektiva metoder för konstruktion och design*, Polen, Liber AB, 2013, pp. 24-25, 73.
- [2] H. Johannesson, J-G. Persson, D. Pettersson, "Produktutveckling," i *Effektiva metoder för konstruktion och design*, Polen, Liber AB, 2013, pp. 64-67.
- [3] H. Johannesson, J-G. Persson, D. Pettersson, "Produktutveckling," i *Effektiva metoder för konstruktion och design*, Polen, Liber AB, 2013, pp. 272-275.
- [4] H. Johannesson, J-G.Persson, D. Pettersson, "Produktutveckling," i *effektiva metoder för konstruktion och design*, Polen, Liber AB, 2013, pp. 44-45.
- [5] T. B. Booth, "Stanford D.School," [Online]. Available: <https://dschool.stanford.edu/s/METHODCARDS-v3-slim.pdf>. [Använd 15 02 2022].
- [6] H. Sizun, "Signals and Communication Technology," i *Radio Waves for Telecommunication Applications*, Paris, Springer, 2003, p. 1.
- [7] E. Gregersen, "electromagnetic radiation - Radio waves," Encyclopedia Britannica, 18 07 2020. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-radiation/Radio-waves>. [Använd 09 05 2022].
- [8] "Hubs," [Online]. Available: <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-fdm-3d-printing/>. [Använd 4 april 2022].
- [9] H. Johannesson, J-G. Persson, D. Pettersson, "Produktutveckling," i *Effektiva metoder för konstruktion och design*, Polen, Liber AB, 2013, pp. 466-469.
- [10] H. Johannesson, J-G. Persson, D. Pettersson, "Produktutveckling," i *Effektiva metoder för konstruktion och design*, Polen, Liber AB, 2013, p. 470.
- [11] H. Johannesson, J-G. Persson, D. Pettersson, "Produktutveckling," i *Effektiva metoder för konstruktion och design*, Polen, Liber AB, 2013, pp. 471-472.
- [12] H. Johannesson, J-G. Persson, D. Pettersson, "Produktutveckling," i *Effektiva metoder för konstruktion och design*, Polen, Liber AB, 2013, p. 472.
- [13] S. M. BEHZAD D. MOTTAHED, "Design Considerations for Electronic Enclosures Utilizing Polymeric Materials," p. 885, 1999.
- [14] "The Truth At A Glance From Attabox® Enclosures Non-Metallic Enclosures Out-Compete Stainless Steel With A Winning Combination Of Benefits!," AttaBox, 11

- november 2020. [Online]. Available: <https://attabox.com/2020/11/11/8-reasons-to-select-non-metallic-enclosures/>. [Använd 5 maj 2022].
- [15] M. Mayer, "Is PLA heat resistant? ABS, ASA, PETG and more!," 3D Solved: The 3D-Printing Search Engine!, [Online]. Available: <https://3dsolved.com/is-pla-heat-resistant-abs-asa-petg-and-more/>. [Använd 5 maj 2022].
- [16] "Dielectric Manufacturing," februari 2019. [Online]. Available: <https://dielectricmfg.com/knowledge-base/petg/>. [Använd 4 april 2022].
- [17] "CASE STUDY: USING OF PETG IN PRODUCTION PROCESS IN FILLAMENTUM," Fillamentum Industrial, [Online]. Available: <https://fillamentumindustrial.com/fillamentum-petg>. [Använd 11 05 2022].
- [18] "Prusament PETG," Prusament, [Online]. Available: <https://prusament.com/materials/prusament-petg/>. [Använd 11 05 2022].
- [19] "Plastic Block," [Online]. Available: <https://www.plastiblocks.com/shop/HDPE-UV-Resistant-p144173084>. [Använd 11 april 2022].
- [20] A. Zehtabeyazdi, S. M. Zebarjad, S. A. Sajjadi och J. Abolfazli Esfahani, "On the sensitivity of dimensional stability of high density polyethylene on heating rate," *eXPRESS Polymer Letters*, vol. 1, p. 92, 2007.
- [21] "ABS - Food Safe Plastic," DIELECTRIC MANUFACTURING, 20 april 2019. [Online]. Available: <https://dielectricmfg.com/knowledge-base/abs/>. [Använd 22 april 2022].
- [22] "ABS plastic properties," adreco plastics, [Online]. Available: <https://adrecoplastics.co.uk/abs-plastic-properties/>. [Använd 22 04 2022].
- [23] "PET - Polyethylene terephthalate," Ensinger, [Online]. Available: <https://www.ensingerplastics.com/en-in/shapes/engineering-plastics/pet-polyester>. [Använd 11 05 2022].
- [24] "The Ultimate Guide to PET Plastic," 3devo, [Online]. Available: <https://3devo.com/blog/ultimate-guide-to-pet-plastic/#how-to-use-pet>. [Använd 11 05 2022].
- [25] "STAINLESS STEEL CHARACTERISTICS," Eagle Stainless Tube & Fabrication, Inc., [Online]. Available: <https://eagletube.com/about-us/news/stainless-steel-characteristics/>. [Använd 4 april 2022].
- [26] AZoNetwork, "Azom," Azom Materials, [Online]. Available: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2863>. [Använd 06 05 2022].

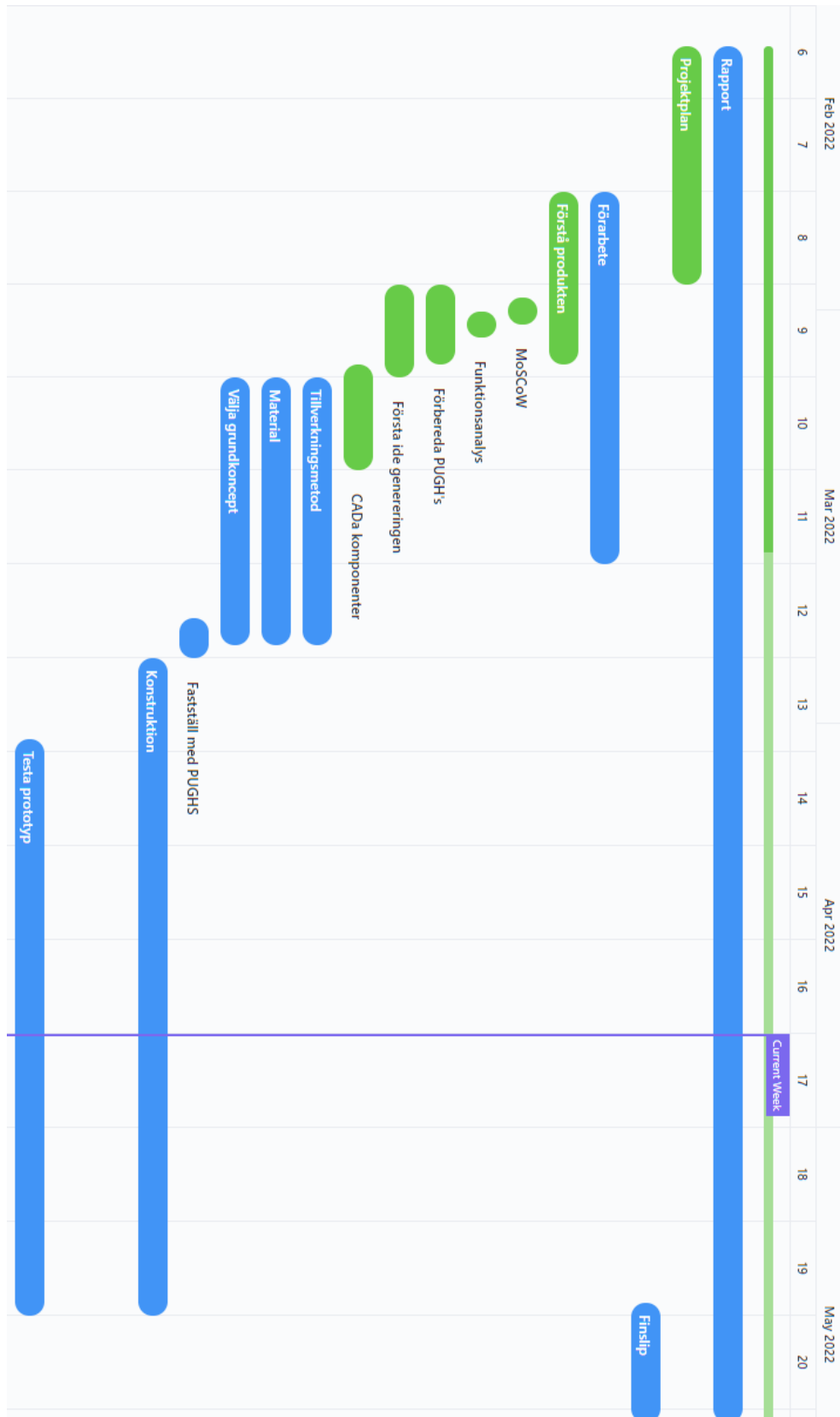
- [27] Smiths Marketing Team, "Smiths Metal Centres Limited 2020," Smiths Metal Centres Ltd, [Online]. Available: <https://www.smithmetal.com/5083.htm>. [Använd 06 05 2022].
- [28] Alumeco, "Alumeco," alumeco, [Online]. Available: <https://www.alumeco.se/kunskap-teknik/ytbehandling/anodisering>. [Använd 06 05 2022].
- [29] Heinz P. Bloch, "World Pumps," *Science Direct*, vol. 2009, nr 11, p. 26, 2009.
- [30] C. Wallace, *The Gantt chart: a working tool of management.*, New York: Ronald Press, 1922.
- [31] H. Johannesson, J-G. Persson, D. Pettersson, "Produktutveckling," i *Effektiva metoder för konstruktion och design*, Polen, Liber AB, 2013, pp. 100-105.
- [32] "Interview Definition & Meaning," Merriam-Webster, [Online]. Available: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/interview>. [Använd 13 05 2022].
- [33] "Intervjuns olika strukturer," Attityd, 24 01 2020. [Online]. Available: <https://www.attitydikarlstad.se/metoder/intervjuns-olika-strukturer/>. [Använd 13 05 2022].
- [34] Göteborgs Universitet, "Riktlinjer för litteraturstudier vid IKI," [Online]. Available: https://studentportal.gu.se/digitalAssets/1583/1583669_riktlinjer_litteraturstudie.pdf. [Använd 13 05 2022].
- [35] D. Clegg och B. Richard, *CASE method fast-track*, Reading: Addison-Wesley, 1994.
- [36] D. G. Ullman, "The Mechanical Design Process; Fourth Edition," New York, Higher Education, 2010, pp. 178-180, 186-189.
- [37] Bergman M, Rosén B-G, Eriksson L, "Surface appearance and impression," *Proc. Int. Confer. on Kansei Engineering and Emotion Research KEER*, Penghu, Taiwan, 2012.
- [38] "brainstorming," Nationalencyklopedin. [Online]. Available: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/brainstorming>. [Använd 15 02 2022].
- [39] "datorstödd konstruktion," Nationalencyklopedin. [Online]. Available: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/datorst%C3%B6dd-konstruktion>. [Använd 15 02 2022].
- [40] H. Johannesson, J-G. Persson, D. Pettersson, "Produktutveckling," i *Effektiva metoder för konstruktion och design*, Polen, Liber AB, 2013, p. 149.

- [41] J. Ekroos, "Val av produktkalkyl i ett tillverkande företag," *Yrkeshögskolan Novia*, p. 13, 2021.
- [42] D. G. Ullman, "The Mechanical Design Process ; Fourth Edition," New York, McGraw-Hill, 2010, pp. 101-102.
- [43] D. G. Ullman, "The Mechanical Design Process," New York, Higher Education, 2010, pp. 213-219.
- [44] D. Shetty, "Pugh Concept Selection," i *Product Design for Engineers*, Washington, DC, USA, Cengage Learning, 2015, p. 78.
- [45] "What's the difference between reliability and validity?," Scribbr, [Online]. Available: <https://www.scribbr.com/frequently-asked-questions/reliability-and-validity/>. [Använd 13 05 2022].
- [46] "Brinja," hub, [Online]. Available: <https://thehub.io/startups/brinja>. [Använd 01 06 2022].

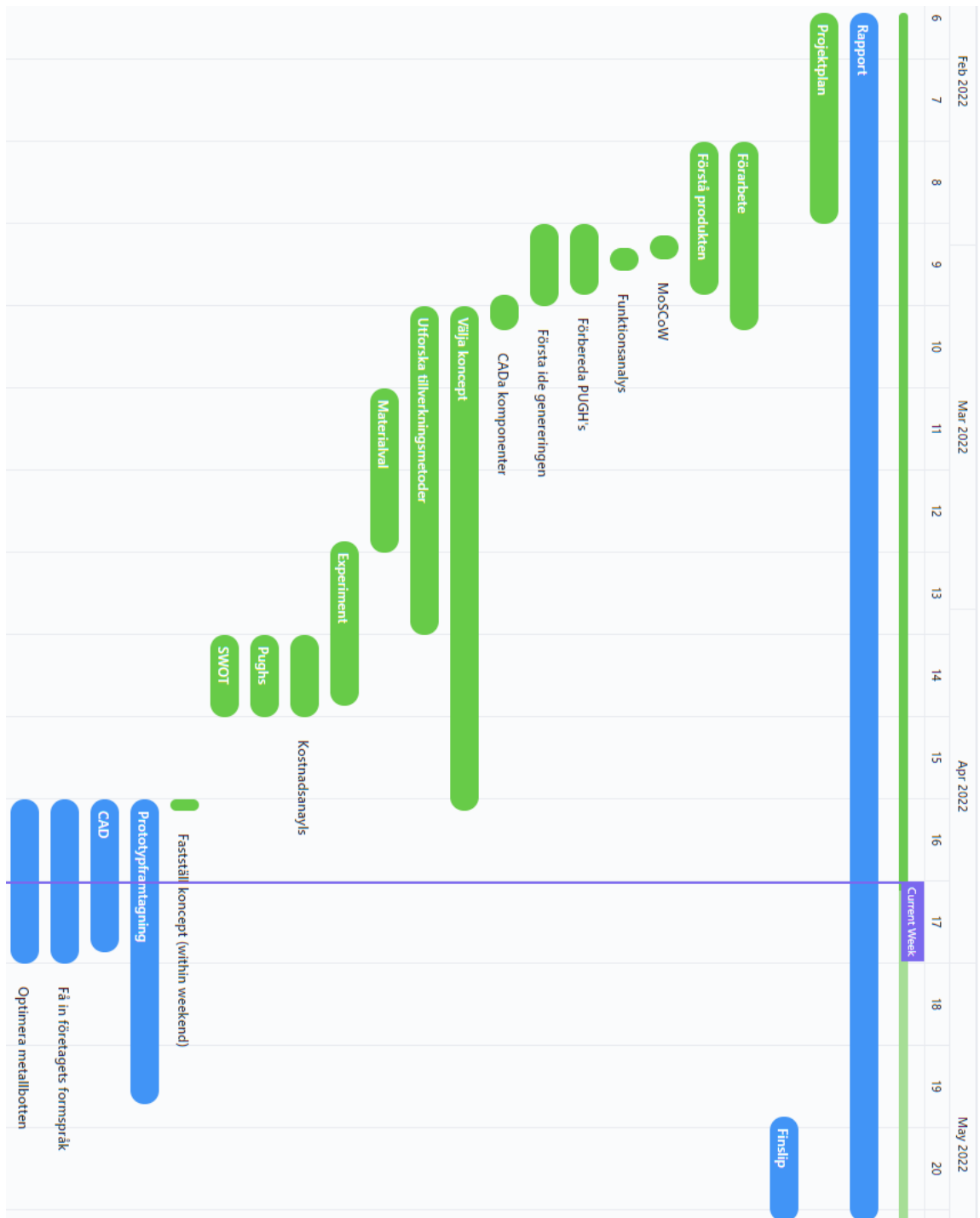
Bilagor

Kapitlet ger detaljerad information, som en bilageförteckning, om studiens bilagor.

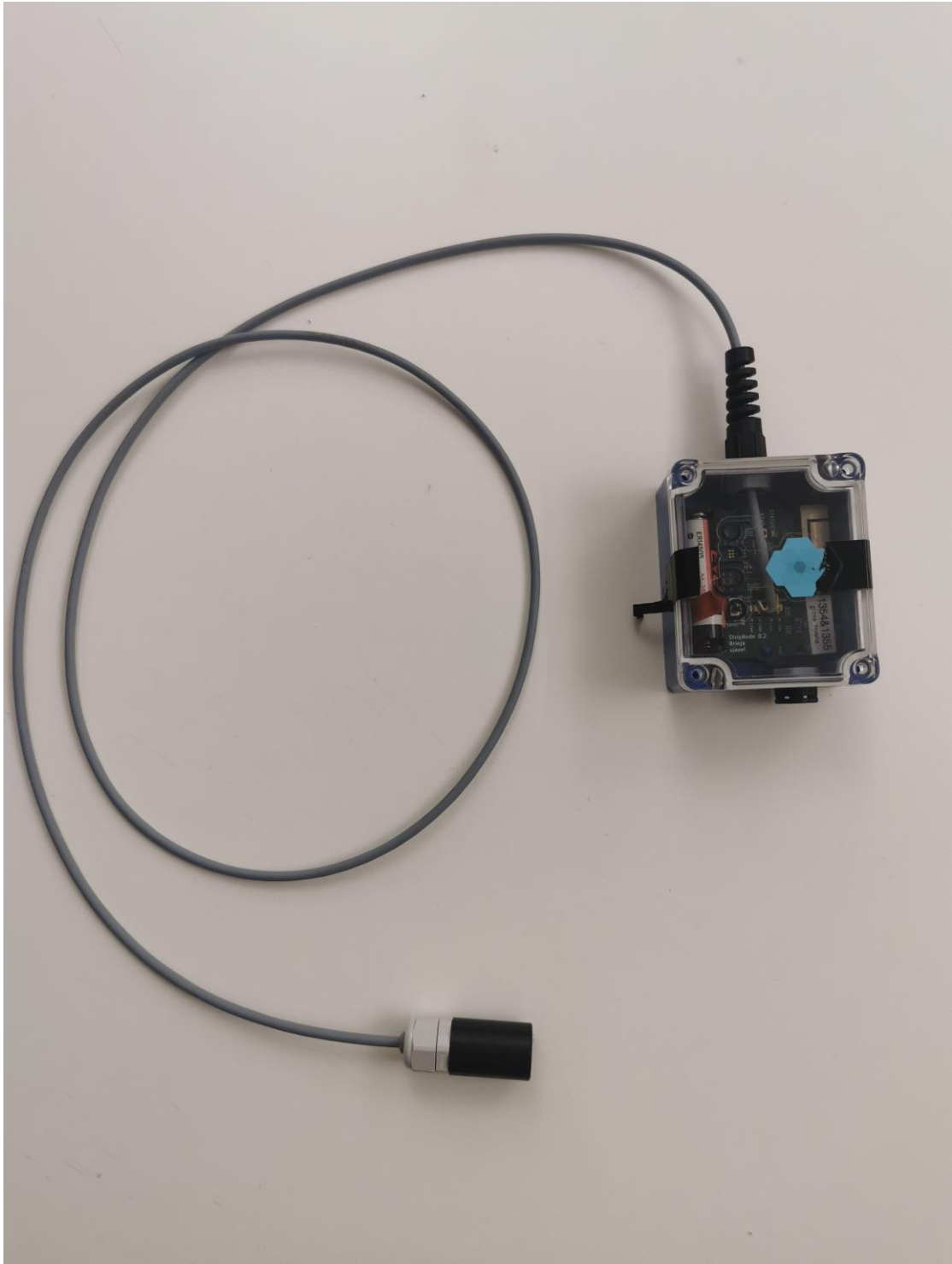
Bilaga 1: Första Gantt-schemat



Bilaga 2: Uppdaterat Gantt-schema



Bilaga 3: Företagets betongsensor



Bilaga 4: Företagets betongsensorinkapsling med lock



Bilaga 5: Företagets mätprob till betongsensorsns inkapsling



Bilaga 6: Företagets betongsensorinkapsling utan lock



Bilaga 7: Takachi BCAP09120G



Bilaga 8: Takachi BCAP09120T

