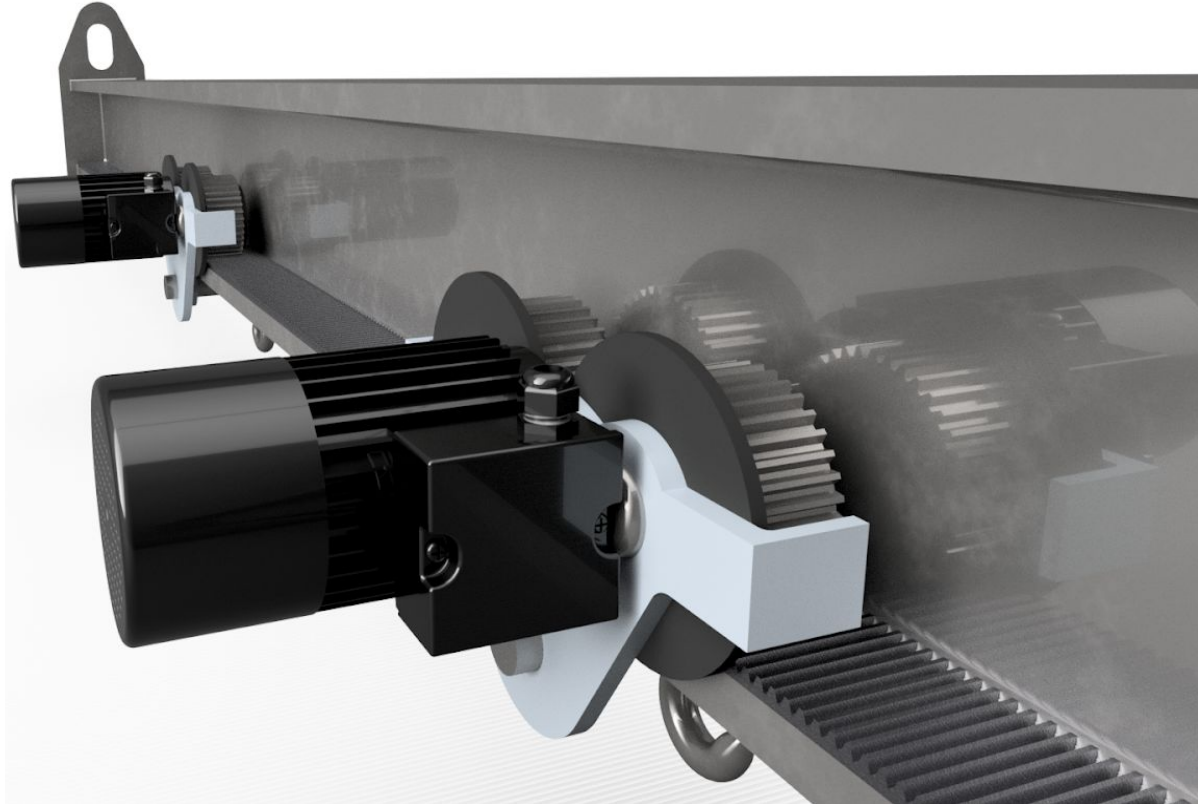




CHALMERS



KONCEPTFRAMTAGNING AV AUTOMATISKT PÅLKOPPLINGSDON VID LYFT

CONCEPT DEVELOPMENT OF AUTOMATIC LIFTING APPARATUS
FOR CONCRETE PILES

Examensarbete inom Maskiningenjörsprogrammet

Max Bensryd

Daniel Norell

Institutionen för industri- och materialvetenskap

Examensarbete på kandidatnivå. (15 hp) - HT 2017

Chalmers tekniska högskola, Göteborg

KONCEPTFRAMTAGNING AV AUTOMATISKT
PÅLKOPPLINGSDON VID LYFT
KONCEPTGENERERING OCH PRODUKTUTVECKLING AV EN
LÖSNING FÖR ÖKAD SÄKERHET VID LYFT AV BETONGPÅLAR

MAX BENSRYD
DANIEL NORELL

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
GÖTEBORG, SWEDEN 2017

Automatiskt påkopplingsdon vid lyft

Konceptgenerering och produktutveckling av en lösning för ökad säkerhet vid lyft av betongpålar

MAX BENSRYD

DANIEL NORELL

© Max Bensryd & Daniel Norell, 2017.

Institutionen för industri- och materialvetenskap

Chalmers University of Technology

SE-412 96 Göteborg, Sweden

Telephone + 46 (0)31-772 1000

FÖRORD

Examensarbetet utfördes tillsammans med Skanska AB i deras betongelementfabrik i Bollebygd och är en del av Maskiningenjörsutbildningen på Chalmers tekniska högskola. Varmt tack går till följande för stöd och vägledning:

Skanska AB

Anders Sörling, Projektchef - Handledare

Robert Elledal, Produktionschef - Handledare

Chalmers tekniska högskola

Håkan Wirdelius - Handledare och examinator

SAMMANFATTNING

Skanska har behov av ett påkopplingsdon som gör det möjligt att förflytta betongpålar utan att utsätta deras anställda för onödiga risker. Examensarbetet har utförts för att generera lösningar till problemet och skapa en grund för fortsatt arbete.

För att etablera en referensram presenterades en förstudie av konkurrenter och befintliga produkter för industriella lyft. Detta gav en tydligare bild av problemet och vilka kriterier som måste uppfyllas för att lösa det. Kravspecifikationen besitter alla krav och önskemål satta för lösningen.

Det skedde en förändring senare i projektet för att istället undersöka möjligheterna med ett visionsystem. Detta gav stora lärdomar om visionsensorer och tillhörande mjukvara. Det har även presenterats relevanta visionsystem som finns tillgängliga på marknaden just nu. Konzeptgenereringen gav upphov till sju lösningar utan ett visionsystem och tre lösningar med.

Slutligen gick koncepten genom ett par urvalsmatriser med kriterier från kravspecifikationen. Först Pughs urvalsmatris för att sälla bort de koncept som är sämre än referenslösningen, sedan Kesselrings urvalsmatris för att jämföra resterande koncepten med varandra. Detta ger den bästa lösningen baserad på de önskemål satta av handledare på Skanska och projektarbetare.

Projektarbetet resulterade slutligen i en lösning, Löpvagnen, som kan lyfta betongpålar utan att utsätta anställda för onödiga risker.

ABSTRACT

Skanska is in need of an automatic lifting apparatus that makes it possible to lift concrete piles without exposing their employees to unnecessary risks. This thesis was done to generate solutions to the problem and create a foundation for further work.

In order to establish a frame of reference, analysis of competitors and existing products for industrial lifting have been made. This gave a clearer picture of the problem at hand and the criteria needed to solve it. The product requirement specification was made to ensure that the concept met the set requirements.

There was a change of course later in the project development process to instead look at the possibilities of a vision system. This provided great knowledge about vision systems and related software. A few of these systems with differing technologies that are relevant to this project and on the market today are presented. Concept generation spawned seven concepts without a vision system and three concepts with one.

Finally, the concepts went through a pair of decision matrices according to the criteria formerly established through the product requirement specification. Firstly the Pugh Concept Selection to eliminate the concepts that are not as good as the existing solution, then Kesselring to compare the remaining concepts with each other. This provides the best solution based on the requirements set by Skanska and project workers.

This thesis resulted in a concept, “Löpvagnen”, that can lift concrete piles without exposing employees to any unnecessary risks.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	4
SAMMANFATTNING	5
ABSTRACT	6
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	7
1. INLEDNING	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Syfte	9
1.3 Avgränsningar	9
1.4 Precisering av frågeställningen	9
2. TEORETISK REFERENSRAM	10
2.1 Hur det ser ut idag	10
2.2 Överblick av processen	12
2.3 Relevant regelverk	12
3. METOD	14
3.1 Produktutvecklingsprocessen	14
3.2 Identifiera kundbehov	14
3.3 Fastställa kravspecifikation	15
3.4 Konceptgenerering - Sökningar och morfologisk matris	15
3.5 Att illustrera koncept - Skisser & CAD	16
3.6 Koncepturval - Pughs och Kesselrings	16
3.6.1 Pughs matris	17
3.6.2 Kesselrings matris	17
4. FÖRSTUDIER	18
4.1 Identifiera kundbehov	18
4.2 Intervju med operatör	18
4.3 Befintliga produkter & patent	19
4.3.1 Elebia - Automatic hook	19
4.3.2 Gigasense - Automatic hook	19
4.3.3 Automatic lifting tongs	20
4.3.4 Safety hook	21
4.3.5 Power operated sling release construction	21
5. KRAVSPECIFIKATION	22
6. KONCEPTFRAMTAGNING	25
6.1 Morfologisk matris	25
6.2 Koncept	26

7. KONCEPTUTVÄRDERING	33
7.1 Pughs urvalsmatris	33
7.2 Kesselrings urvalsmatris	34
8. VINNANDE KONCEPT	35
9. KONCEPTFRAMTAGNING MED VISIONSYSTEM	36
9.1 Visionsystemet - Hur det fungerar	36
9.2 Befintliga produkter - Visionsystem	37
9.2.1 "3D Time-of-flight" - Lasertriangulering	37
9.2.2 Point Grey - Bumblebee	37
9.2.3 "Fringe projection"	38
9.2.4 Färgigenkänning/Streckkodsläsare	39
9.2 Konceptgenerering	39
9.3 Urval	44
9.3.1 Kesselrings urvalsmatris	45
9.4 Vinnande koncept - Löpvagnen	46
10. SLUTSATS & DISKUSSION	50
REFERENSER	51
BILAGOR	52
Bilaga 1: elebias länk	52
Bilaga 2: Intervju med operatör	52
Bilaga 3: Tidiga konceptskisser	52
Bilaga 4: Förklarande bild av löpvagnen	53
Bilaga 5: Rendering av det vinnande konceptet	54
Bilaga 6: Lyft av två betongpålar med Löpvagnen	55

1. INLEDNING

Kapitlet beskriver arbetets bakgrund, syfte, avgränsningar och frågeställningar.

1.1 Bakgrund

Skanska har närvaro över hela världen inom byggbranschen och fundament för byggnader och strukturer. Oavsett om det är en byggnad, väg eller bro som ska byggas är en stabil grund oerhört viktig. För att skapa ett hållfast fundament för eventuella konstruktioner så brukar man borra eller slå ned pålar i jordar eller i bärkraftigt berg. Pålelement adderas för att nå ned till det djup vilket krävs för att överföra last till ett fast underlag som berg eller då neddrivning till berggrunden inte är motiverat, överföra last med hjälp av kohesionskrafter mellan leran och pålens mantelyta.

Skanska har en nybyggd anläggning för tillverkning av betongpålar i Bollebygd. I denna anläggning tillverkas kvadratiske pålelement i dimensioner mellan 235x235 och 450x450 mm. De är mellan fem och fjorton meter långa. Ett begränsat lagringsutrymme på anläggningen betyder att pålarna staplas ovanpå varandra, upp till tre meter i höjd. Lagerområdet är utomhus och gjutningen sker inomhus. I dagsläget lyfter man pålar med antingen kran eller lyftok. Kättingen kopplas på pålarnas krokar manuellt. För att koppla de pålarna som är lagrade högt upp behöver en person klättra upp på dem med hjälp av en stege. Detta blir då en säkerhetsrisk och är något som företaget vill undvika. [1]

1.2 Syfte

Syftet är att ta fram en lösning som gör att anställda inte behöver klättra upp på stuvorna för att låsa hakarna från kättingen i pålens krokar. Detta vill kunnas göra automatiskt utan att utsätta någon för onödiga risker. Det ska genereras ett flertal lösningar som därefter jämförs med varandra för att skapa ett vinnande koncept. Detta koncept ska presenteras som en CAD-modell.

1.3 Avgränsningar

Projektet kommer inte att ta större hänsyn till ekonomiska begränsningar bakom tillverkningen och installationen av en eventuell lösning. Urvalsmetoderna kommer då att påverkas av endast storskaliga ekonomiska aspekter. Eftersom projektet främst avser en konceptutveckling så utelämnas miljöanalyser och materialval, samt utveckling av bakomliggande programmering eller elektronik. Projektet fokuserar endast på lösningar och eventuella ändringar i produktion av pålar eller krokar men inte kran eller lyftok.

1.4 Precisering av frågeställningen

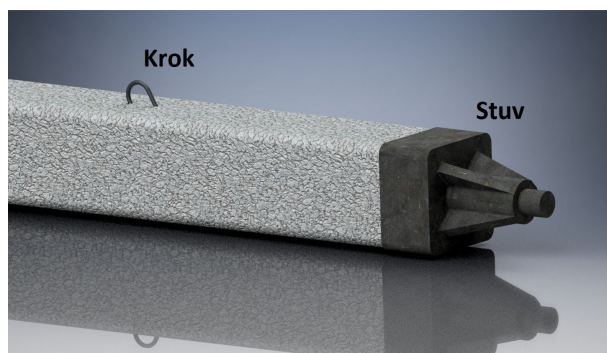
- Hur ser en lösning ut för att pålarna inte skall behöva kopplas manuellt?
- Hur ser en lösning ut för att personal inte ska utsätta sig för onödiga risker?
- Hur löser andra företag problemet?
 - Kan deras lösning förbättras?
- Vilken typ av lösning passar bäst för att öka säkerheten på arbetsplatsen?

2. TEORETISK REFERENSRAM

I detta kapitel presenteras den teori och forskningsmaterial vilket är relevant för arbetet. Det redogörs också vilka befintliga produkter som finns på marknaden och dess lösningar för att lokalisera, lyfta och släppa kroken samt att låsa haken.

2.1 Hur det ser ut idag

Pålarna gjuts av betong i gjutformor som finns inomhus i anläggningen. Här skapas dessutom stuvarna som sitter på pålens ändar och armeringen som sitter inuti pålarna. Stuvorna kan antingen vara formad som en spets, det är den änden som ska slås ner i marken, eller så har den en form likt en legobit för att passa ihop med en annan pål efter den gått ner i jorden. Armeringen består av fyra armeringsjärn som i princip går från ände till ände i pålen. Runt armeringsjärnen är också en tunnare metalltråd virad för att hålla armeringen på plats medan formen fylls med betong. Pålarna består också av två krokar som är placerade ungefär en femtedel av pålens längd från vardera ände. En mer illustrativ beskrivning syns i figurerna nedan. [1]



Figur. 2.1. Stuv m. spets för neddrivning i berget.

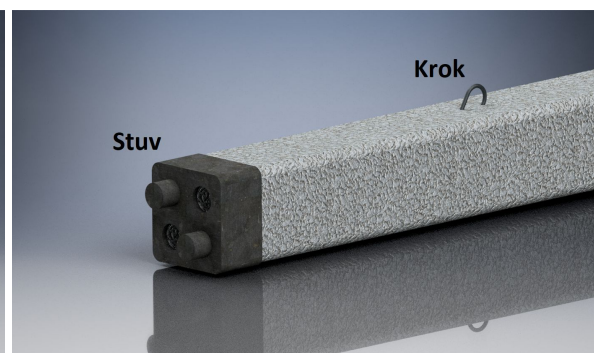


Fig. 2.2 - Andra stuvorna av betongelementet.

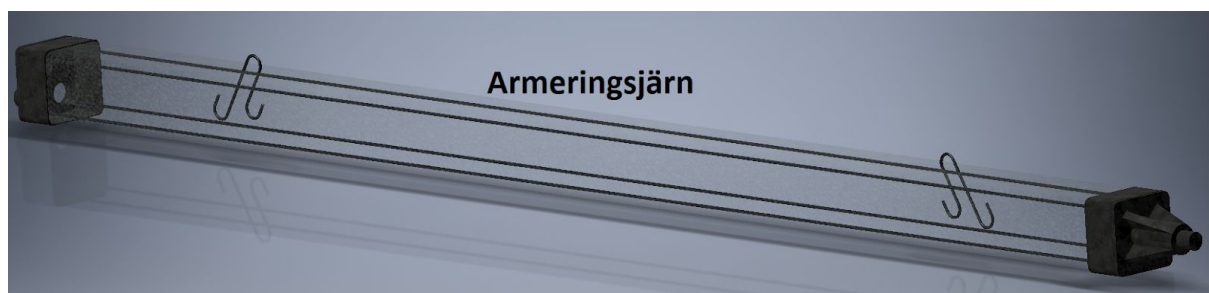


Fig. 2.3. Betongelementet gjutes i en form med krokar och armeringsjärn.

Lyftet sker med hjälp av antingen ett lyftok eller en kran. Haken sitter längst ut på en kätting som man behöver låsa på pålkroarna manuellt inför lyftet. I dagsläget kan maximalt fyra pålar lyftas samtidigt.



Fig. 2.4. Pålarna är idag kopplade med kätting och hake som fästs i pålens krokarna.

Lyftningsprocessen fungerar idag på så sätt att en person klättrar upp på pålarna och väl uppe på pålarnas ovansida kopplas för hand hakarna i krokarna. I fall de är staplade på varandra kan det ibland krävas en steg för att ta sig upp på dem. Efter fastkopplingen styrs lyftet med en fjärrkontroll av operatören, vilken ofta är samma person som den som kopplar. Lyftoket kan bara lyfta pålarna rakt upp och sedan i sidled. Kranen kan flytta dem i alla led. [1]



Fig. 2.5. Skanskas lyftok som höjer/sänker pålarna och flyttar dem i sidled.

2.2 Överblick av processen

Systemgränsen skiljer de processer som problemet avser från de som utgår. En lösning kommer främst att lösa de konceptkrav som gäller. Om en lösning kräver en ändring i produktionen av pålelementen, t.ex. beställning av speciella krokar, så är det också godtagbart. Elektroniken bakom en eventuell lösning med fjärrkontroll och utveckling av kran eller lyftok förbises.

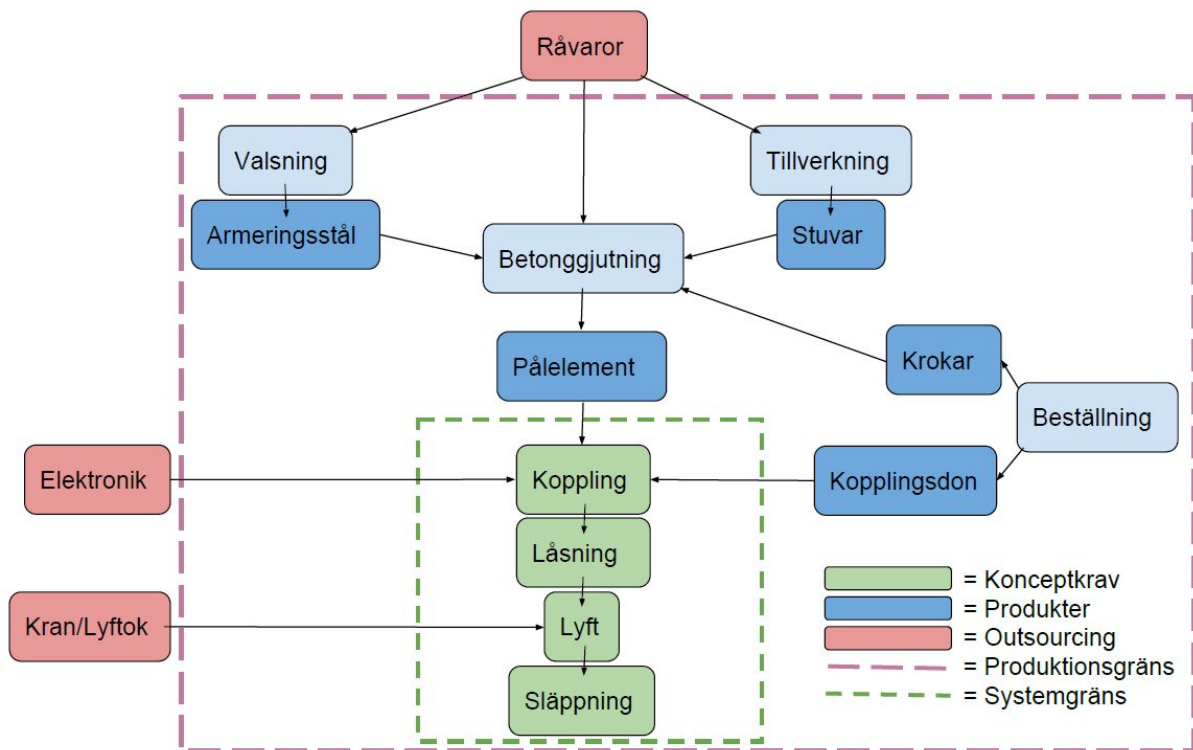


Fig. 2.6. Processkarta med systemgräns.

2.3 Relevant regelverk

Det finns flera anledningar till varför detta projekt görs, där det främsta är för att undvika personskador. Dessutom om gällande stadgar inte följs så kan detta leda till ekonomiska konsekvenser för företaget, och i vissa fall även förbud till fortsatt arbete. Enligt gällande bestämmelser i Byggnads- och anläggningsarbete (AFS 1999:3) från Arbetsmiljöverket, som avser de i projektarbetet aktuella fallen, föreskrivs följande [2]:

Lagring och uppställning av material

55 § Byggprodukter, annat material och utrustning som kan orsaka arbetsolycka eller ohälsa om de kommer i rörelse skall stabiliseras på ett lämpligt och säkert sätt.

56 § Vid uppläggning av byggprodukter och annat material på tak eller andra högt belägna platser skall vindens inverkan beaktas. Vindens inverkan skall även i övrigt beaktas vid lagring och uppställning av material med stor yta. Förankringar och andra stabiliserande åtgärder skall alltid utformas och dimensioneras med hänsyn till förekommande vindlast.

Fall till lägre nivå

Paragraferna **57–60 §§** tar upp fallskydd som skyddsräcken, arbetsplattformar, arbetskorgar eller ställningar. Om sådan skyddsutrustning inte kan användas så skall personlig fallskyddsutrustning användas.

60 a § Om fallskydd enligt 57–60 §§ saknas och arbete utförs där det finns risk för fall och fallhöjden är två meter eller mer, ska sanktionsavgift betalas. Lägsta avgiften är 40 000 kronor och högsta avgiften är 400 000 kronor. För den som har 500 eller fler sysselsatta är avgiften 400 000 kronor. För den som har färre än 500 sysselsatta ska sanktionsavgiften beräknas enligt följande:

$$Y = 40000 + (X - 1) * 721$$

Där Y = avgiften i kronor och X = antal sysselsatta. Summan ska avrundas nedåt till närmaste hela hundratal.

En lösning som inte kräver anställda att klättra upp på pålarna hade varit optimalt. I värsta fall får man implementera passande fallskydd som skyddsräcken, arbetsplattformar, arbetskorgar, ställningar eller personlig fallskyddsutrustning. [2]

3. METOD

Här redovisas arbetsgången för framtagningen av den slutgiltiga produkten. Konceptframtagning, urvalsprocessen, tillverkning av prototyp och analys av produkten.

3.1 Produktutvecklingsprocessen

Huvuddelen i projektet är att framföra koncept och framställa en produkt. För att göra detta krävs någon typ av produktutvecklingsprocess, dessa kan se annorlunda ut.

I produktutvecklingsprocessen skapas själva produktlösningen med sina ingående dellösningar som ska uppfylla de definierade behoven. Processen är iterativ vilket betyder att man kan gå tillbaka till en tidigare fas för att göra om och förbättra. Vår avgränsning av produktutvecklingens olika faser illustreras i figur 3.1, det som är rödmarkerat görs ej i detta projekt. [3]

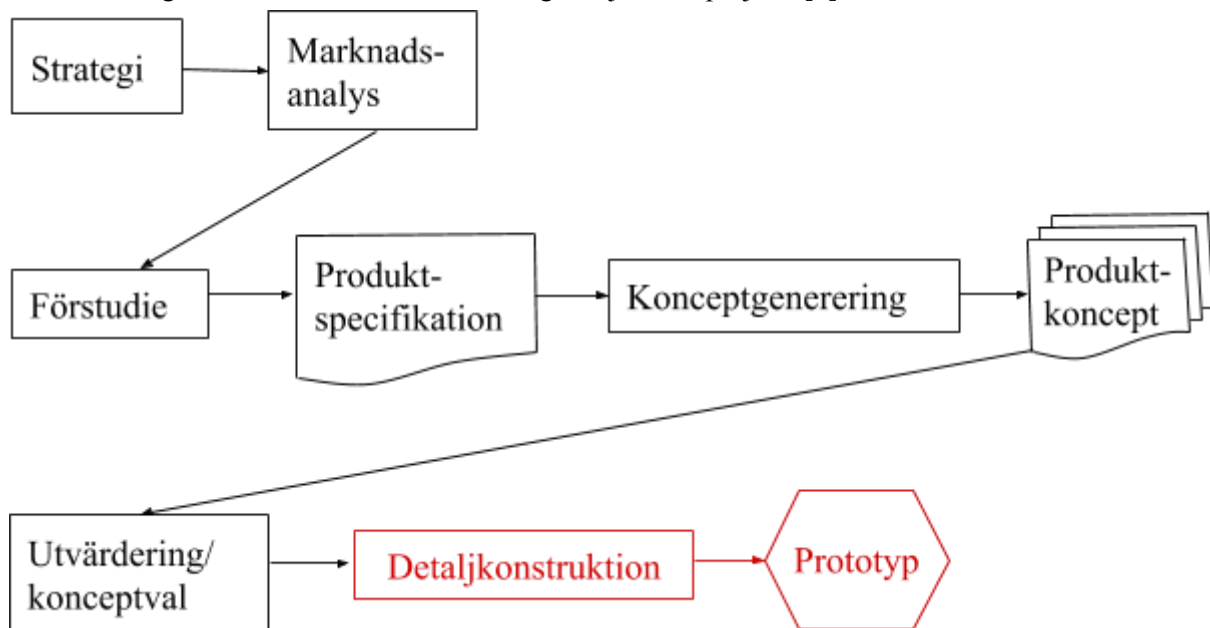


Fig. 3.1. Produktutvecklingens faser.

3.2 Identifiera kundbehov

Att identifiera kundbehov är en grundläggande del av produktutvecklingsprocessen och behövs för att fastställa produktspecifikationer, utföra konceptgenerering och göra val av koncept. Metoden använd för att identifiera kundbehovet är enligt de fyra steg nedan:

Steg 1: Datainsamling från kund

Efter ett besök på Skanskas betongfabrik i Bollebygd gjordes observationer på arbetsmiljön runt produkten och processen från råvara till färdig betongpåle som läggs på lastbilen och är redo för transport. Det togs bilder och riktiga såväl som mentala anteckningar. Information om problemet och anläggningen fick vi från projektchefen, produktionschefen samt operatören.

Steg 2: Tolka data

Att tolka kommentarer och observationer så att man får konkreta kundbehov behövs då dessa oftast inte är identiska. Flera observationer kan tolkas till samma kundbehov - tolkningen ger en koncis och övergripande lista av specifika kundbehov. Man uttrycker behovet som en produkttegenskap och i form av vad produkten ska göra, inte hur den kan göra det.

Steg 3: Fastställ den relativa vikten av kundbehoven

En produktutvecklingsprocess kan ske för evigt och med begränsat tidsutrymme krävs det prioriteringar. Därför behövs en viktning av kundbehoven för att kunna utföra en effektiv resursuppdelening. Den relativa vikten uttrycks på en skala från 1 till 10.

Steg 4: Reflektera över resultatet och processen

I en iterativ process så kommer detta steget att ske flera gånger. Meningen är att upptäcka gömda behov eller att undersöka om vissa faktorer har glömts bort. Även en reflektion över om hur processen kunde gjorts bättre.

3.3 Fastställa kravspecifikation

En kravspecifikation görs efter att kundbehoven har identifierats så att man i konceptgenereringen har en målsram att förhålla sig till. Här framställs egna krav och önskemål såväl som kundens och andra intressenters. Det görs fem olika kategorier där samtliga krav och önskemål delas in, kategorierna är *Funktion, Prestation, Hållfasthet, Ekonomi* samt *Underhåll och Miljö*. Dessa kategorier utgör också ett fundament för de urvalsmatriser som skapas senare i projektet. Vissa av kraven och önskemålen är mätbara och har målvärden som skall uppnås.

Önskemålen som ställs ska viktas för att undersöka vilka som kräver mest fokus och vilka som är mest förmånliga för produkten. Viktningen görs med hjälp av en viktbestämningsmatris och tidigare erfarenheter. I matrisen jämförs samtliga önskemål med varandra och det önskemål som anses vara av större vikt får ett poäng medan det som bedöms vara mindre fördelaktigt får noll poäng. Ett halvt poäng utdelas till båda önskemålen om de anses vara likvärdiga. De poäng som varje önskemål får summeras radvis och divideras med det maximala poängantalet i matrisen.

Efter att kriterierna har viktats ska de skrivas på skalan 1-10, där 10 är det som väger mest och 1 det som anses vara minst viktigt. Detta görs med ekvationen $[w_i = (\sigma_i / \sigma_{\text{imax}}) w_{\text{imax}}]$, där σ_i är den siffran som fåtts fram genom att dividera summan med totalen och σ_{imax} är den största av dessa siffror. w_i är viktningen och w_{imax} är det maximala värdet på skalan. [3]

3.4 Konceptgenerering - Sökningar och morfologisk matris

Med kundbehoven och kravspecifikationen fastställda kan konceptgenereringen påbörjas enligt denna metoden:

Steg 1: Utreda problemet

Här så skapas en generell förståelse av problemet i fråga med hjälp av kundbehoven och målspecifikationerna. Problemet kan också, om det så behövs, delas upp i delproblem om det är för komplext.

Steg 2: Sök externt

Att söka externt innebär att finna de existerande lösningarna på marknaden just nu. Att använda sig av en befintlig produkt kan vara mindre kostsamt och tidskrävande jämfört med utvecklingen av en ny.

Här är fem olika sätt att samla in information från externa källor:

- Intervjua användare
- Konsultera experter
- Söka efter patent
- Litteratursökning
- Jämföra konkurrenters produkter

Steg 3: Sök internt

Intern sökning är användning av utvecklarnas egna erfarenheter och kreativitet. Detta kallas för brainstorming. Det finns flera olika metoder för att generera koncept men kontentan av de flesta är att ha ett öppet sinne för olika idéer och att inte kritisera en idé förrän den är utvecklad. Samtliga utvecklare bidrar till att förbättra varandras idéer. Brainstorming kan angripas med metoder som lateralt/vertikalt tänkande, hattmetoden och tvärtom-metoden.

Steg 4: Generera koncept

Resultaten från tidigare steg ger dellösningar som kan kombineras för att få ut en grupp koncept. En morfologisk matris är ett exempel på en konceptkombinationstabell med delfunktioner och dellösningar som ger olika koncept redo att utvecklas och förverkligas i en prototyp, det är också den matrisen som nyttiggörs i detta projekt.

Som vanligt i en iterativ process ska en kontinuerlig reflektion och förbättring ske under konceptgenereringen. Konceptgenereringen kräver en större del av tidsplanen eftersom att det är extra viktigt att se till så att inga kritiserade idéer har valts bort i ett tidigt stadiet.

3.5 Att illustrera koncept - Skisser & CAD

För att göra tankar visuella och för att lättare få varandra att förstå hur vi tänker ritas skisser och så görs modeller med hjälp av datorstött konstruktion. Skisserna görs med papper och penna medan den datorstödda konstruktionen görs i CAD-programmet *Autodesk Inventor*.

CAD står för *Computer-aided design*, och är ett redskap för att bland annat modellera och analysera en konstruktion. Det har valts att göra enklare CAD-modeller av majoriteten av koncepten för att få en så bra bild av dem som möjligt.

3.6 Koncepturval - Pughs och Kesselrings

Att välja koncept kan lätt bli ett subjektivt problem. För att till stor del behålla ett vetenskapligt och objektivt förhållningssätt så används diverse urvalsmatriser för att effektivt rangordna olika koncept. Intuition och egna synpunkter används också men i rätt mängd. De två urvalsmatriserna som valts att användas i projektet är Pughs samt Kesselrings matris.

3.6.1 Pughs matris

Med Pughs matris jämförs koncepten metodiskt för att objektivt se vilket eller vilka koncept som är bättre än de andra. Bedömningen av de olika koncepten baseras på kravspecifikationen och undersöker hur väl de uppfyller väsentliga kriterier och önskemål som ställts på produkten. När viktningen görs jämförs koncepten med en referenslösning, vilket brukar vara den produkt som används idag och som ska ersättas. I detta fall är det den enkla haken som kopplas på för hand på pålkrokarna. I matrisen är koncepten listade överst och urvalskriterierna till vänster. De koncept som anses uppfylla kriteriet bättre än referenslösningen får ett poäng, det vill säga +1. Är konceptet likvärdigt skrivs en 0:a och tycks den vara sämre ges -1. Därefter adderas poängen och de eller det koncept med störst summa vinner. Alla koncept som avslutar på plussidan, det vill säga att de anses vara bättre än referenslösningen, går vidare till nästa och slutgiltiga matrisen. [3]

3.6.2 Kesselrings matris

I denna matris undersöks hur väl koncepten uppfyller olika önskemål. Önskemålen är viktade från 1 till 10 för att indikera hur väsentliga de är till lösningen, där 1 är minst väsentlig och 10 högst, detta skrivs i w-kolumnen. Koncepten blir också viktade med avseende på hur väl de klarar av önskemålet, här ges 1 till 5, detta skrivs i v-kolumnerna för respektive koncept. I Kesselrings jämförs inte koncepten med en referenslösning utan med varandra och en ideallösning, ideallösningen har det optimala värdet, d.v.s. en femma i varje kriterium. När allt är uppställt multipliceras viktningen av önskemålet med hur väl konceptet uppfyller det, produkten av detta skrivs i respektive t-kolumn. Ideallösningen har också en t-kolumn. Produkterna för varje koncept summeras och jämförs sedan med ideallösningens summor för att få ett procentuellt värde. Det koncept som har det högsta värdet bland dessa är det som anses vara bäst enligt matrisen. [3]

4. FÖRSTUDIER

Förstudier görs för att utgöra en del av ett fundament för resten av projektet.

4.1 Identifiera kundbehov

För att identifiera kundbehovet har det ställts frågor med handledare på företaget. Dessa diskussioner behöver översättas till konkreta kundbehov. Kommentarer tolkas för att få produkttegenskaper utan att ge antydan till hur produkten ska lösa problemet.

Tabell 4.1. Tolkade behov.

Fråga	Kundkommentar	Tolkat behov
Vilka funktioner vill ni att donet ska ha?	Göra påkopplingen och lyftet av betongpålar säkert för anställda.	Anställda skall inte behöva klättra på pålar. Lyftet skall inte utsätta anställda för någon onödig risk.
	Den ska kunna koppla och lyfta alla våra olika sorters pålar.	Den ska kunna koppla och lyfta pålar från 235x235 till 450x450 mm.
Hur stor får lösningen vara?	Den får vara hur stor som helst.	Det finns inga specifika krav på storlek så länge den är inom rimliga gränser.
Vad väger ert tyngsta pålelement?	2700 kg.	Donet skall vara hållfast med 2700 kg last.
Vilka funktioner behöver vara automatiska?	Allt som innan gjordes med händerna skall nu göras automatiskt.	Lokaliseringsmekanismen, låsningen och släppet skall vara automatiskt.
Hur lång tid tar det att klättra upp, koppla pålarna och sedan klättra ner igen?	30-60 sek	Donet skall koppla pålarna i under 30-60 sek.

De flesta kundbehoven behövdes inte tolkas och behöll sin ursprungliga form, dessa behov är inte närvarande i *Tabell 4.1*. Vissa kundkommentarer kan slås ihop till samma behov och vissa kommentarer kan ge flera distinkt olika tolkade behov. "Göra påkopplingen och lyftet av betongpålar säkert för anställda." kan tolkas som två olika behov "Anställda ska inte behöva klättra på pålar." och "Lyftet skall inte utsätta anställda för någon onödig risk". Behovet att donet skall vara hållfast innebär också att den skall vara det med dynamiska lasten också.

4.2 Intervju med operatör

Diary Ahmad är en operatör på betongfabriken i Bollebygd. Diarys arbetsuppgifter demonstrerades efter ett möte på plats gällande pålkoppling och kranstyrning. En telefonintervju hölls med en rad frågor om upplevd säkerhet och effektivitet, se *Bilaga 2*. Han förklarade hur pålarna lagrades och hur hans arbetsgång såg ut för att koppla ta loss haken. Han förklarade att han aldrig känner sig osäker när han klättrar på pålstaplarna, som enligt honom var upp till tre meter höga, men detta förminskar inte säkerhetsrisken.

4.3 Befintliga produkter & patent

Det har gjorts en extern sökning för att hitta lösningar till problemet som redan finns på marknaden. Att titta på existerande, lämpade produkter kan hjälpa en att få inspiration till en egen lösning. Att eventuellt välja en existerande produkt som lösning kan kosta mindre och betyda mindre arbete. Främst har sökningen av existerande lösningar gjorts via företagens hemsidor där de visar upp sina produkter.

4.3.1 Elebia - Automatic hook

En radiostyrd, batteridrivnen hake som har 32 st neodymmagneter placerade för att attrahera och orientera t.ex. en länk. Denna lätta, rörliga och magnetiska länk som fästs på krokarna i betongpålen behövs för att haken är för tung för att dras till kroken av ren magnetism. Länken och hur den orienteras syns i *Bilaga 1*. Anordningen behöver dock fortfarande komma inom ett adekvat avstånd till länken för att attrahera den. Denna lösning gör det möjligt att koppla på pålkroken från ett säkert avstånd, med fjärrkontroller låser och släpper man lasten. Det finns även varianter med en sensor vilken visar på kontrollen när länken är i rätt position och redo för att låsas och lyftas. Det finns olika storlekar på denna lyftanordning där lyftkapaciteten varierar från 2.5 till 25 ton. Batterierna är laddningsbara. Den har kapslingsklassningen IP65 vilket innebär att den är dammtät och spolsäker. Fjärrkontrollen har en räckvidd på 100 meter. [4]



Fig. 4.2.
Elebias hake.

4.3.2 Gigasense - Automatic hook

En hake vilken automatiskt låser när den lyfter ett objekt och som släpper automatiskt efter objektet lagts ned på en yta. Den består av en krok, ett hus vilket håller själva låsningsmekanismen och en övre länk som är fäst i kedjan. Släppet inträffar när huset bildar en 50 graders vinkel mot den övre länken. Det betyder att man kan lägga ner och justera lasten eller kedjan utan att haken släpper. Haken är helt mekanisk så den innehåller ingen elektronik vilket gör den extra lämpad för bruk i svåra klimat med mycket damm eller nederbörd. Denna konstruktion har ingen lokaliseringsmekanism för att automatiskt hitta dit den ska koppla fast. Finns i 5 storlekar med kapacitet från 2 till 20 ton. [5]



Fig. 4.3
Gigasense hake.

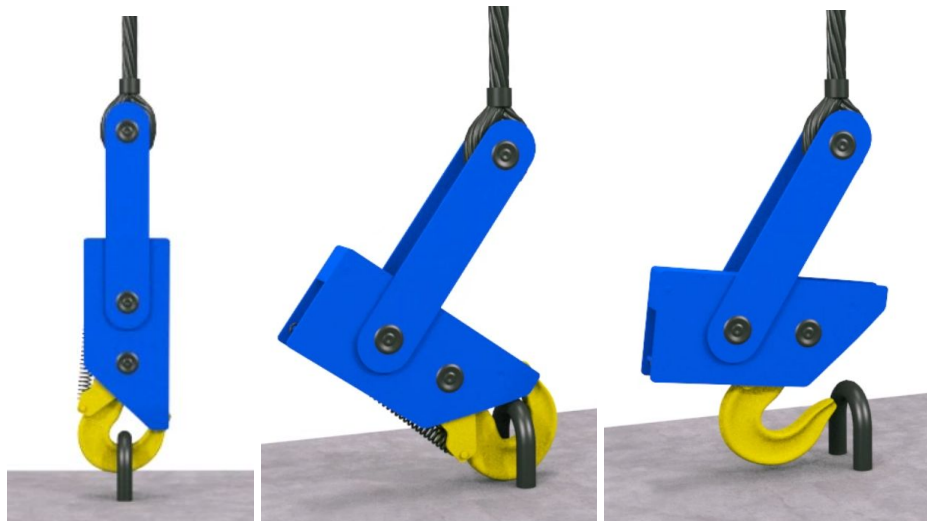


Fig. 4.4. Gigasense tre stadier; vid lyft, tillfället innan släpp och efter släppet.

4.3.3 Automatic lifting tongs

En mekanisk anordning av Crichton Lockhart Johnstone & John Woodhouse Paton vilket lyfter objektet genom att greppa tag i sidorna. När kättingen drar saxen uppåt trycks saxen mot objektet, ju tyngre lyft desto hårdare greppar lyftsaxen. Denna lösning kräver inte att det finns krokar i objektet att haka fast i. Just detta patent av lyftsaxen har en anordning för att låsa stängerna när de är i en viss position, vilket kan ses i *Fig. 4.5*. [6]

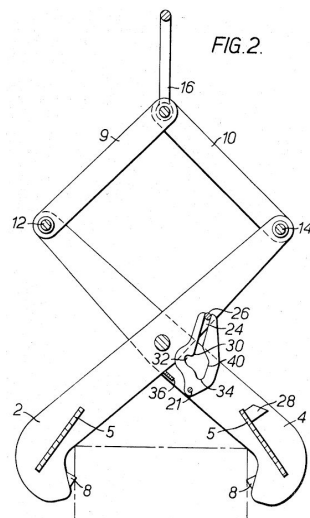


Fig. 4.5. Illustration av lyftsaxen.

4.3.4 Safety hook

Ett lyftdon av Arthur W Smith med en hake som roterar kring en axel (16) och använder sig av en manuellt reglerad låsmekanism (45) för att haken inte ska låsa upp sig under last. Låsmekanismen är lättillgänglig med en stång (42) och en ögla (44) om man eventuellt vill låsa haken med ett rep från ett avstånd. [7]

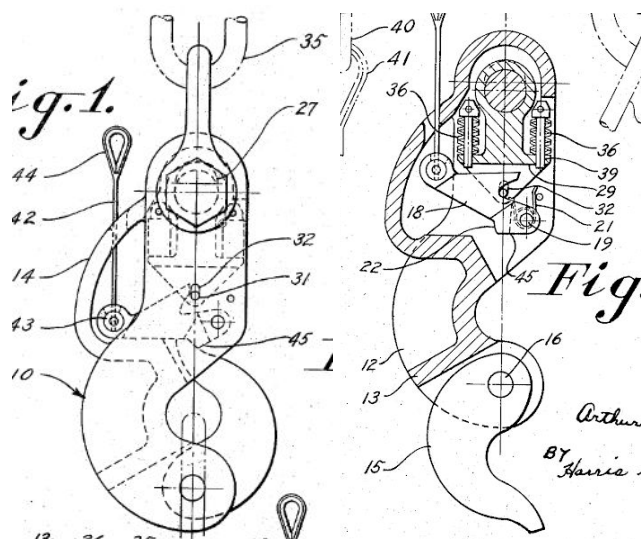


Fig. 4.6. Illustration av säkerhetshaken.

4.3.5 Power operated sling release construction

En elektronisk mekanism av Harris S Campbell för att låsa och släppa haken som konstruerades under 1950-talet. Den är lite mer komplicerad än de tidigare men själva släppningsmekanismen är enkel. Den öppnas och släpper objektet vid en knapptryckning. [8]

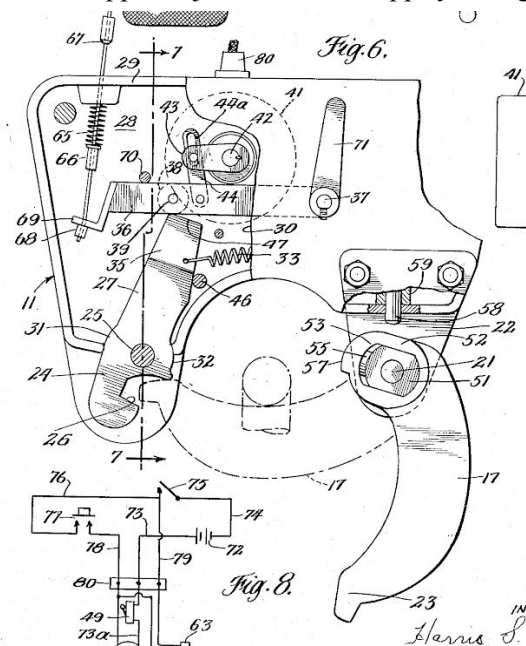


Fig. 4.7. Illustration av patentet.

5. KRAVSPECIFIKATION

Den preliminära kravspecifikationen består av kriterier uppdelade i sina respektive kategorier. Varje kriterium är antingen ett krav eller ett önskemål. De fem kategorierna är *Funktioner*, *Prestation*, *Hållfasthet*, *Ekonomi* och *Underhåll & Miljö*. Nedan beskrivs de olika indelningarna.

Funktioner

Denna kategori innefattar de uppgifter som påkopplingsdonet måste utföra för kunna fullfölja sitt ändamål, det vill säga att lyfta pålen till sin slutpunkt. Av denna anledning är varje kriterium som finns under denna rubrik ett krav.

Prestation

Under denna rubrik handlar det om hur väl anordningen utför jobbet. I vissa avseenden måste den uppnå ett visst villkor och detta blir då till krav. Detta avser exempelvis kriterium 2.4, CE-märkning. För att produkten får vara CE-märkt måste den uppfylla vissa krav angående till exempel hälsa och säkerhet, annars får den inte säljas inom EU. [3]

Hållfasthet

För att lyftdonet ska klara av att lyfta måste den tåla vissa påfrestningar, detta innefattar bland annat spänningar i donet när den lyfter tungt och hur väl den klarar av rådande väderlek. Samtliga kriterierna här är tillräckligt väsentliga för att vara krav.

Ekonomi

Det som bidrar till att donet blir billigare att tillverka står under denna kategori. Eftersom kostnaden inte anses vara av största angelägenhet viktas flera av punkterna här lågt.

Underhåll & Miljö

Den femte och sista rubriken tar upp det som behöver göras med anordningen efter användning. Att anordningen ska vara relativt återvinningsbar är tillräckligt väsentligt för att vara ett krav.

Tabell 5.1. Viktningsmatris över kriterierna.

Kriterium	2.1	2.2	2.3	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	5.1	5.2	Sum	Sum/Tot
2.1 Tid att koppla	-	0,5	0	1	1	1	1	1	1	1	7,5	17%
2.2 Tid att släppa	0,5	-	0	1	1	1	1	1	1	1	7,5	17%
2.3 Lättstyrd	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	9	20%
4.1 Livslängd	0	0	0	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	2	4%
4.2 Få antal detaljer	0	0	0	0,5	-	0,5	0,5	0	0	0	1,5	3%
4.3 Låg kostnad per detalj	0	0	0	0,5	0,5	-	0,5	0	0	0	1,5	3%
4.4 Liten mängd material	0	0	0	0,5	0,5	0,5	-	0	0	0	1,5	3%
4.5 Monteringssimplicitet	0	0	0	0,5	1	1	1	-	0	0	3,5	8%
5.1 Lätt att reparera	0	0	0	1	1	1	1	1	-	0	5	11%
5.2 Lätt att rengöra	0	0	0	1	1	1	1	1	1	-	6	13%
Total											45	100%

För att få ut viktningen i ett heltal med skala 1-10 så används denna funktion: $w_i = (\sigma_i / \sigma_{\max}) w_{\max}$

Tabell 5.2. Rangordningen av önskemålen.

Kriterium	Sum/Tot	Skala 1 - 10
2.3 Lättstyrd	0,2	10
2.1 Tid att koppla	0,17	9
2.2 Tid att släppa	0,17	9
5.2 Lätt att rengöra	0,13	7
5.1 Lätt att reparera	0,11	6
4.5 Monteringssimplicitet	0,08	4
4.1 Livslängd	0,04	2
4.2 Få antal detaljer	0,03	2
4.3 Låg kostnad per detalj	0,03	2
4.4 Liten mängd material	0,03	2

Att anordningen är lättstyrd är av hög vikt då en bättre manövrerbarhet bidrar till ökad säkerhet, detta eftersom den lättare utför det som operatören vill. Livslängden hamnar relativt lågt på skalan eftersom målvärdet för livslängden sätts högt. Eftersom det är en smutsig miljö så är det viktigt att den är lätt att rengöra, speciellt om t.ex. kameror används, då en smutsig lins kan påverka hela arbetet. Det ska inte behövas framställas så många av denna lösning och eftersom produktionen är låg så kan ekonomiaspekter, så som tillverkningsavseenden och olika komplexiteter vara mindre väsentliga på skalan.

Tabell 5.3. Kravspecifikation

Kriterier	Målvärde	K/Ö	Vikt	Verifieringsmetod	Referens
1. Funktioner					
1.1 Lokalisera kroken	-	K	-	-	Skanska
Att hitta fram dit anordningen ska haka fast.					
1.2 Låsa haken	-	K	-	-	Skanska
1.3 Släppa haken	-	K	-	-	Skanska
1.4 Förflytta pålen	-	K	-	-	Skanska
2. Prestation					
2.1 Tid att koppla	< 30 sek	Ö	9	Tester	Utvecklare
2.2 Tid att släppa	< 30 sek	Ö	9	Tester	Utvecklare
2.3 Lättstyrd	-	Ö	10	Tester	Utvecklare
Fjärrstyrning ska inte vara komplicerad eller besvärlig.					
2.4 CE-märkt	-	K	-	Test av kontrollorgan	Skanska
2.5 Säker att använda	-	K	-	Tester	Utvecklare
3. Hållfasthet					
3.1 Temperaturbeständighet	-40°C till 85°C	K	-	Teori	Utvecklare
Förmåga att uthärda temperaturförändringar.					
3.2 Damm- & vattentålighet	IP 54	K	-	Tester	Utvecklare
3.3 Bära minimumlast	2700 kg	K	-	Teori	Skanska
4. Ekonomi					
4.1 Livslängd	> 5 år	Ö	2	Tester	Utvecklare
4.2 Få antal detaljer	-	Ö	2	CAD	Utvecklare
Få antal detaljer ökar tillverkningshastigheten & sänker tillverkningskostnaden.					
4.3 Låg kostnad per detalj	-	Ö	2	Teori	Utvecklare
Att göra kostnaden per detalj så låg som möjligt					
4.4 Liten mängd material	-	Ö	2	Teori/CAD	Utvecklare
Att använda så lite material som möjligt					
4.5 Monteringssimplicitet	-	Ö	4	DFA	Utvecklare
Enklare montering ökar tillverkningshastighet.					
5. Underhåll & Miljö					
5.1 Lätt att reparera	-	Ö	6	CAD	Utvecklare
Delar skall vara lätta att byta ut och/eller återställa					
5.2 Lätt att rengöra	-	Ö	7	CAD	Utvecklare
5.3 Återvinning	-	K	-		Utvecklare
Materialen skall vara återvinningsbara och lätta att åtskilja.					

6. KONCEPTFRAMTAGNING

Framtagning av koncept påbörjades med att göra en marknadsundersökning av befintliga produkter för att få en uppfattning av hur andra företag löser problemet. Utvärderingar av olika företag inom samma industri, t.ex. PEAB och NCC/Hercules, har gjorts. Det visade sig att de utför sina pålyft på liknande sätt som Skanska och inte heller har någon annan lösning på problemet. *Brainstorming* och enklare skisser har tillämpats för att effektivt generera och visualisera grundkoncept. Syftet med brainstorming är att frambringa så många idéer som möjligt. Tanken med detta är att kvantitet kan alstra kvalitet, flertalet koncept kasseras dock redan i idéstadiet. Det finns två huvuddelar av problemet som ett koncept ska lösa, det ena är att anordningen ska kunna låsa fast samt släppa betongpålen, det andra är att lokalisera var den ska haka i.

Vi har delat upp lyftdonets funktioner i tre delfunktioner, nämligen *att låsa & släppa*, *att lokalisera* och *att hänga upp*.

Att låsa och släppa

För att anordningen ska kunna greppa tag, hålla kvar och sedan släppa betongpålarna behövs någon slags funktion. I bästa fall skulle detta ske helt automatiskt, utan knapptryckningar eller assistans från en person. Men eftersom huvudsyftet är att ingen operatör ska behöva klättra upp på de lagrade pålarna så går det också med fjärrstyrning. Idag sker de flesta lyft med hakar, detta blir en utgångspunkt då det första steget är att undersöka hur en hake kan modifieras till att låsas och öppnas automatiskt.

Att lokalisera

Det andra som kräver en lösning är att hitta till låsningsplatsen. T.ex. elebias lösning till detta innefattade en magnet som attraherar en länk, men även om en länk placeras på krokarna måste magneten komma tillräckligt nära för att kunna attrahera länken. Om haken har ett adekvat avstånd till öglan i pålen krävs det dessutom att de är rättvända så att de kan låsas i varandra utan problem.

Att hänga upp

Ett av problemen är dessutom hur anordningen ska vara upphängd för att klara av tyngden från betongpålen. Det optimala är om den bara kan lyftas av kättingen som i dagsläget, men det finns komplikationer gällande detta också. Till exempel så är de rörliga så att vinden kan få dem att förflytta sig och göra det svårare att träffa målet.

6.1 Morfologisk matris

En morfologisk matris är ett sätt att generera fram koncept genom att kombinera olika dellösningar så att de skapar ett fullständigt koncept. I kolumnen längst till vänster i matrisen finns kategorier, en funktion i varje rad, och i alla kolumner till höger om denna kolumn står olika sätt som delfunktionen kan utföras på. Det kan göras ett stort antal olika kombinationer på detta vis, men med lite erfarenhet och intuition kombineras de dellösningar som kan tänkas genomföra uppgiften medan andra kombinationer sällas bort direkt för att inte ödsla tid.

Tabell 6.1. Morfologisk matris

Delfunktioner	Dellösningar					
Låsa haken	Fjärrstyrd hake	Kuggar	Tryckplatta	Elektromagnet	Fjäderlås	Inget
Släppa haken	Fjärrstyrd hake	Kuggar	-	Elektromagnet	-	Inget
Lokalisera kroken	Kamera	Utnyttjar pålens form	Magnetism	Teleskop	-	Inget

De koncept som uppstod med hjälp av kombinationsmatrisen var:

1. Koncept 1 - Fjärrstyrd hake + Fjärrstyrd hake + Utnyttjar pålens form
2. Koncept 3 - Elektromagnet + Elektromagnet + Magnetism
3. Koncept 7 - Kuggar + Kuggar + Teleskop

Resterande koncept uppkom genom olika brainstormingsmetoder.

6.2 Koncept

Här nedan följer beskrivningar, modeller och skisser av de koncept som uppnått baskraven och som inte eliminerats under tidigare stadie.

Koncept 1

Detta koncept fungerar på så sätt att två stänger sitter ihop i en gångled i ena änden och hänger löst i den andra. De två lösa ändarna är försedda med var sin självstängande krok, var sitt hjulpar och två plastskivor. Är anordningen kopplad till lyftoket så sitter kedjorna i varsin av de lösa ändarna. Är den kopplad till kranen där det bara finns en kedja så är den kopplad i den änden där stängerna sitter ihop. När stängerna sänks ned hänger de i en nästan lodrät position med de lösa ändarna riktade mot betongpålen. När ändarna går i pålen får gravitationen med hjälp av hjulen dem att åka längs med pålen. Plastskivorna som sitter på sidorna har uppgiften att hålla allting på plats så det bara åker i ett led. Kroken är nu i öppet läge men när ändarna når öglorna slår de igen likt en fälla.

En av utmaningarna med detta koncept är att lista ut hur krokarna ska låsas fast i öglorna. Om det till exempel ska ske elektroniskt eller med en helt mekanisk lösning. I figur 6.3 syns ett exempel på en elektronisk koppling.

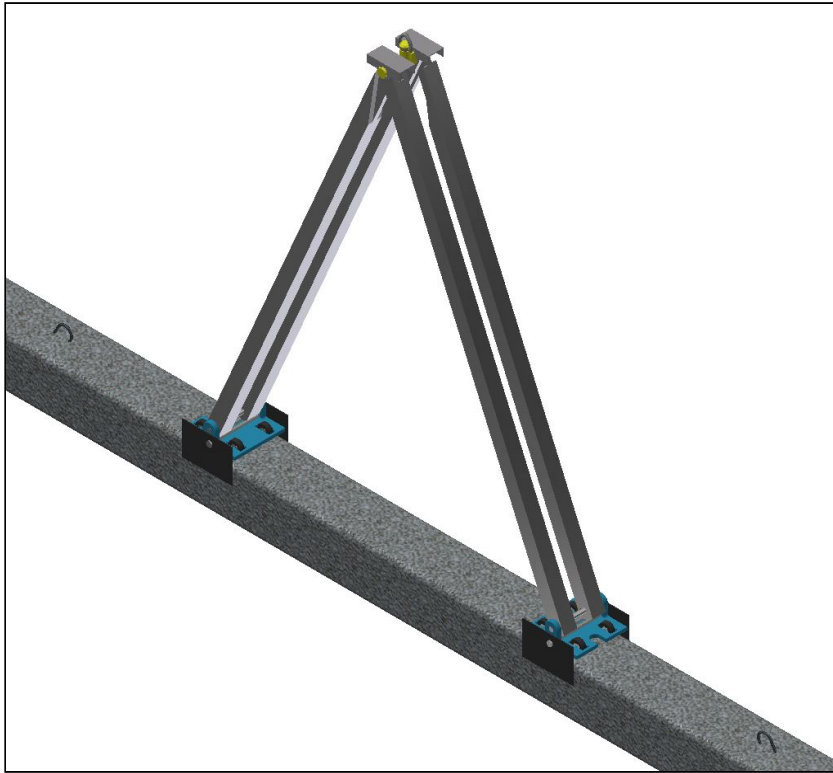


Fig. 6.1. Helhetsvy av koncept 1.

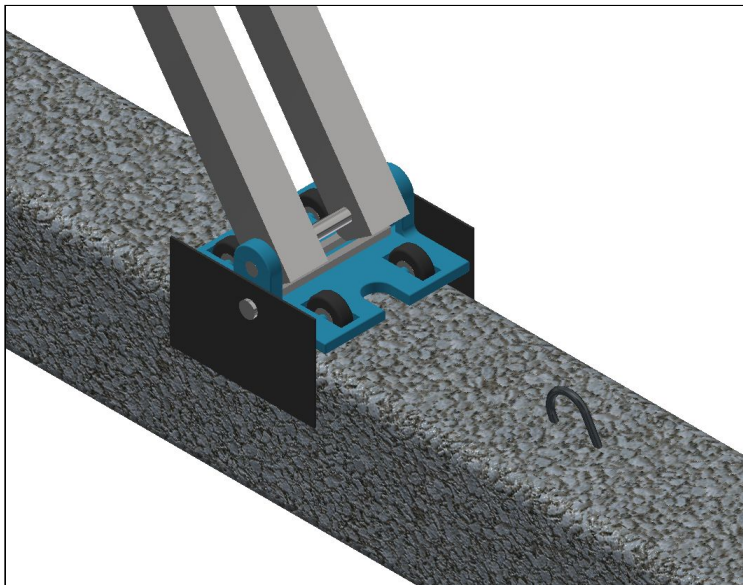


Fig 6.2. Förstorad vy av en av plattorna.

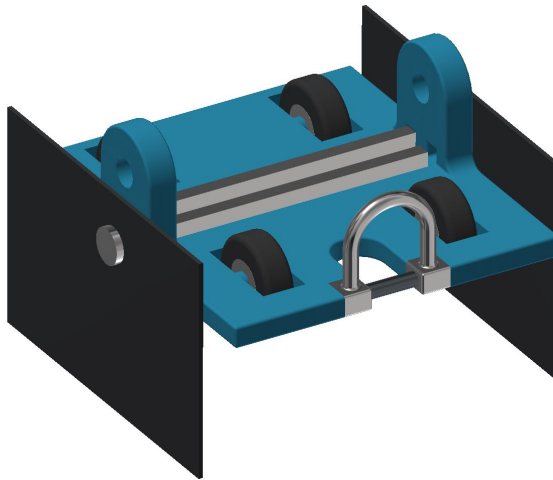


Fig 6.3. Ett förslag på en koppling där en sprint skjuts igenom den U-formade öglan som hänger i kättingen.

Koncept 2

Den här lösningen är huvudsakligen utformad för att lyfta flera pålar samtidigt. För varje lyft krävs två stycken av denna anordning, en vid var sin ände av pålarna där krokarna sitter. Den sänks ned så att den går tvärs över pålarna och hamnar över krokarna. Därefter skickas stängen igenom öglorna som sticker upp från pålarna tills den stannar på andra sidan. Sedan sker lyftet och förflyttningen av pålarna.



Fig. 6.4. Modell av koncept 2.

Koncept 3

Genom att använda magnetiska plattor som placeras i ytan av pålarna under gjutningen så kan de lyftas med elektromagneter som hänger i kättingen. Magneterna startas och stoppas med ett knapptryck så att operatören kan bestämma när plattorna i pålen ska attraheras och när pålen ska släppas på rätt plats.

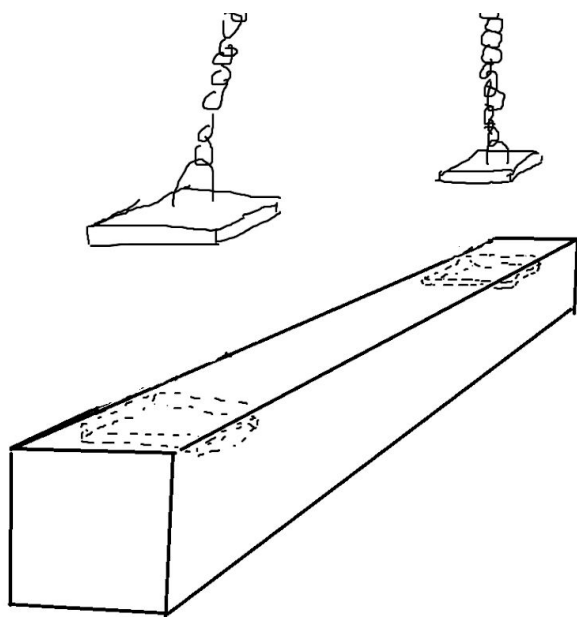


Fig. 6.5. Snabb idéskiss av koncept 3.

Koncept 4

Detta koncept är inspirerat av *elebias* produkt på så vis att den är elektronisk, fjärrkontrollstyrd och har ett sätt att få öglan att hamna i rätt position. Den består av ett hölje (det röda i figur 6.6), en hake, en kamera, en liten magnetisk platta och en fjärrkontroll. Fjärrkontrollen har primärt fyra funktioner; att styra kranen eller lyftoket, att visa det som kameran spelar in, att meddela när öglan i betongpålen är i rätt position samt att på avstånd kunna låsa och öppna haken. Höljets V-formade botten har till uppgift att, efter kontakt med öglan, vrida hela donet så att öglan hamnar i spåret. Detta gör att öglan positioneras i ett sådant läge att haken lätt kan låsas utan förhinder. Den magnetiska plattan i spåret fungerar som en sensor som visar i kontrollen när öglan är på plats. Magnetismen hjälper i viss mån att hålla öglan kvar tills den kan låsas av haken. För tidig konceptskiss se *bilaga 3*.



Fig 6.6. Koncept 4. Helhetsbild t.v. och vy med ett transparent hölje t.h.

Koncept 5

Konceptet är ett förslag på lagringsmöjlighet, pålarna placeras i det antal att deras hopslagna bredd matchar bredden på lastbilen. Lastbilen kan då köra in under och lasta relevant antal plåtår med pålar och direkt lämna lagerområdet. Konstruktionen hissar då ner alla kvarvarande lager till rätt höjd. Detta betyder dock att lastbilen tar med sig både pålar och plåtår. Höjden på denna konstruktion begränsas egentligen endast av hållfastheten.



Fig. 6.7. Modell av koncept 5.

Koncept 6

Konstruktionen består av en lätt stålram som hissas ned från oket med en teleskopbärare. Kätting fästes i hängkroken och teleskopdelen sitter utanpå för att göra hänganordningen stel. Det är bra eftersom att konstruktionen kommer att fånga en del vind och man vill inte att den ska snurra eller svaja när man hissar ned den mot pålen. Stålrarna går ut mot pålkrokarna och på axeln kan man fästa en låsningsmekanism som kopplar pålen. Kätting går från lyftoket direkt till låsningsmekanismen så att stålrarna inte utsätts för mycket kraft. För tidig konceptskiss se *bilaga 3*.



Fig. 6.8. Illustration av koncept 6 utan låsningsmekanism.

Koncept 7

Det som är utmärkande för följande lösning är att den utför lyftet med en T-formad kuggstång vilken förs mellan två hus. Stången har den formen för att den ska kunna lyftas av husen samtidigt som den kan gå nära inpå betongpålen. De två husen är kopplade i kättingen upp till lyftoket, de sänks ned till pålen och placerar sig parallellt med pålen riktade mot varandra. Den placeringen de får är väsentlig för att operationen ska fungera. För att uppnå detta införs två teleskopiska rör runt om kättingen som fästs i respektive hus och i lyftoket. Detta medför att husen inte roterar eller rör sig i sidled gentemot varandra. Under nedsänkningen sitter stången i det första huset vilket är försett med kugghjul, då en större del av stången hänger fritt. Det andra huset har en V-formad öppning för att lättare kunna ta emot och leda stången till spåret i huset. När husen har nått pålen roterar kuggarna i det första huset och pålen förs ut och går igenom öglorna i pålen tills den når sin slutposition det andra huset. Nu kan den lyftas.

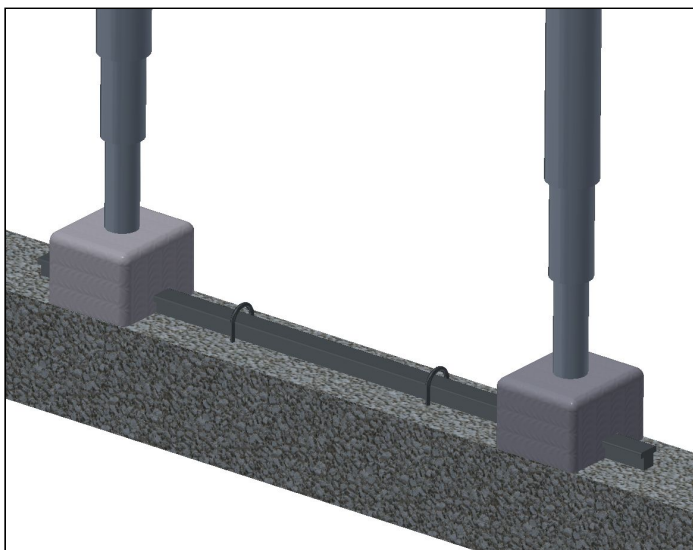


Fig. 6.9. Modell av koncept 7 nedsänkt och låst på en påle.

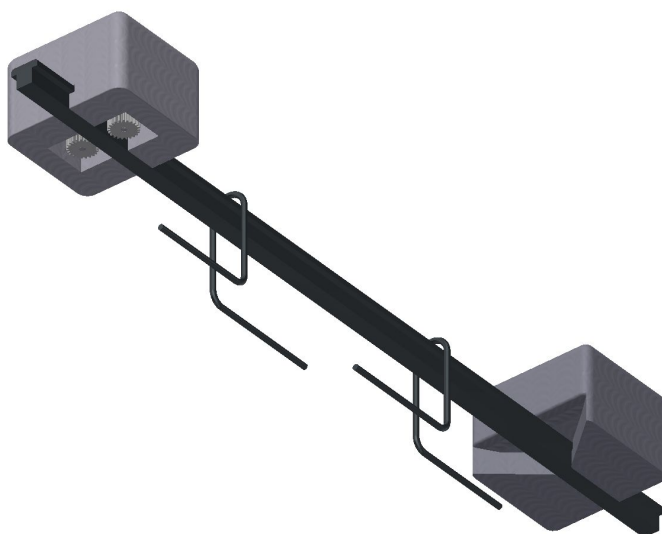


Fig. 6.10. Vy av undersidan där kuggarna som styr pålen syns i ett av husen.

För att det inte ska uppstå för stora spänningar och deformationer i kuggstången vid lyft bör den vara så kort som möjligt. Detta medför att krokarna i betongpålen inte kan ha det avstånd som de hade tidigare utan måste föras närmare varandra. Det krävs också att krokarna inte är vridna som de är innan, då öglan var parallell med stången, nu behöver öglan vara placerad tvärs över för att stången ska kunna gå i dem. Därför ritades krokarna om till detta koncept så att de kan vara vridna åt rätt håll och samtidigt inte göra för stora ändringar i pålens hållfasthet. Hur krokarna har ändrats kan ses i nedanstående figurer. Alternativt kan ett par av detta koncept skickas ned till var sin krok i pålen, detta för att undvika att behöva flytta krokens pålar.



Fig 6.11. Till vänster syns nuvarande krok, till höger är den förändrade kroken.

7. KONCEPTUTVÄRDERING

Här följer matriserna som användes för att bedöma vilket eller vilka koncept som är mest passande enligt de fastställda kriterierna.

7.1 Pughs urvalsmatris

Kombinationstabellen ger en rad lösningar som kan rankas enligt de kriterier satta utefter den preliminära kravspecifikationen. Pughs matris används för att sälla bort de sämre koncepten som i detta fall blev koncept 2 och koncept 3. Koncepten jämförs med referenslösningen, vilket är den lösning som används i nuläget. Varje kriterium undersöks och koncepten får antingen "1", "-1", eller "0". Rangordningen baseras på nettovärdet vilket summerar poängen, ett koncept med negativt nettovärde är sämre än referenslösningen och borde elimineras. De koncept som tas vidare i detta fallet är koncept 1, 4, 6 och 7.

Tabell 7.1. Pughs matris

		Referenslösning	Koncept						
			1	2	3	4	6	7	
Funktioner	Lokalisera kroken	x	1	-1	1	1	1	1	
	Låsa haken	x	1	1	1	1	1	1	
	Släppa haken	x	1	1	1	1	1	1	
	Förflytta pålen	x	0	0	0	0	0	0	
Prestanda	Tid att koppla	x	1	0	0	0	0	0	
	Tid att släppa	x	1	0	0	0	0	0	
	Lättstyrd	x	0	-1	0	0	1	1	
	Säker att använda	x	0	0	-1	0	0	0	
Hållfasthet	Temperaturbeständighet	x	-1	0	-1	0	0	0	
	Damm- & vattentålighet	x	-1	0	-1	0	0	-1	
	Bära minimumlast	x	0	0	-1	0	0	0	
Underhåll & miljö	Lätt att reparera	x	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
	Lätt att rengöra	x	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
	Antal "1"		5	2	3	3	4	4	
	Antal "0"		4	7	4	8	7	6	
	Antal "-1"		4	4	6	2	2	3	
	Nettovärde		1	-2	-3	1	2	1	
	Ranking		2:a	3:e	4:e	2:a	1:a	2:a	

7.2 Kesselrings urvalsmatris

Kesselrings matris användes för att rangordna de olika koncepten som gick vidare från Pughs. I detta fallet jämförs de med varandra istället för en referenslösning. Vinnande konceptet i denna matrisen är koncept 4 eftersom att den fick resultatet $T/T_{\max} = 67\%$, vilket är närmast idealet. Detta är främst för att den anses vara snabbare än de andra koncepten på att koppla och släppa pålen. Att anordningen är lättstyrd är ett kriterium av stor vikt, detta beror bland annat på att en don som är lätt att manövrera bidrar till en ökad säkerhet och att olycksfall inträffar mer sällan. Med detta i åtanke så är även koncept 1 och 7 fortsatta intressenter som kan tänkas vidareutvecklas. Koncept 4 är dock fortfarande det främsta valet.

Tabell 7.2. Kesselrings matris.

Kriterium		Ideal			Koncept 1		Koncept 4		Koncept 6		Koncept 7	
		w	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t
Prestation	Tid att koppla < 30 sek	9	5	45	3	27	4	36	1	9	3	27
	Tid att släppa < 30 sek	9	5	45	3	27	4	36	1	9	3	27
	Lättstyrd	10	5	50	3	30	2	20	4	40	4	40
Ekonomi	Livslängd > 5 år	2	5	10	4	8	4	8	3	6	4	8
	Få antal detaljer	2	5	10	2	4	2	4	3	6	2	4
	Låg kostnad per detalj	2	5	10	3	6	3	6	3	6	3	6
	Liten mängd material	2	5	10	2	4	3	6	2	4	3	6
	Monteringssimplicitet	4	5	20	3	12	2	8	4	16	2	8
Underhåll & Miljö	Lätt att reparera	6	5	30	3	18	3	18	4	24	3	18
	Lätt att rengöra	7	5	35	3	21	5	35	4	28	2	14
T = summan av t			265		157		177		148		158	
T/Tmax			100%		59%		67%		56%		60%	
Rangordning			-		3		1		4		2	

8. VINNANDE KONCEPT

Det vinnande konceptet är baserat på de funktioner som utgör den preliminära kravspecifikationen. Den gick vidare i Pughs urvalsmatris och var högst rankad i Kesselrings urvalsmatris. Eftersom kravspecifikationen var preliminär och urvalet gjordes med preliminära kunskaper om lösningen så kan denna process itereras igen för en mer gynnsam lösning.

För att gå vidare med koncept 4 kan det göras en detaljkonstruktion i CAD för att identifiera kritiska komponenter och enheter i lösningen. Detta ska då ta till hänsyn tillverkningsprocessen för att göra produkten bättre gällande monteringssimplicitet och materialbesparing, allt som krävs för att kunna göra den första prototypen. Detta utelämnas dock i detta projekt för att istället undersöka konceptmöjligheter med ett visionsystem, vilket störst fokus nu läggs på.



Fig. 8.1. Det vinnande konceptet, koncept 4, sedd snett underifrån.



Fig. 8.2. Det vinnande konceptet sedd snett ovanifrån.

9. KONCEPTFRAMTAGNING MED VISIONSYSTEM

Under projektets gång har vissa av förutsättningarna ändrats. Det visar sig vara lämpligt med ett så kallat visionsystem. Detta innebär kameror på lyftoket som upptäcker klisterlappar utsatta på pålarna eller på krokarna. Det ska då med den informationen kunna lokalisera var krokarna befinner sig och sända rätt hake till rätt krok. Detta är relevant med tanke på utbyggningen av lagerområdet på betongfabriken i Bollebygd. Med flyttbara traversbalkar över lagerområdet, på samma sätt som de är utformade inomhus i gjutningsrummet, så kan man införa liknande system på bägge platser. Det underlättar flyttet av pålar från gjutningsformarna till lagerområde och sedan till lastbil för transport.



Fig 9.1. Traversbalkarna i taket på Skanskas inomhusanläggning, lyftoket placeras mellan två traversbalkar och visionsystemets kameror placeras exempelvis på lyftoket.

9.1 Visionsystemet - Hur det fungerar

Ett visionsystem består av en eller flera kameror. Med speciell belysning och mjukvara så kan den ta en bild av arbetsutrymmet och låta mjukvaran leta i bilden efter information för att göra ett beslut om dess position och orientation. Information sänds då vanligtvis till en robotarm, vilket i detta fall är ett lyftdon. Beroende på vilken tillämpning kan kameran fästas på lyftdonet, oket eller på en fixerad position i närheten. Vanligtvis krävs det också en kalibrering för att visionsystemet skall kunna relatera utrymmet till mjukvaran. [9]

Kameran eller kamerorna för visionsystemet sätts på lämplig position för att få utsikt över alla pålkrokar inom dess räckvidd, förslagsvis på lyftoket. Det är möjligt att bara en kamera krävs om objektivet har en tillräckligt vid vinkel. Antagande att kameran tar bilden ovanifrån så kräver ett visionsystem upplysning om position i x-led och y-led samt lyftdonets rotation, vilket är den information mjukvaran får ut med hjälp av en bild. Gällande lyftet av betongpålar så kan det också behövas information i bildens djupled, d.v.s. z-led. Det kan användas fler än en kamera för att få ut höjden som pålen ligger i. I många fall används dock lasertriangulering.

9.2 Befintliga produkter - Visionsystem

Här presenteras ett fåtal produkter och teknologier som används för visionsystem just nu.

9.2.1 “3D Time-of-flight” - Lasertriangulering

Time-of-flight (TOF) är en metod använd av produkter som har aktiv belysning av objektet och sedan mäter avståndet med hjälp av det. Trianguleringen sker med hjälp av en laser som lyser på objektet. Kameran kan då utnyttja laserpunktens läge, beroende på hur långt avståndet mellan laserpekaren och objektet är så visar sig laserpunkten på olika ställen i kamerans synfält. Laserpekaren, objektet och kameran bildar en triangel med relevanta längder och vinklar kända för att exakt kunna beräkna avståndet mellan pekare och objekt, höjden h . I vanliga fall så sveper man lasern över objektet för att snabbt anskaffa en uppfattning om höjden h i alla lägen. ΔH avser skillnaden i höjd på objektet som kan utnyttjas för att finna nyckeldetaljer åt mjukvaran, vilket utgör en skillnad på kamerans sensor Δh . Δh är den input som används för trianguleringens beräkning av h . Denna princip kan appliceras på en betongpåle för att finna kroken. [10] Fördelen med lasertriangulering är att man inte behöver lika bra belysning av objektet jämfört med ett passivt 3D visionsystem. [11]

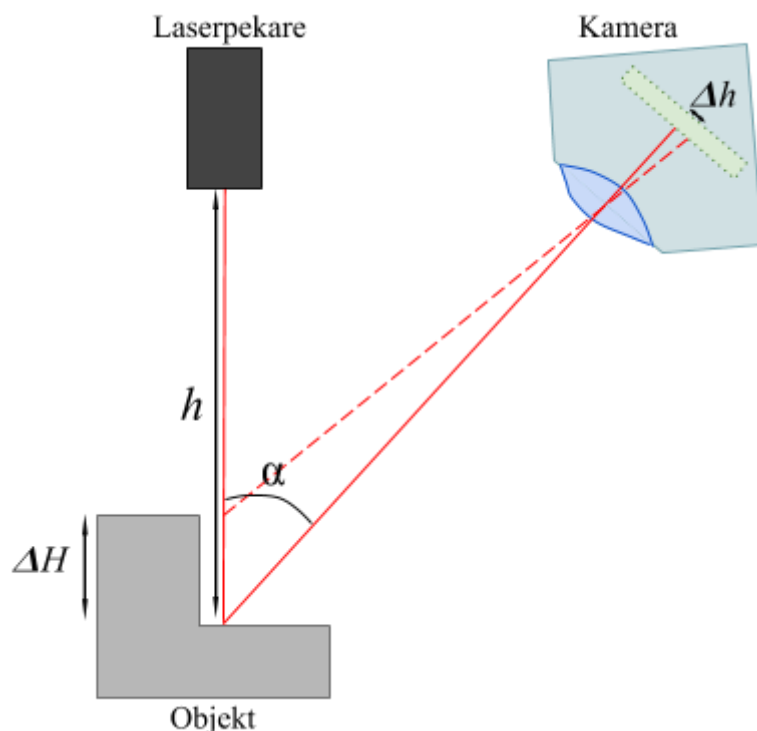


Fig. 9.2. Principbild av lasertriangulering med laserpekare, objekt och kamera.

9.2.2 Point Grey - Bumblebee

Ett vanligt visionsystem är att använda sig av två sensorer vilket åstadkommer en bildbehandling i stereo, detta kallas “passive imaging”. Det produceras då två olika bilder från var sitt perspektiv. I sådana system så måste varje kamera kalibreras noggrant så att beräkningen överensstämmer med varje pixels motsvarighet i bilden producerad från andra sensorer. Det finns ingen gräns på hur många sensorer man kan addera till systemet och i många fall så använder man sig av kameror som är kalibrerade i förhand. Ett exempel är *Bumblebee XB3 1394b* från *Point Grey* som använder sig av tre

sensorer. Nackdelen med dessa förkalibrerade alternativ är att noggrannheten avtar desto längre bort objektet är, man kan dock placera sensorerna längre bort ifrån varandra för en ökad noggrannhet. I *Figur 9.3*. får man information om djupet i ett foto, rödare färg indikerar att ett objekt är närmare. [11]

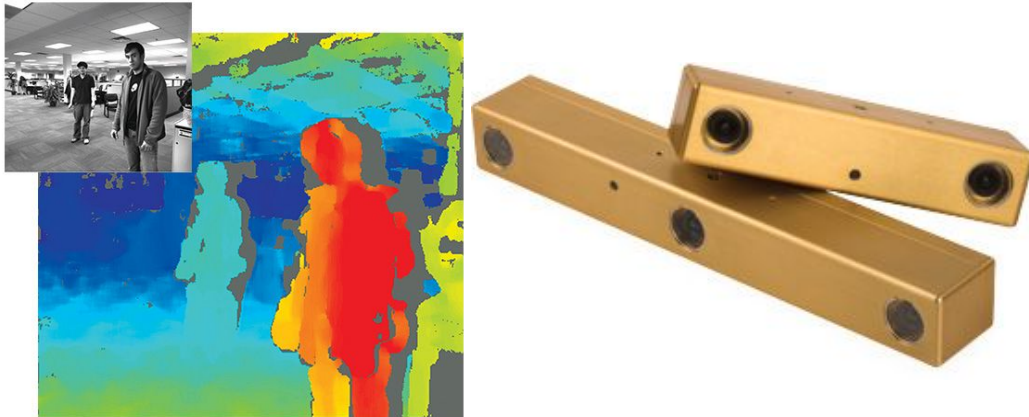


Fig. 9.3. Ett foto som visar djup och ett par förkalibrerade kameror för passive imaging.

För att räkna ut avståndet h till ett objekt med hjälp av två sensorer så behövs det kännedom om avståndet mellan sensorerna b , och två vinklar: α och β . Parametrarna är utsatta i *Figur 9.3*. Avståndet från sensor till objekt blir då enligt funktionen nedan:

$$h = \frac{b}{\frac{1}{\tan \alpha} + \frac{1}{\tan \beta}}$$

Ekvation 9.1. Uträkning av höjden h .

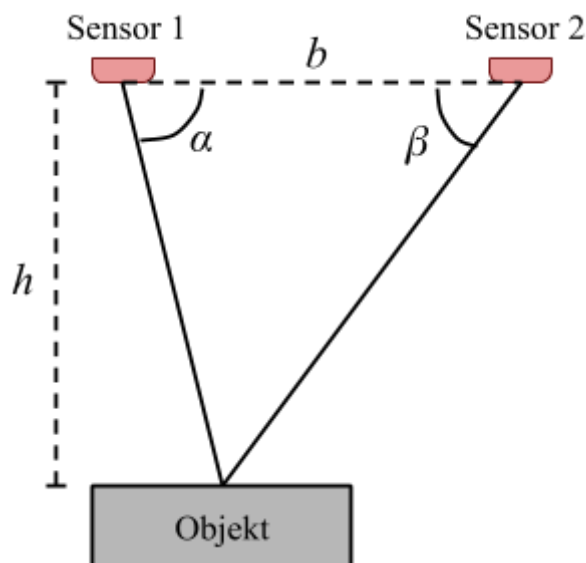


Fig. 9.4. Figur med kända parametrar för beräkning av avståndet h .

9.2.3 “Fringe projection”

Fringe projection är en projektion av en ljusstråle på ett tredimensionellt objekt som skapar en reflektion som ser förvrängd ut från andra perspektiv, denna information kan användas för att ta reda på objektets form och därmed position av nyckelkomponenter. Detta kan göras snabbt om man projicerar ett större mönster, vanligtvis flera parallella streck. Då kan man erhålla många prover och snabbt få en uppskattning om objektets form. [12]

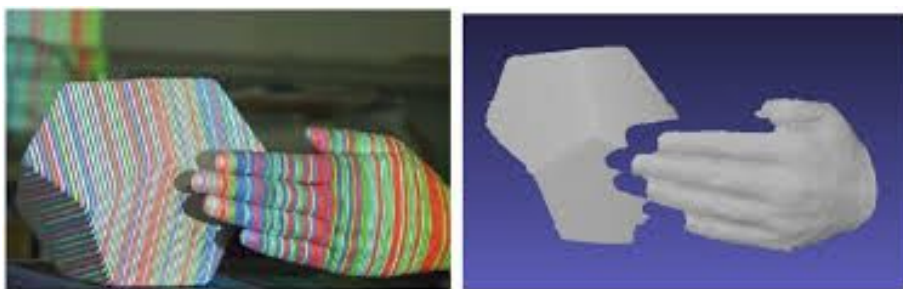


Fig. 9.5. Fringe projection över två objekt och dess representation i en mjukvara.

9.2.4 Färgigenkänning/Streckkodsläsare

Det finns visionsystem med industriella streckkodsläsare vanligtvis för lagerhantering och färgsensorer för effektivare plockning av mindre parter. *Cognex* erbjuder ett exempel på sensorer och visionsystem designat för just detta, *In-Sight 2000 Vision Sensors*. Det skall dock observeras att det krävs en stark och jämn belysning av bilden i fråga. Sensorerna kan placeras på undersidan av oket för att kunna upptäcka en färgad krok eller en välplacerad klisterlapp. Färg- och kontrastbaserade visionsystem är bäst anpassade i industrier där färg är den enda skillnaden mellan parter och där inspektion görs av människor som ofta misstolkar färger. [13]



Fig. 9.6. Ett förslag på hur det kan se ut med klisterlappar på pålarna som visionsystemet kan lokalisera.

9.2 Konceptgenerering

Konceptgenereringen i detta fallet görs med ett nytt ramverk, med visionsystemet som främsta lokaliseringslösning. Om man kombinerar föregående koncept med ett visionsystem så löser man många tidigare problem gällande lokalisering av kroken. Vissa koncept alstrar inget rimligt eller är inte kompatibla med ett visionsystem alls. Det är främst de koncepten som klarade sig bäst ur tidigare matriser som nu försöks vidareutvecklas för att vara mer kompatibla med ett visionsystem.

Koncept 8

Detta är, på samma sätt som koncept 4, en hake som med hjälp av visionsystemet inte längre kräver en kamera på varje don. På detta sätt så kan kameran upptäcka avståndet mellan krokarna på varje påle och sedan med traversbalkarna sikta sig ovanför en krok med haken. Haken hissas ned tills fötterna tar i och detta signalerar att systemet kan påbörja låsningen, då roterar haken och fastnar i pålens krok. Visionsystemet behöver inte beräkna avståndet till kroken. Till skillnad från koncept fyra så saknar denna lösningen ett sätt att rätta sin position efter pålens krok så att den enkelt kan låsas, tanken är istället att visionsystemet ska avgöra hur anordningen ska placeras och se till att den automatiskt vrids så att haken kan låsas i kroken.

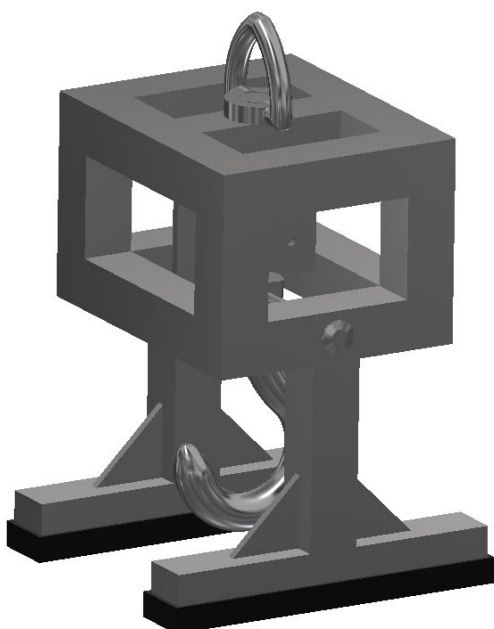


Fig. 9.7. Koncept 8.

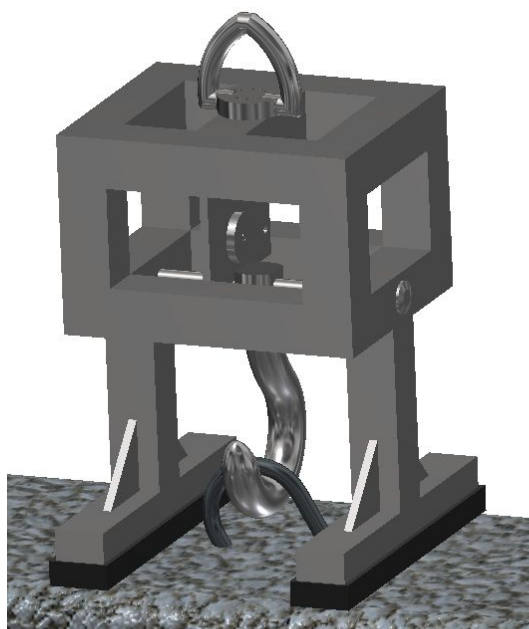


Fig. 9.8. Koncept 8 på en betongpåle.

Koncept 9

Fyra hakar fästa i var sina block som är placerade i en tämligen stor balk är det som utgör detta koncept. Krokarna är fast runt respektive axel som sitter i blocken och blocken kan röra sig fram och tillbaka i en riktning med hjälp av två hjulpar. Balken är suspenderad av två kättingar upp till traversbalken. Den förs ned och visionsystemet hjälper den att träffa i linje med krokarna i pålarna. De svarta stoppklossarna gör så att balken hamnar i rätt höjd ovanför pålarna. När balken är placerad korrekt så rör sig de fyra gröna blocken så att krokarna förs in i öglorna, se figur 9.7. Därefter kan lyftet ske. Efter pålen flyttats till lämplig position så fälls hakarna upp och anordningen kan fortsätta till nästa lyft. Denna anordning fungerar främst då pålarna ska lyftas ur gjutningsformarna, då omgivande planets höjd är ungefär samma som betongpålens övre yta. Om detta inte är fallet så har inte stoppklossarna någonstans att landa, i så fall kräver denna anordning ett mer avancerat visionsystem som beräknar avståndet till betongpålarna.

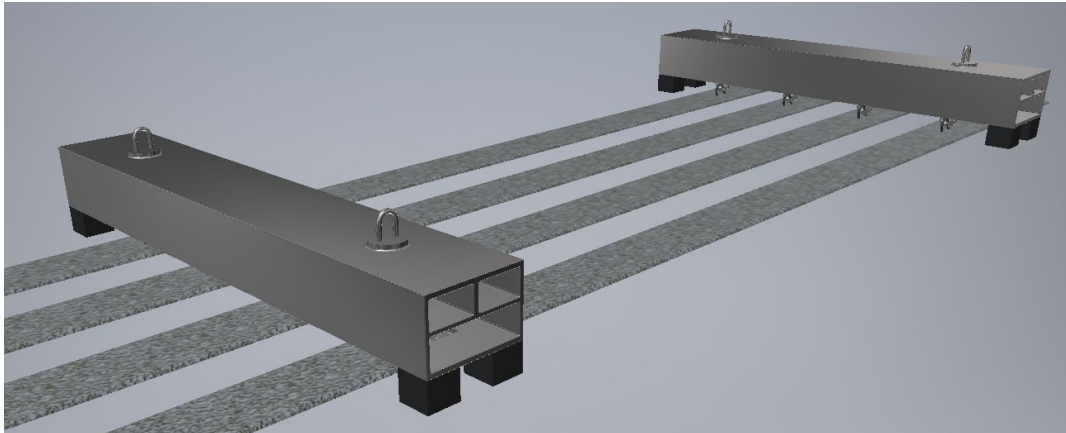


Fig. 9.9. Helhetsvy av konceptet. Endast toppen av pålarna syns för att det ska illustrera hur det är när de är i gjutningsformarna.

Hur anordningen är konstruerad för tillfället gör det mest optimalt att bära flera pålar samtidigt, men även en påle åt gången ska vara möjligt att bära, speciellt om den fästs på en hake som är nära någon av balkens två öglor, där kättingen sitter.

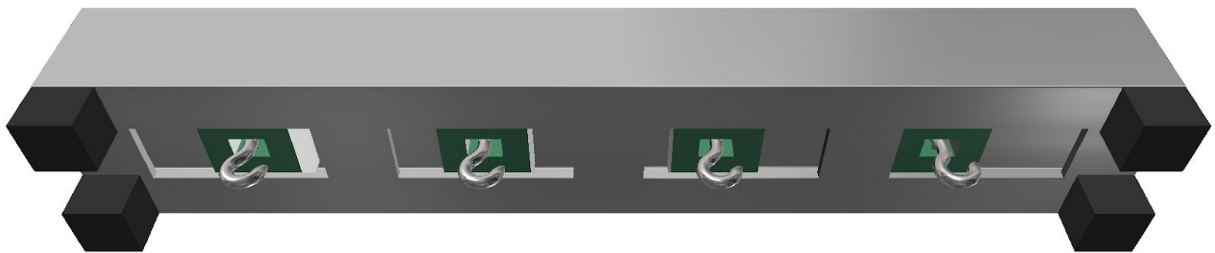


Fig. 9.10. Undersida av balken. Blocken som håller och styr hakarna syns i grönt.

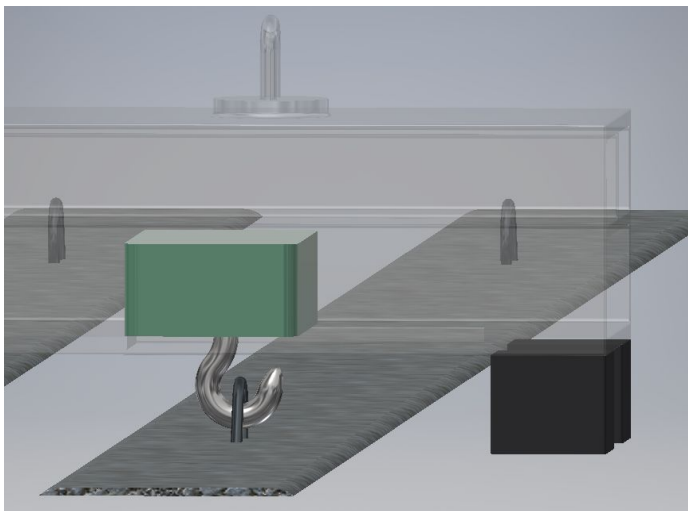


Fig. 9.11. Förstoring med en transparent balk för att illustrera hur det blir när haken är låst i pålens krok.

Koncept 10

Koncept 10 består av två eldrivna löpvagnar som rullar på en I-balk. Balken är suspenderad mellan två traversbalkar så att den går parallellt med betongpålarnas position. Löpvagnarna är försedda med orörliga hakar som ska anslutas med respektive av pålens krokar. Visionsystemet hjälper I-balken att hamna i linje med betongpålen. Om balkens ändar rör sig oberoende av varandra med hjälp av traversbalkarna så behöver inte heller betongpålen vara vinkelrät med traversbalkarna för att I-balken ska hamna rätt. Balken sänks ned tills den landar på betongpålen med sina stoppklossar som gör att det uppstår ett tillfredsställande mellanrum. Därefter rör sig löpvagnarna mot respektive ögla i kroken tills de sitter i, sedan kan lyftet göras. Fördelar är bland annat att visionsystemet inte behöver avgöra och anpassa sig till avståndet till pålen, bara hur balken ska röra sig i sidled. Dessutom så behöver elmotorn (t.ex. asynkronmotor) inte vara överdrivet stor eller stark då den vanligtvis bara flyttar en obelastad löpvagn. Visionsystemet måste nödvändigtvis inte heller här beräkna avståndet till kroken, det som krävs är en sensor som meddelar när stoppklossarna når pålen så att balken slutar släppas nedåt. Kameran eller kamerorna behöver förmodligen vara placerade på traversbalkarna istället för lyftoket i detta koncept för annars kan de få skymd sikt efter lyft av en påle.

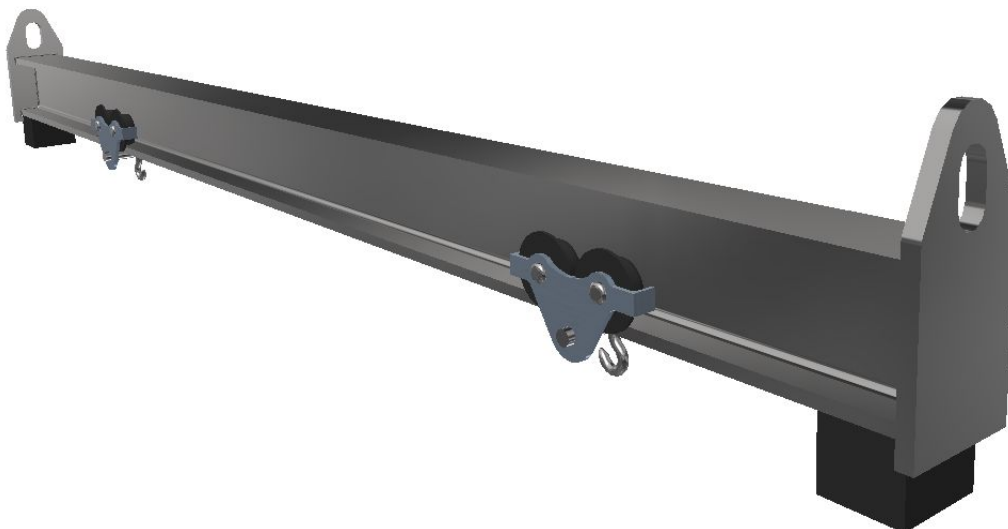


Fig. 9.12. Koncept 10 som utgörs av två löpvagnar på en I-balk.

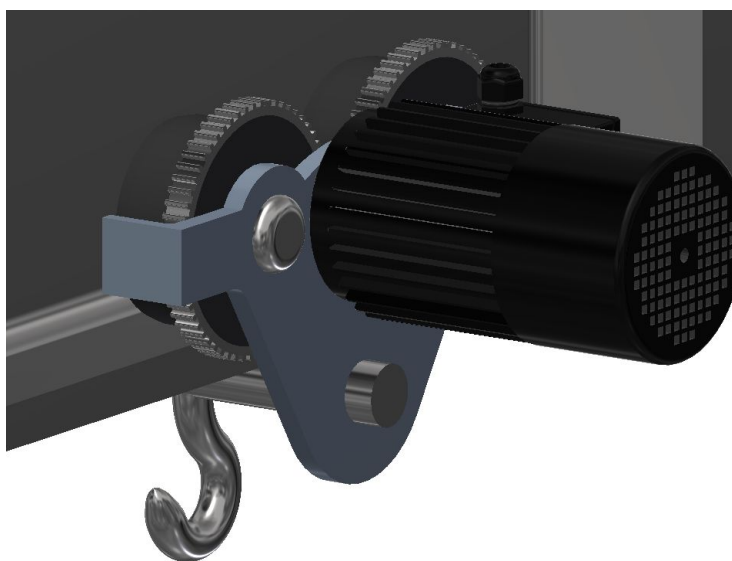


Fig. 9.13. Ena sidan av en löpvagn där elmotorn som driver hjulen m.h.a. kuggar syns.

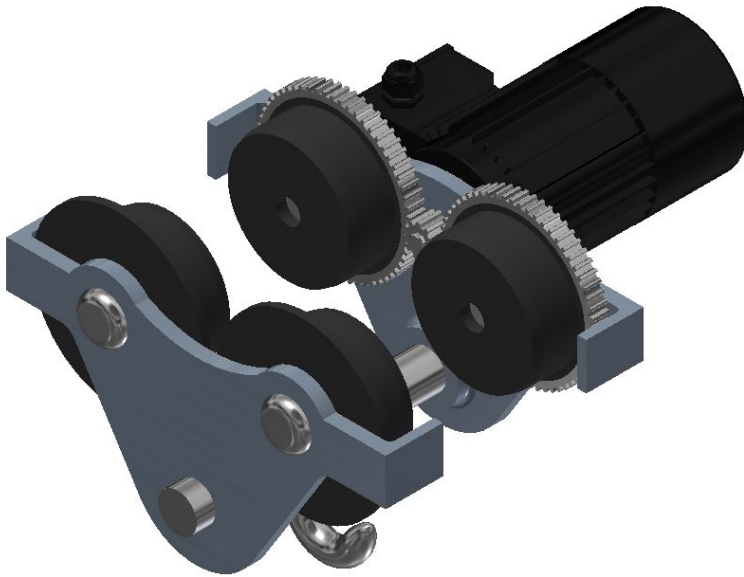


Fig. 9.14. Helhetsbild av løpvagnen.

Koncept 1 + visionsystem

Koncept 1 gick inte bara vidare i Pughs men är också kompatibel med ett visionsystem. Dock så krävs det några modifikationer av konstruktionen. För att undvika problemet med träffsäkerhet så har det införts en balk på toppen av donet, se *Fig. 9.15* nedan, som låter konstruktionen hänga från två punkter istället för endast en. Detta passar bra med nuvarande traversbalkar och tillåter visionsystemet att vrida donet inför lyftet. Detta innebär också att plastskivorna inte längre behövs och eliminerar allt avstånd mellan pålar när man lyfter fler än en.

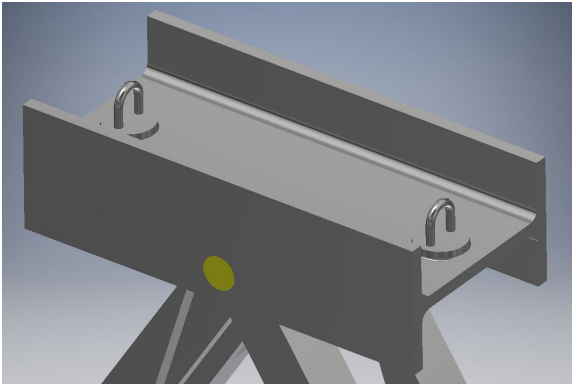


Fig. 9.15. Koncept 1 bättre anpassad för ett visionsystem, här syns hur toppdelen med hångkrokar har ändrats för att kunna hänga i två kättingar.

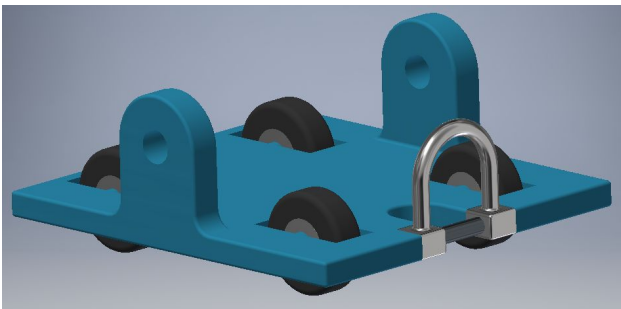


Fig. 9.16. Hur plattan har ändrats; plastskivorna är borttagna.

Koncept 7 + visionsystem

Koncept 7 löser kraven som visat tidigare med ett positivt nettovärde i Pughs matris. Den behöver inte heller ändras för att anpassas med ett visionsystem. Systemet låter lokaliseringen, låset och lyftet gå från att vara manuellt kontrollstyrd till att vara helt automatisk. Om det inte finns möjlighet att flytta på krokarna på grund av hållfasthetsskäl så kan man använda sig av ett huspar per krok. Detta ökar dock kostnaden och komplexiteten avsevärt.

9.3 Urval

Av de nu nya koncepten med ett visionsystem så kan det göras ett urval för att välja bästa möjliga för vidareutveckling. Eftersom randvärden är ändrade så krävs det matriser med nya kriterium och poängsättning med nya referensramar. Pughs urvalsmatris användes inte.

De koncept som utvecklades innan relevansen av ett visionsystem och som fortfarande är kompatibla med ett visionsystem tas också med i urvalsprocessen. De koncept som fick ett värde mindre än noll i Pughs matris tas dock inte med eftersom de klarar kraven sämre än den befintliga lösningen.

Det har gjorts nya vikningar med nya kriterium, allt i förhållande till en lösning med ett visionsystem.

Tabell 9.1. Viktningsmatris över kriterierna.

Kriterium	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sum	Sum/Tot
1. Lyfta flera pålar	-	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	14%
2. Träffsäkerhet	1	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	15%
3. Hög läsbarhet av hake	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	17%
4. Kräver ej höjdberäkning	0	0	0	-	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	2,5	4%
5. Livslängd	0	0	0	1	-	1	1	1	1	1	0,5	1	7,5	11%
6. Få antal detaljer	0	0	0	0,5	0	-	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	2,5	4%
7. Låg kostnad per detalj	0	0	0	0,5	0	0,5	-	0,5	0	0	0	0	1,5	2%
8. Liten mängd material	0	0	0	0,5	0	0,5	0,5	-	0	0	0	0	1,5	2%
9. Monteringssimplicitet	0	0	0	0,5	0	0,5	1	1	-	0	0	1	4	6%
10. Lätt att reparera	0	0	0	1	0	1	1	1	1	-	0,5	1	6,5	10%
11. Låg slitningsrisk	0	0	0	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5	-	1	6	9%
12. Lätt att rengöra	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	-	4	6%
Total													66	100%

Tabell 9.2. Rangordning av önskemålen.

Kriterium	Sum/Tot	Skala 1 - 10
3. Hög läsbarhet av hake	0,17	10
2. Träffsäkerhet	0,15	9
1. Lyfta flera pålar	0,14	8
5. Livslängd	0,11	6
10. Lätt att reparera	0,10	6
11. Låg slitningsrisk	0,09	5
9. Monteringssimplicitet	0,06	4
12. Lätt att rengöra	0,06	4
4. Kräver ej höjdberäkning	0,04	2
6. Få antal detaljer	0,04	2
7. Låg kostnad per detalj	0,02	1
8. Liten mängd material	0,02	1

9.3.1 Kesselrings urvalsmatris

Koncept 1 och 7 är de koncepten från det tidigare stadiet som anses kunna kombineras med ett visionsystem, de tas därför också med i denna urvalsmatrisen. Hur de har ändrats för att vara mer kompatibel med visionsystemet visas under konceptgenereringen. Koncept 10 kom bäst ur matrisen på 76% av idealet och koncept 8 hamna på en andraplats med 69%.

Tabell 9.3. Kesselrings matris.

Kriterium		Ideal			Koncept 1		Koncept 7		Koncept 8		Koncept 9		Koncept 10	
		w	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t
Prestation	Lyfta flera pålar	8	5	40	1	8	1	8	5	40	5	40	3	24
	Träffsäkerhet	9	5	45	2	18	4	36	1	9	2	18	5	45
	Hög låsbarhet av haken	10	5	50	3	30	3	30	4	40	4	40	4	40
	Kräver ej höjdbräkning	2	5	10	5	10	5	10	5	10	2	4	5	10
Ekonomi	Livslängd	6	5	30	3	18	3	18	4	24	3	18	3	18
	Få antal detaljer	2	5	10	3	6	2	4	2	4	3	6	3	6
	Låg kostnad per detalj	1	5	5	3	3	2	2	3	3	2	2	4	4
	Liten mängd material	1	5	5	3	3	3	3	4	4	2	2	3	3
	Monteringssimplicitet	4	5	20	3	12	2	8	3	12	3	12	4	16
Underhåll & Miljö	Lätt att reparera	6	5	30	3	18	2	12	3	18	3	18	4	24
	Låg slitningsrisk	5	5	25	2	10	1	5	4	20	2	10	3	15
	Lätt att rengöra	4	5	20	4	16	2	8	4	16	2	8	4	16
T = summan av t		290			152		144		200		178		221	
T/Tmax		100%			52%		50%		69%		61%		76%	
Rangordning		-			4		5		2		3		1	

Används bara en I-balk i Koncept 10 så kan den bara lyfta en betongpåle åt gången. Det ska dock vara möjligt att placera i alla fall två I-balkar bredvid varandra om löpvagnarna med elmotorer på är sitter på motsvarande sida av I-balkarna med motorerna riktade ifrån varandra, se Fig. 9.17. Det kan också vara flera av dessa balkpar. Detta är anledningen till att Koncept 10 fick mer än 1 på *Lyfta flera pålar*.

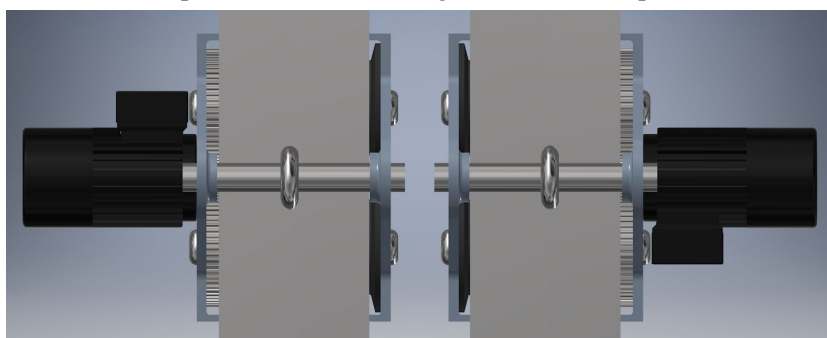


Fig. 9.17. Två I-balkar med löpvagnar, sedda underifrån, där motorerna är motriktade.

Kan ett don lyfta fyra pålar får den en femma och om den bara klarar en påle i taget ges den en etta. Koncept 8 har relativt låg träffsäkerhet då den hänger i bara en kätting vilket gör det mindre stabil som svårare att manövrera. Koncept 9 har sämre träffsäkerhet än det vinnande konceptet eftersom den har fyra hakar som ska träffa i pålens krok istället för en eller två som koncept 10 har. För att hakarna i koncept 9 ska träffa behöver alla pålkrokar vara i linje. Det är också lättare att placera pålkroarna med högre precision i x-led än i y-led, om y-axeln är riktad längs med pålens långsida och x-axeln tvärs över pålen. Koncept 9 är beroende av hur krokarna är placerade i y-led och koncept 10 i x-led. Med *Hög låsbarhet av haken* handlar det om hur haken behöver vara utformad för att konstruktionen

ska fungera på ett bra sätt. Det är till exempel en fördel om haken inte behöver rotera för att ta fast pålens krok eftersom detta innebär rörbara delar och mer komplicerade anordningar.

9.4 Vinnande koncept - Löpvagnen

Koncept 10, eller Löpvagnen, som utgörs av eldrivna löpvagnar och en I-balk, blev vinnaren efter ha ansetts uppnå baskraven och fått bäst betyg enligt Kesselrings urvalsmatris. Nästa steg är att göra en detaljkonstruktion av konceptet för att noggrant visa alla ingående beståndsdelar. Därefter bör en prototyp skapas för att utföra tester på. I detta projekt demonstreras dock bara övergripande förslag på hur anordningen kan vara konstruerad. Här nedan följer illustrationer och beskrivningar av dessa förslag av det vinnande konceptet.

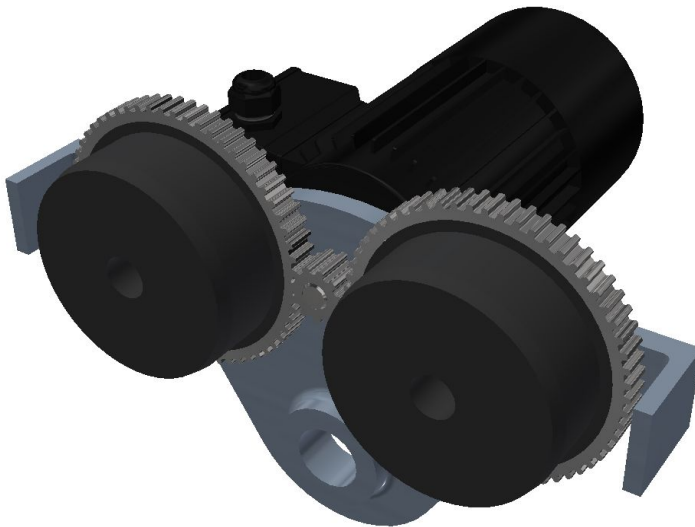


Fig. 9.18. Ena halvan av en version av löpvagnen med ett förslag på hur kuggarna och överföringen från elmotorn till hjulen kan vara utformad.

Ett problem som kan tänkas uppkomma med denna anordningen (om den är konstruerad som i *Fig. 9.18*) är att löpvagnarna börjar glida efter de blivit belastade med en betongpåle. Även om hjulen då är låsta så att de inte kan rulla så kan ändå glidning uppstå mellan hjulen och I-balken om friktionen inte är tillräcklig. En lösning till detta kan vara att omkonstruera den ena ytan i I-balken som ett hjulpar rullar på till en yta gjord av kuggar, som en kuggstång eller kuggplatta. Detta kan göras genom att tillverka en avlång platta med kuggar på som fästs på I-balken med t.ex. svetsning eller annat förband, enligt *Fig. 9.20-21*. Om också ett eller två hjul blir omgjorda till kugghjul så kan balken och hjulen gå i varandra utan möjlighet till att glidning uppstår. Hur detta kan se ut illustreras i *Fig. 9.19, 9.20 och 9.21* här nedan.

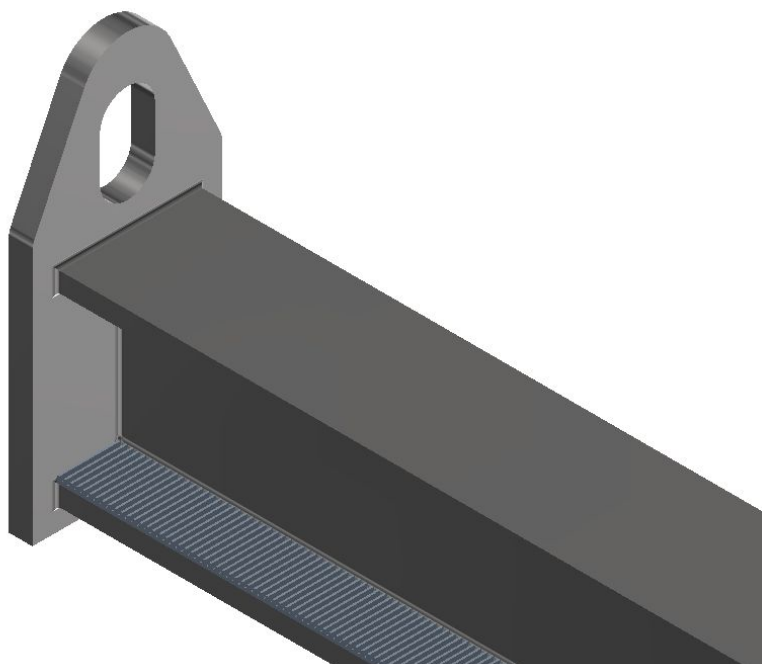


Fig. 9.19. Förslag på hur I-balken kan se ut när en kuggplatta fastmonteras för att motverka uppkomsten av glidning.

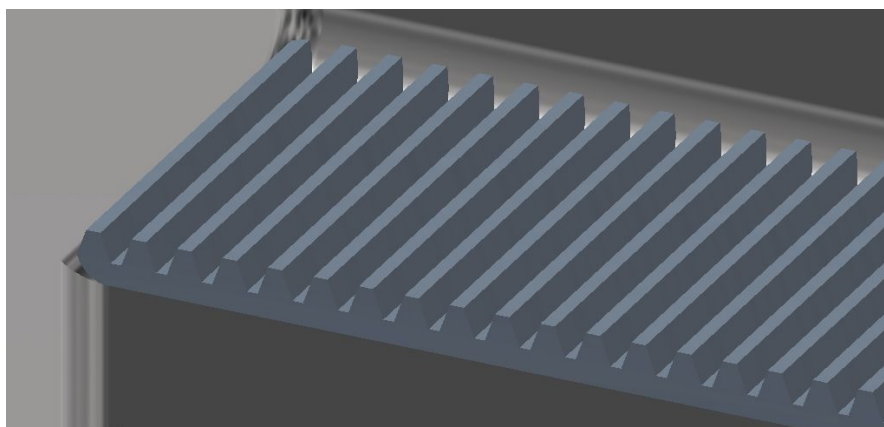


Fig. 9.20. Närbild av kuggplattan för att tydligare illustrera hur den placeras på I-balken.

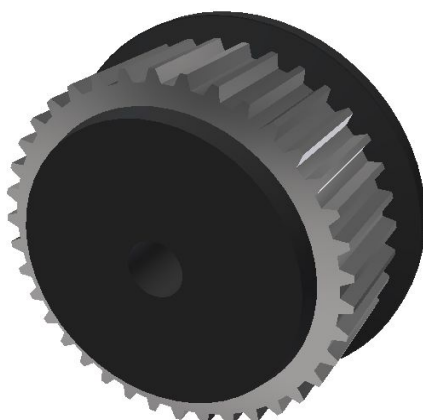


Fig. 9.21. Förslag på hur ett hjul kan se ut för att passa med I-balkens kuggplatta.

Pålkrokarna kommer behöva vridas 90 grader så att öglan är öppen mot haken. Betongpålarna har tidigare haft sina krokar på detta så det är förhoppningsvis inga problem att ha det igen. Själva haken behöver modifieras för att vara mer av en säkerhetskrok som stängs när den har hakat i pålkroken för att helt undvika att den lossnar.

Bara en av ytorna som hjulen rullar på behöver vara utrustad med en kuggplatta. Detta är på den sidan av pålen som löpvagnens motor sitter på. Båda hjulen som sitter på den sidan är försedda med kuggar. Elmotorn är i låst läge när den inte kör för att hjulen inte ska kunna rulla vid belastning. Drivkuggen kan vara ansluten till båda kuggarna eller bara en. Slitningen på drivkuggen är mindre om den bara går mot en av hjulkuggarna. Tredje alternativet är att motorns drivaxel är direkt kopplad till ett av hjulen.

Det behövs en I-balk och ett par löpvagnar per betongpåle som ska lyftas. Det är därför svårare att lyfta ett flertal pålar samtidigt. Detta i synnerhet om pålarna ligger nära varandra eftersom med motorns längd inräknat så överskrider konceptets bredd betongpålens. Det kan dock vara möjligt att placera motorn någon annanstans och använda ännu fler kuggar för att överföra rotationen till hjulen. Två I-balkar kan placeras nära varandra för att i alla fall lyfta två betongpålar, detta görs möjligt om elmotorerna är motriktade som *Fig. 9.17* och *Bilaga 6* visar.

Visionsystemets kameror skulle enligt tidigt förslag placeras på lyftoket som sitter mellan de två traversbalkarna. I denna konstruktion fungerar löpvagnarnas I-balk som lyftok. Kamerorna bör placeras där de kan se en hel påle, åtminstone bäge av pålens krokar. Detta är förslagsvis i mitten av I-balkens undersida. I detta fall kommer dock kamerans sikt bli blockerad efter att anordningen anslutits till en betongpåle. Här krävs det då att operatören styr lyftoket dit pålen ska hamna. Kamerorna kan annars placeras på traversbalkarnas vagnar så att de fortfarande följer med vid förflyttningar. Visionsystemet behöver bara tala om när I-balken är i rätt position för att löpvagnarna ska åka till respektive pålkrok. Löpvagnarna behöver vara utrustade med någon slags sensor som meddelar när haken är fäst med pålkroken. Att operatören styr och kontrollerar anordningen efter att den utfört lyftet löser de grundläggande problemen med hur det är idag.

Vagnarna på traversbalkarna som flyttar I-balken rör sig oberoende av varandra så de kan ställa sig i korrekt position även när betongpålen inte ligger vinkelrätt med traversbalkarna. I-balken kan vara fäst i vagnarna på samma sätt som lyftoket är idag, se *Fig. 9.22*.



Fig. 9.22. Hur lyftoket kopplat idag, p.s.s. kan I-balken hängas i traversbalkens vagn.

Konceptet i sin helhet består av en I-balk, kuggplatta och ett par löpvagnar. Löpvagnen utgörs i sig av bland annat två par hjul, där ett av paren är försedda med kuggar, en elmotor med tillhörande kugge, bultar för att hålla hjulen, en stång som går mellan de två sidorna och en hake som sitter på stången. De två nästkommande bilder visar detta övergripande. En lite mer förklarande bild finns i *Bilaga 4*. En ytterligare rendering av det vinnande konceptet syns i *Bilaga 5*.

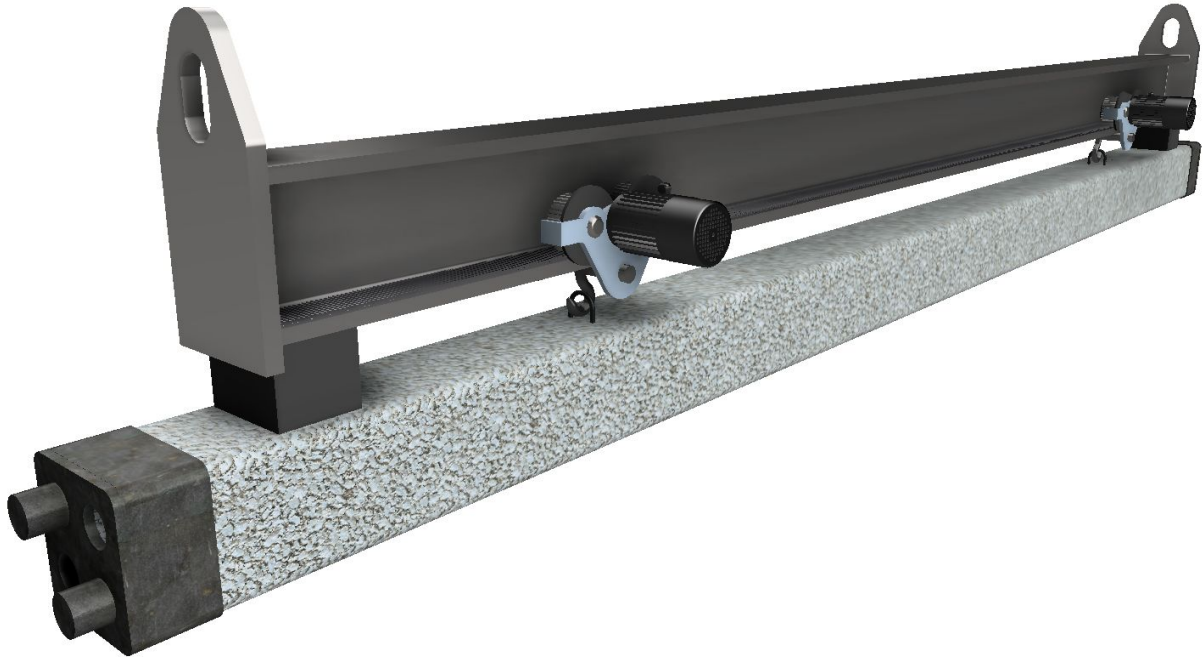


Fig. 9.23. Helhetsbild av det slutgiltiga och vinnande konceptet med I-balk, kuggplatta och löpvagnar. Här visas dessutom pålen som anordningen ska lyfta upp.

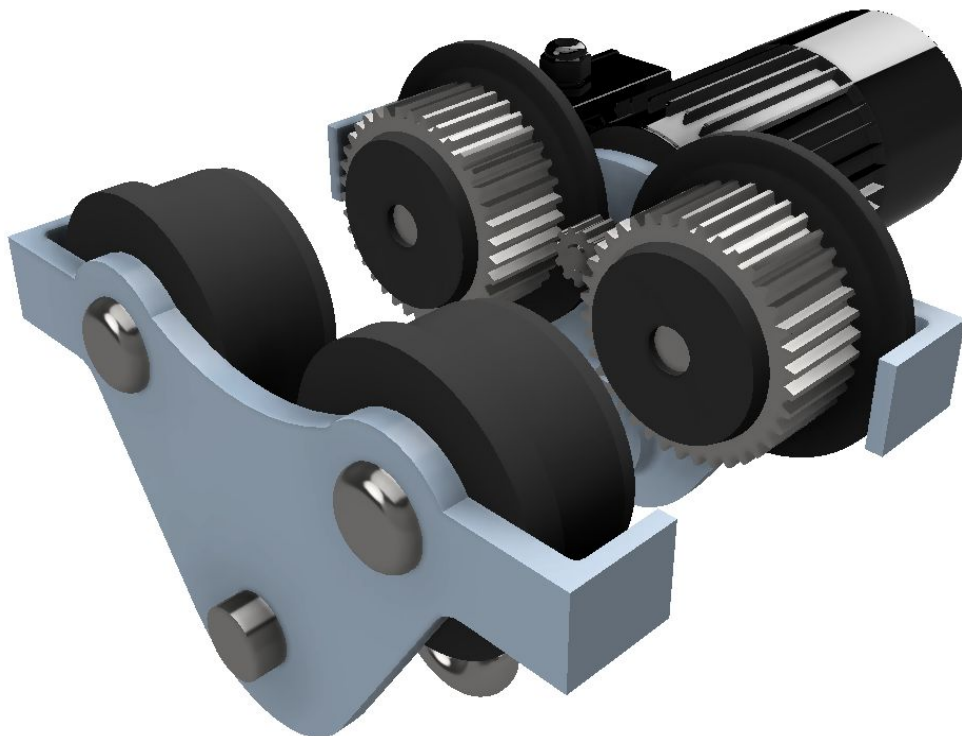


Fig. 9.24. Löpvagnen.

10. SLUTSATS & DISKUSSION

Målet har varit att ta fram lösningar som gör att anställda inte behöver klättra för att koppla pålkrokarna med lyftanordningen, främst av säkerhetsskäl. Efter förstudier och undersökningar av befintliga produkter har det genererats tio koncept. Dessa har huvudsakligen illustrerats med CAD-modeller och jämförts med diverse metoder.

En större justering i arbetet gjordes efter ändrade förutsättningar. Skanska har visioner att bygga ut betongfabriken i Bollebygd med möjligheter för traversbalkar inte bara i gjutningsrummet men också över lagerområdet. Det blir då mycket intressant med ett visionsystem som tillåter lyftdonet att lokalisera kroken och lyfta pålen helt automatiskt.

Det har genererats ett antal lösningsförslag både med ett visionsystem och utan. En lösning som kopplar pålen behöver inte bara lokalisera pålkroken men också låsa haken i den. Ett visionsystem tillåter lokaliseringen att fortgå utan användning av till exempel en fjärrkontroll, hela processen kan då vara automatisk. Detta eliminerar nödvändigheten av en operatör som kopplar varje hake manuellt och därmed också riskerna med sådant arbete. De flesta företag inom grundläggning använder sig i nuläget inte av en helt automatisk pålförflytningsprocess.

Det har dessvärre inte genererats ett optimalt koncept, det vill säga något som kan lyfta många pålar på ett säkert sätt. Löpvagnen kan lyfta säkert och ser till att anställda inte behöver klättra, men det kan vara problematiskt att lyfta många pålar samtidigt. Det ska dock vara möjligt lyfta i alla fall mer än en påle åt gången, speciellt om elmotorn kan placeras lämpligt. Kriterierna från kravspecifikationen är viktade med metoder som i grunden är uppskattningar med hjälp av kurslitteratur och erfarenhet från tidigare produktutvecklingsprojekt. Detta kan självklart itereras senare i processen och begränsas endast av tillgängliga resurser.

Vi anser att det koncept som kom vinnande ur de senare urvalsmatriserna efter implementering av visionsystemet är det bästa och mest realiserbara. Detta gäller ur ett flertal synvinklar så som ekonomisk, tillverkning, och utförande. Vår anordning anses lösa de problem som var grunden till detta projekt. Med hjälp av visionsystemet lyfts pålen upp på ett säkert sätt och sedan kan operatören kontrollstyrt flytta den dit den ska. Visionsystemet bör kunna flytta pålen till målet också men då behöver det vara väl markerat och inom systemets synfält.

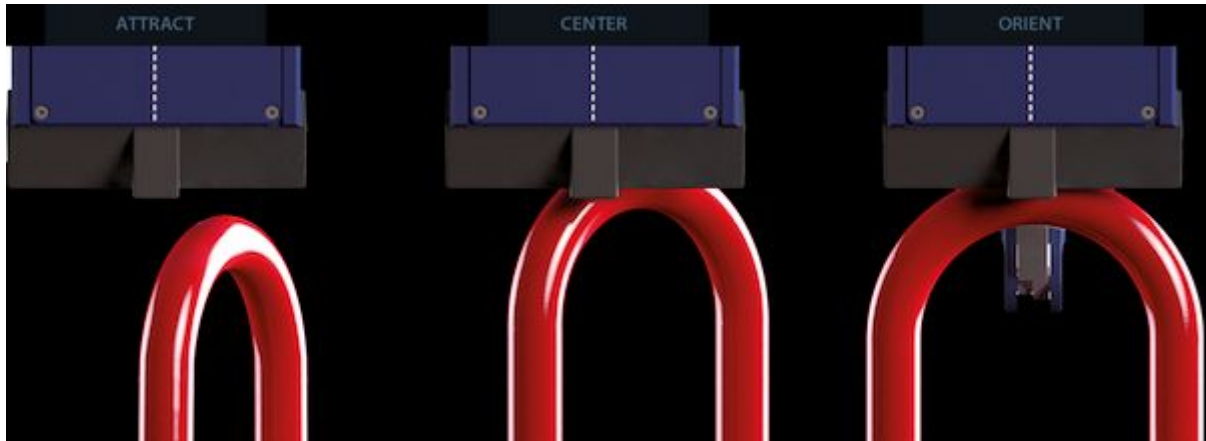
Koncept 4 var vinnande koncept utan något visionsystem och Löpvagnen var vinnande koncept med ett visionsystem. Vid fortsatt arbete av det vinnande konceptet kan det vara lämpligt att göra en detaljkonstruktion och prototyp för att kunna utföra materialval och hållfasthetsberäkningar. Detta bör hela tiden göras med hänsyn till bland annat tillverkningsprocessen och monteringen.

REFERENSER

1. Från inspektioner samt intervjuer och möten med handledare på Skanska, Bollebygd, 2017.
2. Byggnads- och anläggningsarbete, Arbetsmiljöverket, AFS 1999:3, <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/byggnads-och-anlaggningsarbete-foreskrifter-afs1999-3.pdf> (Acc 2018-01-11)
3. Hans Johannessson et al: Effektiva metoder för konstruktion och design, Liber, Sverige 2013.
4. The elebia automatic hook, elebia, <https://elebia.com/automatic-crane/> (Acc 2017-10-23)
5. Automatic hook, Gigasense, <http://www.gigasense.se/product/gigasense-automatic-hook/> (Acc 2017-10-23)
6. Automatic lifting tongs, Johnston et al., USA 1969, <https://patents.google.com/patent/US3697118A/en> (Acc 2017-10-24)
7. Safety Hook, Arthur W Smith et al, USA 1968, <https://patents.google.com/patent/US3493260A/en> (Acc 2017-10-24)
8. Power operated sling release construction, Harris S Campbell, USA 1955, <https://patents.google.com/patent/US2904369A/en?assignee=EASTERN+ROTORCRAFT+CORP> (Acc 2017-10-24)
9. Lowering Costs With Robotic Vision Systems, Acieta, <https://www.acieta.com/automation-application/vision-systems/> (Acc 2018-01-22)
10. Laser triangulation sensors, MTI Instruments, <https://www.mtiinstruments.com/technology-principles/laser-triangulation-sensors/> (Acc 2018-01-24)
11. Choosing a 3D vision system for automated robotics applications, Vision Systems Design, <http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-19/issue-11/features/choosing-a-3d-vision-system-for-automated-robotics-applications.html> (Acc 2018-01-24)
12. A comparative survey on invisible structured light, IUT Le Creusot, http://fofi.pagesperso-orange.fr/Downloads/Fofi_EI2004.pdf (Acc 2018-01-29)
13. Vision Inspection: Advanced Color Tools for Advanced Color Applications, Cognex, <http://www.cognex.com/advanced-color-applications.aspx?pageid=11373&langtype=1033> (Acc 2018-01-29)

BILAGOR

Bilaga 1: elebias länk



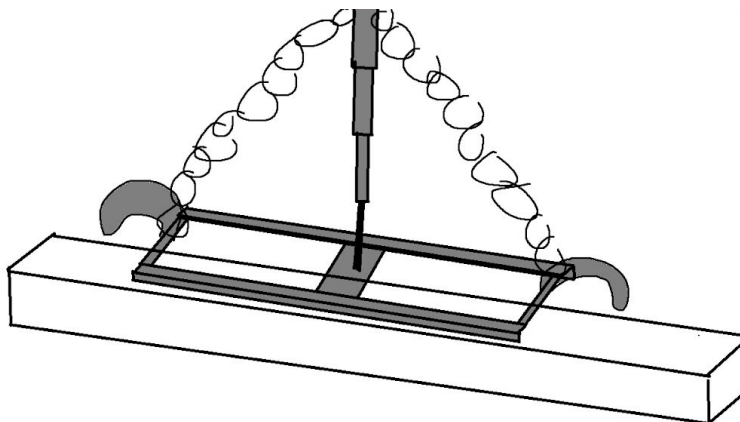
Bilaga 2: Intervju med operatör

Intervju med Diary Ahmad - Operatör på Skanska Bollebygd

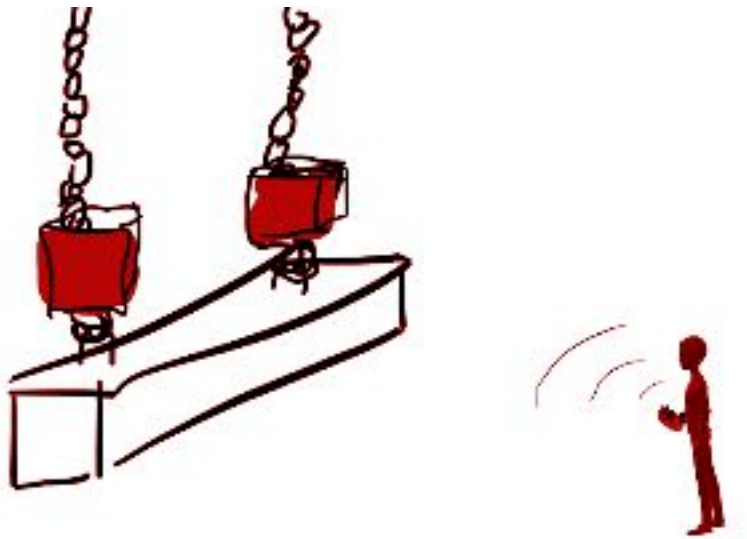
1. Berätta om vad du gör när du ska flytta pålar.
2. Ser du några säkerhetsrisker med lyftet och pålkopplingen?
3. Vad är jobbigt eller eländigt med arbetet?
4. Hade du nöjt dig med en mer säker lösning även om den tar längre tid än att koppla manuellt?
5. Om du vill se en ny lösning, vad har du för krav på den då?

Bilaga 3: Tidiga konceptskisser

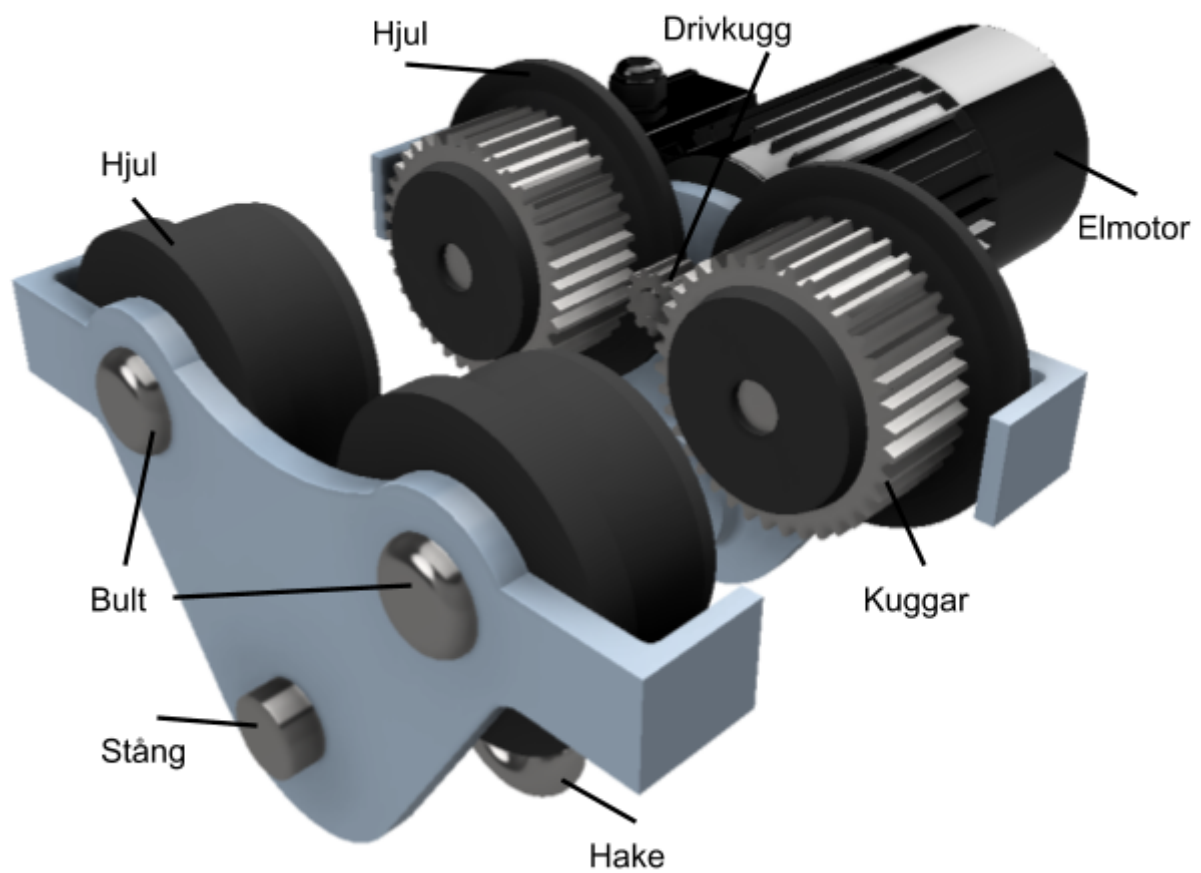
Koncept 6



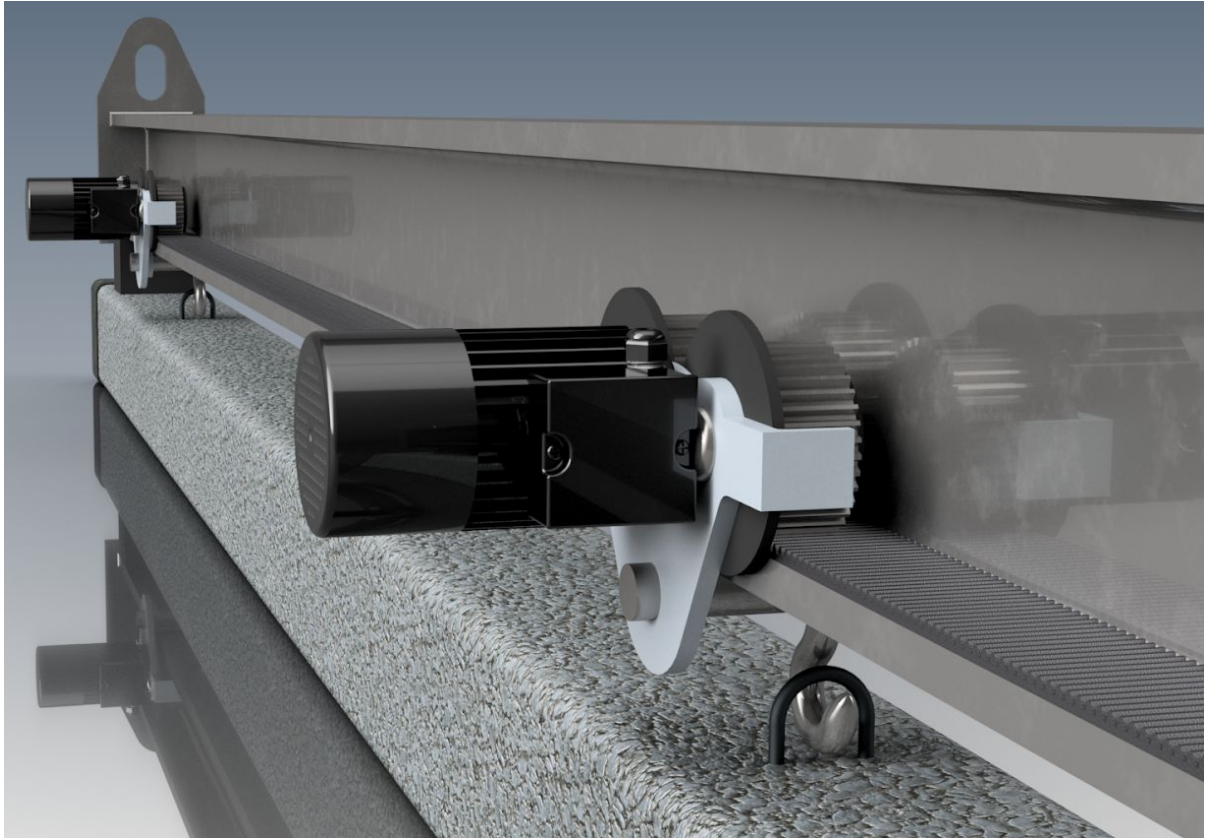
Koncept 4



Bilaga 4: Förklarande bild av löpvagnen



Bilaga 5: Rending av det vinnande konceptet



Bilaga 6: Lyft av två betongpålar med Löpvagnen

