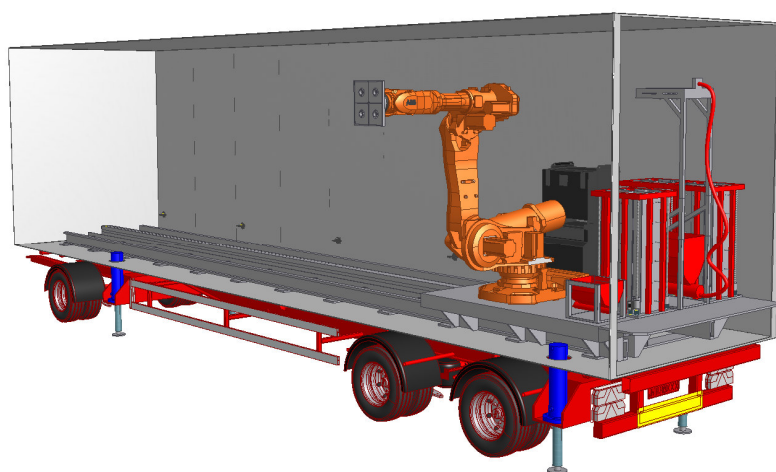


Automatiserad kakling – STEG 2

Projekt nr: 12201

2010-11-18



Artikelförfattare

Pertti Johansson
Tobias Eriksson

Skanska Sverige AB
Teknik & Projekteringsledning / Maskinkonstruktion

Innehållsförteckning

1. Bakgrund	3
1.1 Problembeskrivning	3
1.2 Syfte	3
1.3 Mål	3
1.4 Redovisning	4
1.5 Rapportstruktur	4
2. Förstudie	5
2.1 Datainsamling	5
2.1.1 Litteratur	5
2.1.2 Internet	5
2.1.3 Referensprojekt	6
2.1.4 Möten	6
3. Teori	7
3.1 Ischikawadiagram	7
3.2 Morfologisk matris för idégenerering	8
3.3 För och nackdelar	9
3.4 Pughs beslutmatris	10
3.5 Kesselring, kriterieviktning	11
3.6 Slutsatser	12
4. Genomförande.....	12
4.1 Detaljstudier.....	12
4.1.1 Typ av robot och dess placering	12
4.1.2 Fix och fog.....	12
4.1.3 Påfyllnad av fix och fog.....	17
4.1.4 Kakelplattor	18
4.1.5 Miljö i tunnlar.....	19
4.1.6 Söksystem.....	19
4.1.7 Säkerhet	20
4.2. Val av utrustning	21
4.2.1 Mekanik.....	21
4.2.2 Sök och kontrollsystem	27
4.2.3 Styrskåp och styrsystem	28
4.2.4 Programmering	28
4.2.5 Skyddsutrustning	28
5. Arbetsgång.....	29
6. Förslag på fortsatt arbete	33
7. Appendix A Bilder	34

Sammanfattning



Bakgrund

Projektet genomfördes av Skanska teknik i Göteborg med syfte att utveckla en kakelsättningsrobot för att få bort de tunga och tidskrävande arbetsmomenten för kakelsättare. Skadorna ska minska samtidigt som högre produktionstakt och precision skall åstadkommas. Projektet riktar sig först och främst mot kakling på stora ytor som till exempel tunnlar.

Idé

För att åstadkomma ovan nämnda fördelar måste kakling ske med automatik. Konceptet som är framtaget består av en robot som är monterad på en åkvagn. Vagnen rullar på skenor som löper längs ett lastbilsflak. Denna konstruktion möjliggör att ytor upp till 12x4meter kan kaklas i en uppställning. (Se bild). Enligt tidsstudier klarar maskinen att montera kakel cirka tio gånger snabbare än en kakelsättare.

Snabb implementering på marknaden

För att få arbetssättet godkänt och förankrat i byggindustrin snabbt föreslås att det manuella arbetet efterliknas så mycket som möjligt. Dock kommer det kräva en del konstruktionsarbete, framförallt inom området fix och fog, för att få det anpassat till en automatisk process. En relevant referensgrupp är även framtiden vilken är rekommenderad samarbetspartner under vidare utveckling av konceptet.

Nästa steg i projektet.

Alla de stora svenska byggföretagen har visat intresse för denna typ av maskin, framförallt eftersom den minimerar skador på arbetare, arbetar snabbare samt att det finns ekonomiska fördelar med att kakla med automatik. Men innan maskinen står klar att användas återstår en del utvecklingsarbete för att få allt att fungera, framförallt arbete inom området dosering av fix och fog.

1. Bakgrund

Att sätta upp kakel är ett tungt och tidskrävande arbete som idag utförs helt och hållet för hand. Arbetet är enformigt och måste ofta utföras i obekväma arbetsställningar. Därför riskerar personal som arbetar med kakelsättning att få förslitnings- och belastningsskador i axlar och rygg. Skanska Teknik har tidigare genomfört ”Kakelsättningsrobot Steg 1”, ett SBUF-projekt (#11754) där en utredning skedde kring hur kakelsättning skulle kunna automatiseras, samt hur ett framtida system skulle kunna utformas. Kakelsättning är en komplicerad process med många olika arbetsmoment och parametrar. Med detta som bas utformades en kravspecifikation till en första prototyp på en kakelsättningsrobot. Denna kravspecifikation ligger till grund för det fortsatta arbetet med Steg 2. Projektet kommer framförallt att rikta sig åt applicering av kakel på stora områden, exempelvis vägtunnlar.

1.1 Problembeskrivning

Med bakgrunden i tanke finns det behov att få förståelse för och insikt i vad det är som krävs för att kunna göra kakling till en automatiserad process. I varje delmoment gällande kaklig finns problem som måste lösas samt anpassas för en automatiserad process.

1.2 Syfte

Syftet med att utveckla en kakelsättningsrobot är att få bort de tunga och tidskrävande arbetsmomenten för kakelsättare. Skadorna ska minska samtidigt som högre produktionstakt och precision skall åstadkommas.

1.3 Mål

I Steg 2 är målet att identifiera förutsättningar och ta fram en konstruktionslösning, som i nästa skede resulterar i en fungerande prototyp. Nedan listas det som kommer presenteras efter att projektet avslutats.

- Skriftlig rapport
- Presentationsmaterial för distribution (av enklare typ t.ex. presentationsblad)
- Översiktsritningar på prototypen
- Virtuell 3D-modell på prototypen
- Bilder
- Instruktionsfilmer med 3D-modeller som visar hur prototypen fungerar
- Tekniska specifikationer
- Kravspecifikation över styrsystem

1.4 Redovisning

Allt redovisningsmaterial är på svenska och tillredovisningen bjöds följande målgrupp in.

Målgrupper

Målgrupper för information i detta projekt är:

- Medlemsföretag inom SBUF
- Arbetsmiljöchefer
- Arbetsmiljösamordnare
- Skyddsombud
- Fackföreningar
- Regions- och avdelningschefer väg och anläggning
- Platschefer på större anläggningsprojekt
- Leverantörer av kakel, fix och fogmassa

Informationsspridning och implementering

I ett första skede skapades en lista på lämpliga personer utifrån målgrupperna som är listade ovan. Dessa kontaktades efter projektet då de fick ett enklare presentationsmaterial. Dessa utskick skall följas upp det kommande året genom att åter ta kontakt med mottagaren för en kort diskussion kring systemet. För de som då vill ha mer information kring projektet finns övrigt redovisningsmaterial att tillgå. Resultatet kommer även att presenteras för olika företag som visat intresse under projektets gång och som kan vara intresserade av att delta i en fortsatt utveckling.

1.5 Rapportstruktur

Rapporten är uppbyggd i en kronologisk ordning vilket gör det lätt för er som läser rapporten att följa med i de beslut som tagits. Rapporten inleds med en introduktion till projektet som talar om varför det är aktuellt att driva detta forskningsprojekt. Därefter presenteras den metodik som används för att samla in information till projektet. Vidare beskrivs de använda teorierna och metoderna för att komma fram till ett beslutsunderlag för prototyp-tillverkning. I sista delen av rapporten säs projektet samman i slutsatser rekommendationer samt i en diskussion.

2. Förstudie

I förstudien samlades så mycket information kring projektet som möjligt. Informationen hittades i referensprojekt och i företag med kunskap inom bland annat fix & fog, kakeltillverkning samt automation. Ytterligare utfördes en sökning på Internet och bland tidskrifter.

2.1 Datainsamling

2.1.1 Litteratur

Tunnelnorm 2004

Eurocod

2.1.2 Internet

Resultatet av undersökningen på Internet visade att det inte finns information om automatiserad kakling. Vidare presenteras närliggande teknik som skulle kunna användas vid utveckling av en maskin som skall klarar av att montera kakelplattor på en yta.

Partab, ett företag som tillverkar prefabricerade badrum

http://www.partab.nu/PDF/Katalog_2010_lowres.pdf

Robot som klarar av att lyfta stor mängd kakelplattor åt gången mha. vakuum.

2009-06-15

http://images.google.se/imgres?imgurl=http://www.triple-sonic.com/pimg/P8-1.JPG&imgrefurl=http://www.triple-sonic.com/pro-D-02.html&usq=__HdU8UafYvpwMjeHZTiwo5dACCwE=&h=350&w=600&sz=32&hl=sv&start=4&um=1&tbnid=B7FTpKK0-OcPRM:&tbnh=79&tbnw=135&prev=/images%3Fq%3Dceramic%2Btile%2Brobot%26hl%3Dsv%26um%3D1

Framdrivning av kakelrobot 2009-06-08

www.brokk.com

http://www.tfwfahrtechnik.ch/tfw-engl/home_e.htm

Stensättarrobot / Roboten streetwise 1200 2009-06-08

http://www.nyteknik.se/nyheter/it_telekom/allmant/article44598.ece?commentsort=1

<http://www.pavingexpert.com/news100.htm>

Kuka titan med sugproppar 2009-06-08

<http://www.youtube.com/watch?v=ge-UyZG4kjY>

Snabbt vakuum system 2009-06-08

<http://www.youtube.com/watch?v=tYs5FqfnRuI>

<http://www.youtube.com/watch?v=z6Wt1w-CAB0>

Snabbt vakuumsystem med färgindikator 2009-06-08

<http://www.youtube.com/watch?v=er9cdeX9gLc>

Lasersökare 2009-12-01

www.axson.se

www.andonautomation.se

2.1.3 Referensprojekt

Kakelsättningsrobot STEG 1
Murningsrobot

2.1.4 Möten

Under projektet har möten med följande utvalda företag ägt rum.

ABB

ABB har bidragit med kunskap kring robotteknik.
De är ledande inom process och industriautomation

BASF

BASF är ledande inom framtagning av fix och fogmassa till kaklingsprocessen

CC Höganäs

CC Höganäs har kunskap om samt tillverkar kakelplattor.

Ytterligare företag som har kontaktats och intervjuats:

Consat Engineering, Visionteknik

KUKA , Robotteknik

Vägverket, Informationssökning om vilka normer som gäller i tunnlar

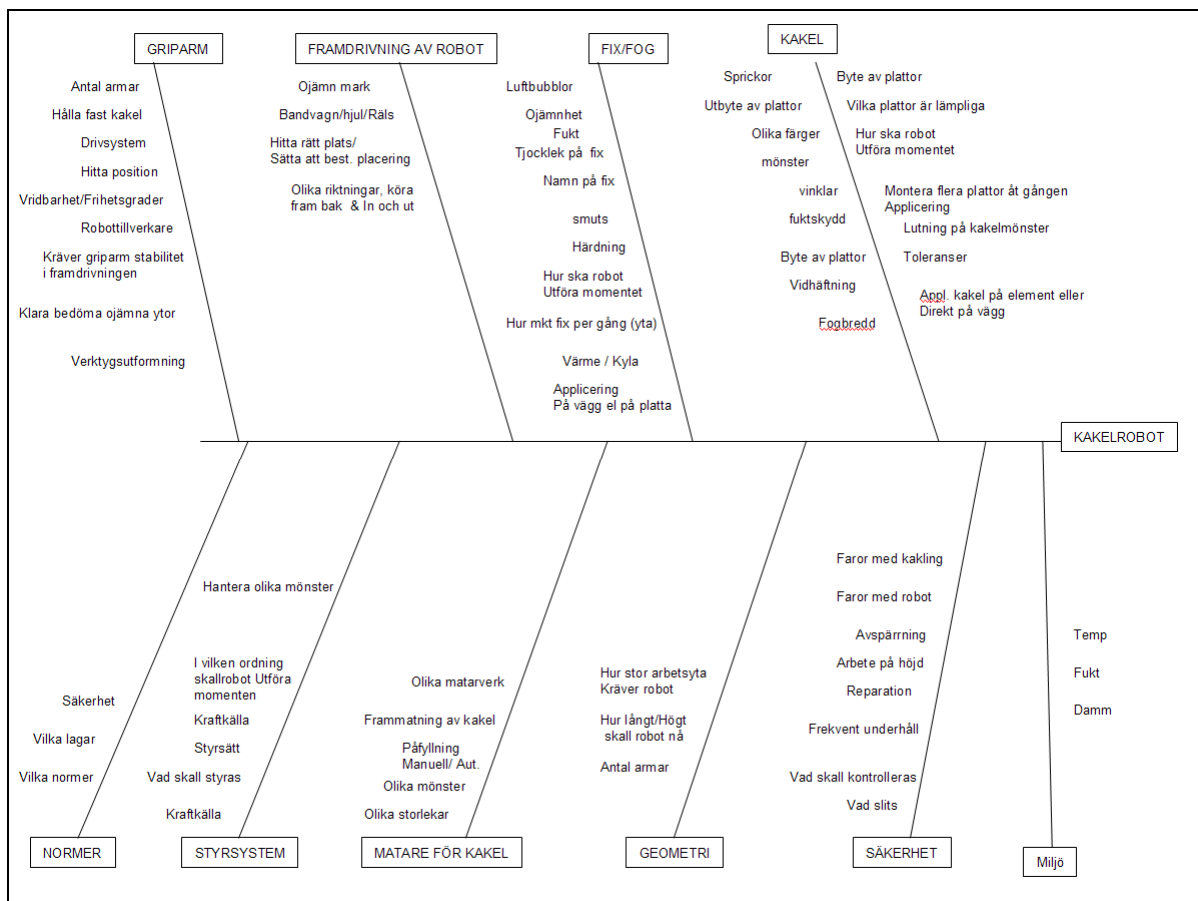
SDT, Portalrobotar

Teamster, Robotapplikationer (limapplicering)

3. Teori

3.1 Ischikawadiagram

För att få en överblick över kakelroboten används ett Ischikawadiagram. Längst till höger på mittlinjen definieras det som skall tillverkas och grenarna listas det som påverkar resultatet. Ischikawadiagrammet ger en bra överblick på hur stort problemet är samt vad vi har för problem framför oss. Med diagrammet som stöd kan projektet delas in i olika problemområden vilka sedan har angripits en efter en.



Figur 1. Ischikawadiagram.

3.2 Morfologisk matris för idégenerering

Den morfologiska matrisen hjälper till i en idégenerering. De olika problemområden som existerar hämtades från ischikawadiagramet som tidigare skapats. I matrisen ges dels en överblick vilka funktioner som ingår i projektet samt vilka konstruktionsalternativ som följer till respektive delfunktion. Med en ifylld matris blir det enkelt att skapa koncept genom att para ihop olika dellösningar. Det blir även ett bra dokumentationsunderlag som visar alla påtänkta dellösningar som analyserats.

		Morfologisk matris för kakelrobot				
<u>Delfunktioner</u>		<u>Dellösningalternativ</u>				
Framflyttning av robot	Larvfötter	Hjul	Råls	Spindelben	Lastbilssläp	N/A
Lägga på fix/fog	Spruta ut	Stryk ut	N/A			
Frammatning av kakel	Arm hämtar kakelplatta	Matarverk	N/A			
Kakelmagasin	En och en	Fler åt gången	Kassett	Plattor på rulle	Hela väggar	
Lyfta kakelplatta	Sugpropp	Gripklo	Styrarm till rulle			
Positionering	Automatiskt	Manuell				
Rörlighet	Befintlig robot (typ ABB, 6 axlar)	Portalrobot 6axlar				
Skydd mot omgivning	Innesluten maskin	Avgränsat område	N/A			
Applicering av fix	På plattan	På väggen	Horisontalt	Vertikalt		
Applicering av fog	Diagonalt/liggande vägg	Diagonalt stående vägg	N/A	Spruta		
Kraftkälla	Hydraulik	Luft	El			
Styrning av maskin	Lös dosa	På maskinen	Externt (ej möjligt på plats)	N/A		

Figur 2. Morfologisk matris för kakelrobot.

Med hjälp av matrisen, undersökningar och diskussion skapades tre koncept som analyserades vidare.

- 1: En portabel robot som står på ett lastbilsflak och som kaklar vertikalt i en tunnel.
- 2: En robot som är placerad i en fabrik och som kaklar prefabricerade element horisontellt, varpå elementen skickas till byggarbetsplatsen och monteras mot väggen.
- 3: En mobil robot som transporteras mellan arbetsplatser och som kaklar prefabricerade element horisontellt. Väggelementen monteras sedan mot tunnelväggen.

För att avgöra vilket system som är mest lämpat för automatiserad kakling jämförde man de tre olika koncepten mot varandra. Se kapitel 3.3, 3.4 och 3.5.

3.3 För och nackdelar

För och nackdelar listas till varje koncept vilket gör det enklare att analysera de olika koncepten mot varandra.

<u>1: Robot som kaklar vertikalt direkt på tunnelvägg</u>	
<u>Fördelar</u>	<u>Nackdelar</u>
(+) Enkel logistisk lösning av bef. mtrl.	(-) Finns inte färdig mek. lösning för att handtera fix och fog
(+) Montage kräver ingen övrig utrustning	(-) Kräver en operatör
(+) Finns ingen utrustning som denna	(-) Krävande miljö för roboten
(+) Mobil, eftersom den står på släp.	(-) Ojämn ytor
(+) Kräver inga extra arbetsmoment	(-) Stora krafter när plattan trycks mot väggen
(+)	(-) Få användningsområden
	(-) Ventilation i tunnel ger risk för skinnbildning
<u>2: Robot i fabrik som kaklar horisontellt på prefabricerade element</u>	
<u>Fördelar</u>	<u>Nackdelar</u>
(+) Bra miljö	(-) Kräver transport av prefabelement
(+) Få yttre störande parametrar	(-) Kräver operatör
(+) Förutsättningarna för en stabil konstruktion	(-) Måste transportera väggelement till tunnel
(+) Flytfix är lätt att använda.	(-) Arbetsmetoden skiljer sig från dagens metod
(+) Möjliggör flera användningsområden	(-) Undersökning kring prefabplattor krävs, brandsäkerhet, fukttålighet
(+) Flexibel, inte bara för tunnelprojekt	(-) Kräver utrustning som lyfter prefabelement på plats
(+) Färdiga koncept finns på marknaden	(-) Risk att skada prefabskiva vid transport
<u>3: Mobil robot som kaklar horisontellt på prefabricerade element</u>	
<u>Fördelar</u>	<u>Nackdelar</u>
(+) Kan flyttas med till olika byggen	(-) Kräver utrustning som lyfter prefabplattor på plats
(+) Stabil konstruktion	(-) Kräver operatör
(+) Möjliggör flera användningsområden	(-) Måste transportera väggelement till tunnel
(+) Flexibel, inte bara för tunnelprojekt	(-) Logistik med prefabplattor
(+) Färdiga koncept finns på marknaden	(-) Ny metod att kakla i tunnlar
(+) Korta transporter av element	(-) Arbetsmetoden skiljer sig från dagens metod
	(-) Undersökning om prefabplattor krävs

Figur 3. Fördelar och nackdelar på robotkoncept

3.4 Pughs beslutsmatris

I Pughs beslutsmatris nedan jämförs de olika koncepten grovt mot varandra. Ett koncept sattes som referens och jämfördes mot resterande två. Tanken med detta var att försöka utesluta ett koncept i ett tidigt skede vilket skulle innebära mindre arbete längre fram i projektet. Resultatet från denna analys var att alla tre koncepten behövdes analyseras vidare på grund av att det behövs mer information för att kunna bedöma om ett koncept är bättre än det andra eller inte.

Elimineringsmatris

Utfärdad av :Tobias Eriksson

Skapad: 2009-06-15

Ändrad:

Elimineringskriterier

(+) Ja

(-) Nej

(?) Mer info krävs

(!) Kontrollera kravspec

Beslut

(+) Fullfölj lösning

(-) Eliminera lösning

(?) Sök mera info

(!) Kontrollera kravspec

1: Löser huvudproblemet på ett enkelt sätt och minimerar arbetsuppgifter

2:Effektivare än referenslösningen

3: Flexiblare än referens

4:Prototypen billigare än referens

5: Uppfyller övriga krav

6: Realiserbar inom kort tid

Lösning	1	2	3	4	5	6	Kommentar	Beslut
Koncept A	ref	ref	ref	ref	ref	ref	Referens	+
Koncept B	?	+	+	+	+	-		+
Koncept C	?	+	+	+	+	-		+

Figur 4. Elimineringsmatris / Pughs Beslutsmatris

3.5 Kesselring, kriterieviktning

Kesselring / Kriterieviktning är en metod där man viktar egenskapernas betydelse samt talar om hur väl ett koncept uppfyller en egenskap. I summan multipliceras viktningen med hur väl ett koncept uppfyller egenskapen. Sedan delas summan med högsta möjlig tal som går att erhålla (idealtalet). Summan för ett koncept är en procentsats vilken visar hur mycket ett koncept lever upp till ett ideal.

Kriterieviktningen tillsammans med de tidigare selekteringsverktygen ger en tydligare bild på vilket koncept man ska arbeta vidare med.

Nr	Description
1	Klara av att arbeta till flera ändamål
2	Det ska vara få saker som påverkar resultatet
3	Få steg från lösplatta tills det att den sitter på väggen
4	Portabel enhet minskar logistikkostnader
5	Hitta bef. lösningar för att minimera kostnader
6	Eftersträva det manuella arbetssättet för att snabbt få ett godkännande hos vägverket, så normer efterföljas.
Bokstav	Beskrivning
W	Viktning
A	Koncept: Mobil robot som kaklar vertikalt i tunnel
B	Koncept: Robot som står i fabrik
C	Koncept: Mobil robotenhet som kaklar horisontalt

	W	A	B	C
1 Flexibilitet	2	2	3	3
2 Stabil process	2	2	5	4
3 Få arbetsmoment	5	5	2	2
4 Portabel	4	5	0	4
5 Minimera ny utveckling	4	2	2	2
6 Få ändringar på arbetssätt	3	4	3	3
	0	0	0	0
	0	0	0	0
Summa	100	73	43	57
		0,73	0,43	0,57
		1	3	2

Figur 5. Kesselringmatrix

3.6 Slutsatser

Konceptet som valdes att gå vidare med är den mobila roboten som kaklar vertikalt. Ur Ichikawadiagramet ser vi att en kakelrobot är en ganska omfattande maskin med många ingående delar som måste samverka. De tre koncept som tagits fram är bra på olika saker, så valet var ej trivialt. Beslutet grundades på följande faktorer.

- Logistiken är gynnsam för det går att flytta med sig roboten mellan olika projekt.
- Det är få arbetsmoment jämfört med de andra tilltänkta koncepten. Största skillnaden är att kaklet monteras direkt på väggen i stället för på ett element som sedan skall transporteras och monteras på plats. Ytterligare faktorer som bedömts finns i kap 3.3, 3.4 & 3.5.
- En faktor som också var avgörande är att maskinen till stor del ersätter manuella kaklingsarbetet vilket betyder att det inte behövs några undersökningar (utöver de vanliga) om kaklingen kommer klara de normer som gäller. Detta gör att processen kommer att vara realiserbar inom kort tid.
- Det kommer även vara lättare att sälja in roboten. Om roboten står vid byggarbetsplatser riskeras det inte att kakelplattorna går sönder vid transport heller.

4. Genomförande

4.1 Detaljstudier

Vidare under denna rubrik beskrivs de lika studier som utförts under projektets gång. Detaljerna syftar på att passa det koncept som valdes tidigare i projektet.

4.1.1 Typ av robot och dess placering

Miljön i tunnlar är inte optimal för en robot som är tilltänkt att utföra kaklingsarbetet. Roboten behöver därför utformas på ett sätt som gör det möjligt att klara av att vistas i en tuff byggmiljö. Miljön i tunnlar tuff, temperaturen är ca 8 grader, det är dammigt, fuktigt och dragigt, så under kaklingsprocessen kommer roboten att utsättas för påkänningar från nämnda miljöfaktorer. Därför behöver roboten skyddas mot omgivningen och för det finns det vissa konstruktionslösningar som kan väljas. ABB har en lösning på detta problem, ett tilläggspaket som de kallar foundry. Det som skiljer foundry mot standard för robotar är att foundrypaketet har kraftigare tätningar kring växlar, lager och andra skarvar där det är möjligt för partiklar eller vätska kan tränga in och orsaka problem. Vidare är roboten ytbehandlad med tvåkomponents epoxifärg för att förhindra korrosion. Det finns exempel på robotapplikationer som är installerade i betydligt tuffare miljöer än tunnalmiljö, tex sandformshantering vid stålgiuteri och tvättning av fordon, miljökraven. Detta tyder på att det inte är ett problem att klara av miljökraven som ställs i detta projekt.

4.1.2 Fix och fog.

4.1.2.1 Allmänt

Idag finns inga färdiga utrustningar för att applicera fix och fog med automatiska applikationer. I möten och samtal med BASF har problemet diskuterats utifrån flera vinklar. Följande texter beskriver hur fix och fog fungerar samt hur appliceringen av fix skulle kunna ske.

4.1.2.2 Fix

Det traditionella fix som används idag består av ett cementpulver och en polymer. Fixet blandas med vatten för att härdprocessen skall aktiveras. Men innan fixet är klart för att användas kräver det en viss mognadstid. Blandning och förberedelse av fix sker därför enligt följande tre steg.

- 1: Blanda fixet med vatten i cirka tre minuter.
- 2: Vänta i cirka 1.5 minuter så att fixet aktiveras ordentligt.
- 3: Blanda fixet ytterligare en minut.

Efter blandningen är fixets pot time cirka en timma. Pot time skall inte förväxlas med öppettid. Skillnaden mellan tiderna är att Pot time är den tid det tar för fixet att stelna i blandaren och öppningstiden är den tid det tar för att det ska bli skinnbildning på fixet under applicering. Om appliceringen sker inomhus i fabrik (dragfri miljö) kan öppettiden vara cirka 20minuter. Om applicering istället sker i dragig miljö, som i en tunnel med bra ventilation, kan det bli skinnbildning redan efter fem till sju minuter. De bästa förhållanden är när kaklingsprocessen följer riktvärden på luftfuktighet samt temperatur. Luftfuktighetens riktvärde är 50 % och temperaturintervallet som man ska hålla sig inom är mellan 5-25 grader Celsius. Dessa förhållanden gör att fixet samt fogen härdar på ett bra sätt. Om temperaturen är lägre än 5 grader vill inte komponenterna i fixet blandas ordentligt, vilket resulterar i ett dåligt slutresultat. Ett ytterligare scenario är att det blir långa härdtider.

När det gäller valet av fix så är dagens produkter inte optimala för automatiserad kakling. Ett önskemål är att ha en produkt som pumpas torr i slang och blandar sig i ett munstycke. Detta skulle företag som tex BASF kunna vara med att utveckla.

4.1.2.3 Applicering av fix.

Metoden som används idag vid manuell vertikal kakling är att man börjar montera plattorna i ögonhöjd. Därefter kaklar man plattorna under varandra kant i kant, detta för att plattorna glider ner en aning pga. gravitation. Och på så sätt bildas ett mellanrum mellan plattorna som är lagom att foga i. När underdelen är kaklad placerar man ut kakelplattorna uppåt och för att åstadkomma ett mellanrum används distanssnöre.

Den största skillnaden mellan att lägga fix på en vägg jämfört med att lägga fix på en horisontalliggande prefabricerad platta är att i det senare fallet används ett flytfix istället för ett fast fix. Fördelar med att kakla horisontellt är att det inte behövs några nämnvärda krafter för att trycka fast kaklet samt att kaklet ligger still under tiden det torkar. Vid vertikal montering finns det risk för att plattorna glider ner under monteringen.

Om en automatiserad process ska fungera för montering på vägg måste fixet blandas styvt så inte plattorna glider ner. Glidning undgås enbart genom att blanda fix styvt. Att blandar det styvt innebär att mindre vatten tillförs. En sak att tänka på när fixet blandas styvt är att öppettiden blir kortare samt att risken för att skinnbildning ökar. Innan kakelprocessen med robot kommer fungera felfritt måste rätt styvhet provas fram.

4.1.2.4 Fix på Prefabplattor

Beskrivning av prefabplattor

En prefabricerad platta kan vara en skiva som består av en cellplatskärna och utan på kärnan är ett betonglager som är förstärkt med väv. Den tål väta och ska enligt BASF fungera att använda för projektets ändamål.

Kakling på prefabplattor

Att förse plattorna med kakel sker genom att man stryker ut ett lager med flytfix. På flytfixet placeras plattorna enligt önskemål varpå fixet torkar och plattorna fastnar.

Möjlig montering av prefabplattor.

Efter att prefabplattan försetts med kakel sker montering på tunnelväggen genom att den limmas eller skruvas fast mot väggen. För att inte prefabplattan skall glida ner efter den limmats mot väggen kan det behövas ett stöd eller en klack som plattan vilar på undertiden limmet torkar. Det kommer inte att behövas något tryck på plattan för att den skall fästa på väggen utan det räcker med att man reser upp plattan mot väggen så sitter den fast. I skarvarna mellan plattorna kommer det att behövas mjukfog/rörelsefog. Mjukfogen kan appliceras manuellt av en yrkesarbetare. Ett exempel på tillverkare av prefabplattor är PCI. Mer information hittas på www.basf.se.

Om tillvägagångssättet skulle vara att montera färdiga prefabväggar skulle det innebära horisontal montering av plattorna. Detta är positivt ur masstillverkningsynpunkt men metoden att använda prefabplattor anses ännu inte vara lämpligt på grund av att den inte är beprövad metod för tunnlar vilket gör att den tros medföra barnsjukdomar. Innan barnsjukdomarna behärskas kommer det troligen att behövas en mängd provning vilket är tidskrävande och kostsamt. Det finns inte heller kunskap om vilka partiklar som frigörs vid till exempel brand. Därför beslutades att inte gå vidare med att använda prefabplattor i detta projekt.

4.1.2.5 Fog

Fogmaterialet består av ett cementbaserat pulver som blandas med vatten för att härdprocessen skall aktiveras. Innan fog-materialet är klart för att användas kräver det en viss mognadstid. Blandning sker därför enligt följande tre steg.

- 1: Blanda fog-materialet med vatten i cirka tre minuter
- 2: Vänta i cirka 1.5 minuter så att fogmaterialet aktiveras ordentligt
- 3: Blanda fogmaterialet ytterligare en minut.

Potttime är ungefär en timme och öppettiden vanligtvis 15-20 minuter. Fogningen kan ske med spruta eller på traditionellt sätt där fogen stryks ut, väntar cirka en timma och sedan rengöra med en svamp genom att tvätta diagonalt över plattorna (diagonalt för att inte skrapa bort fogen). Applicering av fog med hjälp av spruta önskas till detta projekt eftersom det minimerar antalet manuella arbetsmoment och fogspill. Ett känt problem vid applicering av fog med hjälp av spruta är att fogarna kan bli dåliga i vissa områden. Det är risk för att det blir problem i de hörnen där fyra plattor möter varandra. Om det blir spill i hörnen går det att polera bort det i efterhand.

När det gäller valet av fog så är dagens produkter inte optimala för automatiserad kakling. Ett önskemål är att ha en produkt som pumpas torr i slang och blandar sig i ett munstycke men den typen av fog finns ej tillgänglig på marknaden idag. Utvecklingen av en fog som torrpumpas skulle tex BASF kunna utveckla.

4.1.2.6 Lim

Idag används vanligen lim i automatiserade applikationer inom tex. bilindustrin för att fästa material mot varandra. En undersökning utfördes för att se om det även skulle vara lämpat att använda lim i detta projekt. Till lim finns färdiga utrustningar som vanligen används inom bilindustrin (för limapplicering av 1-komponentslim). Efter intervjuer och undersökningar fanns indikatorer på att det kommer att behövas ett tvåkomponentslim som bindemedel för kaklingsprocessen. Anledningen till att det inte fungerar med ett 1-komponentslim är att de är för mjuka. Undersökningen visade även att lim är en dyr produkt. Jämfört med cementbaserade produkter så är lim ca tio gånger dyrare. Därmed beslutades att det inte är lämpligt att använda lim som bindemedel till automatiserad kakling.

Framtiden

För att slippa pot-tider och blandningstider har vi undersökt om det finns produkter som kan blandas ihop med vatten direkt i munstycket. Denna metod skulle vara passande för ett robotiserat system. Med en produkt som denna kommer det inte att behövas rengörning av slangar, vilket skulle uppskattas mycket av dem som arbetar med kakelsättningen. Idag finns inte den här produkten på marknaden. BASF är intresserade av en produkt av denna typ men de kan inte erbjuda den i dagsläget.

4.1.2.7 Möjlig fixstation.

Hjälpmiddel som finns på marknaden idag är begränsade, men med modifikationer av befintliga produkter skulle de kunna anpassas till automatiserad kakling. Nedan listas de alternativ som verkade intressanta. Alternativen undersöktes och tillslut valdes det mest lämpliga till automatiserad kakling.

Morfologisk
matris för fix och
fog station

<u>Delfunktioner</u>	<u>Dellösningalternativ</u>					
Blandare	Visp	Tombola	Spruta	Pump		
Applicering av fix/fog	Spruta ut	Stryk ut	Rinnstation	Sleva upp		
Matare	Transportband	Direktmatning	N/A	Robot		
Kakelmagasin	En platta åt gången	Fler plattor åt gången	Kassett			
Förvaring ef appl	Topmatad Fjäderbelast kassett	Bottenmatad kassett	Pall, där robot hämtar platta			
Potstorlek	?					
fixmönster	10mm bred x 10mm hög	Heltäckande	Runda stängar			
Öppetid	1h50min=1200plattor 22sek/cykel	Lim kan styras	Cementbas öppetid, ca 50min =>3 ladd / (12x4m)			

Figur 6. Morfologisk matris för fix och fogstation.

Ur den morfologiska matrisen ovanför diskuterades olika alternativ på dellösningar till en möjlig fixstation för automatiserad kakling. Den maskin som var mest lämplig och som hade liknande egenskaper som eftersöktes var en betongblandarpump. Det är en utrustning som både kan blanda och pumpa cementbaserade produkter. Tyvärr går det inte att använda en betongblandarpump rätt av utan den måste modifieras innan den passar för kaklingsprocessen. Maskinen måste bla. kunna reglera flödet av fix och fog noggrant. Det skulle kunna ske genom att blandarpumpen utrustas med en matarskruv med specifik stigning samt en frekvensmotor som går att styra steglöst mellan olika varvtal. Längst ner på sidan finns en exempelbild (Figur7) på en betongblandarpump från företaget Putzmeister.

Metod att applicera fix.

När det gäller appliceringen av fixet så kan det antingen appliceras på plattan och sedan trycka fast plattan på väggen eller så sker applicering av fix över en större yta på väggen varpå roboten monterar upp kakelplattorna. Efter studier valdes metoden att applicera fix på plattan innan den monteras upp på vägg. Anledningen till detta är att miljön i tunnlar är ofta dragig vilket gör att det snabbt blir skinnbildning på fixet. Fixet kommer alltså hinna torka innan roboten hunnit med att monterat kakelplattorna på ett område.



Figur 7. Betongblandarpump.

4.1.2.8 Begränsning med att kakla på vägg jämfört med att kakla på horisontell platta

Ett önskemål är att kunna montera så många plattor som möjligt per arbetscykel. För att placera ut en kakelplatta på 20x20cm kommer det att krävas mellan 10-15kg tryck mot ett plan. Den aktuella industriroboten från ABB (IRB 6650S-125/3.5) klarar att trycka med ca 100 kg på en räckvidd upp till 2m (höjdled). Och under kaklingprocessen kommer roboten att vara tvungen att nyttja hela den räckvidden. Detta sätter begränsningen att det enbart är möjligt att placera ut 4 plattor per arbetscykel.

4.1.3 Påfyllnad av fix och fog

Vid påfyllnad av fix och fog kommer roboten placeras i bakre ändan av trailern. Innan det är ok att beträda plattformen måste roboten indikera att det är ok. Det indikeras av en blinkande lampa. Lampan signalerar att all ström till roboten är bruten och att ingenting oväntat kommer att hända.

4.1.3.1 Sammanfattning applicering av fix och fog

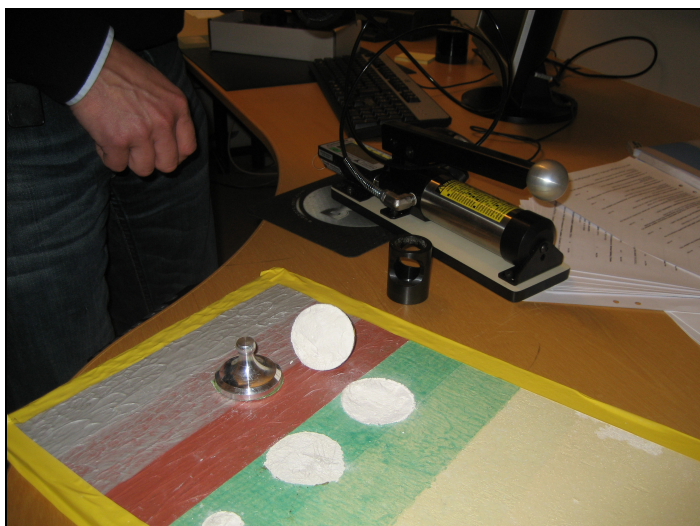
Lämpligaste fix och fog för detta projekt anses vara cementbaserade produkter. Lim är inte en bra lösning i dagsläget, dels för att det är dyrt, dels för att det kommer utvecklingsarbete på en blandstation för tvåkomponentslim vilket gör att projektet kommer ta lång tid att genomföra. För kakelrobotkonceptet som genererades ur de olika matriserna passar vertikalmontering bäst, bland annat för att det känns säkrast att ersätta det manuella arbetet istället för att applicera en helt ny metod. Dels för att Investerare inte bedöms vilja ta risken att testa ett nytt arbetssätt att applicera kakel på tunnelväggar. Ett nytt arbetssätt för ofta med sig barnsjukdomar är mångas mening. Horisontalmontering innebär att kakling sker på en liggande platta. Det blir inte aktuellt eftersom det kommer att behövas en lång provotid för att kunna bevisa att horisontalmontering av kakel verkligen klarar alla normer som bland annat reglera brandsäkerhet, vattentålighet och livslängd.

När det gäller valet av fix och fog så är produkterna inte optimala för automatiserad kakling i dagsläget. Men eftersom det inte finns andra beprövade material så tas beslutet att ändå gå vidare med de cementbaserade produkterna som finns på marknaden och som används i dagsläget vid manuell kakling.

4.1.4 Kakelplattor

Val av kakelplattor

Kakelplattorna ska klara en livslängd enligt bronorm 2004. Den säger att inklädnad, brunnar, ledningar etc. skall klara TLK 40 som motsvarar livslängdklass L20 (50år). Slitagedelar, i detta fall kakelplattor, kan behövas renoveras eller bytas under den angivna livslängden. Därför ska frekvensen på underhåll anges i en underhållsplan samt att en riskanalys skall upprättas. För att kontrollera kvaliteten på kaklingen upprättas dragprov där en kontrollera sker av plattans vidhäftning. Vidhäftningen kontrolleras genom att limma på en rund kuts på kakelplattan (Kutsen är $\Phi 14$ eller $\Phi 50$). Limmet stelnar i 24 timmar varpå ett dragprov utförs. Dragprovet utförs vanligen 28 dygn efter att kakling skett. Den största felkällan vid montering idag är att det inte är fullt med fix bakom plattan. Det innebär att det inte är full teckning mellan platta och vägg. Anledningen till att det inte blir full teckning är att arbetaren inte orkar trycka till plattan mot väggen ordentligt så fixet fördelas över hela plattan (Vid manuell montering stryks fixet ut på väggen med en tandad spackel varpå man monterar kakelplattor). Detta problem kommer inte att vara befintligt om en robot används till monteringsarbetet eftersom den klarar att trycka med angiven kraft utan att bli trött.



Figur 8. Dragprovutrustning för kakel

Logistik av kakelplattor.

Mellan steg 1 och steg 2 i projektet har Höganäs CC avvecklat all tillverkning av kakel i Sverige. Först var tanken att ladda magasinerna direkt i deras fabrik och sedan skicka magasinerna till arbetsplatsen men denna idé fick alltså uteslutas eftersom fabriken nu ligger utomlands. Dels för att leveranskostnaderna kommer bli för stora samt att det finns risk för att kakelplattorna kommer gå sönder under transporten fram till aktuellt projekt. Förslagsvis beställs istället kakel till arbetsplatsen i de förpackningar Höganäs använder till transport idag. När plattorna sedan kommer till byggarbetsplatsen packar maskinoperatören upp plattorna och laddar magasinerna. Genom att maskinoperatören packar upp kakelplattorna genomgås ytterligare en kvalitetskontroll innan det är dags för roboten att sätta upp plattorna på väggen.

4.1.5 Miljö i tunnlar

I tunnlar är det dammigt, fuktigt och dragigt. För att resultatet på kaklingen ska bli bra, bör man hålla sig till riktvärden på luftfuktighet och temperatur. Lyftfuktigheten skall ligga runt 50 % och temperaturen skall vara mellan 5-25 grader. Dessa riktvärden ger bra förhållanden för att fixet samt fogen skall härda på ett bra sätt. Om temperaturen är lägre än 5 grader vill inte komponenterna i fixet blandas ordentligt samt att det blir långa härdtider. Under kaklingsprocessen kommer roboten att utsättas för nersmutsning. I tunnlar är det en dammig miljö men dammet är inte alltid synligt i luften. Undersöks omkringliggande utrustning så ligger det oftast ett lager damm på den. Roboten bör klara av att vistas i en tunnelmiljö samtidigt som miljön ska vara lämplig för kakling.

4.1.6 Söksystem

Mekanisk sökning

Sökningen sker genom att roboten rör sig mot en referenspinne. Givarna som registrerar var robotarmen kan lämpligen vara monterade på gripdonet. Givaren består av en fjäderbelastad vipparm vilken trycks in i intryckt läge aktiveras en brytare som skickar en signal till datorn som registrerar att gripdonet befinner sig ett visst avstånd från centrum på referenspinnen. Komponenterna till mekaniska sökningen, vipparm, brytare etc., är okomplicerade och billiga så kostnaderna hålls nere. De är även enkla att byta om de av händelse skulle gå sönder.

Sökning med Vision

Allmänt om vision

Ett visionsystem är en relativt enkel teknik. Hårdvaran består av en kamera, en dator, ljussättning och tillhörande sladdar. Sedan tillkommer en mjukvara som klarar av att analysera pixlarna i det tagna kortet. Det är ofta kontrasten i pixlarna som analyseras. Och i detta fall antas kakelplattorna vita och det mörka området där fogen skall läggas är typiskt "betong". Vid val av kamera är det bra att specificera noggrannheten för att veta vilken upplösning det skall vara på kameran. Vid kakling kommer "millimeterprecision" vara fullt duglig. Det är alltså ok att fogen varierar +/- 0,5mm.

Uppgifter visionsystemet kan lösa.

- Visionsystem kan användas som sökutrustning till en robot.
- Kontrollera om plattorna är trasiga (Innan de plockar dem från magasinet)
- Kontrollera innan roboten placerar platta (om plattan intill finns, är hel eller är trasig)
- Kontrollera att roboten löper i fogen när den applicerar fog (guide system)
- Kontrollera att det inte finns luftbubblor i fogen efter applicering.
- Ta kort på det färdiga resultatet. Sedan tala om vilken kvadrat som är trasig respektive hel. Arbetaren får sedan en rapport som talar om vilket resultat kaklingsarbetet fick.

Vidare är det möjligt att göra systemet lärande. Man samlar in bilderna i en databas vilka sedan får fungera som referenser när datorn avgör om kaklingen är ok eller inte ok. Med fler bilder i system kommer en säkrare process.

Risker med vision

Med visionsteknik kommer ett fåtal risker som man måste tänka genom. Den största risken är ljus. Om man inte belyser systemet med rätt sorts ljus kommer systemet inte att fungera. Störkällor som solljus eller bilar som kör förbi kan slå ut ett system. Detta löses enklast med att avskärma de områden där bilderna tas. En annan fara är kondens vilket kan uppenbara sig

på kamerans lins. Vanligtvis sker detta om omgivningen är kall och elektroniken i kameran är varm. Detta kan lösas genom att värma upp systemet. Smuts och partiklar bör inte ställa till problem, men om det visar sig göra det kan man sätta ett blåmunstycke vid kameran vilket gör att partiklar inte klarar av att angripa linsen. Robustheten på visionutrustningen är begränsad. Om kameran får en smäll är det mkt troligt att den går sönder. Så ett visionsystem ska användas varsamt. Storleken på kameran varierar, men bör inte vara en begränsning vid kakling. Det som tar plats är ofta bildanalysatorn (datorn), Exempel på kamerastorlek = 50x50x120mm. Vibrationer är inga problem, så länge kameran inte vibrerar kraftigt så att kortet tas utanför objektet. Hastigheten på visionsystemet är inte begränsande i detta fall då det finns projekt där man analyserar upp till 1500 produkter per minut.

4.1.7 Säkerhet.

Det skall vara säkert att jobba i närheten av roboten.

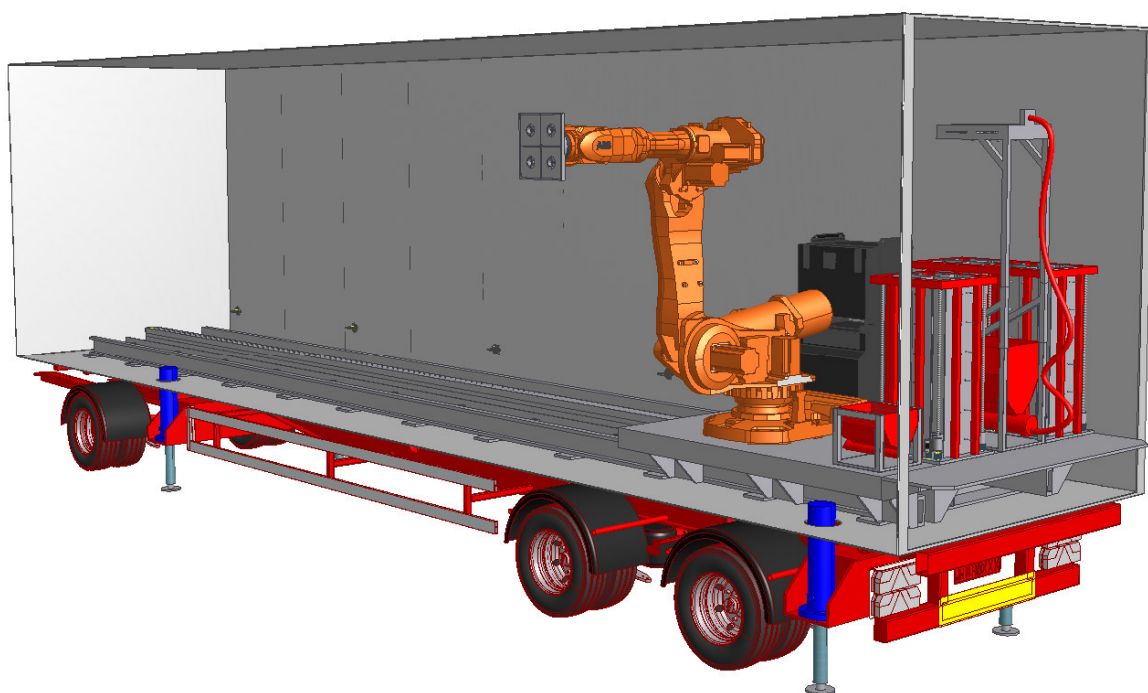
Människa och maskin ska alltså inte jobba samtidigt inom samma arbetsområde. Därför skall arbetsområdet avgränsas. För mer information kring säkerhetsutrustning sök information under rubriken *Val av utrustning/Säkerhetsutrustning*. Utrustningen ska även CE-märkas och kommer att uppfylla alla relevanta säkerhetskrav.

4.2. Val av utrustning

4.2.1 Mekanik

4.2.1.1 Bärare

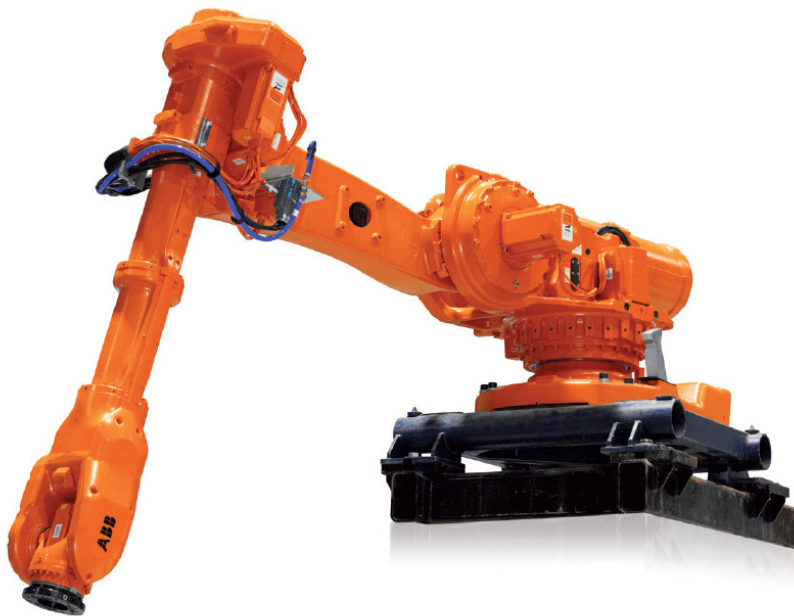
För att få en lämplig bärare till roboten används förslagsvis ett lastbilssläp. Fördelen med detta är att ekipaget blir en mobil enhet som enkelt flyttas med mellan olika projekt. För att bäraren ska stå stadigt under kaklingsprocessen, finns hydrauldrivna stödben som är nerfällda undertiden roboten arbetar.



Figur 9. Mobil bärare till roboten.

4.2.1.2 Robot

Ur ABB:s sortiment på robotar är (IRB 6650S-125/3.5) mest lämpad för detta projekt. Roboten är utrustad med ett foundry-plus-system vilket gör att den uppfyller kapslingsklass IP67. Foundry systemet gör att roboten klarar att vistas i den tunnelmiljö som roboten är tänkt att arbeta i. Roboten har en räckvidd på $\pm 2000\text{mm}$ vertikalt och $\pm 1600\text{mm}$ horisontellt samt klarar att minst trycka med en kraft på 200kg över hela dess räckvidd.



Figur 10. *Abb robot (IRB 6650S-125/3.5)*

4.2.1.3 Åkvagn

Roboten placeras på en åkvagn som löper längs med en åkbana. Åkbanan består av två U-profiler som är monterad på ett ca 13m långt lastbilssläp. Det möjliggör att roboten kan kakla upp till 48kvm innan omställning. Under omställningarna är det viktigt att lastbilssläpet är enkelt att flytta. Det ska tex. kunna flyttas med hjullastare eller draglastbil. Se figur 11.

För att släpet skall stå stadigt lyfts det upp och ställs i våg med hjälp av fyra stödben. Stödbenen drivs med hydraulik och regleras med ett styrsystem. Tanken är att genom en knapptryckning ställer sig vagnen i våg. Systemet känner av att släpet är i våg om den använder sig av en vinkelgivare (inklinometer)

En prisjämförelse mellan att investera i en egen åkbana och att köpa en färdig från ABB utfördes. Jämförelsen utfördes mellan ABB:s färdiga transportbana med en mindre komplicerad robot och en egentillverkad åkbana tillsammans med en mer komplicerad robot. Resultatet var att den egentillverkade åkbanan tillsammans med den dyrare roboten uppfyller kraven bättre och är billigare.

Drivning

Drivning av åkvagnen består av en elmotor och kraftöverföringen sker mellan kugghjul och kuggstång. Motorstyrningen är programmerad och integrerat med robotens styrsystem.

Fasta lägen längs med åkbanan

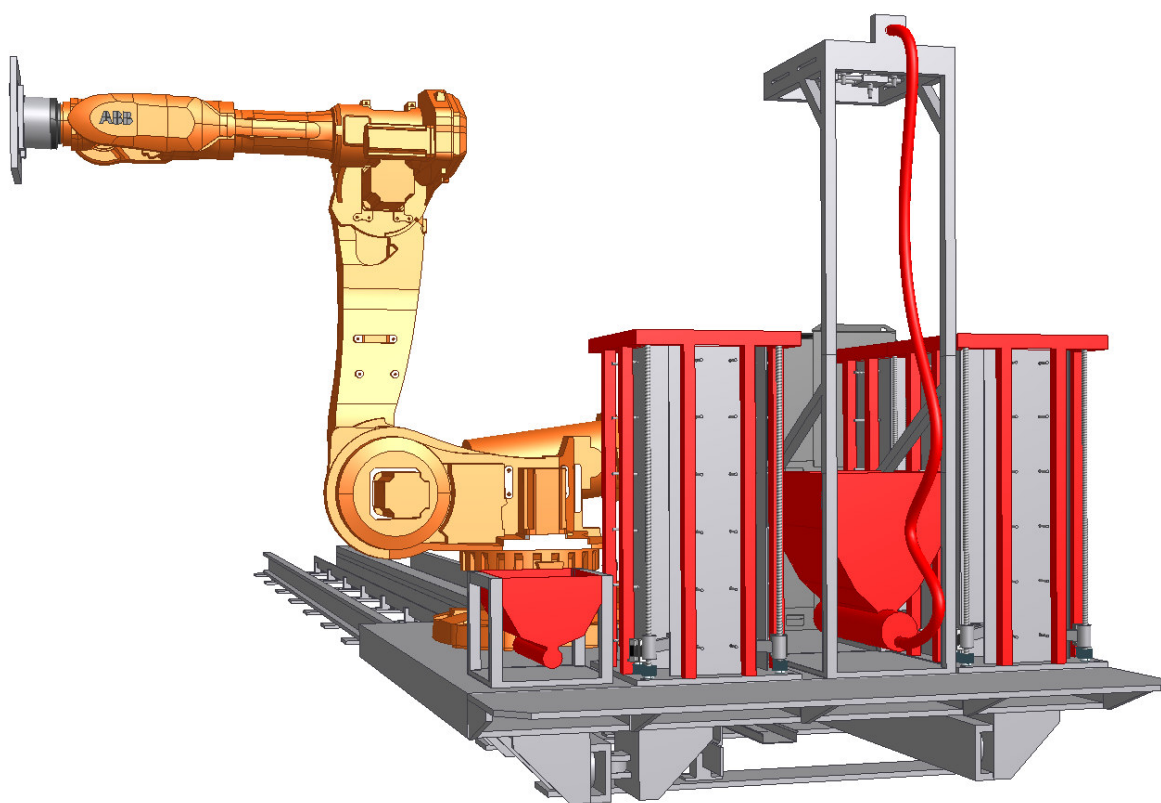
Roboten har en räckvidd på +/-1600mm i horisontalled. Det betyder att roboten måste ha 4 fasta lägen längs med släpet för att täcka området 12x4m. För att finna de 4 lägen finns det givare som indikerar när åkvagnen befinner sig på rätt plats.

Broms

För att åkvagnen ska stå stadigt under kakling låses den på plats med en broms. Bromsen löper längs en plattstång som löper längs med trailern. Bromsen är låst när maskinen är avstängd för att den inte ska kunna röra sig.

Kabelkedja

Längs med trailern måste det monteras en kabelkedja som man placerar strömförsörjningen i. Kabelkedjan fästes i mitten på släpet och på åkvagnen, sedan anpassas längden på kabelkedjan så åkvagnen klarar att regleras över hela arbetsytan.



Figur 11. Åkvagn.

Verktyg

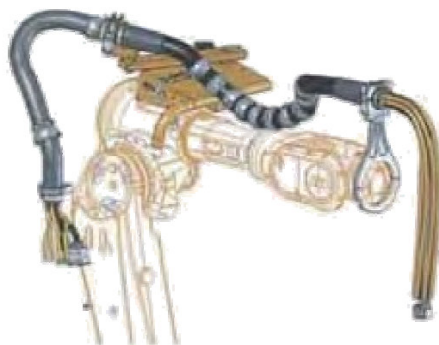
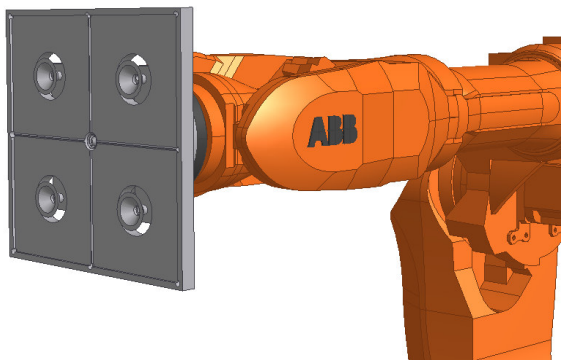
Alternativ 1

För att hålla i kakelplattan utrustas robotens verktyg med injektormunstycken samt fyra sugkoppar som vardera suger tag i en kakelplatta. En kostnadseffektiv lösning är en ren mekanisk lösning. Verktöget utrustas då med fjädrar som dimensioneras så att de trycker med en viss kraft efter att de komprimeras en specifik längd. På gripdonet sitter en brytare som känner av när rätt komprimering av fjäder är nådd. Verktöget fungerar också som ett kalibreringsverktyg det vill säga att roboten använder sig av verktöget som en referenssökare. Det som kan registrera att referenspunkten är funnen är en vippbrytare som sitter på sidan av verktöget. För mer information om referenssökning och referenspunkter, se under rubriken *sök och kontrollsystem / referenspunkter*. För transport av fogmassa fram till verktöget kommer det att löpa ett dresspack, alternativt en liknande upphängning för kablaget till utrustningen. Se bilden till höger nedan. Verktöget är även utrustat med en spruta som skjuter ut, i centrum på verktöget, när det är dags att foga. (Det finns också en möjlighet att sprutan monteras på sidan av verktöget.)

Alternativ 2

Alternativ två skiljer sig inte så mycket från alternativ ett. Det som skiljer de två alternativen åt är referenssökningen. I alternativ 2 använder sig roboten av en visionkamera för att finna referenspunkterna. Det är ett litet mer kostsamt alternativ men fördelen är att sökprocessen kommer att gå mkt snabbare jämfört med alternativ ett.

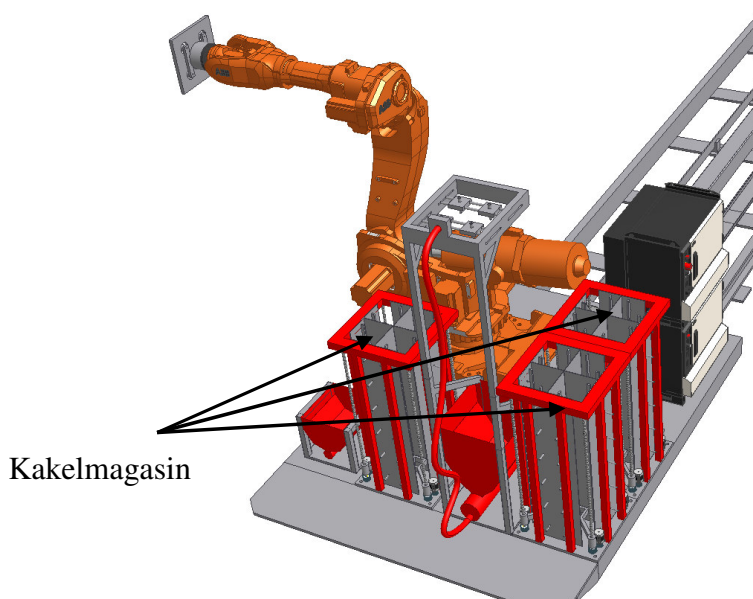
En möjlig option för att göra systemet mer noggrant är att applicera force control en option. Det är ett intelligent system som klarar att registrera moment och krafter med hög noggrannhet. Implementering av systemet innebär att robotprogrammeringen bli enklare, risken för att skador på verktyg uppkommer reduceras och det blir bättre processresultat. Anledningen till förbättringarna är att det inte är positionen som är styrande utan själva processen.



Figur 12. Verktöget med vakuumbrytare och fogspruta. **Figur 13.** Förslag på kablage till fix/fog.

Kakelmagasin

För att få upp produktionshastigheten måste det finnas ett magasin som laddas med kakelplattor. Vid vertikal montering önskas roboten klara upp till 48 kvadratmeter utan stop. Detta innebär ett magasin på 1200 plattor (200x200mm). $0.8 \cdot 1200 = 960 \text{Kg}$. Magasinet kan inte åka med robotohuvudet eftersom önskemålet på magasinstorlek gör det skrymmande. Magasinet bör ist. monteras på åkvagnen som löper längs med lastbilssläpet enligt bilden nedan.



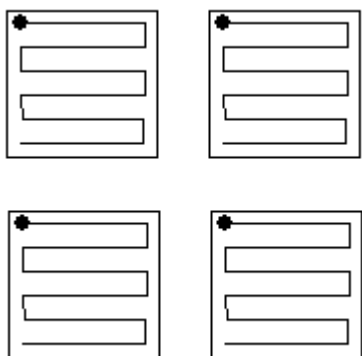
Figur 14. Överblick på kakelmagasin

Fix och fog-station

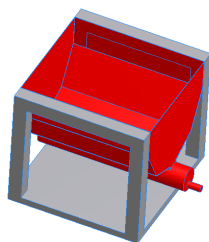
Idag finns det ingen befintlig produkt som fungerar enligt önskat så innan en fix och fogstation kommer i produktion måste en mer detaljerad studie genomföras om konceptet.

Nedan till vänster ses ett koncept på en möjlig fixstation. Konstruktionsprincipen bygger på samma princip som hos en betongblandarpump. Blandningen sker alltså i ett kärl och med hjälp av en skruv matas massa upp till de fyra munstycken som är längst upp på konstruktionen. Till höger illustreras en möjlig fogstation som fungerar lika som fixstationen. Transport av fogmassa led via en slang, upp bakom roboten, längs med ryggen och upp robotens huvud. Slangen är liknande ett dresspack från ABB.

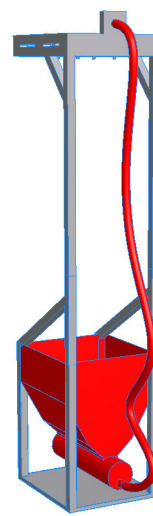
Appliceringen av fixet kommer att ske genom fyra munstycken längst upp på fixstationen. Munstyckena är reglerade så att de matchar gripdonet på roboten. Ur de fyra munstycken kommer det matas ut fixmassa med konstant hastighet samtidigt som roboten rör sig i ett bestämt mönster med bestämd hastighet. På så sätt kan önskad mängd fix fås på plattan. Fixet appliceras på kakelplattorna enligt följande mönster.



Figur 15. *Fixmönster.*



Figur 16. *Fogstation.*

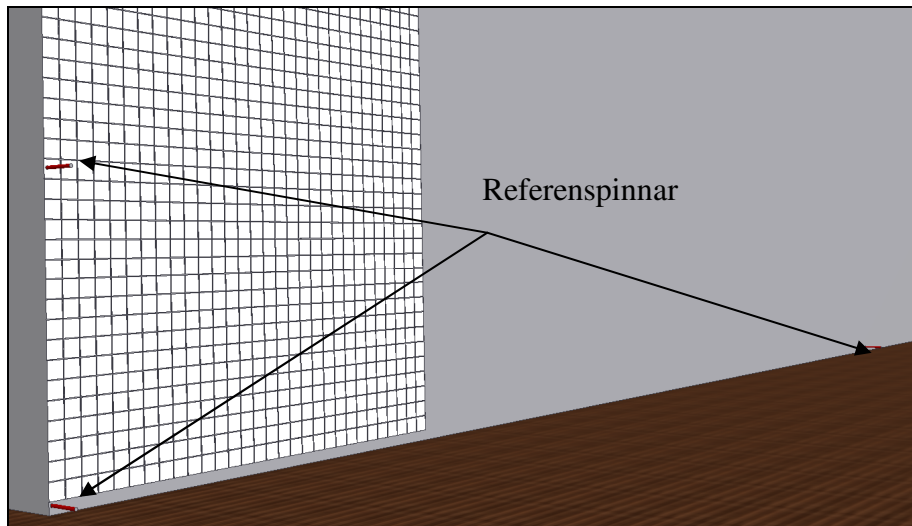


Figur 17. *Fixstation.*

4.2.2 Sök och kontrollsystem

Referenspunkter

Innan det är dags att kakla sätter man upp referenspinnar längs med väggen som ska kaklas. Referenspunkterna är vanliga stålrör och monteras med ett utstick på 100-200mm. Tre referenspunkter monteras vid varje uppställning av släpet. Två referenspunkter monteras horisontellt i (x-led) och indikerar vilken nivå över marken som roboten skall kakla. Referens nummer tre monteras en liten bit upp på väggen (y-led) och denna använder roboten för att hitta startpunkten. När referenspinnarna är på plats placeras vagnen inom arbetsområdet. Släpet ska placeras $\pm 100\text{mm}$ längdled (x-led) utifrån den första referenspinnen och avståndet från väggen (z-led) måste vara mellan 900mm och 1350mm för att robotens räckvidd skall täcka arbetsområdet. För att finna referenserna i (x,y,z-led) använder roboten sitt verktyg. X och y-led finner roboten med brytare på sidan av verktyget och väggens kordinat, z, kordinat lagras genom att roboten trycker till en gång med verktyget mot väggen. Det kan behövas ytterligare referenssökningar i z-led för att göra processen mer stabil. Det kan roboten utföra på slumpade ställen.



Figur 18. Referenspinnar som används för att kalibrera roboten.

Mekanisk trycksensor

Mekanisk sensor ses som det mest lämpliga valet gällande verktyg eftersom det är billigare och att komponenterna är mindre komplicerade. Nackdelen med mekanisk trycksensor är att sökprocessen går långsammare jämfört med till exempel ett visionsystem. Är önskemålet att det ska gå fortare rekommenderas att välja ett visionsystem som sökverktyg. För mer information om visionsystem se kap 4.1.6. Med hjälp av tryckplattor eller vippbrytare på sidan av verktyget klarar roboten att finna referenspunkterna som är inborrade och monterade i väggen.

För att bestämma trycket mot väggen sitter det fjädrar som är dimensionerade för att trycka med en bestämd kraft. Fjädrarna komprimeras tills de når en brytare, då har de nått rätt kraft. Brytaren har två funktioner. Dels ser den till att kakelplattorna trycks på plats med rätt tryck, dels att den klarar av att indikera på vilket z-led väggen sitter.

4.2.3 Styrskåp och styrsystem

Ett styrskåp innehåller i grova drag en i/o konverter och dator. För att vara skyddat mot väder krävs att ABB:s styrskåp placeras inuti ett ventilerat skåp som står emot påfrestningar från omgivningen.

Styrsystem innehåller kodning som talar om för roboten vilket rörelsemönster den skall följa. Styrsystemet ska vara uppbyggt så att riskfyllda situationer inte kan uppstå. Fel i programvara får inte leda till att det uppkommer en farlig situation, samt att normalt handhavande inte skall leda till riskfyllda händelser. Det kommer att finnas möjligheten att styra maskinen från den externa panelen som medföljer.



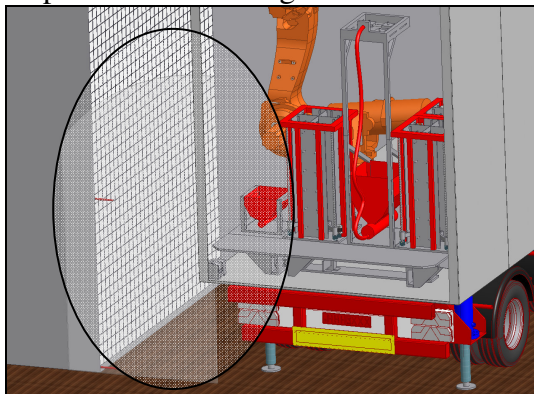
Figur 19. Styrskåp till roboten

4.2.4 Programmering

Robot studio är ett program som klarar att simulera robotens rörelser. När man är nöjd med sin simulering kan programmet exportera rörelserna till roboten. Det genereras alltså maskinkod samtidigt som man utför simuleringen. Detta kallas att man programmerar offline. Att programmera offline spar tid, pengar och det är säkrare. Du skulle tillexempel kunna programmera om din robot till ett framtida projekt undertiden den utför ett befintligt.

4.2.5 Skyddsutrustning

För att skydda omgivningen föreslås att roboten placeras i en skåptrailer. Skåpet kommer att få flera funktioner. Dels fungerar det som ett avgränsande område, dels kommer överbyggnaden att fungera som ett väderskydd under tiden roboten transporteras och under stillestånd, då roboten inte används. Det behövs även en skyddsridå som känner av om en person beträder området mellan trailern och väggen, se bild nedan. Kaklingen avbryts helt om en person beträder avgränsat område.



Figur 20. Skyddsutrustning / Område som skannas

5. Arbetsgång

1. Transport till arbetsplatsen

Det första som händer är att kakelroboten måste transporteras via vägnätet från förvaringsplats till arbetsplatsen. Det sker enkelt eftersom den mobila enheten kopplas bara till en lastbil.

2. Kalibrera maskinen

Steg två är att kalibrera in maskinen på arbetsplatsen. De första referenspinnarna borras in i väggen som skall kaklas. Släpet parkeras sedan in vid den första referenspinnen. När släpet är på plats trycks stödbenen ned i marken så att roboten står stabilt och i våg. Roboten genomför sedan en sökning efter kalibreringspinnarna, så roboten vet var den ska kakla. Undertiden som referenssökning sker fylls kakelmagasinen och fixet förbereds. När roboten är klar med referenssökningen lastas kakelmagasinen ombord på åkvagnen och sist hålls fixet i behållaren. Nu återstår bara att trycka på start för att kaklingsprocessen ska börja.

3. Kakling

När roboten har satt kakel på de första 4 (A,B,C,D) lägen är det dags att börja foga. Detta för att roboten inte ska behöva göra ytterligare referenssökningar, utan fogningen sker i samma uppsättning som kaklingen.

4. Påfyllnad av material

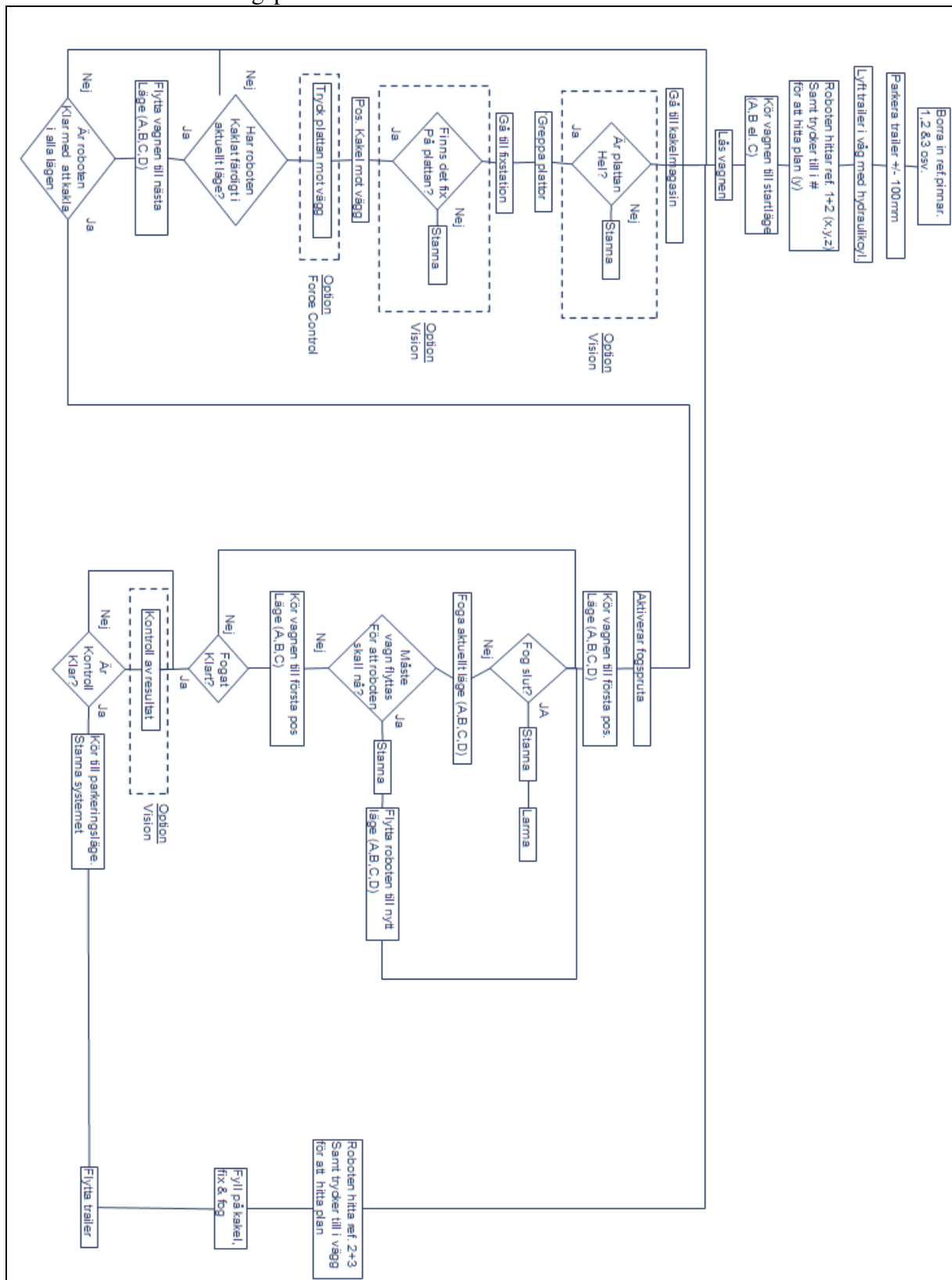
Vid montering av 20x20cm-plattor så räcker magasinen till att täcka en yta på 12x4m, hela släpets längd. Fixet måste fyllas efter halva den sträckan, anledningen till detta är fixets öppettid är begränsad. Påfyllning av både kakelplattor och fix/fog sker längst bak på släpet. Innan det är dags att fylla på material har operatören har blandat och förberett material undertiden som roboten arbetar. Det gör att byten av kakelmagasin och påfyllnad av fix/fog kommer ske på kort tid.

5. Flytt av släpet

När roboten är klar med att kakla de första 12x4m är det dags att flytta släpet. Det sker enligt följande.

- A. Nya referenspinnar måste borras in i väggen som ska kaklas.
- B. Stödbenen på släpet fälls upp
- C. Flytta släpet till området där roboten slutade kakla, vid den första nya referenspinnen.
- D. Fyll på kakelplattor i magasinen samt förbereder fix och fog.
- E. Fäll ned stödbenen och kalibrera roboten.
- F. Starta ny kaklingscykel.

Flödesschema för kaklingsprocessen



Figur 21 .Flödesschema över kaklingsprocessen.

5.2 Ekonomi

Projektstorlek			
	Storprojekt	Götatunneln	Lundbytunneln
Antal kvm tunnel	25000	24000	32000
1. Antal plattor(20x20cm)	625000		
2. Antal plattor(10x10cm)	2500000		
Hastighet vid manuellt arbete			
Hastighet vid kakling med 20x20mm plattor			
1. Hast (kvm/h)	2,5	exkl fogning	
1. Antal plattor/kvm	25		
Hastighet vid kakling med 10x10mm plattor			
2. Hast (kvm/h)	0,625		
2. Antal plattor/kvm	100		
1. Ant plattor/h	62,5		
2. Ant plattor/h	62,5		
Hastighet när robot monterar			
Cykeltid (sek)	20	(exkl fogning)	
Antal plattor/cykel	4		
Antal cykler /h	180		
Ant plattor/h	720		
Ant kvm/h (20x20cm)	28,8		
Ant kvm/h (10x10cm)	7,2		
Tidsåtgång för projekt			
	Storprojekt		
Manuell montering			
1. Tidsåtgång (h)	10000		
2. Tidsåtgång (h)	40000		
Automatisk montering med robot			
1. Tidsåtgång (h)	868		
2. Tidsåtgång (h)	3472		
Timkostnad		Timkostnad	
Arbetare	350	Maskinoperatör	400
Kostnad för mauellt arbete		Kostnad för automatiserad kakling	
Stort projekt		Stort projekt	
20x20 Plattor	3 500 000 kr	20x20 Plattor	347 222 kr
10x10 Plattor	14 000 000 kr	10x10 Plattor	1 388 889 kr

Figur 22. Kostnader för att kakla en yta

Räntekostnader på maskinen (7år, 5%)							
Maskinkostnad	3000000						
Utvecklingskostnad	2000000						
Avskrivningstid (antal år)	7						
Räntesats	5						
ÅR	1	2	3	4	5	6	7
A	3000000						
B	428572	428572	428572	428572	428572	428572	428572
C							
D	2571429	2142857	1714286	1285714	857143	428571	-1
E	0,05						
F	128571	107143	85714	64286	42857	21429	0
G	557143	535714	514286	492857	471429	450000	428571
H	321428						
I	3450000						
J	4887	4699	4511	4323	4135	3947	3759
A	Grundinvestering						
B	Amortering						
C	-						
D	Kvarstående lån						
E	Låneränta						
F	Räntekostnad per år						
G	Amortering + Räntekostnad						
H	Summa enbart räntekostnad						
I	Totalkostnad på maskinen						
J	Antal kvm som måste kaklas per år						

6. Förslag på fortsatt arbete

STEG 3 – Framtida utvecklingsarbete

Under Steg 3 redovisas de idéer som finns idag om det fortsatta arbetet efter Steg 2. Dessa moment kommer alltså inte att utföras inom ramen för detta SBUF-projekt, utan kommer att utföras i nästa skede. Baserat på resultatet från detta steg 2 kommer en mer detaljerad projektbeskrivning upprättas innan uppstart av Steg 3, men i stora drag kommer genomförandet se ut enligt nedan.

Tillverkning av prototyp

I detta skede tas kontakt med potentiella tillverkare och ett komplett tillverkningsunderlag fram i form av detaljritningar och monteringsritningar. Efter detta underlag tillverkas sedan delarna, och tillsammans med inköpta standardkomponenter samt styrsystem byggs sedan en fullt fungerande prototyp ihop.

Test- och justeringsfas

Inledande tester utförs av Skanska Teknik i lämplig verkstad. Olika moment och situationer testas med olika sorters produkter. Prototypen justeras/modifieras utifrån vad dessa tester visar.

I nästa testfas avses kakelroboten användas under mer verkliga förhållanden. Önskvärt vore att testköra roboten i ett riktigt projekt, i annat fall utökas testerna i verkstad så att en större yta kaklas av roboten. Prototypen kommer att visas upp i drift för referensgruppen och ev. andra intressenter. Under resans gång kommer vid behov mindre justeringar av prototypen göras.

Utvärdering

En utvärdering av systemet sker. Synpunkter från referensgruppen och andra intressenter kommer att tillvaratas på lämpligt sätt genom diskussioner och/eller enkäter.

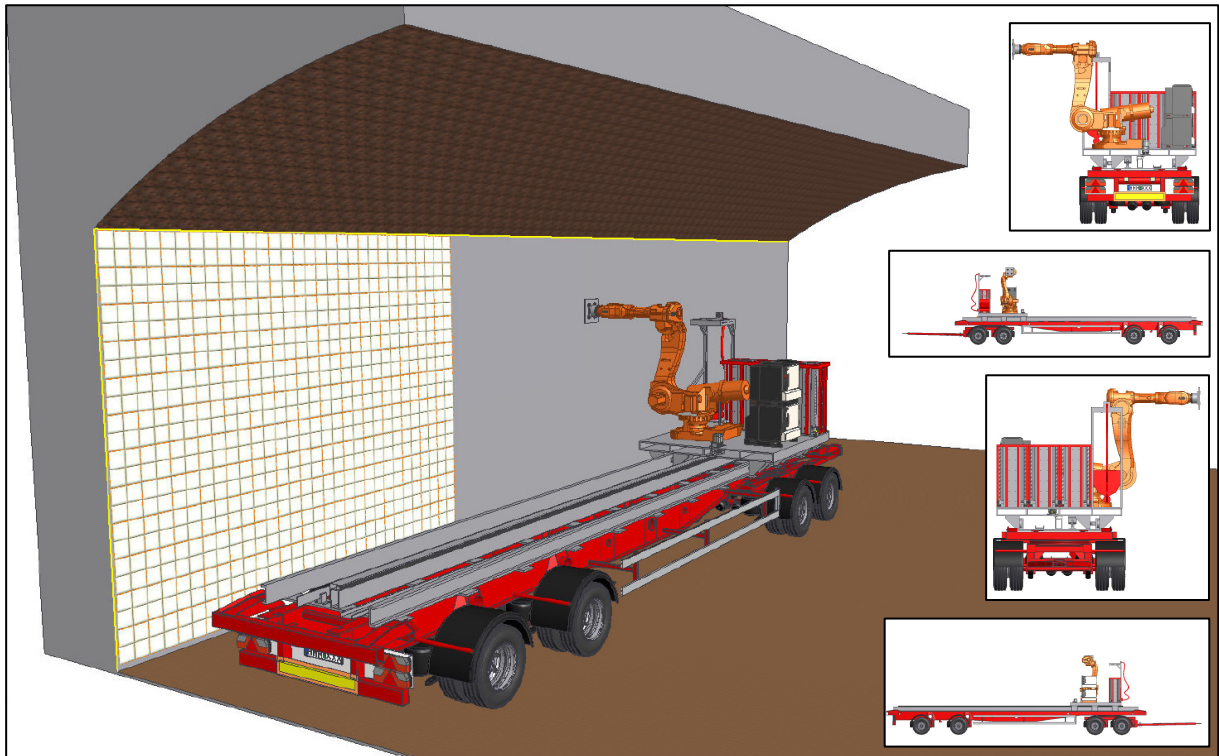
Dokumentation

En rapport över hela projektet tas fram, och dokumentation sammanställas.

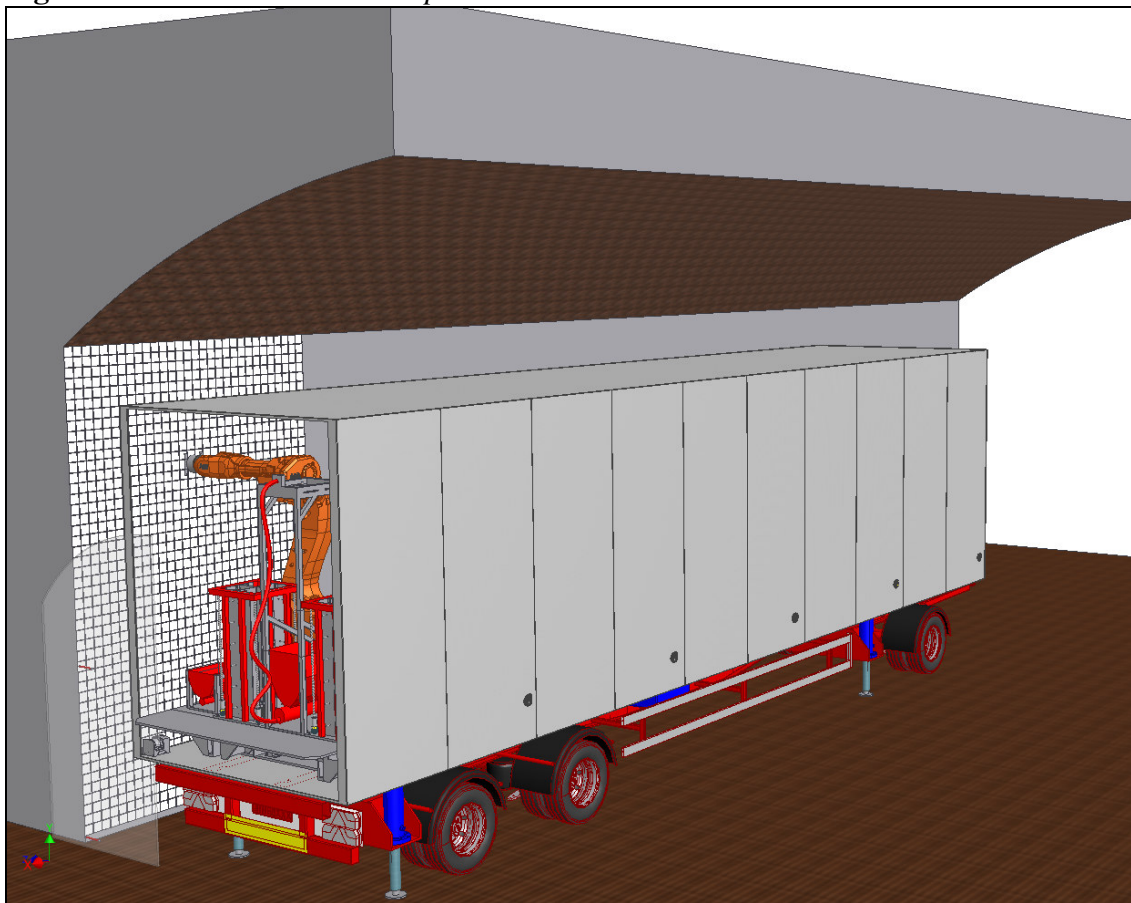
Finansiering

Tanken är att använda och sprida resultatet från steg 2, för att öka intresset från framtida tillverkare och uthyrare av utrustningen att delta i steg 3. Denna partner kan då bidra med teknisk kunskap och stå för en del av finansieringen av etapp 3.

7. Appendix A Bilder



Figur 23. Trailer utan trailerskåp.



Figur 24. Trailer med trailerskåp.