

Kakelsättningsrobot

Sammanfattning

Denna rapport beskriver hur kravspecifikationen för en kaklingsrobot bör se ut med hänsyn tagen till tekniska och ekonomiska faktorer.

Eftersom arbetet med att sätta kakel är ett tungt och monotont arbete föddes tanken om att kunna avlasta arbetarna på arbetsplatsen utan att göra avkall på kvalitet. Dessutom är det troligt att en robot kan göra arbetet snabbare. Utredningen har resulterat i att detta verkar vara möjligt att åstadkomma.

Där en robotiserad kaklingsutrustning verkligen skulle kunna göra nytta är vid stora anläggningsprojekt som vid tunnelbyggen. För att kakla badrum och liknande är tidsbesparingen inte lika stor eftersom det är mycket passning och kapningar. Därmed inte sagt att det inte skulle kunna användas denna typ av utrustning i annat än tunnelprojekt, men ska man exempelvis ha en utrustning för badrumskakling så får denna se lite annorlunda ut.

Robotens automatiseringsgrad är den stora frågan. Hur många av arbetsmomenten ska robotiseras? Vad ska roboten utföra och vad ska den kontrollera? Det här fastställs i kravspecifikation i slutet på rapporten, men för att få detta bättre utrett måste man i så fall ta fram en testutrustning för att testa teorierna i verkligheten och också för att se hur lång tid det verkligen tar för roboten att utföra momenten.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	II
1 INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 SYFTE	1
1.3 MÅL	1
1.4 AVGRÄNSNINGAR	1
1.5 METOD	1
2 BESKRIVNING AV MANUELL KAKELSÄTTNING	2
2.1 MANUELL KAKELSÄTTNING	2
2.2 BELASTNINGSERGONOMI OCH ARBETSMILJÖ [2]	3
3 BESKRIVNING AV AUTOMATISERAD KAKELSÄTTNING	4
3.1 AUTOMATISERINGSGRAD	4
3.2 DIMENSION, VIKT OCH MILJÖ	5
3.3 PRESTANDA	6
3.4 KAKELSÄTTNINGSPROCESSEN	7
3.5 FOGNINGSPROCESSEN	9
3.6 STYRSYSTEMET	10
3.6.1 Insignaler	10
3.6.2 Användargränssnitt	10
3.6.3 Kvalitetssystem	10
3.6.4 Säkerhetssystem	10
3.6.5 Styrning av rörelser	10
3.7 KVALITETSSYSTEMET	11
3.7.1 Pre-kontroll av plattor	11
3.7.2 Pre-kontroll av underlag	11
3.7.3 Post-kontroll av resultat	11
4 DISKUSSION	13
4.1 BELASTNINGSERGONOMI OCH ARBETSMILJÖ	13
4.2 DIMENSIONER OCH MILJÖ	13
4.3 UPPSKATTNING AV EN ROBOTS KOSTNAD	14
4.4 KAKELSÄTTNINGSPROCESSEN	14
4.4.1 Beskrivning av en robotiserad kakelsättningsprocess	14
4.4.2 Prestanda	16
4.4.3 Uppskattning av tider för delprocesser	17
4.4.4 Rimlighet för maskinens prestanda	17
4.4.5 Automatiseringsgrad	18
4.5 FOGNINGSPROCESSEN	20
4.6 STYRSYSTEMET	21
4.7 KVALITETSSYSTEMET	21
4.7.1 Pre-kontroll av plattor	21
4.7.2 Pre-kontroll av underlag	21
4.7.3 Post-kontroll av resultat	22
5 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	22
6 SLUTSATSER	23
REFERENSER	24

1 Inledning

1.1 Bakgrund

När man idag sätter upp kakelplattor så görs detta helt manuellt och är ett mycket tidskrävande arbete. I exempelvis Götatunnel-projektet (tunnel i Göteborg som byggdes mellan 2000-2006) sattes kilometervis med kakelplattor för hand (totalt ca. 24000 m² klinkers). Kakelsättning är ett monotont arbete som ofta utförs i obekväma arbetsställningar. Man vet idag att detta arbetet medför en stor risk till förslitningsskador i axlar och rygg. Dessa arbetsuppgifter skulle mycket väl kunna utföras av en robot, vilket förbättrar arbetsmiljön samt effektiviteten av plattsättningen. För att få fram en kravspecifikation på en robot som utför plattsättning har SBUF beviljat anslag för detta.

1.2 Syfte

Syftet med detta första steg i framtagandet av en plattsättningsrobot är att kunna effektivisera arbetet med att sätta upp kakelplattor, och även förbättra arbetsmiljön för dem som arbetar med detta. I rapporten behandlas både plattsättning i anläggningsprojekt och husprojekt.

1.3 Mål

Målet med denna rapport är att få fram en grundläggande kravspecifikation för en plattsättningsrobot. För att kunna få fram en kravspecifikation måste de olika delarna som roboten kan ha identifieras och utvärderas. Utvärderingen skall ta hänsyn till både den tekniska komplexiteten och ekonomiska faktorer, vilket innebär att kravspecifikationen kommer att visa vilka delsystem som är nödvändiga för en plattsättningsrobot.

1.4 Avgränsningar

Kravspecifikation på styrsystemet utelämnas från denna rapport. Detta på grund av att kraven på styrsystemet beror mycket på hur själva roboten blir rent mekaniskt. Eftersom denna rapport utmynnar i en kravspecificering av vad roboten skall klara av och inte hur roboten kommer att se ut skulle det bli mycket svårt att ge några specifika krav på styrsystemet. Därför ges endast en enkel genomgång och diskussion om styrsystemet.

1.5 Metod

En litteratursökning om robotar inom byggbranschen utförs. Från denna undersökning får man reda på om det finns några liknande robotar och hur långt forskningen inom detta område har framskridit. Även intervjuer med personer relevanta för projektet utförs .

2 Beskrivning av manuell kakelsättning

2.1 Manuell kakelsättning

Att sätta kakel manuellt i stora anläggningsprojekt är ett tidskrävande och tungt arbete. Vid kakelsättningen i Götatunneln exempelvis hade Skanska 6000 m² kakel att sätta. Av dessa var uppskattningsvis 1000 m² komplicerad, d.v.s. skurna plattor vid öppningar, urtag etc. Plattorna har satts parallellt med tunnelns körbana. Kakelplattorna på Götatunnelns väggar har en storlek av 20x20 cm och man hade en genomsnittlig uppsättningshastighet på 20 m² per 8h och person. Plattorna sattes från 0,75 m över körbanan och upp till 4 meters höjd. Plattsättarna fick alltså jobba på ställningar som flyttas vartefter som man jobbar sig framåt.

Innan man kan börja sätta kakel måste man förbereda underlaget genom att slipa, tvätta och spackla som är ett tidskrävande hårt arbete som måste göras ordentligt för att kaklingens resultat sedan ska bli bra.

När underlaget är i ordning så märker man ut den första kakelraden med en riktbräda eller genom att rita på en riktlinje på väggen. Detta görs i understa raden och sedan bygger man uppåt med de satta plattorna som referens.

Därefter blandas fästmassan och dras ut på väggen. Fästmassan fördelas jämt på väggen med en tandad spackel. Tandspackeln ger ett tandat mönster som gör det enklare att sätta plattan.

Därefter hämtas plattorna från pall och placeras på väggen med fogbredds mellanrum. Fogbredden kan man få rätt med fogsnöre eller kakelkryss. I Götatunneln användes ögonmått eftersom det är estetiskt mindre viktigt i en tunnel än vad det är i exempelvis ett badrum eller ett kök hur exakt detta blir.

Plattorna monteras med en vridande rörelse för att få in dem i fästmassan ordentligt och få en bra vidhäftning. Enligt fästmassa-leverantörer ska plattorna sättas inom 15-20 minuter från det att fästmassan strukits ut på väggen. Prover har dock visat att man bör sätta upp plattorna inom 5 minuter för att få en riktigt bra vidhäftning. Väntar man längre torkar ett skinn på ytan som gör att vidhäftningen försämras.

Vartefter raderna byggs uppåt kontrolleras att de blir raka genom att mäta, slå laserplan eller genom att använda vattenpass.

Om man sätter upp kakel i olika färger eller med olika storlekar gäller det att ha planerat detta väl så att man ser vart man hamnar med mönstret.

När man kaklar runt öppningar, uttag o.dyl. i väggen eller att man kommer till änden på väggen så får man skära till plattorna.

När man sätter upp kakelplattorna på väggen får man vara lite försiktig, särskilt om plattorna är stora, så att de inte börjar glida neråt. Plattorna ska vara självbärande i fixet men har man exempelvis 30x30-plattor, bör man sätta en bärande läkt längst ner [1].

Dagen efter man kaklat väggen så appliceras fogmassa i fogarna. Fogarna ska vara fria från fästmassa till minst halva plattjockleken. Fogmassan dras ut med gummispackel diagonalt.

När fogarna bär vid tryck med fingret rengörs plattorna med en ren och väl urvriden kakelsvamp. Rengörningen ska göras diagonalt över fogarna.

Efter några timmar torkas och poleras plattorna rena med en trasa.

För att få hårda och starka fogar ska de hållas fuktiga i 2-3 dygn.

I vägghörn och liknande läggs mjukfog som möjliggör viss rörelse i kaklet.

2.2 Belastningsergonomi och arbetsmiljö [2]

Av de som anmält sina belastningsbesvär som arbetsskada år 2004-2005 är lyft och förflyttning av bördor (56%) samt repetitivt arbete (44%) de vanligaste nämnda faktorerna. Detta enligt statistik som Arbetsmiljöverket har samlat in. Att sätta kakel hör till båda dessa kategorier. År 2005 uppgav fler än 500 000 sysselsatta att de fått arbetsorsakade besvär p.g.a. fysisk belastning på rörelseorganen.

Inom byggverksamhet så är belastningsergonomin ett vanligt förekommande problem enligt Arbetsmiljöverkets statistik.

Byggbranschen visar betydligt högre andel besvär till följd av belastning än genomsnittet för samtliga näringsgrenar.

Procentuellt sett så upplever sysselsatta inom byggverksamhet:

- Påfrestande arbetsställningar (58%)
- Påfrestande tungt arbete (57 %)
- Påfrestande ensidiga arbetsrörelser (40%)

Dessutom upplever dessa att de flera gånger dagligen är tvungna att:

- Lyfta minst 15kg åt gången (39%)
- Böja och vrida sig på samma sätt flera gånger i timmen (31%)

Andelen sysselsatta inom byggverksamhet av de som anmält arbetsorsakade besvär på belastade rörelseorgan har de senaste 10 åren stigit c:a 4% och ligger just nu på ungefär 23% (2005).

De grupper inom byggverksamhet som har flest inrapporterade belastningssjukdomar är betongarbetare, takmontörer, golvläggare och murare m.fl.

I AFS 1998:1 §2 står det: ”Arbetsgivaren skall så långt som det är praktiskt möjligt ordna och utforma arbetsplatser så att arbetstagarna kan använda för kroppen gynnsamma arbetsställningar och arbetsrörelser. Långvarigt eller ofta återkommande arbete med böjd eller vriden bål liksom med händerna över axelhöjd eller under knähöjd skall undvikas. Detsamma gäller arbete som innebär kraftutövning i ogynnsamma arbetsställningar.”

Enligt kommentarerna till §3 skall arbetsgivaren undersöka möjligheterna att minska riskerna för skador genom att få bort så mycket manuell hantering som möjligt. Man ska även undvika tunga lyft om det går genom att använda tekniska hjälpmedel.

3 Beskrivning av automatiserad kakelsättning

Redan idag finns det system för automatiserad kakelsättning. Ett exempel på detta är Partabs fabrik i Kalix som har robotiserad kakling av badrumsmoduler.

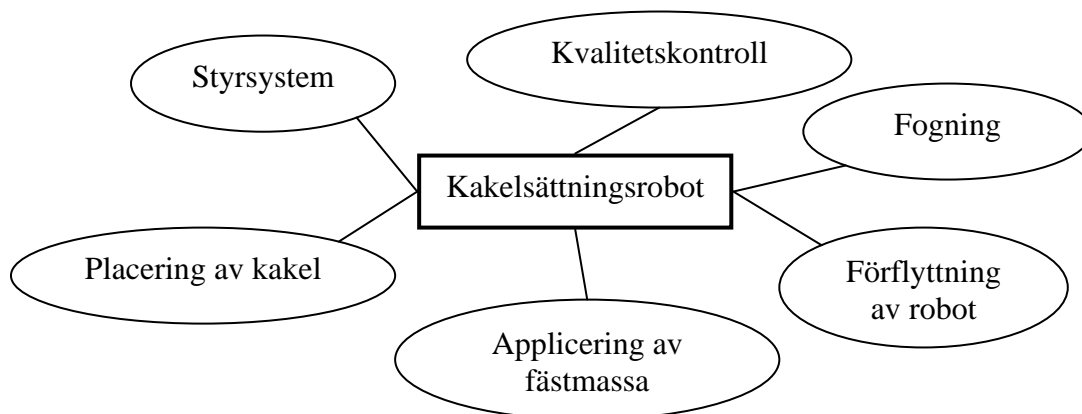
Den maskinutrustning man använder där idag är den tredje man byggt för att utveckla och förfina tekniken [10].



Bild på Partabs produktion. (Från Partabs hemsida)

3.1 Automatiseringsgrad

Automatiseringsgraden av roboten styr komplexiteten av roboten. I de enklare formerna är roboten beroende av kontinuerlig indata från operatören, dvs. operatören styr robotens alla rörelser. I den andra ändan av spektrumet är roboten helt automatiserad där den kan själv positionera sig och placera plattorna utan operatörens inblandning. De olika scenarierna innebär helt olika krav på bl.a. styrsystemet, analyseringen av signaler och i slutändan priset på roboten. Därför är det av stor vikt att hitta en automatiseringsgrad som både är tekniskt och ekonomiskt försvarbar.



Figur 3-1. Beskrivning av robotens olika huvuddelar.

3.2 Dimension, vikt och miljö

För en kakelsättningsrobot inom anläggningsindustrin så finns det inga generella krav på dimensioner och vikt. Det man kan tänka sig för att exempelvis sätta plattor i tunnlar är att maskinen inte bör vara för bred så att den hindrar trafiken under byggskedet.

Inom husbyggnad så bör maskinen kunna gå igenom dörröppningar och även höjden kan vara begränsad. Dessutom så kan golvens bärighet vara begränsande. Enligt [3] skall vikten inte överstiga 400-600 kg och dimensionerna i horisontalplanet bör inte vara större än 0,7x1,0 m samt höjden inte större än 1,8 m.

Miljön runt roboten kan skilja sig drastiskt mellan olika arbetsplatser. Vissa arbetsplatser kan t.ex. vara dammiga eller fuktiga. Detta innebär att man måste tänka på hur roboten skall skyddas mot miljön, speciellt hur eventuell mätutrustning påverkas av varierande miljö. Miljön på arbetsplatsen kan även ha påverkan på detaljer som drivningen av roboten. Som exempel kan man ta en självgående robot inom husbyggnad. Där måste man tänka på hur roboten skall kunna ta sig in i husen dvs. hur underlaget utanför huset ser ut. Även miljön inuti huset kan ha påverkan som t.ex. dörröppningar som diskuterades i ett föregående kapitel.

Även robotens påverkan på arbetsmiljön måste beaktas. Ifall roboten skall användas i små oventilerade utrymmen så bör den t.ex. inte ha en förbränningsmotor för att inte kolmonoxid förgifta operatören. Ljudnivån på roboten måste hållas inom Arbetsmiljöverkets anvisningar [AFS 1986:15].

3.3 Prestanda

För att en kakelsättningsrobot skall vara ekonomiskt försvarbar så måste den kunna sätta kakel mer effektivt än vid manuell kakelsättning. [4] har undersökt hur lång tid det tar att lägga golvklinker. Det visade sig att det tog ungefär 24 sekunder per platta då man tar hänsyn till att plattsättaren inte jobbar effektivt hela tiden. (111 m² per plattsättare på ett 8 h arbetspass dvs. ca. 14 m²/h). De kom fram till att placeringen av en platta på rätt ställe tog ungefär 8 sekunder vilket innebär att ungefär en tredjedel av tiden går åt själva plattsättningen. Med dessa tider kommer [4] fram till att en robot bör spendera totalt 12 sekunder för att lägga plattan och för att undersöka kvaliteten i plattplaceringen, tiderna för de olika arbetsmomenten kan ses i Tabell 3-1. Noterbart är att arbetsprocesserna för att lägga fästmassa eller kontroller av underlag, plattor och resultat inte finns med i denna tabell. Summan tid blir isåfall längre om man skulle ta med detta också.

Tabell 3-1. Tidsåtgång för olika arbetsmoment för en plattsättningsrobot [4].

Arbetsprocess	Tid [s]
Förflyttning av robot till position	2
Ta och bearbeta bilder för att få reda på fin positionering av platta	5
Placering av platta	3
Ta och bearbeta bild för kontroll av placeringens kvalitet	2
Summa tid	12

Enligt simuleringar för en golvplattsättningsrobot gjord av Navon [3] så varierade plattsättningshastigheten mellan 1,6 till 11 m²/h jämfört med manuell plattsättning där hastigheten varierar mellan 0,7 till 2,1 m²/h (enligt samma källa). Dessa hastigheter gäller för rum vars area varierade mellan 2,6x2,6 till 3,0x4,0 m samt att fixet skall appliceras.

Ännu en golvplattsättningsrobot [5], som utmynnat i en prototyp, har en hastighet på 20 m²/h. Även i det här fallet så lägger roboten enbart plattorna dvs. den lägger inte fix.

En industrialiserad robot som lägger kakel för prefabricerade väggar till badrum finns på ett företag i Sverige [10]. Denna robot lägger kakelplattorna med en hastighet på ca. 2,5 s/platta. Även denna robot lägger inte fix utan enbart plattor.

Som man kan se varierar den manuella plattsättningshastigheten kraftigt mellan de olika referenserna (enligt [4] och [3]) från mellan 0,7 till 14 m²/h. En del av denna skillnad kan förklaras genom att de lägre siffrorna gäller för plattsättning i små utrymmen och de högre för stora utrymmen. Även plattans storlek har betydelse, i de lägre hastigheterna var plattorna mellan 10x20cm till 20x20 cm och för de högre hastigheterna var plattornas dimension 30x30 cm (12x12 tum). För Götatunnel-projektet [7] där plattsättningshastigheten var 2,5 m²/h per plattsättare.

3.4 Kakelsättningsprocessen

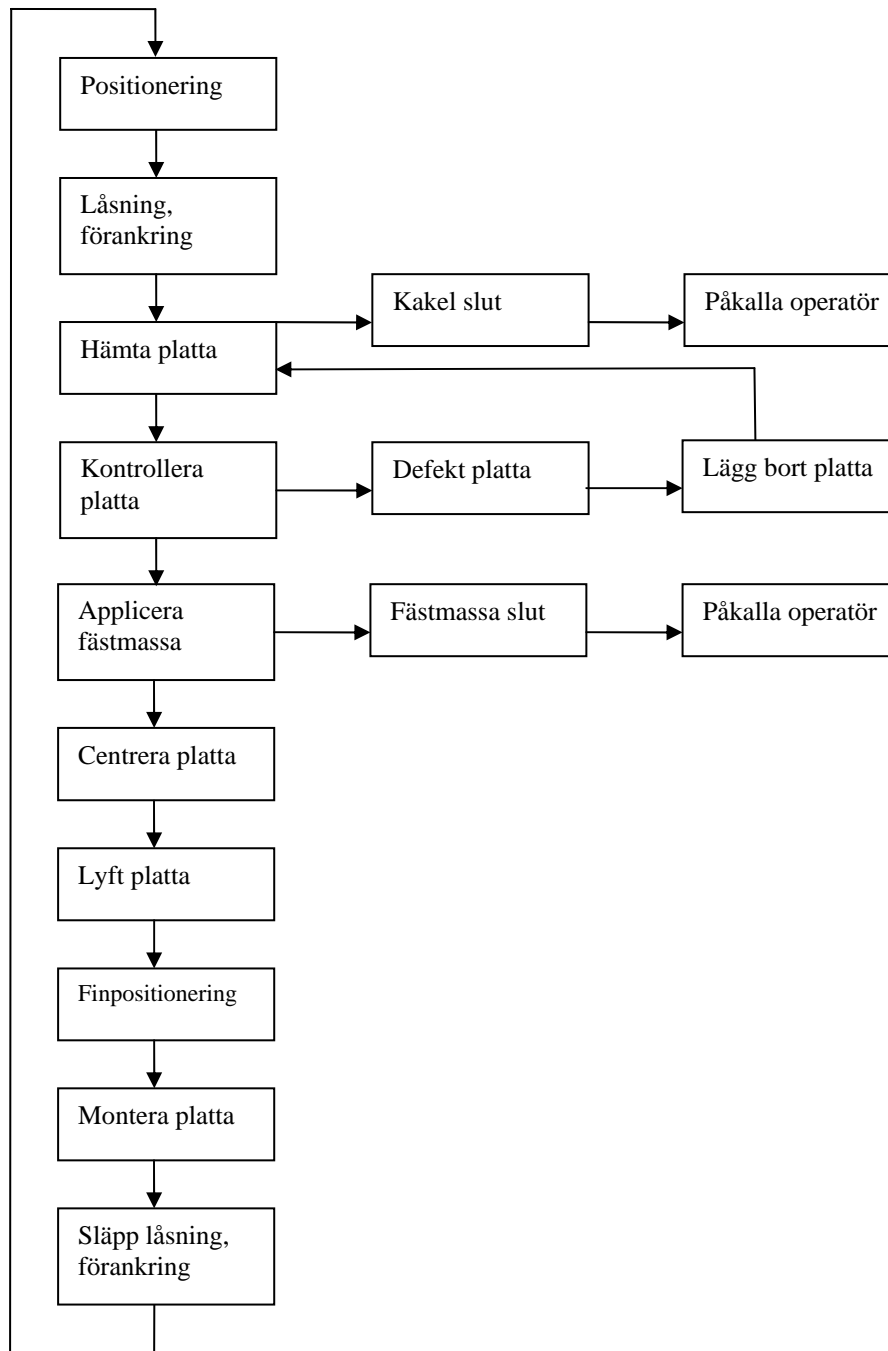
Innan kaklingen kan påbörjas måste man se till att underlagen som kaklet ska sättas på är tillräckligt jämt. Enligt Hus AMA får avvikelserna max vara 3mm/m.

För att fästmassan ska fungera som tänkt ska temperaturen ligga mellan 10-25°C. Idealiskt 20°C. Dessutom ska luftfuktigheten idealiskt ligga mellan 55-60%. [1]

Beroende på vilken metod som används för robotens förflyttning måste detta också förberedas. Om roboten körs på färdig mark eller grus måste systemet klara dessa förutsättningar. Om roboten körs fram på räls måste denna läggas på plats och avvägas.

Arbetsordningen för kakelsättningsprocessen som utförs av ett automatiserat system, bör vara ungefär som följande (jmf. [7]). Se även Figur 3-2.

- Bestäm kakelsättningsrobotens utgångsposition med hjälp av sensorer. Roboten måste veta status på kakelsättningen, vad som är gjort och vart han själv befinner sig i det hela.
- Ställ upp roboten och lås den i rätt position för kakling. Det gäller här att roboten står fast förankrad och att positionen inte förändras då kaklet trycks på plats.
- Sensorer hittar vart kaklet finns att hämta. Alternativt här är att kaklet finns laddat i magasin i anslutning till roboten eller att kaklet står helt fritt från systemet på en pall vid sidan om.
- Samma sensorer söker upp nästa kakelplatta som ska sättas. Här gäller det att kunna välja rätt platta om det finns olika färger, former etc.
- Plattan läggs i centreringsenhet där den kontrolleras för defekter vad det gäller mått, färgnyans, sprickor etc.
- Centreringsarmen lyfter plattan. Roboten måste kunna plocka upp plattan och hålla den exakt så att den vet vart hörnorna finns.
- Applicering av fästmassa. Antingen appliceras fästmassan på väggen eller på kakelplattan. I en nuvarande industrialiserad kakelsättningsprocess [10] sätts fästmassan på väggen.
- Förflyttning av plattan till väggen och placering i rätt position. Plattan ska sättas med rätt tryck och ska mätas in så att den hamnar på rätt höjd. Fästmassan kan ha olika tjocklek, plattan likaså. Det ska också säkerställas att plattan sitter kvar på rätt plats. Därefter ska placeringsarmen släppa plattan och förbereda sig för nästa.



Figur 3-2. "Flödesschema för helautomatisk kakelsättningsprocess."

3.5 Fogningsprocessen

Roboten kan ha utrustning för att applicera fogmassa mellan plattorna. Denna utrustning måste ha sensorer som känner av vart plattornas ytterkanter finns.

Fogmassan appliceras i fogen och stryks av så att den får sin slutgiltiga höjd.

Vad det gäller fogens raket ska den på en sträcka om maximalt 5 meter för ögat uppfattas som rak.

Rekommenderade fogbredder är ([8]):

- 2-3 mm för Kakelplattor
- 3-6 mm för Torrpressade klinkerplattor
- 5-9 mm för Våtpressade klinkerplattor
- 5 mm för mjukfog

Fogningen ska utföras så att fogen ansluter till plattans kant i nivå med plattans yta för platta med rätvinklig kant. För platta med rundad kant ska fogen avsluta i nivå med rundningens nedre del.

Fogens yta ska vara fri från främmande material och partiklar. Påtagligt synliga hål och luftfickor får ej förekomma.

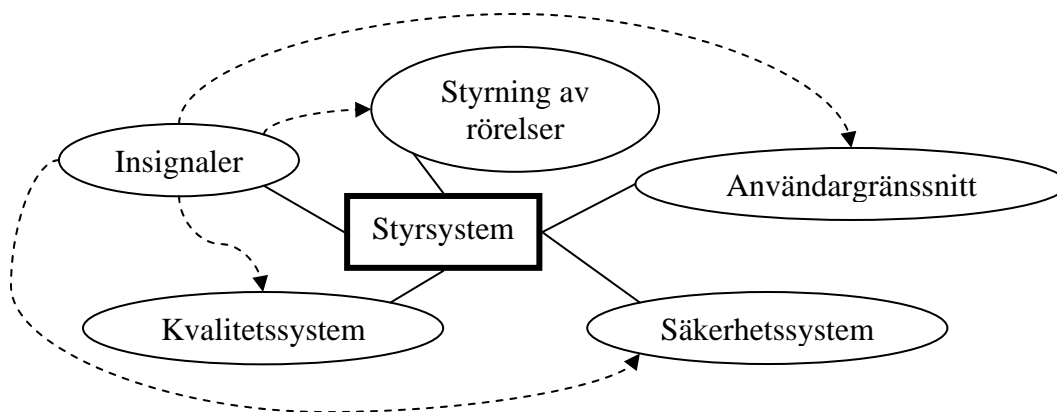
[8]

Kraven på fogen ställer krav på miljön runt omkring roboten. Det får inte vara för dammigt så att fogen får synlig smuts i sig.

Möjligtvis att roboten ska ha utrustning som granskar hur resultatet på fogen blev. Så att den ser om det finns smuts eller bubblor i den.

Vi användande av deformationsupptagande fästmassor kan speciella fogmassor krävas enligt fästmassetillverkarens anvisningar. [9]

3.6 Styrsystemet



Figur 3-3. Beskrivning av delar som styrsystemet skall hantera.

3.6.1 Insignaler

Insignaler kan komma från olika mätinstrument som t.ex. kameror, laser skanners, positionsmätare, lastsensorer. Dessa signaler skall kunna tolkas och utvärderas av styrsystemet som därefter skickar order till rätt delsystem.

3.6.2 Användargränssnitt

Från användargränssnittet skall operatören ge order till styrsystemet. Dessutom kan information från styrsystemet ges till operatören (som t.ex. varningssignaler). Användargränssnittet kan vara kopplat till CAD-geometri för att kunna specificera kakelsättningen.

3.6.3 Kvalitetssystem

Kvalitetssystemet övervakar det utförda arbetet, kontrollerar kakelplattorna osv. Mer information om själva kvalitetssystemet finns i kapitel 3.7. Signalerna från kvalitetssystemet kan även användas för att kalibrera positioneringen av plattorna under platsättningen. Kvalitetssystemet i sin tur kräver information från insignal systemet.

3.6.4 Säkerhetssystem

Detta system skall övervaka att inga personer befinner sig i robotens arbetsområde. Även denna del är beroende av insignaler. Det måste även finnas nödstoppfunktion, och eventuellt även varselljus om systemet ska köras utan operatörs uppsyn.

3.6.5 Styrning av rörelser

Den arbetsuppgift som vanligtvis anses vara styrsystemets huvuduppgift är att styra robotens rörelser. För en platsättningsrobot skall den kunna hantera bl.a. förflyttning av robot, platsättning, applicering av fästmassa, matning av plattor från magasin till platsättningsanordningen och fogningen.

Som man ser, är insignalerna en central del för en helt automatisk robot. Dessutom skall insignalerna kunna tolkas av styrsystemet vilket inte är trivialt speciellt om insignalerna är bilder eller laser skannade ytor. Det är nivån på insignaler och tolkningen av dem som är automatiseringsgraden.

3.7 Kvalitetssystemet

Kvalitetssystemet kan delas upp i två delar, nämligen i pre- och post-kontroll. Pre-kontrollen innefattar kontroll av plattorna innan de fästs med avseende på t.ex. defekter, färg, storlek osv. Dessutom kan en kontroll av underlaget inkluderas i pre-kontrollen. Post-kontrollen innebär en kontroll av resultatet av plattsättningen med avseende på avstånd mellan plattor, raket osv.

3.7.1 Pre-kontroll av plattor

Pre-kontrollen av plattorna kan innefatta följande kontroller:

- Kontroll av plattans dimensioner (bredd, höjd och tjocklek)
- Kontroll av plattans egenskaper (färg, ytbeskaffenhet, mönstrets orientering)
- Kontroll att plattan är defekt-fri

Den första punkten behöver man ej beakta om plattleverantören kan visa att tillverkningsprocessen inte ger några nämnvärda variationer i dimensionerna.

Den andra punkten blir självklart aktuell först då man skall lägga plattorna i mönster.

För den tredje punkten är ett alternativ att kontrollera plattorna innan man laddar roboten, med det följer det följande nackdelar [3].

- Plattorna kan gå sönder vid lastning av robot.
- Plattorna måste packas upp, inspekteras och packas ner innan användning, vilket leder till ökad arbetsmängd och ökad tidsåtgång.

Ett möjligt sätt att kontrollera plattorna finns beskrivet i [3].

En automatiserad kontroll av plattorna har utelämnats av det företag som har en robot som lägger plattor industriell [10] med motiveringen att det går att få tag i kakel med tillräckligt bra toleranser.

Dessa punkter leder till att en pre-kontroll av plattor behöver kunna mäta plattorna med en precision på tiondels millimeter, ha färg igenkänning, mönster igenkänning samt ha en procedur för att identifiera defekter. Om pre-kontrollen skall kunna utföra alla dessa delar, blir den i dagsläget förmodligen mycket avancerad. Alternativet är att man inte har någon pre-kontroll överhuvudtaget, vilket innebär att i de fall roboten sätter en felaktig platta får man efteråt korrigerat felaktigheten. Detta leder åter till en fråga om vilken komplexitetsgrad och automatiseringsgrad roboten skall ha.

3.7.2 Pre-kontroll av underlag

Pre-kontrollen av underlaget skall kontrollera underlaget innan plattsättningen eller appliceringen av fästmassa inleds. Man kan även tänka sig att resultatet av appliceringen av fästmassa kan kontrolleras.

3.7.3 Post-kontroll av resultat

Fel vid placeringen av plattor kan i princip kategoriseras som förskjutning, rotation eller kombination av de två. Hur mycket förskjutningen eller rotationen får avvika från de nominella värdena beror på faktorer som fogens bredd, plattans dimensioner och på vilka estetiska krav som ställs. Vid stora bredder på fogen så kan man tillåta större avvikelser på plattans placering än vid små fogbredder. Vid stora dimensioner på plattorna kan man inte tillåta lika stora rotationer än vid mindre plattor, detta p.g.a. att det återigen är skillnaden i fogbredd som styr. För att sammanfatta så är det variationerna i fogbredden som man vill styra och mäta för att få ett korrekt resultat, plus att planheten även måste ligga inom

toleransområdet. De estetiska kraven kan skilja sig mellan olika typer av plattsättningar. Till exempel vid kakling av badrum ställs det högre krav på utseende än vid kakling i tunnlar. För plattor med dimensionerna 200x200 mm och fogbredden 3 mm får fogbredden maximalt variera $\pm 0,5$ mm. Enligt [8] får fogsprånget vara maximalt 1,5 mm samt att planheten skall vara inom $\pm 1,2$ mm vid en mätlängd på 0,25 m och ± 5 mm vid en mätlängd på 2 m. Att kunna kontrollera detta krävs det att det går att mäta avståndet mellan plattorna (dvs. fogbredden) på en noggrannhet på tiondels millimeter och kunna mäta höjdvariationen på olika mätlängder (0,25 och 2 m) på några tiondels millimetrar. Post-kontrollen kan även innefatta en kontroll att fästmassan är jämt fördelad över plattorna. Denna kontroll måste utföras efter att plattan är placerad.

4 Diskussion

4.1 Belastningsergonomi och arbetsmiljö

Att sätta upp kakel manuellt är som sagt ett tidsödande och monotont arbete, och det är lätt att bli okoncentrerad efter ett tag. Då är det lätt att göra fel som kan innebära att man får riva ner det man gjort och rengöra väggen igen för att sedan sätta upp plattorna på rätt sätt.

Det är också mycket påfrestande för rygg, axlar och nacke att bära kakel och att sätta upp det på väggen i olika höjder. Många fall av förslitningsskador har uppkommit på grund av detta arbete.

Byggherrars och projektörers arbete påverkar andras arbetsmiljö i stor utsträckning. Det är deras metodval som sedan bestämmer arbetarnas sätt att arbeta och hur fysiskt och psykiskt påfrestande deras arbete blir.

Det är därför viktigt att planeringen av arbetet utgår ifrån arbetarnas perspektiv för att förebygga dessa påfrestande.

Gör man rätt val och satsar på arbetarnas arbetsmiljö så kan det även bli så att dessa val blir ekonomiskt mest lönsamma i det långa loppet.

Ska man följa AFS 1998:1 §2 och kommentarerna till §3 så bör man absolut titta på maskiner som denna. Det är just den här typ av arbeten på en byggarbetsplats som genererar många arbetsskador.

Det finns inte många hjälpmedel på marknaden idag för att sätta upp kakel med och därför kan arbetsledare inte avlasta sina arbetare på detta området. Därför borde behovet av en sådan här maskin vara stort om man ser rent arbetsmiljömässigt på arbetsuppgiften.

4.2 Dimensioner och miljö

För en kakelsättningsrobot inom husbyggnad finns det krav på ytterdimensioner och vikt att ta hänsyn till. Dessa krav beskrevs i kapitel 3.2. Vid anläggningsarbete så finns det inga specifika mått och vikter som måste uppfyllas men självklart får roboten bli så stor att den blockerar helt trafiken under tex. vid ett tunnelbygge.

Bullernivån bör hållas så låg som möjligt men maximala nivån kan sättas till 85 dB för att uppfylla Arbetsmiljöverkets regler för att kunna jobba utan hörselskydd.

Tabell 4-1. Specifikation för allmänna krav.

Krav	Kravmått	Kommentar	Relevant
Gå igenom dörröppningar		För husrobot	Ej för prototyp
Max vikt	600kg	För husrobot	Ej för prototyp
Ytterdimensioner	0,7x1,0m h=1,8m	För husrobot	Ej för prototyp
Ingen negativ miljöpåverkan			Ja
Stabil avvägd mark under robot			Ja
Bullernivå inom AMV:s anvisningar	85 dB	Om över 85dB, hörselskydd	Ja
Relativt ren miljö att arbeta i			Ja

4.3 Uppskattning av en robots kostnad

För att få en uppfattning om hur mycket en plattsättningsrobot får kosta, för att bli ekonomiskt försvarbar, måste man utreda kostnaden för manuell plattsättning. Därefter får man räkna vilken arbetskostnad roboten har och därefter får man reda på en ungerfärlig maximal kostnad för roboten.

Arbetskostnaden för manuell plattsättning för anläggningsprojekt ligger från 200 kr/m² och uppåt enligt [6]. I följande beräkningar antas arbetskostnaden ligga på 300 kr/m². Kostnaden för plattor, fästmassa och övriga varor antas vara densamma för den manuella och den robotiserade plattsättningen. Om man antar att plattsättningsroboten kan lägga 15 m²/h och att det behövs en operatör som kostar 400 kr/h ger en arbetskostnad på 27 kr/m². Skillnaden i arbetskostnad mellan manuell och robotiserad plattsättning blir då 273 kr/m². För ett projekt där man sätter 10000 m² plattor skulle den robotiserade plattsättningen ha en arbetskostnad som är 2,73 miljoner kronor mindre än vid manuell plattsättning. Denna skillnad i arbetskostnad kan i princip ses som en fingervisning om hur mycket en robot får kosta. Dock måste man tänka på att den effektiva plattsättningshastigheten för roboten inte är densamma som hastigheten att endast placera plattorna eftersom det går åt tid för bl.a. installation, service och dyl. Dessutom är ett antagande att roboten klarar av att utföra alla arbetsuppgifter (applicering av fästmassa, plattsättning och fogning) på dessa 15 m²/h.

Om roboten inte utför fogningen blir kalkylen lite annorlunda. I detta fall kan man anta att en tredjedel av tiden för den manuella plattsättningen går åt fogningen dvs. arbetskostnaden utan fogning är 200 kr/h. Med samma förutsättningar för roboten som ovan skulle arbetskostnaden vara 1,73 miljoner kronor mindre för roboten än vid manuell plattsättning (eller 173 kr/m²).

Det krävs alltså ett projekt med större volym kakelsättning för att i samma projekt kunna ta kostnaden för en robot som kaklar utan att den totala kostnaden blir större. Roboten är ju dock en engångskostnad, om man bortser från reparationer och underhåll, och till kan därför motivera att kostnaden i ett projekt blir högre med tanke på kommande projekt. Eller också tas kostnaden utanför projekten helt och hållet.

Eftersom kostnaden för en operatör är en stor del av den totala kostnaden så bör roboten kunna styras av endast en person.

4.4 Kakelsättningsprocessen

4.4.1 Beskrivning av en robotiserad kakelsättningsprocess

Innan roboten kan börja sätta upp kaklet måste den stå på rätt plats, vid uppsättningen av de allra första plattorna så måste en operatör positionera roboten.

När den sedan står på rätt plats ska den låsas här och eventuellt stödjas bakåt så att den kan stå emot kraften då plattorna trycks på plats.

När roboten väl har satt de första plattorna sedan så kan de användas som referens för vart de följande ska sättas.

Roboten bör ha dels en funktion som kör fram den till ungefärlig position (grov positionering vid varje set om plattor som sätts) och en finpositionering som justerar in sig när sensorer känner vart de uppsatta plattorna sitter.

Roboten kan gå på hjul eller vara banddriven, man kan också tänka sig att man lägger ut räls som den körs på. I vilket fall som helst så är det viktigt att man har en jämn yta att köra på.

När roboten står i sin uppsättningsposition ska den hämta plattan eller plattorna som ska sättas upp, om man inte har en separat matare som hämtar och förbereder plattorna. Man kan tänka sig att den tar ett antal plattor och sätter upp åt gången, och då antingen i en rad eller också flera ovanpå varandra.

En teknik att lyfta och förflytta plattorna med som med fördel kan användas är sugkoppar. Plattorna ska placeras i någon typ av ram som centrerar dem. Alternativen här är att plattorna står på en pall eller på en vagn som dras efter roboten eller att de finns laddade i magasin på roboten.

För att kontrollera att plattorna inte är defekta kan man tänka sig att detta görs manuellt av operatören som sedan lägger dem i centreringsramen, eller att roboten själv hämtar plattorna från lagret och sedan med hjälp av sensorer kontrollerar dem. Kontrollen gäller att de ska vara hela, hålla sig inom givna toleranskrav, färg och nyans. Om det sätts upp flera olika plattor ska roboten även hålla koll på detta om det ska ske automatiskt.

När man vet att det är rätt platta/plattor som är framplockade så ska de centreras så att armen som placerar dem på väggen håller dem i en bra utgångsposition.

De får då läggas till rätta i centreringen genom att de skjuts till rätt läge innan sugkoppen exempelvis plockar upp dem.

Vad det gäller fästmassan finns det olika alternativ. Antingen så appliceras denna på väggen innan plattorna sätts på plats. Plattorna måste sättas upp inom 30 min. från det att fästmassan applicerats på väggen [1]. Detta kan göras av manuell arbetskraft. Man kan då tänka sig att arbetare stryker ut fästmassan på nästa position som roboten ska sätta kakel på samtidigt som roboten sätter upp kakel på den föregående position som arbetaren satt upp fästmassa. Risken här är att det kan bli trångt om utrymme och att arbetaren kan hamna i robotens riskområde när den håller på att jobba.

Ett annat alternativ är att detta arbete utförs av roboten eller en robot som jobbar tillsammans med den kakelsättande roboten.

Fästmassan ska ha vertikalt tandmönster för att vatten ska kunna ledas bort och även för att det ska bli lättare att trycka fast plattan i den. Tandmönstret åstadkommes med separat verktyg eller munstycke.

Andra alternativ är att kakelroboten applicerar fästmassan på plattorna innan de sätts upp på väggen efter att de har centrerats, eller att man kombinerar dessa alternativ och både applicerar fästmassa på väggen och på plattorna eftersom detta ger en bättre vidhäftning. Det är hur som helst nödvändigt att få full bruksfyllnad bakom plattorna för att få en god vidhäftning.

Sedan ska plattorna lyftas från centreringsramen och sättas upp på väggen. Plattorna trycks fast på plats med rätt kraft. Plattor som är 30x30 cm stora ska exempelvis tryckas fast med 80-90 kg tryck [1]. En vridande rörelse för att få bra vidhäftning kan vara nödvändig.

Sensorer får övervaka att plattorna hamnar inom angivna toleranser.

Eftersom underlaget inte är helt jämt måste roboten anpassa varje platta efter hur underlaget ser ut.

Efter att plattorna satts upp så körs maskinen fram till sin nästa position där plattor ska sättas. Hur långa rader som ska sättas innan man flyttar upp och sätter raderna över de satta får planeras och om roboten ska styra sig helt automatiskt får detta programmeras så att den vet ordningen som plattorna ska sättas.

Prestanda

Plattsättningshastigheten för roboten måste vara högre än vid manuell plattsättning i de fall man har en operatör som kontinuerligt övervakar arbetet. Om roboten kan sätta kakel autonomt så är plattsättningshastigheten inte lika viktig eftersom roboten kan i så fall arbeta långa pass och på så sätt få upp stora arealer av plattor.

I det fallet där en operatör övervakar roboten kontinuerligt måste plattsättningshastigheten vara mångfalt större än vid manuell plattsättning. Detta för att det vanligtvis finns flera plattsättare som arbetar samtidigt. En rimlig plattsättningshastighet som roboten bör uppnå är ca. 15 m²/h. Om man lägger en 20x20 cm platta i taget skulle det innebära att roboten skulle behöva att lägga en platta var 10 sekund, vilket innebär en plattsättningshastighet som är ungefär lika hög som i Tabell 3-1. I Tabell 4-2 finns uträkningar på hur lång tid en plattsättningscykel får ta maximal för att uppnå en viss plattsättningshastighet för olika antal plattor som man sätter upp i en och samma cykel. För att få mer tid per cykel bör man lägga flera plattor åt gången. För att uppnå en plattsättningshastighet på 15m²/h när man lägger fem 20x20xcm plattor åt gången (ca. 1 meter lång rad) får cykeltiden vara maximalt 48 sekunder. Om fler än en rad sätts per cykel bör man tänka på att det totala antalet rader skall vara jämt delbart med det antal rader som man sätter per cykel för att kunna sätta upp den sista raden av plattor.

Tabell 4-2. Tid per plattsättningscykel för olika plattsättningshastigheter och olika antal plattor som man sätter per cykel. Beräknad för 20x20 cm plattor.

Plattsättnings- hastighet [m ² /h]	Antal plattor i rad	Antal rader per uppsättning	Area per cykel [m ²]	Tid per plattsättnings- cykel [s]
10	1	1	0,04	14
10	5	1	0,2	72
10	5	2	0,4	144
15	1	1	0,04	10
15	5	1	0,2	48
15	5	2	0,4	96
20	5	1	0,2	36
20	5	2	0,4	72

4.4.2 Uppskattning av tider för delprocesser

Uppskattade tider som en kakelsättningsrobot bör klara av återfinns i Tabell 4-3. Tabellen följer flödesschemat i Figur 3-2.

Tabell 4-3. Uppskattade tider för olika moment som kaklingsroboten utför.

Funktion	Tid (s)	Tid (s)	Tid (s)	Tid (s)	Tid (s)	Tid (s)
	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Grovpositionering	2	10	10	2	10	10
Låsning, förankring	1	1	1	1	1	1
Hämta plattor	5	10	15	-	-	-
Kontrollera platta	5	25	50	-	-	-
Applicera fästmassa	12	60	120	-	-	-
Centrera plattor	2	2	2	2	2	2
Lyft plattor	5	5	5	5	5	5
Finpositionering	5	5	5	5	5	5
Montera plattor	5	5	5	5	5	5
Släpp låsning	1	1	1	1	1	1
<i>Summa för cykel</i>	43	124	214	21	29	29
<i>Summa utan kontroll av plattor</i>	38	99	164	21	29	29

Kommentar till tabell:

V1: Helautomatiskt system, 1 platta

V2: Helautomatiskt system, 5 plattor, 1 rad

V3: Helautomatiskt system, 5 plattor, 2 rader

V4: Halvautomatiskt system, 1 platta

V5: Halvautomatiskt system, 5 plattor, 1 rad

V6: Halvautomatiskt system, 5 plattor, 2 rader

Helautomatiskt system är en robot som gör allt arbete automatiskt och halvautomatiskt är en som sätter upp plattor men där en arbetare plockar och kontrollerar plattor samt sätter fästmassan. Man får i ett halvautomatiskt system tänka på att man har tid för arbetaren att förbereda plattorna. Detta kan han möjligtvis hinna göra samtidigt som roboten sätter upp kakel. En robot som kan göra detta förberedande arbete samtidigt som kaklen sätts upp blir det i så fall samma tider för som ett halvautomatiskt system. Ju fler plattor som ska hämtas desto svårare blir det att hinna göra det förberedande arbetet under tiden som maskinen sätter upp dem.

4.4.3 Rimlighet för maskinens prestanda

Vid en jämförelse av tabellerna Tabell 4-2 och Tabell 4-3 ser man att robotens plattsättningshastighet ligger någonstans mellan värdena för helautomatiskt och halvautomatiskt system. Värdena hamnar i närheten av de för ett helautomatiskt, särskilt om man sätter fler plattor åt gången.

För att säkerställa att roboten kommer upp i prestanda som krävs för att maskinen ska bli ekonomiskt försvarbar i projekt krävs dock att man i en testutrustning ytterligare studerar hur lång tid det tar för roboten att utföra de olika momenten. Tabellerna är ju endast en uppskattning av hur lång tid det tar.

4.4.4 Automatiseringsgrad

Det finns många parametrar och olika sätt att utveckla detta system på. Alltifrån att roboten är ett hjälpmedel för att lyfta och trycka dit plattor men att en operatör då riktar in den hela tiden och gör allt arbete runtomkring, till att roboten gör allt själv automatiskt med hjälp av sensorer.

Komplexiteten på maskinen styr hur dyr utrustningen blir. Ju mer automatiserad den är, desto dyrare blir maskinen.

Ska roboten vara väldigt flexibel och kunna användas för uppsättning av vridna plattor och plattor av olika storlekar o.s.v. måste roboten ha ytterligare funktioner.

Vad det gäller vilken matningsmetod man ska välja kan man diskutera tre olika huvudalternativ. Dessa är manuell matning, robot med magasin och pall med kakel som roboten plockar ifrån.

Nedan finns lite för och nackdelar med de olika alternativen.

Tabell 4-4. För och nackdelar med olika matningsmetoder av kakel.

Manuell matning	Magasin	Pall
+ Billigast robot	+ Hög automatiseringsgrad	+ Hög automatiseringsgrad
+ Kontroll av plattor	+ Snabbhet	+ Inget förarbete med plattor
+ Mönster enkelt	+ Mönster enkelt	- Dyrare robot
- Operatör måste vara med	+ Kontroll av plattor	- Komplicerat styrsystem
- Hastighet beroende av operatör	- Dyrare robot	- Mer komplicerat vid mönster
- Extra manuell hantering	- Laddning av magasin	- Långsamt system
- Dåligt arbetsmiljömässigt		- Ingen kontroll av plattor

Eventuellt skulle man kunna få kakelleverantören att leverera kaklet så att man enkelt kan ställa in dem direkt i ett magasin på roboten utan att man får plocka platta för platta.

Det system som verkar bäst att välja är att använda ett magasin. Med manuell matning blir det för mycket manuellt arbete vilket gör roboten mer till ett lyfthjälpmedel. Om man plockar från pall kommer det att bli ett komplicerat styrsystem som ska hitta plattorna och detta kommer att ta tid, för lång tid.

Med ett magasin får man ett snabbt system med hög automatiseringsgrad.

Omständigheter som kan försvåra kakelsättningen och som man får ta ställning till om roboten ska klara av eller inte kan vara:

- Väggar som lutar
- Väggar som är bågformade
- Mönster med olika färger
- Mönster med olika plattstorlekar
- Skurna plattor
- Kakla halva rader (Om uppsättningsramen normalt sätter exempelvis 5 plattor, ska man vid avslut kunna sätta färre?)
- Snedvriden plattsättning

Väljer man att roboten ska klara av att sätta plattor på väggar och på bågformade väggar som lutar så innebär det att roboten måste kunna jobba på olika avstånd i horisontalled från väggens nederkant. Den måste då även kunna luta kaklet i olika vinklar.

Ska den kunna sätta olika mönster så betyder det att den måste hålla reda på var den har de olika kakeltyperna såvida det inte är operatören som matar roboten med rätt plattor.

Detsamma gäller för skurna plattor.

Att kakla halva rader innebär att uppsättningsramen endast laddas med ett mindre antal plattor än möjligt. Sker detta med automatik måste roboten programmeras så att den vet vart kanten är för kaklingen.

Snedvriden kakling gör att placeringsramen måste utformas för detta, att den positionerar sig mot de vridna plattorna och att den eventuella fogningen klarar av att foga snett.

Tabell 4-5 Kravspecifikation för kakeluppsättningen.

Krav	Kravmått	Kommentar	Relevant
Kaklingshastighet	Min 15 m ² /h		
Förflyttningsfunktion			Ja
Positionslås av robot			Ja
Precision	±0,5 mm	Se 3.7.3	Ja
Centreringsfunktion			Ja
Magasin på robot			Ja
Förflyttning från magasin		Till uppsättningsarm	Ja
Dragvagn för pall			Nej
Applicering av fästmassa			Nej
Finpositioneringsfunktion			Ja
Uppsättning med rätt tryck			Ja
Vridande uppsättning			Ja
Uppsättningsfunktion			Ja
Säkerhetsområde			Ja
Säkerhetssystem			Ja
Separat system som hanterar plattor innan de sätts upp			Nej
Uppsättning på lutande och bågformade väggar		Inte för prototyp	Nej
Uppsättning i mönster		Laddas av operatör	Ja
Olika plattstorlekar		Inte för prototyp	Nej
Montera skurna plattor		Inte för prototyp	Nej
Kakla halva rader		Laddas av operatör	Ja
Snedvriden platsättning		Inte för prototyp	Nej

4.5 Fogningsprocessen

Fogningen kan göras tidigast ungefär en dag efter det att kaklingen utförts. Denna operation kan man tänka sig att roboten också skulle kunna utföra. Man får då ha utrustning på roboten som applicerar fogmassan i fogarna. Detta innebär i sin tur att den också ska ha sensorer som känner av vart fogarna befinner sig och hur djupa fogarna är så att den fyller med rätt mängd. Därefter ska den dra ut fogen diagonalt med hjälp av gummispäckel.

Rengörningen av fogarna är något som nog ändå måste ske manuellt. Man skulle kunna tänka sig att roboten även gör detta men slutresultatet blir antagligen bäst om detta sker manuellt. Det blir väldigt avancerade sensorsystem om man ska låta roboten kontrollera om det exempelvis finns luftbubblor i fogen. Om roboten utför rengörningen är risken nog stor att man ändå får gå och manuellt rengöra en hel del efteråt.

Roboten får programmeras så att den vet hur långt den ska foga och om det ska vara mjukfog någonstans så skulle man kunna låta roboten ha alternativa fogmunstycken och fogmassabehållare.

Kraven på fogarna är att de ska vara fria från främmande material och partiklar samt att påtagligt synliga hål och luftfickor inte får förekomma.

Detta kan man låta roboten inspektera, men det känns som att detta är något som man får försöka bygga bort genom att roboten applicerar fogmassan på ett sådant sätt så att man blir fri från sådant så långt man kan. Därefter får man manuellt inspektera fogarna och bättra på dem.

För att inte få in damm och dylikt i fogarna får man ha en så dammfri miljö runtomkring som möjligt när detta arbete utförs.

Skulle man välja att låta roboten foga så skall kaklet torka minst ett dygn innan fogningen görs vilket innebär att detta arbete får roboten komma tillbaka och göra vid ett senare tillfälle. Det bästa alternativet då är att låta roboten foga efter att allt kakel blivit satt så att den inte behöver åka fram och tillbaka.

En annan lösning är att ha en fristående fogningsrobot som jobbar efter kaklingsroboten.

Att sätta fogmassan är inget jättetungt arbete vad det gäller att lyfta tunga material men det medför att man kan få stå i konstiga kroppsställningar, böja sig och jobba över axelhöjd. Därför får man ta ställning till om man ska ha med denna funktion på roboten över huvud taget, eller om man ska utföra detta manuellt istället. Särskilt om man i alla fall får gå och inspektera fogarna och inspektera dem och förbättra fogarna efter roboten så kanske man inte vinner så mycket på att låta den göra jobbet.

Eftersom man ställer sig frågan om det över huvud taget blir någon vinst med att låta roboten göra fogningen mer än i viss mån arbetsmiljömässiga, väljs denna funktion bort ur systemet.

Tabell 4-6. Kravspecifikation för fogning.

Krav	Kravmått	Kommentar	Relevant
Applicera fogmassa			Nej
Fristående robot som applicerar fogmassa			Nej
Sensorer som känner fogar			Nej
Rengörning av fogar			Nej
Applicera mjukfog			Nej
Roboten inspekterar fogar			Nej
Roboten reparerar fogar			Nej

4.6 Styrsystemet

Komplexiteten av styrsystemet styrs i stor grad av automatiseringsgraden. Desto mer roboten är automatiserad desto mer komplext styrsystem. Om man tar med alla delarna från kapitel 3.6, dvs. behandling av insignaler, användargränssnitt, kvalitetssystem, säkerhetssystem och styrning av rörelser, blir styrsystemet snabbt komplicerad.

För att kunna sätta krav på ett styrsystem utan att ha ett grundkoncept på en robot är svårt pga. att olika sätt att utföra kakelsättningen rent mekaniskt leder till olika krav på styrsystemet. Därför lämnas detta utanför denna rapport.

4.7 Kvalitetssystemet

För att plattsättningsroboten inte skall bli för komplicerad, i alla fall som en prototyp, bör man begränsa hur mycket kontroller kvalitetssystemet skall utföra. Som tidigare nämnts har komplexitetsgraden direkt påverkan på kostnaden för roboten.

Att minska antalet funktioner som kvalitetssystemet skall ha är i detta läge befogat och kommer att diskuteras nedan.

4.7.1 Pre-kontroll av plattor

Kontrollen på plattornas dimensioner behöver ej utföras ifall plattornas dimensioner ligger inom de toleranser som krävs för att inte dimensionsvariationen har en inverkan på resultatet. Det samma gäller plattornas övriga egenskaper som t.ex. färg och ytbeskaffenhet. Både dimensionerna och egenskaperna på plattorna bör kunna hållas inom rimliga toleranser vilket innebär att dessa kontroller ej behöver utföras av roboten.

Kontrollen av defekter på plattorna kan även den försummas, p.g.a. att risken att en platta är felaktig anses vara relativt liten. I de fall där en defekt platta (t.ex. ett hörn som har spruckit) har satts upp, kan man i efterhand manuellt ersätta den defekta platta. Detta innebär en extra kostnad för hela plattsättningen men förmodligen är denna kostnad mindre än den kostnad än det innebär att konstruera och tillverka ett system för att upptäcka defekter på plattor. Som sammanfattning kan man säga att all kontroll av plattor innan plattsättningen bör ej utföras av roboten.

4.7.2 Pre-kontroll av underlag

Underlaget bör vara kontrollerat innan roboten börjar med plattsättningen. Detta kan utföras av operatören.

4.7.3 Post-kontroll av resultat

Automatiseringen av post-kontrollen av plattsättningen leder till att man måste kunna hitta fogen och kunna mäta dess bredd, vilket innebär relativt avancerad mät- och kontrollutrustning. Själva post-kontrollen som sådan ger inget extra värde om den inte används för att kontinuerligt kalibrera roboten. Om post-kontrollen inte används för kalibrering är det endast ifall plattorna sitter som de ska som man får från detta. Det kan vara något som skall finnas på en helt automatiserad plattsättningsrobot då den kan stoppa arbetet ifall felaktigt resultat uppnås. Om en operatör kontinuerlig finns med vid plattsättningen kan denna kontrollera plattsättningen allt som arbetet fortgår och göra de nödvändiga justeringarna på utrustningen.

Som tidigare nämndes så kan kalibreringen vara det som post-kontrollen bör användas till. Här kan man tänka sig att man mäter positionen av de plattor från vilka man skall fortsätta att lägga plattor och kalibrerar positionen av de plattor som skall läggas. Detta är ett viktigt krav för en helt automatiserad robot även om repeterbarheten på rörelserna är god. För en robot där operatören skall bestämma utgångsläget för plattsättningen kan det finnas t.ex. laserplan som hjälp för positioneringen. Att operatören sköter utgångspositioneringen betyder inte att man behöver göra detta för varje platta, detta behöver förmodligen utföras då man byter rad eller då man har flyttat på hela roboten.

Kontrollen av att fästmassan har fördelats jämt på baksidan av plattorna vid plattsättningsprocessen behöver ej utföras för varje platta. Detta innebär att kontrollen bör utföras av operatören som får i de fall där resultatet av kontrollen inte varit acceptabelt justera inställningarna på roboten.

Tabell 4-7. Krav på kvalitetssystemet.

Krav	Kravmått	Kommentar	Relevant
Kontrollera underlaget	3 mm/m	Görs innan kakling manuellt	Nej
Kontrollera kakeldimensioner		Görs av operatör	Nej
Kontroll av nyans			Nej
Kontroll av färg			Nej
Kontroll av spruckna plattor			Nej
Kontroll av positionering mot uppsatt kakel			Ja
Uppsättning med rätt fogbredd	Varierar för olika platt-typer		Ja
Kontroll av resultatet		Görs av operatör	Nej

5 Förslag till fortsatt arbete

Nästa steg i en fortsatt utveckling av en kaklingsrobot är att ta fram en prototyp på en maskin eller att ta fram olika prototyper som kan göra olika delar i kaklingsprocessen (tex. en robot som klarar av att enbart sätta upp kakel, robot för att lägga ut fästmassan). Att ta fram en robot som klarar av att göra samtliga moment i kaklingsprocessen är ett komplicerat uppdrag men fördelen med det är att då måste man se till helheten och därmed få reda på de problem som kan finnas i gränslandet mellan de olika delprocesserna som roboten utför.

6 Slutsatser

Det primära skälet till att använda sig av en robot som sätter upp kakel är att kunna minska riskerna för arbetsskador i jämförelse mot traditionell manuell kakelsättning. Enligt statistik från Arbetsmiljöverket är belastningssjukdomar bland golvläggare och murare vanligast förekommande inom byggverksamheten.

Ett sätt att få gehör för en robot är att kunna visa att kostnaden för att sätta kakel inte blir högre än vid manuell kakelsättning. Detta innebär i princip att roboten måste vara effektivare på att sätta kakel än en person.

Eftersom det redan finns fungerande system som används vid liknande arbeten, exempelvis Partabs produktion, så borde tekniken inte vara omöjlig att överföra till exempelvis kakling i badrum och stora anläggningsprojekt.

Från diskussionerna i denna rapport får vi fram följande kravspecifikation på systemet:

Tabell 6-1. Sammanfattning av krav.

Krav	Kravmått	Kommentar
Allmänt		
Hastighet	Max 24 s/platta	
Ingen negativ miljöpåverkan		
Stabil avvägd mark under robot		
Bullernivå inom AMV:s anvisningar	85 dB	Om över 85 dB, hörselskydd
Relativt ren miljö att arbeta i		
Kakelsättningsprocessen		
Förflyttningsfunktion		
Positionslås av robot		
Förankring av robot		
Centreringsfunktion		
Magasin på robot		
Förflyttning från magasin till uppsättning		
Finpositioneringsfunktion		
Uppsättning med rätt tryck		
Vridande uppsättning		
Uppsättningsfunktion		
Säkerhetsområde		
Säkerhetssystem		
Uppsättning i mönster		Laddas av operatör
Kakla halva rader		Laddas av operatör
Kvalitetssystem		
Kontrollera underlaget	3 mm/m	Utförs manuellt innan kakling
Kontroll av positionering mot uppsatt kakel		
Uppsättning med rätt fogbredd		

Referenser

- [1] Intervju med Peter Liljedahl, Maxit, 070504
- [2] *Belastningsergonomi nr.4 och nr.5*, Arbetsmiljöverket, 2006
- [3] Navon, *Process and quality control with a video camera, for a floor-tiling robot*, Automation in Construction, vol. 10, pp 113-125, 2000
- [4] Apostolopoulos, *Mobile robot for automatic installation on floor tiles*, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA '96), Vol. 4, April, 1996, pp. 3652 - 3657
- [5] Lichtenberg, *The development of a robot for paving floors with ceramic tiles*, Proceedings of the 20th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), 2003
- [6] Intervju med Johan Ekberg, Skanska, 060321
- [7] Pritschow, *A mobile robot for on-site construction of masonry*, IEEE int. Conf. IROS' 94, vol. 3, pp. 1701-1707 1994
- [8] Byggkeramikrådet, *Plattsättning – Riktlinjer för färdigt utförande*,
- [9] Byggkeramikrådet, *PERs branschregler för vattentäta keramiska väggbeklädnader och golvbeläggningar i våtutrymmen*, 1999
- [10] Intervju med Anton Lundholm, PARTAB, 071120