

# Murnings-robot

## Sammanfattning

Denna rapport beskriver hur kravspecifikationen för en murningsrobot bör se ut med hänsyn tagen till tekniska, arbetsmiljöfaktorer och säkerhet.

Bakgrunden till denna rapport är att murning är ett tungt arbete som leder till arbetsskador hos de som utför arbetet. Dessutom är murning ett repetitivt arbete som verkar vara en utmärkt process för att automatiseras. Utredningen har resulterat i att detta verkar vara möjligt att åstadkomma.

En murningsrobot skulle göra mest nytta vid stora projekt där höga väggar skall muras eller att murningen kan utföras med stora block som inte går att mura för manuellt. I dagsläget är dock murning av stora väggar relativt ovanlig idag men ett robotsystem skulle kunna göra detta mer lämpligt. Roboten bör utvecklas för att mura tex. grunder till småhus där det är viktigt att det inte finns långa installationstider innan roboten kan börja producera.

Robotens automatiseringsgrad är den stora frågan. Hur mycket ska vara robotiserat av arbetsmomenten? Vad ska roboten utföra och vad ska den kontrollera? Detta 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

<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>I</b>
<b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</b> .....	<b>II</b>
<b>1 INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 BAKGRUND .....	1
1.2 SYFTE .....	1
1.3 MÅL .....	1
1.4 AVGRÄNSNINGAR .....	1
1.5 METOD .....	1
<b>2 BESKRIVNING AV MANUELL MURNING</b> .....	<b>2</b>
2.1 MANUELL MURNING [1] .....	2
2.1.1 <i>Utförandeklasser [BFS 1995:18]</i> .....	4
2.2 TOLERANSER .....	4
2.3 MURBRUK, FOGNINGSPROCESSEN .....	4
2.3.1 <i>Murbruksklasser [3]</i> .....	4
2.3.2 <i>Fogmått</i> .....	5
2.4 ARMERINGSPROCESSEN .....	5
2.5 BELASTNINGSERGONOMI OCH ARBETSMILJÖ [2] .....	6
<b>3 BESKRIVNING AV ROBOTISERAD MURNING</b> .....	<b>7</b>
3.1 ALLMÄNT .....	7
3.1.1 <i>Automatiseringsgrad</i> .....	7
3.1.2 <i>Dimension och vikt</i> .....	7
3.1.3 <i>Prestanda</i> .....	8
3.1.4 <i>Miljö</i> .....	8
3.2 MURNINGSPROCESSEN .....	9
3.3 ARMERINGSPROCESSEN .....	10
3.4 STYRSYSTEMET .....	11
3.4.1 <i>Insignaler</i> .....	11
3.4.2 <i>Användargränssnitt</i> .....	11
3.4.3 <i>Kvalitetssystem</i> .....	11
3.4.4 <i>Säkerhetssystem</i> .....	11
3.4.5 <i>Styrning av rörelser</i> .....	11
3.5 KVALITETSSYSTEMET .....	12
3.5.1 <i>Pre-kontroll av murstenar</i> .....	12
3.5.2 <i>Pre-kontroll av underlag</i> .....	12
3.5.3 <i>Post-kontroll av resultat</i> .....	12
<b>4 DISKUSSION</b> .....	<b>14</b>
4.1 BELASTNINGSERGONOMI OCH ARBETSMILJÖ .....	14
4.2 DIMENSIONER OCH MILJÖ .....	14
4.3 PRESTANDA .....	15
4.4 MURNINGSPROCESSEN .....	16
4.5 APPLICERING AV MURBRUK OCH FOGNINGSPROCESSEN .....	18
4.6 ARMERINGSPROCESSEN .....	19
4.7 STYRSYSTEMET .....	19
4.8 KVALITETSSYSTEMET .....	20
4.8.1 <i>Pre-kontroll av stenar/block</i> .....	20
4.8.2 <i>Pre-kontroll av underlag</i> .....	20
4.8.3 <i>Post-kontroll av resultat</i> .....	20
4.9 TYP AV ROBOT .....	21
4.10 UPPSKATTNING AV EN ROBOTS KOSTNAD .....	23
<b>5 FÖRSLAG TILL VIDARE ARBETE</b> .....	<b>24</b>
<b>6 SLUTSATSER</b> .....	<b>25</b>

**REFERENSER..... 26**

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

När man idag placerar murblock och tegelstenar i murbruket så görs detta helt manuellt och är ett mycket tidskrävande arbete. Detta är ett tungt och monotont arbete som utförs i obekväma arbetsställningar. Man vet idag att murningsarbete medför en stor risk till förslitningsskador i axlar och rygg.

Dessa arbetsuppgifter skulle kunna utföras av en robot, vilket förbättrar arbetsmiljön samt effektiviteten av murning.

För att få fram en kravspecifikation på en robot som utför murning har SBUF beviljat anslag för att undersöka detta.

## 1.2 Syfte

Syftet med det här första steget i framtagandet av en murningsrobot är att kunna effektivisera murningsarbetet, och även förbättra arbetsmiljön för dem som arbetar med detta.

## 1.3 Mål

Målet med denna rapport är att få fram en grundläggande kravspecifikation för en murningsrobot. För att kunna få fram en kravspecifikation måste robotens olika funktioner ha identifierats och utvärderas. Utvärderingen skall ta hänsyn till både den tekniska komplexiteten och även ekonomiska faktorer, vilket innebär att kravspecifikationen kommer att visa vilka delsystem som är nödvändiga för en murningsrobot.

## 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 av murare, arbetsledare och tillverkare av mursten utförs.

Funktionerna identifieras och information runt omkring dem söks. Därefter följer diskussionskapitel och till sist slutsatser.

## 2 Beskrivning av manuell murning

### 2.1 Manuell murning [1]

Allra först bör man göra en ritning på hur muren ska se ut och planera vilket mönster man ska ha, vart halvstenar kommer att hamna, hur eventuell armering ska göras etc.

För murade tegelväggar så finns en uppsjö med olika förband att välja på, både 1-stensmurar och ½-stensmurar. Murstenar är oftast utformade så att de är hälften så breda som de är långa för att man ska kunna lägga vissa standardmönster.

Vikten av stenar som man använder varierar från c:a 3 kg för tegelstenar till vissa stenar som kan väga runt 40 kg. Den vanligaste murstenen är LECA-blocket som väger c:a 20 kg. [3]

Innan man börjar lägga murstenarna på plats så är det väldigt viktigt att man gjort ett ordentligt förarbete med underlaget som man ska bygga muren på.

Är det på en gjuten platta eller plintar man ska gjuta så måste denna yta vara jämna och fin, liksom om man sätter en stödmur med olika fraktioner av grus som underlag. Det gäller även att tillse att man inte kommer att få för stora sättningar med tiden.

En av orsakerna till att man oftast inte murar så höga murar har detta att göra. En murad vägg blir relativt tung och ställer stora krav på marken den står på. Detta bland annat gör att en sådan mur blir dyr arbetsmässigt.

Då man murar från ställning används en något bredare ställning än vanligt med en trall som tål den högre belastningen av materialet. Det finns även ställningar där den yttre halvan av ställningsplanet är upphöjt för en gynnsammare arbetsmiljö för den som murar.

I murens ändar kan man sätta upp riktbrädor som ställs vertikalt och underlättar så att man får en jämn avslutning på muren.

Mellan dessa kan man spänna snören horisontellt med skifthöjds mellanrum för att se att man lägger stenarna på rätt höjd.

Därefter blandar man till murbruket, om det inte är en kallmur man ska bygga. Bruket ska väljas efter miljö och andra förhållanden murningen ska göras i, samt vilken murstenstyp som används.

Murbruket transporteras till arbetsplatsen i pulverform i säckar. Det blandas sedan i blandare till murbruk. Man förflyttar sedan bruket med hjälp av kran till muren i skottkärror för murbruk. Pumpsystem används inte idag för murbruket. Detta för att bruket snabbt bränner i slangarna och rengöringsarbetet då blir för omfattande. Däremot går det att pumpa puts.

Vid alla murningsarbeten gäller det att lägga stenarna på sådant sätt att muren binds ihop och blir stadig.

Oavsett om muren är fogad med bruk eller lagd i kallmur, ska stenarna läggas med variation från skift till skift så att de låser varandra.

Det nedersta skiktet kallas för anläggningsskiktet. Detta läggs antingen på underlaget direkt eller med ett glidskikt mellan. Glidskiktet kan exempelvis vara en rostfri plåt.

Om det är jämt under anläggningsskiktet kan stenarna läggas utan bruk, annars används bruk för att ta upp dessa ojämnheter.

Det första blocket läggs vid ett hörn och riktas in efter exempelvis murarsnören som man spänner för att se i vilken nivå blocken ska hamna. Ett annat viktigt hjälpmedel är vattenpasset för att kolla att blocken hamnar ”i våg”.

Det är anläggningsskiktet som är det viktigaste skiktet för murningen. Dess resultat är helt avgörande för hur hela murningen blir.

Blocken ska roteras på plats så att bruket fyller ut fogen.

Fogningen mellan murblocken kan göras på olika sätt, beroende på vilka täthetskrav som ställs på den.

De vanligaste fogtyperna är:

- Fullfogsmurning – Både stötfog och liggfog fylls helt med bruk.
- Strängmurning – Både stötfog och liggfog förses med två parallella murbrukssträngar. Dessa strängar ska utgöra ungefär 2/3 av bredden i den färdiga muren.
- Stötfri strängmurning – Blocken sätts på varandra med 2 parallella strängar murbruk i liggfogen. Dessa strängar ska utgöra ungefär 2/3 av bredden i den färdiga muren. Ingen fog i stötfogen. Blocken ska vara minst 190 mm breda.

Sedan plockar man på med murblocken och bygger muren uppåt.

Bruket ska appliceras rikligt, och blocket föras så att fogen blir fylld med en gång. Inget bruk får stoppas in i fogen efteråt, lagt block får inte rubbas och inga justeringar görs i underliggande skikt. Fogen formas sedan med en speciell fogslev.

Bruket kan appliceras med hjälp av en bruksläde som är en slags behållare med öppning nedtill där bruket rinner igenom medan släden dras över ytan som bruket ska appliceras på. Ett annat alternativ är att använda en bruksskopa som fungerar på liknande sätt men denna lägger endast ena strängen bruk om man använder strängmurning.

För att reducera risken för sprickbildning kan rörelsefogar användas. Rörelsefogar tätas med en alkaliebeständig elastisk massa mot en bottningslist. Rörelsefogar kan vara både horisontella och vertikala.

Murar som utsätts för höga belastningar armeras i spår i liggfogarna. Vissa murblock är förberedda med spår för armering.

Det är viktigt att murbruket omsluter armeringsstålen väl. Bäst resultat fås om man först fyller på med bruk och sedan lägger armeringen i detta.

Särskilt viktigt är det att man följer armeringsanvisningar i hörn för att få dessa starka. En vanlig variant av armering för murar är s.k. bistål, även kallad stegarmering. Dessa finns i obehandlat, förzinkat och rostfritt material. Deras primära syfte är att fungera som sprickarmering i muren.

Skalmurar ska alltid förankras i väggen bakom med murkamspikar som sätts mitt i fogen innan bruket lagts dit. Detta kallas för kramling.

Över fönster och dörröppningar läggs balkar som bär ovanför öppningen.

Balkarna kan utgöras av trä, stål, platsgjuten betong eller av fabriksproducerade balkelement med höjd och bredd som murblocken.

Upplagslängden för sådana balkar ska minst vara 250 mm på varje sida om öppningen.

När murningen är klar är det inga problem att i efterhand göra håltagningar eller andra ingrepp. Det man dock får tänka på är hur håltagningen påverkar murens hållfasthet om det är en bärande vägg, och man får hålla reda på var armeringen finns.

En vägg bestående av murblock kan ytbehandlas med puts eller genom målning.

Innan man sprutar på puts så ska ytan förbehandlas genom att man lagar alla slitsar, ofyllda fogar eller skador som uppstått innan putsningsarbetet påbörjas. Lagningen måste härda innan

putsningen påbörjas. Andledningen till att lagningen utförs är att minimera risken för sprickbildning i putsen.

### 2.1.1 Utförandeklasser [BFS 1995:18]

Murverkskonstruktioner indelas i två utförande klasser; klass I och klass II.

Med murverk i utförandeklass I avses murningsarbete som leds och övervakas av en person med särskild utbildning i och erfarenhet av murverkskonstruktioners utförande. Med murverk i utförandeklass II avses murningsarbete som leds och övervakas av en person med erfarenhet av utförande av murverkskonstruktioner.

Murverk i en byggnad med fler än 2 våningar samt platsarmerat murverk skall utföras i klass I. Platsarmerat murverk i enbostadshus i högst 2 våningar samt murverk armerat för enbart rörelsekrafter får dock utföras i klass II.

## 2.2 Toleranser

Murade väggar skall uppfylla kraven enligt [7]

Beroende på vilka krav som ställs på muren väljs klass.

Nedan följer utdrag ur denna:

Mått	Mätlängd	Tolerans Klass A	Tolerans Klass B
Bredd och tjocklek		+/- 8 mm	+/- 12 mm
Buktighet	0,25 m	+/- 2 mm	+/- 3 mm
Buktighet	2,0 m	+/- 5 mm	+/- 8 mm
Lutning	H	H/600 minst +/- 8 mm	H/600 minst +/- 10 mm

## 2.3 Murbruk, Fogningsprocessen

Fogningsprocessen sker fortlöpande under murningsprocessen, om man inte bygger en kallmur. Det är viktigt att hela fogen fylls och att man inte justerar stenar som blivit lagda.

Det går åt från ca 25-130 kg/m<sup>2</sup> torrbruk vid murning. Ju mindre stenarna/blocken är desto mer bruk går det åt om man lägger bruk i stötfogen också. 25 kg/m<sup>2</sup> gäller för LECA-block och 130 kg/m<sup>2</sup> gäller för tegelstenar som läggs i 1-stens vägg tjocklek.

Bruket appliceras med fördel så att man får ett tandat mönster för att få en bättre vidhäftning. Antingen så ser man till att appliceringen direkt ger detta mönster, annars kan bruket dras ut med tandspackel efteråt.

När stenen är satt på plats så ska fogen formas med någon typ av fogslev.

Det tar ca 1-1,5 h för bruket att stelna. [3]

### 2.3.1 Murbruksklasser [3]

Det finns olika sorters bruk. Beroende på vilka krav som ställs på muren hållfasthetsmässigt, i vilken miljö murningen görs så väljs vilken typ av mursten/murblock som muras

**Murbruksklass A:** För armerad murning. Innehåller störst del cement av klasserna.

**Murbruksklass B:** För utomhusbruk. Bör inte användas vid murning under +5°C.

**Murbruksklass C:** För invändiga väggar och höga temperaturer.

**Murbruksklass D:** Bruk med speciell sammansättnings och tryckhållfasthetskrav. Dessutom speciella krav på vädret de 14 följande dagarna efter murningen.



### 2.3.2 Fogmått

De rekommenderade fogmåttan varierar beroende på vilken sten eller block man ska mura med. Nedan finns en tabell med rekommenderade fogmått (från [7]).

Tabell 2-1. Fogarnas mått och toleranser.

Material i murverk	Liggfog nominellt mått (mm)	Tolerans skifthöjd (mm)	Stötfog nominellt mått (mm)	Tolerans mursteg (mm)
Kalksandsten	13	+/-5	10	+6 -3
Betongsten	13	+/-5	10	+6 -3
Betongblock	12	+/-5	10	+6 -3
Lättbetongblock murning	10	+/-3	10	+4 -3
Lättbetongblock tunnfog	2-3	+/-2	2-3	+/-2
Lättklinkerblock	10	+/-5	10	+6 -3
Tegelsten	13	+/-5	10	+8 -3

### 2.4 Armeringsprocessen

Vid murning av väggar och murar som kommer att ta upp betydande krafter så måste murningen göras med armering ingjutna i muren.

”Murverk i en byggnad med fler än två våningar samt platsarmerat murverk skall utföras i utförandeklass I. Platsarmerat murverk i enbostadshus i högst två våningar samt murverk armerat enbart för rörelsekrafter får dock utföras i utförandeklass II. Murbruk i armerat murverk skall vara av klass A eller B.” [BFS 1998:39]

För armering i liggfogar skall de i Tabell 2-2 angivna gränsvärdena för diameter, fogtjocklek och fritt avstånd mellan stänger gälla. [BFS 1998:39]

(Se Utförandeklasser [BFS 1995:18])

Tabell 2-2. Armeringsstålets diametrar och minsta fogtjocklekar vid armering.

Armeringsstål	Stångdiameter (mm)		Minsta fogtjocklek (mm)	Minsta fria avstånd (mm)
	Min	Max		
Kamstång	6	8	Ø+7	2 Ø
Stegformad armering och fackverksarmering	3	6	Ø+7	-

## 2.5 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 samlat in. Att mura 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 sitt arbete som:

- 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 ca 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.”

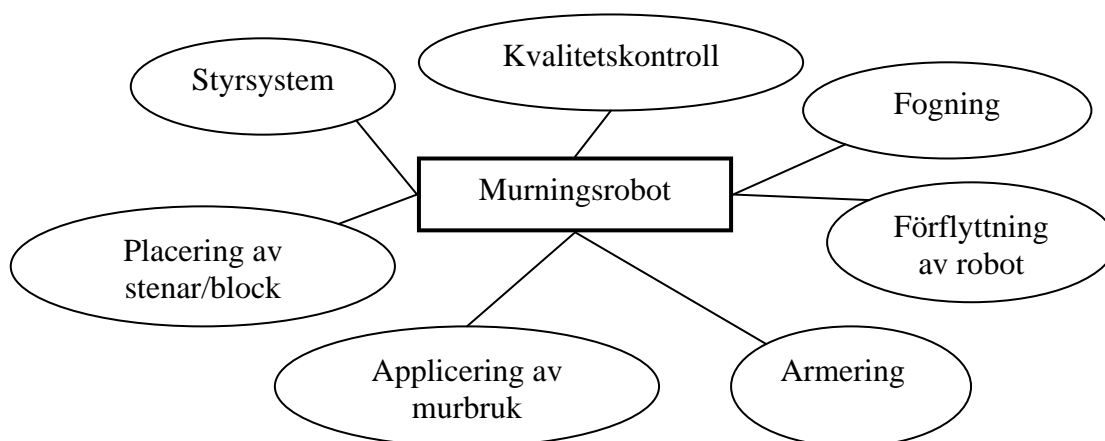
Enligt kommentarerna till §3 skall arbetsgivaren undersöka möjligheterna att minska riskerna för skador genom att få bort så mycket manuell hantering som möjligt. Man ska även undvika tunga lyft om det går genom att använda tekniska hjälpmedel.

## 3 Beskrivning av robotiserad murning

### 3.1 Allmänt

[4] tar upp följande krav som en murningsrobot bör uppfylla för att vara ekonomiskt försvarbar i husbyggnation:

- **Mobilitet:** Robotens arbetsområde bör vara hela golvytan av rummet.
- **Räckvidd och flexibilitet:** roboten måste kunna greppa tegel från pallen, applicera murbruk och mura upptill en höjd av 2,5 m.
- **Små dimensioner:** robotens dimensioner får inte vara större än att roboten kan passera genom dörr öppningar, så att både inre och yttre väggar kan muras
- **Låg vikt:** Golvens bärighet är i regel 500 kg/m<sup>2</sup>. Därmed begränsas även robotens vikt.
- **Robusthet:** Förhållandena på en byggarbetsplats kräver att roboten är robust.
- **Hög lyftkapacitet:** lyftkapaciteten måste vara minst 50 kg, så att en ekonomiskt försvarbar murningsprocess med stora tegel kan äga rum.
- **Modernt styrsystem:** Förutom att svara för förflyttningen av roboten, styrsystemet måste även ha ett kraftfullt programmeringsystem, läsa sensor data och CAD-data.
- **Säkerhet:** Roboten måste vara säker för operatörer.



Figur 3-1 Beskrivning av robotens huvuddelar

#### 3.1.1 Automatiseringsgrad

Murningsroboten kan vara mer eller mindre automatiserad. Den enklaste varianten kan vara ett lyftverktyg som operatören hela tiden styr. Den har då ingen intelligens utan får hela tiden indata från operatören som styr den med någon typ av kontrolldon. I den mest automatiserade varianten så är roboten helt förprogrammerad och styr sig själv med hjälp av sensorer av olika typ. Det enda operatören då gör under arbetet är att se till att roboten hela tiden har material att jobba med och att kontrollera att kvaliteten på murningen blir god.

#### 3.1.2 Dimension och vikt

Om roboten ska arbeta på ett lagt golv så kommer det att ställas krav både på vikt och på ytterdimensioner för att den ska kunna användas.

Ska den däremot jobba i det fria på betongplatta eller iordningställd mark så kommer andra krav ställas på den.

### 3.1.3 Prestanda

Med utgångspunkten att denna robot kommer att förbättra arbetsmiljön väsentligt så måste även målet med roboten vara att det går minst lika snabbt att mura med den som om man gör det manuellt.

Resultatet måste vara minst lika bra som vid manuell murning. Detta borde inte vara några problem att åstadkomma med en robot och framför allt borde man få en jämnare kvalitet på resultatet.

En annan skillnad vad det gäller prestanda är att en robot kan jobba långa arbetspass utan att behöva ta rast.

### 3.1.4 Miljö

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 innanför 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].

### 3.2 Murningsprocessen

Innan man kan låta roboten börja mura gäller det att man förberett marken där roboten ska förflytta sig över. Beroende på vilket sätt roboten förflyttar sig på så får man göra i ordning för detta.

Också marken under muren måste iordningställas manuellt i förväg. Underlaget ska vara plant, rent och stabilt.

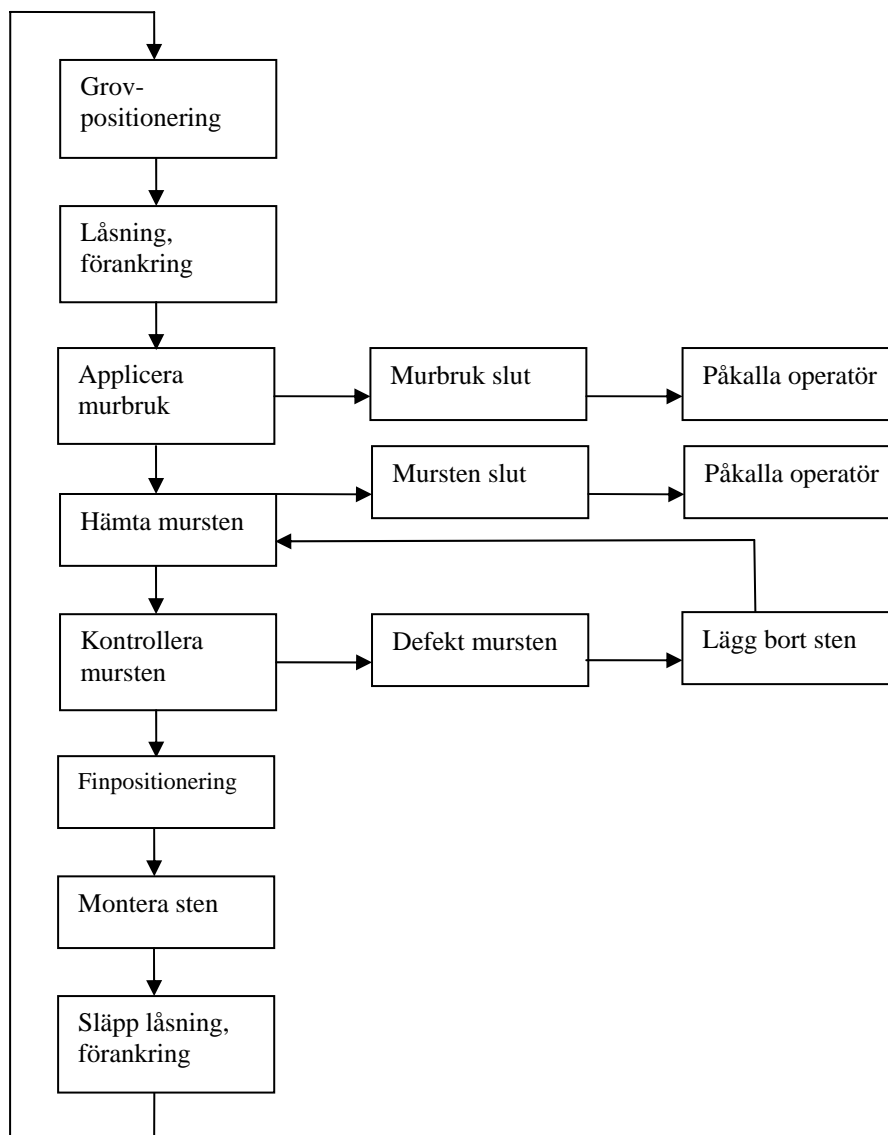
När roboten är placerad så måste man säkerställa att området där roboten ska jobba röjs undan och avskärmas så att människor inte kan komma i vägen.

Själva processen för en helautomatisk robot kan beskrivas i följande steg [4]:

1. Operatör parkerar roboten vid arbetsområdet.
2. Sensorer känner vart roboten befinner sig.
3. Operatör sätter ut stödben för att tillräcklig stabilitet ska fås vid murningen.
4. Murbruk appliceras på rätt sätt.
5. Sensorer söker upp det nästa murblocket som ska placeras.
6. Kontroll av mursten. (Behov av detta kan diskuteras)
7. Förflyttning och placering av murblocket på sin slutgiltiga position.

Leveransen av teglen till arbetsplatsen antas vara en staplad hög. [6] föreslår att greppningen av teglet sker genom att ett koniskt grepp (som kan utvidgas och kontraheras) sätts in i ett hål som finns i teglet. På detta sätt undviker man problem vid greppning då man inte kommer åt teglets alla sidor. Hela greppningsförfarandet övervakas och styrs med hjälp av uppmätta krafter och moment i grepp-armen. Dock beskrivs inte hur man hittar till teglet, dvs. grov positioneringen beskrivs ej.

I [6] beskrivs ett sätt att styra placering av mursten. Stor vikt läggs vid hur tegel/murbruk och robot är eftergivliga (dvs. deformerar) och hur man tar hänsyn till detta. Vid placering av teglet i murbruket krävs det en viss kraft som kan leda till att själva roboten ger efter så pass mycket att positionen inte kan mätas indirekt av linjära/rotations sensorer som finns i lederna på roboten. Därför skall det enligt artikeln vara fördelaktigt att styra roboten som ett massa-fjäder-dämpare system. Då skall det vara möjligt att bestämma position av teglet då man vet anbringningskraft och murbrukets egenskaper. Murbrukets egenskaper skulle då kunna bestämmas då man vet position och anbringningskraft. Dock måste man komma ihåg att olika batcher av murbruk kan ha olika egenskaper och att murbrukets egenskaper kan förändras med tiden.



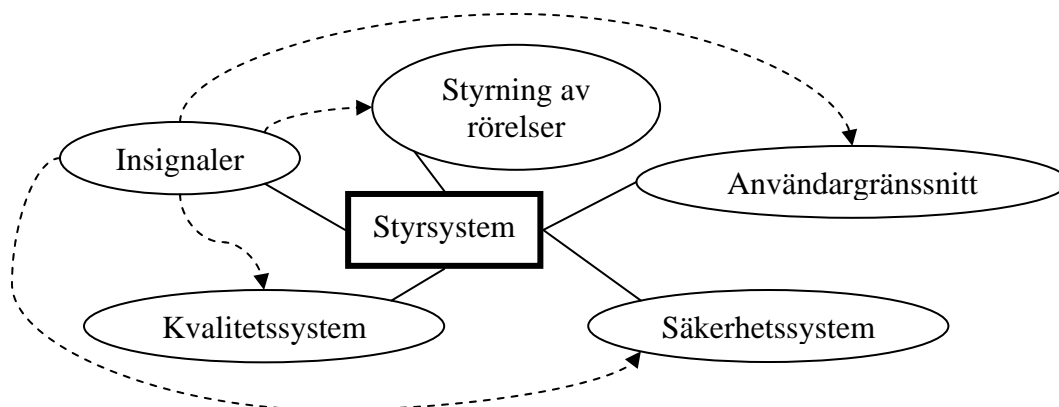
Figur 3-2. Flödesschema för helautomatisk murningsprocess.

### 3.3 Armeringsprocessen

Antingen byggs denna funktion också in i roboten eller så görs detta manuellt av en arbetare som går bredvid.

I murblock som är förberedda för att man ska kunna stoppa i armering så skulle man kunna låta roboten göra detta automatiskt. Det krävs dock att man programmerat den så att den vet i vilka liggfogar som den ska armera.

### 3.4 Styrsystemet



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

Styrsystemets uppgift är att styra alla delar i roboten.

#### 3.4.1 Insignaler

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

#### 3.4.2 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 stensättningen.

#### 3.4.3 Kvalitetssystem

Beroende på hur mycket som roboten själv ska kontrollera av det arbete som den gjort, får den utrustas med mätinstrument och sensorer så att den kan verifiera att arbetet utförts korrekt. Detta system aktiveras då arbete blivit utfört som ska kontrolleras och stoppar eventuellt produktionen samt påkallar operatörens uppmärksamhet om det blir fel.

#### 3.4.4 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 varseljhus om systemet ska köras utan operatörs uppsyn.

Blir lösningen ett system med hög automatiseringsgrad så kan det krävas att man i princip bygger in roboten i en robotcell vid sitt arbetsområde.

#### 3.4.5 Styrning av rörelser

Den arbetsuppgift som vanligtvis anses vara styrsystemets huvuduppgift är att styra robotens rörelser.

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.

### **3.5 Kvalitetssystemet**

Kvalitetssystemet kan delas upp i två delar, nämligen i pre- och post-kontroll. Pre-kontrollen innefattar kontroll av murstenarna/murblocken innan de läggs med avseende på t.ex. defekter, färg, storlek osv. Dessutom kan en kontroll av underlaget där stenarna ska placeras inkluderas i pre-kontrollen. Post-kontrollen innebär en kontroll av resultatet av murningen med avseende på fogbredder, fogsprång, raket osv.

#### **3.5.1 Pre-kontroll av murstenar**

Pre-kontrollen av murstenarna kan innefatta följande kontroller:

- Kontroll av stenens dimensioner (bredd, höjd och tjocklek)
- Kontroll av stenens egenskaper (färg, ytbeskaffenhet)
- Kontroll att stenen är defekt-fri (ej spruken etc.)

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

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

För den tredje punkten är ett alternativ att kontrollera stenarna innan man laddar roboten (om man använder sig av magasin), med det följer det följande nackdelar [5].

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

Ett möjligt sätt att kontrollera stenarna finns beskrivet i [5].

Dessa punkter leder till att en pre-kontroll av stenar behöver kunna mäta dem med en hög precision, ha färg 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.

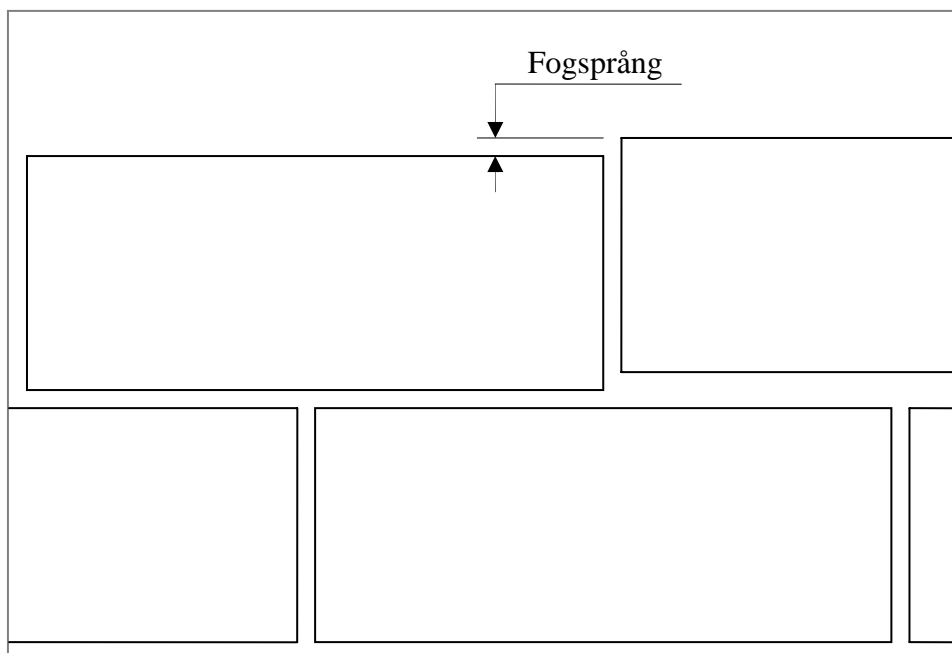
#### **3.5.2 Pre-kontroll av underlag**

Pre-kontrollen av underlaget skall kontrollera underlaget innan murningen eller appliceringen av murbruk inleds för varje cykel. Man kan även tänka sig att resultatet av appliceringen av murbruk kan kontrolleras.

#### **3.5.3 Post-kontroll av resultat**

Hur mycket fogarna får avvika från nominellt mått finns i Tabell 2-1. Dessutom finns krav på att fogsprånget max får vara 5 mm enligt [7], se Figur 3-4.





**Figur 3-4. Beskrivning av fogsprång.**

Det som är viktigt att hålla koll på vid murningen är att murens ovankant håller sig plan och är i våg, att väggen blir rak och att man håller fogtoleranserna.

De estetiska kraven kan skilja sig mellan olika typer av murningsarbeten. En vägg som sedan ska putsas över har ju inte samma krav på sig som en teglad fasad.

Post-kontrollen kan även innefatta en kontroll att fästmassan är jämt fördelad över stenarna.

Denna kontroll måste utföras efter att stenen är placerad.

## 4 Diskussion

### 4.1 Belastningsergonomi och arbetsmiljö

Att mura 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 börja om på nytt.

Det är också mycket påfrestande för rygg, axlar och nacke att bära murblock och att placera dem 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 påfrestningar.

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 hjälpmedel så murningsmaskiner. Det är just denna typ av arbeten på en byggarbetsplats som genererar många arbetsskador.

Det finns inte många hjälpmedel på marknaden idag för att mura 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

De olika typerna av murningsarbeten som denna robot är tänkt att klara av är exempelvis:

- Krypgrund (ca 1,2 m hög)
- Skalvägg med tegel
- Källarväggar med block
- Stödmurar med block
- Väggar i markplan
- Tegelmurar i olika mönster, både med halvstens och 1-stens mur.

Den maximala höjden som roboten är tänkt att kunna mura till är 2,5 m, i alla fall för prototypen. Då klarar den av de listade uppgifterna ovan. För att kunna lyfta block som väger upp till 50 kg till denna höjd och här sätta blocken med bra precision krävs att styrsystemet möjliggör detta och att roboten är stabil nog.

Beroende på vilken typ av murning som skall utföras blir kraven på mobilitet, dimensioner och vikt olika.

I fall där man murar tex. krypgrunder skall roboten lätt kunna transporteras till arbetsplatsen och kunna ta sig fram på varierande underlag. I dessa fall måste uppstart tiden vara mycket kort för att det skulle vara intressant att använda en robot. Även dimensionerna på roboten kan vara kritiska speciellt om den skall klara av att mura inre väggar vilket innebär att det kan finnas krav på att roboten skall kunna passera genom dörröppningar.

I fall där man skall mura större väggar på ett och samma ställe (tex. väggar till stora byggnader) så kan roboten tänkas vara lite mindre mobil eftersom den kommer att befinna sig

på arbetsplatsen en längre tid. På sådana större murningsjobb kan man även tänka sig att det är mer acceptabelt att man får lägga ner mer tid på att tex. förbereda ett underlag som roboten kan åka på än vid mindre jobb.

**Tabell 4-1. Kravlista för prestanda.**

Krav	Kravmått	Kommentar	Relevant
Hög mobilitet			Ja
Räckvidd	Höjd 2,5 m.	För prototyp	Ja
Passage genom dörröppningar			Ja
Låg vikt	Max 500 kg/m <sup>2</sup>		Ja
Robust konstruktion			Ja
Lyftkapacitet	50 kg.		Ja
Modernt styrsystem			Ja
Hög säkerhet för operatör och andra			Ja
Förbättra arbetsmiljön för murare			Ja
Snabbhet	Minst lika snabbt som manuell murning		Ja
Resultat	Minst lika bra som manuell murning		Ja
Miljöanpassad konstruktion	Anpassad till arbetsplatsmiljö		Ja
Låg miljöpåverkan			Ja
Låg ljudnivå			Ja

### 4.3 Prestanda

Den robotiserade murningen måste gå minst lika snabbt som vid manuell murning. Beroende på hur stora murblock man sätter blir cykeltiderna olika. Här tas två olika typer av murblock upp (tegelsten och LECA block).

Antag att tegelstenarna har storleken 250x120x75 mm. Då är väggarean för en tegelsten  $0,25 \times 0,075 = 0,01875 \text{ m}^2$ .

**Tabell 4-2. Tid per murningscykel. Beräknad för 250x75 mm tegel.**

Arbets-hastighet	Hastighet	Tid per cykel <sup>1</sup>
0,7 h/m <sup>2</sup>	1,43 m <sup>2</sup> /h	47 s
0,6 h/m <sup>2</sup>	1,67 m <sup>2</sup> /h	40,4 s
0,5 h/m <sup>2</sup>	2,00 m <sup>2</sup> /h	33,8 s
0,4 h/m <sup>2</sup>	2,50 m <sup>2</sup> /h	27 s
0,3 h/m <sup>2</sup>	3,33 m <sup>2</sup> /h	20,3 s
0,2 h/m <sup>2</sup>	5,00 m <sup>2</sup> /h	13,5 s
0,1 h/m <sup>2</sup>	10,0 m <sup>2</sup> /h	6,75 s

$$^1 \text{ Tid per cykel} = \frac{\text{Area av en tegelsten}}{\text{Hastighet}}$$

Vid murning med tex. LECA block med formatet 590x190 mm blir cykel tiderna enligt nedanstående tabell:

**Tabell 4-3. Tid per murningscykel. Beräknad för 590x190 mm LECA block.**

Arbets- hastighet	Hastighet	Tid per cykel <sup>1</sup>
0,7 h/m <sup>2</sup>	1,43 m <sup>2</sup> /h	282 s
0,6 h/m <sup>2</sup>	1,67 m <sup>2</sup> /h	242 s
0,5 h/m <sup>2</sup>	2,00 m <sup>2</sup> /h	202 s
0,4 h/m <sup>2</sup>	2,50 m <sup>2</sup> /h	161 s
0,3 h/m <sup>2</sup>	3,33 m <sup>2</sup> /h	121 s
0,2 h/m <sup>2</sup>	5,00 m <sup>2</sup> /h	81 s
0,1 h/m <sup>2</sup>	10,0 m <sup>2</sup> /h	40 s

$$^1 \text{ Tid per cykel} = \frac{\text{Area av en tegelsten}}{\text{Hastighet}}$$

Vid jämförelse av Tabell 4-2 och Tabell 4-3 ser man att vid robotiserad murning blir det enklare att få högre och rimliga murningshastigheter med större block. Därför bör roboten utvecklas för att mura med stora block (dvs. tunga block). Det är även vid murning med tunga block som arbetsskadorna är vanligast.

#### 4.4 Murningsprocessen

För att roboten ska veta vart den ska påbörja murningen så skulle man kunna placera den första stenen manuellt så att roboten använder denna som utgångspunkt och referens för murningen. Därefter så får roboten vara programmerad så att den vet med utgångspunkt från denna sten hur murningen ska bli.

Dessutom bör kanske väggens hörn och även anläggningsskiktets framkant sättas ut som referens, beroende på hur noggrant murningen ska göras.

Framdrivningen kan ske på många olika sätt. Den kan röra sig på räls, på hjul, på band etc. Man kan tänka sig att den rör sig själv eller att en operatör flyttar den när den behöver ställas på ny arbetsposition.

För maximal flexibilitet så bör man välja att förflytta roboten med larvfötter.

Man får då ha ett styrsystem som klarar av att mura rakt och i våg trots att marken där roboten står inte är helt jämn och den kan vara placerad på lite olika höjder i förhållande till muren beroende på vart den står och jobbar. Sensorerna får alltså vara ganska avancerade.

Drivsytmetet för roboten kan man tänka sig olika lösningar på. Ett alternativ är att ha ett hel-elektriskt system som har fördelen att det är miljövänligt. Nackdelar med detta kan vara att man är i utomhusmiljö och vädret ställer krav på att det blir skyddat mot detta. Ett annat alternativ är att drivningen sker hydrauliskt, vilket ger hög kraft med små komponenter. Nackdelar här är att man får många slangar i konstruktionen. Ett tredje alternativ kan vara att använda pneumatik. Även detta är miljövänligt men kraften blir mindre och vädret kan även här komplicera det hela.

Stenarna eller blocken ställs fram jämte roboten på en pall. Att ha magasin direkt på murningsroboten är svårslösligt eftersom stenarna väger mycket. Dessutom kommer roboten ha en bra räckvidd vilket gör att detta fungerar på ett bra sätt.

Om man ska mura upp med olika färger på stenarna, hjälper man roboten att skilja på dessa genom att lägga upp dem på olika pallar.

Man skulle även kunna tänka sig att man från en plats där man har murstenarna har ett separat frammatningssystem till roboten. Detta skulle även öka hastigheten då murningsroboten inte behöver förflytta sig långt för att hämta stenarna.

För att roboten ska kunna mura tegelmurar i olika mönster krävs ett mer intelligent styrsystem. Ska den även kunna sätta mönster med olika färger på tegelstenarna så måste antingen roboten ha sådan utrustning så att den kan skilja på stenarnas färg eller så ska roboten veta vart den kan hämta stenar med olika färg.

För en prototyp väljs att roboten lägger lika färgade stenar/block i ett mönster.

Alla stenar som placeras kommer inte att vara hela utan vissa får kapas. Detta gäller särskilt vid kanter och avslut. Det är möjligt att låta roboten mäta hur stora kapningar som krävs och utföra detta automatiskt.

Kan man med stor säkerhet säga hur stora blocken kommer att vara för de kapade, så kan man som ett alternativ göra detta manuellt i förväg åt roboten.

Ett tredje sätt är att inte låta roboten sätta dessa specialstorlekar, utan helt göra detta manuellt. Ännu ett sätt skulle vara att roboten tar stenen från en fristående kapstation som kapar till stenarna åt murningsroboten.

För en prototyp så väljs alternativet att kapning sker manuellt

Vad det gäller kramling så innebär detta att roboten får ha ett extra system och verktyg för att kunna göra detta. Det är inget svårt att lösa men på prototypstadiet väljs denna funktionen bort och utförs manuellt.

Eftersom roboten blir väldigt lik en industrirobot så kommer det att krävas samma säkerhetsområden runt omkring murningsroboten som för industrirobotar.

Detta innebär att det kommer att vara mycket svårt att effektivt jobba manuellt parallellt med roboten.

Om man ska göra det så kommer roboten att få stå still när man är där och jobbar med sådant som man i så fall valt att roboten inte ska utföra.

Detta gör att det är nödvändigt att roboten har en väldigt hög automatiseringsgrad.

Den bör applicera murbruk, sätta stenar/block, foga och armera.

Kapning av stenar och block däremot är mer tveksamt om man ska låta roboten göra.

För en prototyp av denna robot så behöver man dock inte ta med funktionen att lägga i armering, liksom kramlingen som tidigare nämnts.

Robotens precision när den placerar stenen eller blocken bör följa Tabell 2-1. Vid normala fogar (dvs. inte tunnfogar) bör roboten kunna placera stenarna eller blocken med en precision på  $\pm 2,5$  mm i höjddled och  $\pm 3$  mm i sidled. För lättbetongblock måste precisionen skärpas ytterligare så att toleranserna i Tabell 2-1 kan uppnås.

Tabell 4-4. Kravlista för murningsprocessen.

Krav	Kravmått	Kommentar	Relevant
Mark under robot förbereds			Ja
Precision	±2,5 mm i höjddled och ±3 mm i sidled	Vid normala fogar	Ja
Mark under murning förbereds			Ja
Kunna greppa olika sten och blockstorlekar			Ja
Mura i mönster		Ej för prototyp	Nej
Mura i olika färger		Ej för prototyp	Nej
Förflyttningsfunktion			Ja
Hämta stenar på pall			Ja
Magasin för stenar		Ej för prototyp	Nej
Sensorer som hittar stenar på pall			Ja
Sensorer som positionerar sten mot satt mur			Ja
Kramlingsfunktion		Ej för prototyp	Nej
Säkerhetsområde			Ja
Säkerhetssystem			Ja
Kapa stenar		Görs manuellt för prototyp	Nej
Mura kring dörr- och fönsteröppningar		Ej för prototyp	Nej
Vridande placering i murbruk			Ja

#### 4.5 Applicering av murbruk och fogningsprocessen

Roboten ska programmeras för hur breda fogarna ska göras.

Appliceringen av bruket kan ske på den satta muren medan robotarmen hämtar och förbereder nästa sten som ska sättas. Det behöver inte vara samma robot som murar och applicerar murbruk, man skulle kunna ha en separat maskin som går före och förbereder för murstenarna med bruk.

Murbruket appliceras genom en släde som byts ut beroende på vilket utseende man ska ha på fogen med tanke på fogtjocklek och vilken typ av fogning man ska ha (fullfogsmurning eller strängmurning). Släden drags över ovankanten av muren och portionerar ut murbruk. Att pumpa murbruk brukar man inte göra eftersom man får så mycket rengöringsarbete med slangarna då bruket bränner i dem.

Bruket blandas och placeras i magasin på roboten. Då bruket börjar ta slut skickas en varning om detta till operatör

Den får applicera rätt mängd bruk så att man vid placering av stenen når rätt foghöjd. För att roboten ska kunna göra detta krävs att den har sensorer som ser vart fogar och murstenar befinner sig.

Tabell 4-5. Kravlista för applicering av murbruk och fogningsprocessen.

Krav	Kravmått	Kommentar	Relevant
Applicera murbruk			Ja
Magasin för murbruk			Ja
Varningsfunktion då murbruk sinar			Ja
Sensorer som känner murbruk			Nej
Tandat mönster			Ja
Murbrukssläde		Utbytbar	Ja
Fogformning		Inte för prototyp	Nej

## 4.6 Armeringsprocessen

Antingen så har man färdig kapade modullängder och böjar som roboten plockar från eller så kapar och bockar den armeringen själv vid behov. Efter att den har plockat i armeringen så får roboten foga med hänsyn tagen till att det i denna liggfog då finns armering och extra spår som ska fyllas.

Eftersom man vet hur armeringen kommer att se ut så är det att föredra att man förbereder armeringslängderna och lägger fram dem på lämpligt sätt åt roboten så att den bara kan stoppa i dem sedan.

Tabell 4-6. Kravlista för armeringsprocessen.

Krav	Kravmått	Kommentar	Relevant
Placering av armering		Inte för prototyp	Nej
Kapning av armeringsstål			Nej
Förberedda armeringslängder			Nej
Varningsfunktion då armeringen sinar			Nej
Magasin för armeringsstål			Nej

## 4.7 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 3.4, dvs. behandling av insignaler, användargränssnitt, kvalitetssystem, säkerhetssystem och styrning av rörelser, blir styrsystemet snabbt komplicerad.

Som exempel kan man ta hur en tegelsten ska tryckas in i dess slutgiltiga position när grovpositioneringen har utförts. För att säkerställa att stenen har tryckts mot underlaget med rätt tryck (dvs. att murbruket har rätt fördelning och vidhäftning) kvävs det en övervakning av lasterna och momenten. Om murbrukets egenskaper ändras under murningens gång så måste även appliceringskraften ändras så att vidhäftningen blir korrekt. Även positionen på det lagda teglet måste vara korrekt. Även detta måste övervakas så att tegel raderna blir raka. Detta innebär att minst två olika typer av signaler (kraft och position) måste vara inom de tillåtna ramarna för att roboten skall kunna fortsätta med att lägga nästa tegel. Om inte signalerna är

inom de tillåtna ramarna måste styrsystemet kunna veta om det krävs mer murbruk, murbruket inte är av rätt konsistens, det har lags på för lite/mycket murbruk etc. Som man ser blir kan styrsystemet bli avancerad redan för att övervaka och utföra en liten del av murningsprocessen. Av den anledningen så går denna rapport inte in i några detaljer av styrsystemet utan konstaterar att det är en mycket viktig del av en sådan robot, men blir mycket svår att kunna ge några specifika krav på styrsystemet utan att ha en färdig metod att utgå från.

## **4.8 Kvalitetssystemet**

För att murningsroboten inte skall bli för komplicerad, i alla fall som en prototyp, bör man begränsa hur mycket kontroller kvalitetssystemet skall utföra. Som tidigare nänts 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.

### **4.8.1 Pre-kontroll av stenar/block**

All kontroll av stenarna och blocken görs manuellt innan roboten ska sätta dem på plats.

Kontrollen innefattar dimensioner, färg, nyans, sprickor och övriga defekter.

Det är dock väldigt viktigt att denna kontroll utförs eftersom roboten sedan sätter stenarna och blocken oavsett hur de ser ut, dock är det mest rimliga att tillverkaren av stenarna och blocken skall kunna tillverka stenarna/blocken så att de uppfyller vissa toleranser. I så fall behöver roboten inte utföra någon pre-kontroll.

### **4.8.2 Pre-kontroll av underlag**

Ytan som roboten lägger nästa skikt på skulle hela tiden kunna kontrolleras för att kalibrera mängden murbruk som ska läggas eller kraften som stenen ska tryckas med för att komma på rätt höjd.

Denna funktion väljs bort eftersom man kan åstadkomma bra resultat utan att mäta in underlaget, genom att mäta in positionen på den sten som sätts.

### **4.8.3 Post-kontroll av resultat**

Automatiseringen av post-kontrollen av murningen leder till att man måste kunna hitta fogen och kunna mäta dess bredd, vilket innebär relativt avancerad mät- och kontrollutrustning.

Dessutom måste murens ovkant och dess raket kontrolleras vartefter muren sätts.

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 enda man kan få ut ur den är ifall blocken/stenarna sitter som de skall. Det kan vara något som skall finnas på en helt automatiserad murningsrobot då den kan stoppa arbetet ifall felaktigt resultat uppnås. Om en operatör kontinuerlig finns med vid murningen kan denna kontrollera allt efter 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 stenar från vilka man skall fortsätta att lägga stenar och kalibrerar positionen av de som skall läggas. Detta är ett viktigt krav för en helt automatiserad robot även om repeterbarheten på rörelserna är god.

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



Tabell 4-7. Kravlista för kvalitetssystemet.

Krav	Kravmått	Kommentar	Relevant
Kontroll av stenarnas dimensioner			Nej
Kontroll av stenens färg, yta			Nej
Kontroll att sten är defekt-fri			Nej
Kontroll av underlag			Nej
Kontroll av resultat – murens ovankant		För kalibrering	Ja
Resultat av murens raket		Manuell koll	Nej
Kontroll av murbruksfördelning			Nej

#### 4.9 Typ av robot

När man funderar på vilken typ av robot som man ska använda till att mura med kommer man in på hur många frihetsgrader som krävs för att den ska kunna utföra sitt jobb. Och detta beror på hur man löser olika arbetsmoment. Har man exempelvis en separat frammatare till robotarmen som placerar murstenarna så behöver man inte lika många frihetsgrader. Nedan presenteras tre huvudspår på olika robottyper:

##### ASEA-Robot

ASEA-roboten är en beprövad robot och finns redan att tillgå. Den har dock nackdelarna att man har antagligen fler frihetsgrader än vad som krävs, räckvidden är begränsad och dessa robotar är egentligen avsedda för inomhusbruk.

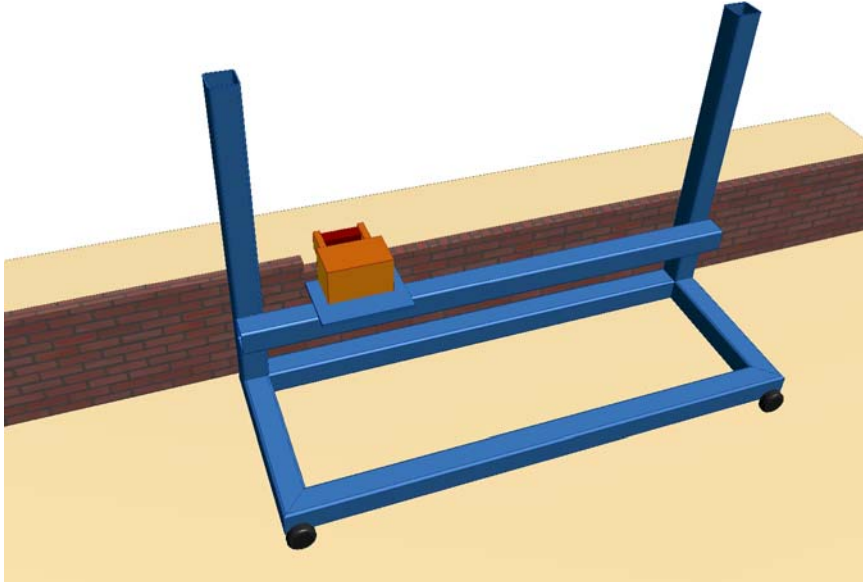


ASEA robot IRB6400RF

### **Nykonstruktion, ”koordinatställning”**

En nykonstruktion kan man skräddarsy för uppgiften vilket är en stor fördel. Man kan göra konstruktionen som sådan att den går att justera i arbetsområde beroende på murningen som ska utföras. En nykonstruktion måste testas fram och förfinas för att nå det resultat som man söker.

Ett förslag på en sådan konstruktion är att man konstruerar en flyttbar/körbar ställning som en enkel robotarm kan förflyttas på i två frihetsgrader. Robotarmen kan i sin tur utföra de rörelser som krävs för att montera stenarna.



*Principbild ”koordinatställning”*

### **Kombinationsrobot**

Ett alternativ är att göra en sammanslagning av ovanstående två förslag. D.v.s. att man konstruerar en ”koordinatställning” och sätter en färdig robot på denna.

#### 4.10 Uppskattning av en robots kostnad

För att beräkna vad en robot skulle få kosta för att bli ekonomiskt försvarbar, utreds först kostnaden för manuellt murningsarbete. Därefter jämförs detta med vad kostnaden för att låta en robot göra arbetet istället.

Enligt Maxit är produktionshastigheten 0,8 h/m<sup>2</sup> per man. Med en timkostnad på 400 kr/h ger detta en kostnad av 320 kr/m<sup>2</sup>. Antag att roboten behöver en operatör som kostar 400 kr/h och att roboten klarar av att mura snabbare än en person. Beroende på den totala kostnaden för roboten så blir det olika antal kvadratmeter murning som måste utföras för att man ska kunna räkna hem maskinen i denna enkla kalkyl. Resultatet finns i nedanstående tabell.

**Tabell 4-8. Kostnadskalkyl för en robot.**

Typ	Arbets- hastighet	Arbetskostnad per timme	Arbetskostnad per kvadratmeter	Skillnad i arbetskostnad mellan manuellt och robot	Antal m <sup>2</sup> för ”break even” (skillnad i arbetskostnad) vid total maskin kostnad på 1 miljon kr
Manuellt	0,8 h/m <sup>2</sup>	400 kr/h	320 kr/m <sup>2</sup>	-	-
Robot	0,7 h/m <sup>2</sup>	400 kr/h	280 kr/m <sup>2</sup>	40 kr/m <sup>2</sup>	25000 m <sup>2</sup>
Robot	0,6 h/m <sup>2</sup>	400 kr/h	240 kr/m <sup>2</sup>	80 kr/m <sup>2</sup>	12500 m <sup>2</sup>
Robot	0,5 h/m <sup>2</sup>	400 kr/h	200 kr/m <sup>2</sup>	120 kr/m <sup>2</sup>	8333 m <sup>2</sup>
Robot	0,4 h/m <sup>2</sup>	400 kr/h	160 kr/m <sup>2</sup>	160 kr/m <sup>2</sup>	6250 m <sup>2</sup>
Robot	0,3 h/m <sup>2</sup>	400 kr/h	120 kr/m <sup>2</sup>	200 kr/m <sup>2</sup>	5000 m <sup>2</sup>
Robot	0,2 h/m <sup>2</sup>	400 kr/h	80 kr/m <sup>2</sup>	240 kr/m <sup>2</sup>	4167 m <sup>2</sup>
Robot	0,1 h/m <sup>2</sup>	400 kr/h	40 kr/m <sup>2</sup>	280 kr/m <sup>2</sup>	3571 m <sup>2</sup>

För att kunna ge en någorlunda bra uppskattning på hur mycket en maskin får kosta måste man ta hänsyn till faktorer som inte finns med i ovanstående kalkyl. Sådana faktorer är bla. robotens avskrivningstid och vilken beläggningsgrad som man har för roboten. En sådan uträkning utelämnas i denna rapport, men bör tas fram då man har tagit fram en prototyp och kommit fram till en rimlig arbetshastighet.

## **5 Förslag till vidare arbete**

Nästa steg i utvecklingen av en murningsrobot bör vara att ta fram en prototyp som klarar av att mura en bit av en vägg, där man inte behöver förflytta hela roboten utan att den klarar av att mura en mur av en viss längd och höjd. Detta skulle vara en bra utgångspunkt för att vidare kunna se problematiken med hur murbruket kan appliceras vid samtidig murning, samt om man kan uppnå de toleranser som krävs. Dessutom bör man även ta hänsyn till hur man laddar roboten mer mursten.

## 6 Slutsatser

Det primära skälet till att använda sig av en robot som murar är att kunna minska riskerna för arbetsskador i jämförelse mot traditionell manuell murning. 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 mura inte blir högre än vid manuell murning. Detta innebär i princip att roboten måste vara effektivare på att mura än en person.

Från diskussionerna i denna rapport får vi fram följande huvudkrav för roboten:

**Tabell 6-1. Sammanfattning krav.**

<b>Krav</b>	<b>Kravmått</b>	<b>Kommentar</b>
<b>Allmänt</b>		
Hög mobilitet		
Räckvidd	Höjd 2,5 m.	
Passage genom dörröppningar		
Låg vikt	Max 500 kg/m <sup>2</sup>	
Robust konstruktion		
Lyftkapacitet	50 kg.	
Modernt styrsystem		
Hög säkerhet för operatör och andra		
Förbättra arbetsmiljön för murare		
Snabbhet	Minst lika snabbt som manuell murning	
Resultat	Minst lika bra som manuell murning	
Miljöanpassad konstruktion	Anpassad till arbetsplatsmiljö	
Låg miljöpåverkan		
Låg ljudnivå		
<b>Murningsprocessen</b>		
Mark under robot förbereds		
Mark under murning förbereds		
Kunna greppa olika sten och blockstorlekar		
Förflyttningsfunktion		
Hämta stenar på pall		
Sensorer som hittar stenar på pall		
Sensorer som positionerar sten mot satt mur		
Säkerhetsområde		
Säkerhetssystem		
Vridande placering i murbruk		
<b>Murbruk, Fogningsprocess</b>		
Applicera murbruk		

Magasin för murbruk		
Varningsfunktion då murbruk sinar		
Tandat mönster		
Murbrukssläde		Utbytbar
<b>Armeringsprocessen</b>		
<i>Inte för prototyp</i>		
<b>Styrsystemet</b>		
<b>Kvalitetssystemet</b>		

## Referenser

- [1] LECA murverk – Arbetsvisning, Maxit7
- [2] *Belastningsergonomi nr.4 och nr.5*, Arbetsmiljöverket, 2006
- [3] Intervju med Peter Liljedahl, Maxit, 070504
- [4] Pritschow, *A mobile robot for on-site construction of masonry*, IEEE int. Conf. IROS' 94, vol. 3, pp. 1701-1707 1994
- [5] Navon, *Process and quality control with a video camera, for a floor-tiling robot*, Automation in Construction, vol. 10, pp 113-125, 2000
- [6] Rihani, *Methods of control for robotic brick masonry*, Automation in Construction, vol. 4, pp. 281-292, 1996
- [7] *HUS AMA 98*, Svensk byggtjänst, ISBN 9789173328364, 1998