



Robotteknik i Sågverk

Slutrapport

Jan-Erik Andersson
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



Abstract

Robot technology in the sawmill industry

New demands for increased safety, availability, reduced cost, and reduced energy consumption per produced cubic meter of sawn goods creates demands for constant development of both new equipment and analysis of material flows. The aim of this report is to describe how industrial robot solution can be seen as an alternative to dedicated automation equipment in the sawmill industry. It will, furthermore, be described how sensor feedback can increase production flexibility and availability in automation in general and in industrial robots in particular.

An industrial robot has in its basic design a high repeatability and absolute accuracy. It is that the environment is well known to the industrial robot or that information is provided to the robots control system in order to create a successful robot installation. It

A number of ideas has been presented from the participating partners for applications that would be suitable for robot solutions. Many of the applications that has been presented are suitable to solve with existing conventional system solutions such as palletizing and stock handling. Other solutions does however need some feedback to cope with variations that occurs due to the anisotropy of wood, handling or outer environment that could affect the process. Areas that requires particular focus are:

1. Identification of disturbances early in the process.
2. Specify demand of ingoing material to each sub process in the sawmill
3. Trim or redesign the existing equipment.
4. Design new equipment such as with the help of industrial robots with the help of the information in the above mentioned measures.

Sensor feedback in general, and machine vision in particular has an continuously increasing role in the implementation of new industrial robot application areas. 3D applications are beginning to be introduces into the market and industrial applications such as bin picking is being used in industrial processes.

Some preliminary tests has been made to indentify stickers with the help of a 3D camera. The tests shows how structured light in combination with the depth information gives a reduced sensitivity for background disturbances , but also the ability to identify and localize for example crossed stickers.

Key words: industrial robot, robot safety, machine vision sawmill

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2011:
ISBN
ISSN 0284-5172
Borås 2011

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	4
Förord	6
Sammanfattning	7
1 Inledning	8
2 Industrirobotar i flexibla applikationer	9
2.1 Singulariteter hos robotar	10
2.2 Inmätning och kalibrering av robotar	11
3 Multisensorteknik för ökad flexibilitet	12
3.1.1 Kognitiva och lärande system	12
3.2 Visionsystem	12
3.3 Kraftstyrning och kollisiondetektion	17
4 Ett paradigmskifte i robotsäkerhet	19
4.1 Betydelsen av en ny robotstandard	19
4.2 Traditionell uppbyggnad av säkerhetssystem	21
4.3 Robotkontroller relaterad säkerhet	21
4.4 Eftergivlighet för ökad säkerhet	22
5 Identifiering av robotapplikationer för sågverksindustrin	23
5.1 Bortplockning/avskrapning av bolster	23
5.1.1 Vad finns idag	23
5.1.2 Vilka möjligheter och svårigheter finns idag?	24
5.1.3 Hur går vi vidare med detta område?	24
5.2 Avströning	25
5.2.1 Vad finns idag	25
5.2.2 Vilka möjligheter och svårigheter finns idag?	26
5.2.3 Hur går vi vidare med detta område?	26
5.3 Sortering av strön/bolster samt bortplockning av defekta strön och bolster	29
5.3.1 Vad finns idag	29
5.3.2 Vilka möjligheter och svårigheter finns idag?	29
5.3.3 Hur går vi vidare med detta område?	29
5.4 Palletering	31
5.4.1 Vilka möjligheter och svårigheter finns idag?	31
5.4.2 Hur går vi vidare med detta område?	31
5.5 Påfyllnad av magasin i maskiner	32
5.5.1 Vad finns idag	32
5.5.2 Vilka möjligheter och svårigheter finns idag?	32
5.5.3 Hur går vi vidare med detta område?	32
5.6 Diskning, uppmätning, hantering och magasinering av sågklingor i sliprum	33
5.6.1 Vad finns idag	33
5.6.2 Vilka möjligheter och svårigheter finns idag?	33
5.6.3 Hur går vi vidare med detta område?	34
5.7 Emballering och etikettering	35
5.7.1 Vad finns idag	35

5.7.2	Vilka möjligheter och svårigheter finns idag	35
5.7.3	Hur går vi vidare med detta område	35
5.8	Slutsatser	37
6	Referenser	38

Förord

Denna rapport är slutrapport i förstudien robotar i träindustrin som har pågått från januari 2011 till augusti 2011.

Projektet är finansierat av TräCentrum Norr och aktivt deltagande partner i projektet har varit Bergkvis Insjön AB, Luleå Tekniska Universitet, SCA Timber AB och SP Träteknik.

Sammanfattning

Nya krav på ökad säkerhet, ökad tillgänglighet, minskad driftskostnad och lägre energiförbrukning mer sågad kubikmeter virke kräver kontinuerligt utvecklingsarbete både med utrustning och materialflöden. Denna rapport beskriver hur industrirobotlösningar i sågverksindustrin kan användas för att komplettera eller delvis ersätta dedikerad automation. Ett vidare mål är att beskriva hur givaråterkoppling påverkar möjlighet att öka flexibiliteten och öka processsäkerheten i automation i allmänhet och industrirobotik i synnerhet.

En industrirobot har i sin grundkonstruktion en mycket hög repeter Noggrannhet och en ganska hög absolutnoggrannhet. För att öka få en lyckad industrirobotapplikation så är det därigenom viktigt att det ingående materialet är ordnat eller att en bild om materialets/arbetsobjektets position presenteras för styrsystemet. Det är även viktigt att driftsstörningar minimeras i så hög utsträckning som möjligt.

Ett antal önskemål och idéer om lämpliga områden för industrirobotlösningar har uppkommit eller presenterats av de ingående parterna i projektet. Många av applikationerna som har diskuterats går att lösa med konventionella robotcellslösningar från andra branscher som till exempel att paketera kortbitar på pall eller lagerhantering. Däremot så kan sensoråterkoppling krävas i applikationer där träets anisotropi, hantering och den yttre miljön skapar störningar i processen.

I till exempel avströmningen så orsakar störningar från medföljande ström eller korslagda bräddor minst 1,5 ingripanden per timma. Områden som kräver särskild undersökning är:

5. Identifiera driftsstörningar tidigt i processen.
6. Specificera krav på ingående material till olika delar av processerna i sågverket.
7. Trimma eller konstruera om dellösningar på existerande utrustning.
8. Konstruera nya processer där ökad tillgänglighet krävs.

Sensoråterkoppling och framför allt machine vision börjar ha en allt viktigare roll i att skapa nya applikationsområden för industrirobotutvecklingen. 3D applikationer har börjat att dyka upp på marknaden vilket ger nya möjligheter att identifiera ”stökiga miljöer” såsom att plocka delar ur en låda.

Några preliminära försök har gjorts för att identifiera ström med hjälp av en 3D kamera (i det här fallet en Kinect). Försöken visar hur det strukturerade ljuset i kombination med djupinformationen ger en minskad känslighet för bakgrundsstörningar samt en möjlighet att identifiera och positionera till exempel korslagda ström. För att gå vidare med utveckling av processäkring och sensoråterkopplade robotlösningar så krävs ett antal aktörer:

- Ett nära samarbete med berörda operatörer.
- En leverantör 3D kamera lösningar.
- En robottillverkare för att få en snabb access mot styrsystemet.
- En systembyggare av sågverkslösningar för integration och felhantering mot resterande system.

1 Inledning

Målet med denna studie är att sammanställa och undersöka möjligheterna att använda sig av industrirobotar i sågverksindustrin och övrig träindustri. Kombinationen 3D kameror och robotar gör det möjligt att skapa system som kan utföra operationen i processen som idag måste utföras av människor. Med tanke på skadestatistiken på sågverksoperatörer så ställs det idag allt skarpare krav att följa maskindirektivets säkerhetsföreskrifter både från sågverken samt på leverantörerna av sågverksutrustning.

Oftast löses säkerhets frågorna med hjälp av staket, grindar och ljusbommar vilket gör att det tar längre tid att åtgärda driftsstörningar i produktionen. Detta skapar allt större krav på driftssäkerhet och flexibilitet hos produktions utrustningen för att bibehålla produktionstakten även efter en uppdatering av säkerhetssystemen. Idag kommer nya bestämmelser kring säkerhet runt robotsystem i produktionsprocesser som underlättar design och praktiskt genomförande med mindre behov av mekaniska skydd.

Denna förstudie börjar med att ge en introduktion om robotik med en kort sammanfattning om de variabler och som har störs påverkan på industrirobotars flexibilitet.

Sensorer är av avgörande roll för hur en industrirobot kan kompensera för variationer som uppkommer i robotens omvärld. Utvecklingen av framför allt bildbehandling, kraftåterkoppling och möjligheten att integrera dessa mot styrsystemet ger nya möjligheter till allt mer flexibla applikationer. Kapitel tre ger en överblick över hur bild och kraft påverkar användandet av industrirobotar.

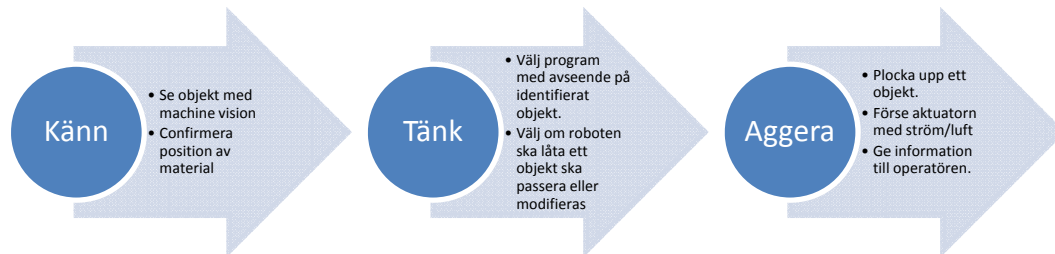
Den viktigaste faktorn för att göra en lyckad robotinstallation är att göra den säker och lättanvänd. Kapitel fyra beskriver hur den nya säkerhetsstandard för robotinstallationer påverkar möjligheten till ett närmare samarbete mellan människa och maskin inom sågverksapplikationer.

Syftet med denna förstudie är att sammanställa tekniknivå och industriella exempel på robotar i komplexa produktionsmiljöer där avancerad situationsanpassning krävs exempel kan vara robotar i samverkan med truckar eller robotar som problemlösare i transportsystemet. Målet är att ta fram tre exempel som visar på möjligheter att genomföra ett robotprojekt på sågverk/träindustri baserat på 3D sensorteknik och/eller multisensorteknik i kombination med en/flera autonoma robotar. Avgränsning är att enbart studera befintliga lösningar inom andra industrigrenar eller pågående parallella utvecklingsprojekt.

Kapitel fem beskriver sju olika applikationer som skulle vara intressanta för robotinstallationer vilka har tagits fram av deltagande i projektet.

2 Industrirobotar i flexibla applikationer

Lite grovt sett så innehåller alla grundläggande robot funktionerna: känn, tänk och agera. De får information om sin omgivning från yttre stimuli, tänker i form av förutbestämda algoritmer för planeringen av sitt arbete, och dessa algoritmer definierar de övergripande beteendet av maskinen (Figur 1). Detta sätt att agera är dock mycket förenklat men ger en övergripande inblick i de områden som utvecklingen



Figur 1: Grundläggande robotfunktionen

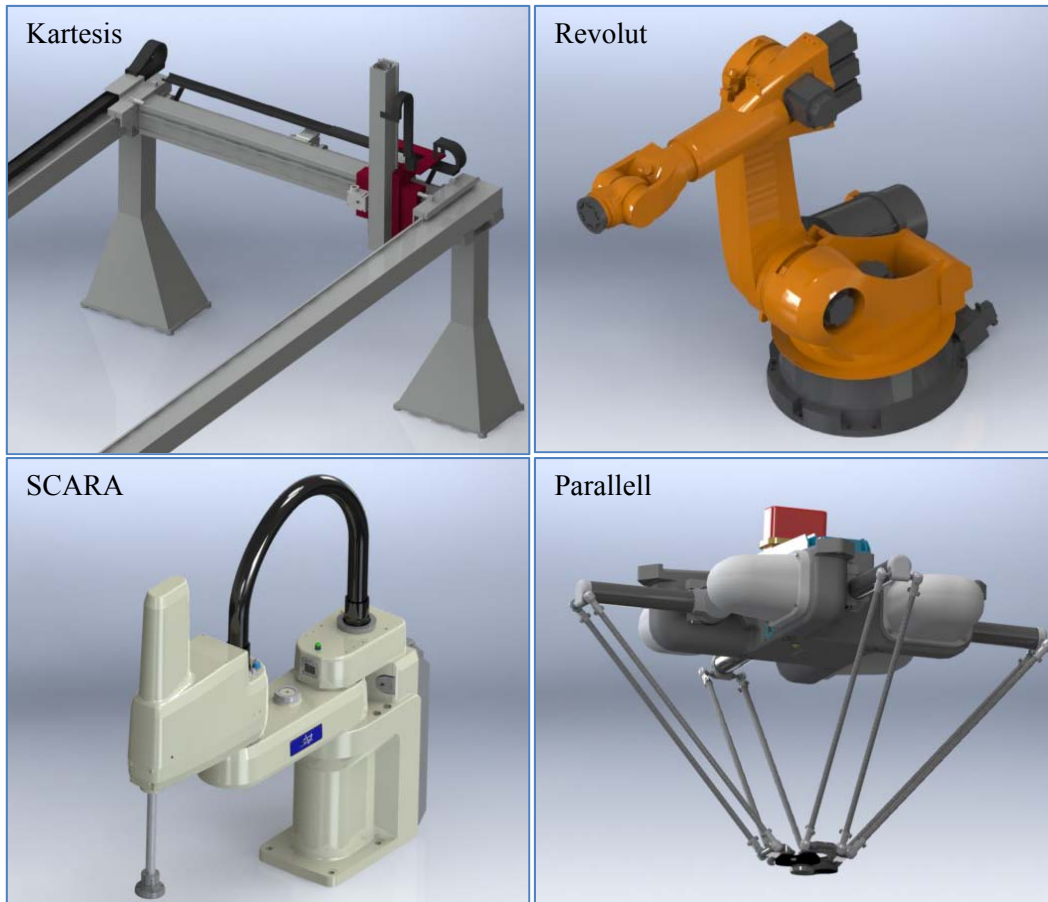
Robotar finns i en uppsjö olika applikationer, allt ifrån leksaker, nanorobotar till tunga industriella applikationer. Industrirobotar har en lite tydligare definition än andra robottillämpningar. En industrirobot definieras nämligen som en automatiskt styrd, omprogrammerbar, multifunktions manipulator som är programmerbar i tre eller fler axlar vilka kan vara antingen fixerad på en plats eller mobil för användning i industriella automationsapplikationer (Swedish Standard Institute, 1994). Denna definition står i kontrast till dedikerad automation, vilken enligt (Forge & Blackman, 2010) är:

- Konstruerad för strukturerade miljöer.
- Har ingen autonomi.
- Klarar av liten eller ingen variation i omgivningen.

Dedikerad utrustning såsom till exempel automatlager till CNC svarar går inte under definitionen som industrirobotar enligt ISO standarden, medan till exempel den Japanska definitionen är bredare och inkluderar även armar som är styrda av människor och även manipulatorer med definierade sekvenser som inte är omprogrammerbara (Japan Robot Association, 2011). Om man sammanfattar litteraturens definition på en robot så ska den innehålla några eller samtliga av följande attribut (Forge & Blackman, 2010):

- Omkonfigurerbar hårdvara och mjukvara, sensorer och aktuatorer med fler än tre frihetsgrader och med rörelse i ett två eller tredimensionellt utrymme med minst tre aktuatorer.
- Är autonom med någon nivå av beräkningsförmåga för beslutsfattande. Flexibilitet för variation i miljö eller produktionsflöden är relativt begränsade idag. Trenden går dock mot att kunna hantera variationer i och ostrukturerade miljöer i allt högre grad där beslutsfattande är nödvändigt.
- Möjlighet att konfigureras om, oftast när maskinen är ur drift men även när roboten är i drift.
- Möjlighet att samarbeta med människor, men även arbeta i strukturer med flera samarbetandemaskiner och robotar.

Fysiskt sett kan en industrirobot se ut på en mängd olika sätt beroende på den applikation som denna arbetar inom. En manipulator klassificeras genom antalet frihetsgrader, deras arbetsområde och deras mekaniska konfiguration, där den mekaniska konfigurationen ofta styrs av vilka behov som krävs på repeternoggrannhet, absolut noggrannhet, styvhet, hastighet, känslighet för singulariteter, flexibilitet och rörlighet. Ett par vanliga robotkonfigurationer illustreras i Figur 2:



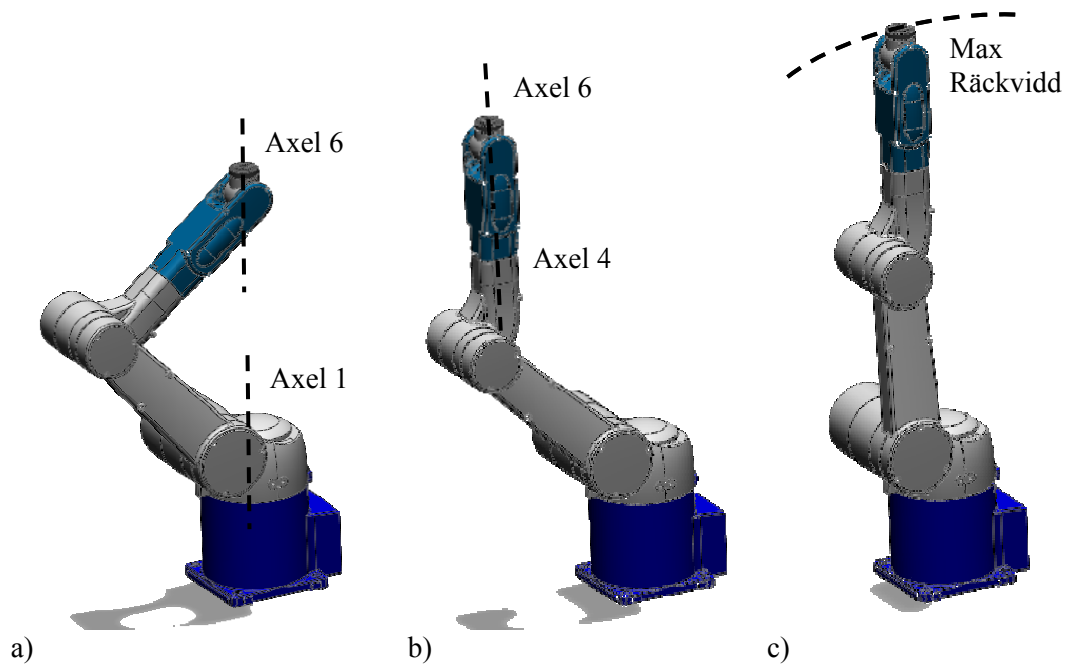
Figur 2: Exempel på robotkonfigurationer

2.1 Singulariteter hos robotar

För att en industrirobot ska kunna följa en rörelse i det kartesiska rummet så måste den kartesiska banan för roboten omvandlas till positioner och vinkelhastigheter eller linjära hastigheter för respektive länkarms aktuator. Ett av de problem som kan uppstå när en industrirobot längs till exempel linjära rörelser i den kartesiska rymden är att roboten stöter på singulariteter. En singularitet är ett tillstånd där positionerna en robots länkarmar ställer sig så att ingen lösning finns för att omvandla robotens rörelse i det kartesiska rummet till vinkelrörelser för varje länkarm. Det finns ett antal olika former av singulariteter och detta är speciellt tydligt i revoluta industrirobotar (adept, 2007).

- Arbetsområdes begränsande singulariteter: Armbågssingularitet uppstår när en arm är fullt utsträckt.
- Interna singulariteter: Uppstår när två eller fler axlar ligger i linje med varandra.

När en robot har nått en singularitet så förloras en eller fler frihetsgrader i det kartesiska rummet. Detta innebär att det finns en eller flera riktningar i det kartesiska rummet i vilka det är omöjligt att röra roboten oavsett vilka vinkelhastigheter som väljs.



Figur 3: Interna – a), b) och arbetsområdes begränsade c) singulariteter hos en sex manipulator sex axlar.

Om man ser till en sexaxlig manipulator enligt Figur 3 a) och b) så uppnås, till exempel, en singularitet axel 1 och axel 6 är i linje med varandra. Samma tillstånd nås när axel 4 och axel 4 är i linje med axel 6. Figur 3 illustrerar den naturliga arbetsområdesbegränsade singulariteten. Vad händer med vinkelhastigheterna när man närmar sig en singularitet? När θ_2 går mot noll så kommer vinkelhastigheten att gå mot oändligheten. Detta innebär att förutom risken med att förlora en frihetsgrad i det kartesiska rummet s kommer vinkelhastigheterna att öka dramatiskt vid arbete nära singulariteter.

Det första steget vid konfiguration av singulariteter är därför att karakterisera de arbetsområden i vilka singulariteter finns och försöka designa applikationen eller välja en robotkonfiguration som inte har singulariteter i det tänkta arbetsområdet. Singulariteter av denna typ går helt att undvika om en kartesisk robot där dess länkar rör sig i det kartesiska rummet.

2.2 Inmätning och kalibrering av robotar

Ett huvudområde inom robotik är orientering och positionering i arbetsmiljön, speciellt för att undvika kollisioner. Positioneringssystem kan variera kraftigt i mål och komplexitetsgrad men huvudmålet är att förstå robotens absoluta och relativa position och vilka som är de huvudelement som påverkar den absoluta och relativa position (som till exempel glapp, toleranser i länkar och drivenheter, eftergivlighet, etc.). Den absoluta och relativa positioneringen för en industrirobot är vanligtvis internt väldigt väldefinierad men även dess position till dess arbetsmiljö (mål) måste vara väl definierad för att minimera installationstid, och möjliggöra off-line programmering. Noggrann inmätning av installationerna kan vara avgörande för en enkel hantering av flexibel produktion.

Behovet av inmätning av en industrirobot i förhållande till dess arbetsmiljö är naturligtvis helt beroende på behovet av flexibilitet och behov på absolut noggrannhet för applikationen men som regel så förenklas allt programmeringsarbete och driftssäkerhet om en ordentlig satsning görs vid inmätning och installation av anläggningen

3 Multisensorteknik för ökad flexibilitet

Multisensorsystem kombinerar data från en mängd olika givare för att kompensera för alla de osäkerheter som en industrirobot kan stöta på i att utföra en funktion. En framgångsparameter för appliceringen av industrirobotar i industriella applikationer är dess möjlighet att kommunicera och dela information med operatörerna. Människa – robotinteraktion är studien av kommunikationsprocessen mellan människa och robot. Detta arbetsområde binder samman kunskap om kognitiv psykologi, människa - dator interaktion, design av användargränssnitt, utbildning, etcetera för att industrirobotapplikationer ska få en mer naturlig interaktion med operatörerna. Mycket fokus i människa robotinteraktion handlar om att kommunicera genom tal, handrörelser eller genom digitala kommandon (Forge & Blackman, 2010).

Att arbeta med bildbehandling, kraft kan ses som en naturlig förlängning på hur en mänsklig operatör kommunicerar och upplever sin omvärld och

3.1.1 Kognitiva och lärande system

Inom industrirobottillämpningar har framför allt enklare off-line programmering av robotceller och möjligheten att kalibrera in robotarna mot cad-modeller möjliggjort snabbare installationstider och kortare ställtider, men för att kunna minska dessa så måste kompensation av förändringar i världen göras.

För att göra robotar mer robusta och ha högre tillgänglighet så är det viktigt att göra processerna adaptiva till förändringar i omgivningen. En lärande förmåga leder i slutändan till att antalet nya applikationsområden och anpassa sig till förändringar i dess omgivning, detta är speciellt viktigt vid off-line programmering där anpassning för fel mellan cad - modell och installerad arbetscell kan kräva omfattande systemtrimning. För att göra detta så måste information om omgivningen kunna uppmätas och tolkas och ha möjligheten att agera på de nya förutsättningarna i dess arbetsmiljö.

Även applikationer med låg nivå av kognitiv förmåga är förhållandevis ovanliga i industrin på grund av dess behov av en nära systemintegration men börjar i allt högre grad att utvecklas i och med bildbehandlingens och kraftåterkopplingen hjälp. Tydligaste applikationerna inom denna utveckling är snabba plock, sorterings och paketeringsrobotar inom framförallt livsmedelsindustrin där applikationerna där enkel upplärning och programmering med hjälp av bildbehandlings gör det enkelt att introducera robotlösningar där fast automation används traditionellt.

Kognitiva och lärande system är ett mycket viktigt område för utvecklingen av nya robotapplikationen och det är framförallt integrationen mot människor både för förenklad programmering och interaktionen i det dagliga arbetet som är viktig för den framtida för robotutvecklingen. (Lenz, o.a., 2008) presenterar en arbetsmiljö för sant samarbete mellan människa och industrirobot. I detta system så medvetandegörs industriroboten om omvärlden genom via flera sensormoduler för att utföra montagearbete tillsammans. Systemet förutsäger det mänskliga beteendet baserat på kunskapsdatabaser och beslutsmodeller för att säkerställa ett effektivt samarbete mellan människa och maskin.

3.2 Visionsystem

Bildbehandling börjar vara en allt viktigare del i systemintegration av automationsutrustning och arbetar i många fall i samarbete med kompletterande givare. Allt enklare integration av bildbehandlingssystem i samverkan med en ökad erfarenhet och ansamling av ”färdiga lösningar” hos systembyggare gör att antalet applikationer där bildbehandling är en kostnadseffektiv lösning. Kommersiella lösningar inom automation innefattar lösningar inom (Cognex, 2011):

- Identifiering och eliminering av defekter
- Verifiera om montage är utfört korrekt för att minimera kassation genom att tidigt identifiera fel
- Automatisera produktion genom att identifiera och lokalisera detaljer.
- Spårbarhet genom läsning av 1D och 2D koder för att få full spårbarhet genom hela produktionsprocessen fram kund
- Övriga applikationer

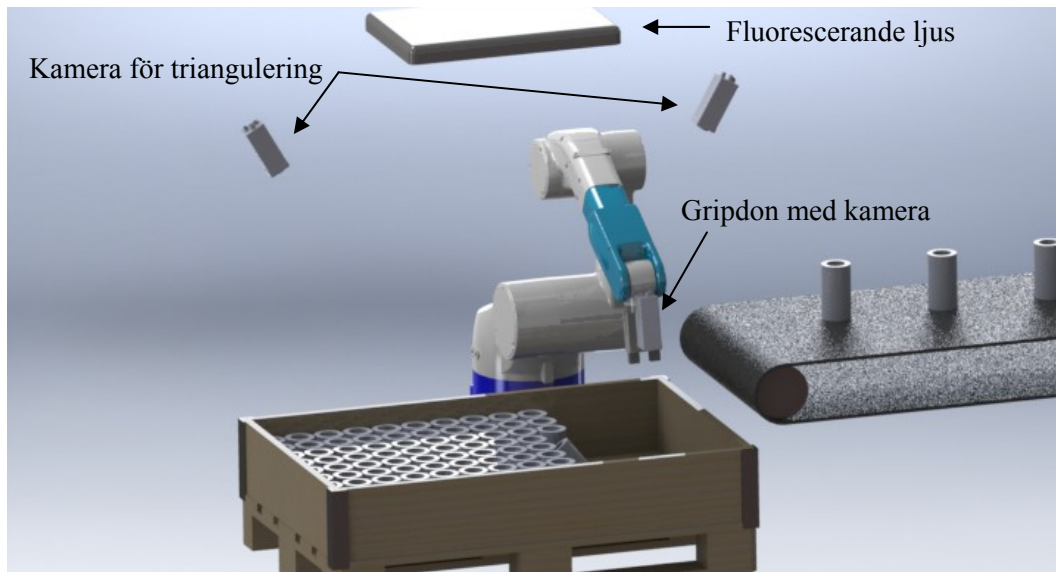
De flesta bildbehandlingslösningarna baserar sig på 2D teknik men lösningar som kräver 3D lösningar har börjat att träda fram. Principerna bakom de flesta 3D lösningarna och applikationerna är kända sedan lång tid tillbaka och aktiv forskning de två senaste decennierna och en snabb processorutvecklingen har lett till att allt snabba och högprensions sensorer såsom stereokamerasystem, sveplasertekniker och projicerande metoder har utvecklats.

Passiv Triangulering

Området triangulerande sensorer baserar sig på att observera objekt från minst två olika riktningar och återskapa ett 3D objekt genom att jämföra de olika bilderna. För att erhålla tredimensionella mätningar så måste även ett antal tredimensionella referenspunkter skapas för kunna återskapa en 3D form, det vill säga systemet kalibreras med utgång från referenspunkterna, i likvärdighet det mänskliga ögats funktion. Triangulerande sensorer kan delas in i aktiva och passiva system. Passiva system förlitar sig på belysning från omgivningen medans aktiva system belyser objektet och/eller arbetsområdet för att komma ifrån okontrollerad belysning.

En stereokamera är det enklaste exemplet på en passiv optisk triangulering. I industrirobotsammanhang kan dessa bestå av fast monterade kameror med överblick över arbetsytan, en eller fler kameror monterade på verktyget, eller en kombination av fast och robotmonterade kameror. Passiva stereo sensorer är kraftigt beroende av samarbetande ytor, och då i huvudsak icke reflekterande ytor med textur. Med tanke på att många industriella applikationer saknar en distinkt struktur måste ett definierat ljusförhållande skapas för att skapa en robust 3D rekonstruktion av objekt. Fler kommersiella 3D lösningar har börjat nå marknaden. I industriella sammanhang så används 3D lösningar används fortfarande i relativt specialiserade applikationer, men ger en kostnadseffektiv lösning med god precision för scanning av framför allt icke- reflekterande material som till exempel ytjämnhetsmätningar, positionering, och mätning.

Som ett exempel så presenterar (Vision-Systems, 2008) en lösning för ”bin-picking” baserat på stereoseende vilken levererades till Grundfors. Lösningen är uppbyggd av en ganska enkel hårdvarukonfiguration, med två fast monterade kameror ovanför pallen, vilken är belyst med ett fluorescerande ljus, och en kamera som är monterad på gripdonet (Figur 4). Mjukvarustrategin baserar sig på att ge robotens styrsystem dynamisk information om objektens position i pallen och koordinera dessa positioner till ett antal inlärd grip strategier och lagra dessa i en databas. Enligt leverantören skapar detta ett system där endast upp till fyra objekt blir kvar i pallen om tio till fyra gripstrategier väljs.



Figur 4: Passivt stereoseende för bin-picking

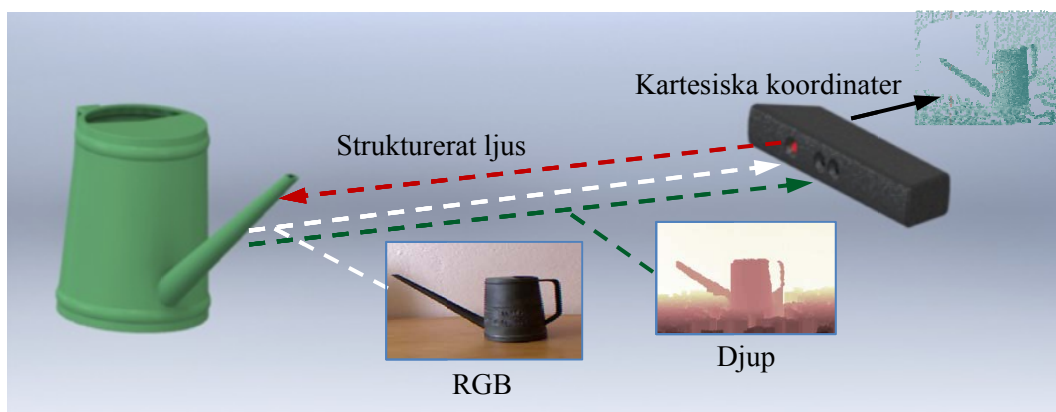
Aktiv triangulering

Aktiv triangulering utnyttjar sig av att projicera ett specifikt mönster med en känd våglängd på det objekt som ska mäta för att känsligheten för ytstrukturer och för att snabba på beräkningarna. Ljusbilden förvrängs av objektet och mönstret observeras av minst en kamera för att sedan rekonstrueras till en tredimensionell yta. Ljusbilden kan appliceras på en mängd olika sätt och olika våglängder. Några av de vanligare aktiva trianguleringsmetoderna är :

- Ljuspunktsföljare: En enkel laserpunkt projiceras på en yta och observeras av en kamera där ljuskällans position och vinkel är kända. En enkel 3D punkt kan beräknas där ljuset bryts av objektet. För att få en ytmätning så måste ljuspunkten scanna ytan.
- Linjelaser: En enkel linje vanligtvis laserstråle, sprids via en lens till en rak linje och projiceras på objektets yta. Den resulterande konturen går att detektera med en kamera och användas för att beräkna fram en tredimensionell profil. Teknikens robusthet har lett till att linjeprojektering är en vanlig metod för 3D rekonstruktion av ytor vid till exempel scanning av stockar. Vid scanning av en hel yta är framför allt noggrannheten beroende på hur linjen eller objektets rörelse styrs. Kostnadseffektiva 3D laserscannern finns på marknaden för geografilösningar men även för industriella applikationer (Leica Geosystems, 2011) (Nextengine, 2011).
- LCD shutter device: En ljuskälla lyser genom en lcd skärm (samma som för 3d glasögon) för att skapa ett mönster på en yta. Principen är den samma som för laserlinjetekniken, men objektet kan scannas utan att ljuskällan eller objektet behöver förflyttas. Djup noggrannheten kan dock vara sämre med för denna mätteknik än för laserlinjen..
- Mönsterprojektorer: En ljuskälla lyser genom ett fast mönster på ett objekts yta för att observeras av en eller flera kameror för att återskapa en yta enligt samma princip som ovan beskrivna metoder. Mönster projektorer finns i en mängd olika varianter or LED utvecklingen har lett till att ett brett spektrum av ljuskällor inom UV, IR, och 460 – 630 nm spektrumet finns. För att hålla fokuset av mönstret även vid vinkelfel av det belysta mönstret så använder sig några av projektorerna sig av scheinflug korrigerig (opto-engineering, 2011).

Ljuskodning är ett annat exempel på en mönsterprojektor där ljuset är konstant påslaget. En klass 1 laser med en våglängd nära infrarött vilken passerar genom ett filter och

sprider ett mönster av punkter vilka projiceras på den omgivande miljön. Det reflekterade mönstret detekteras sedan av en infraröd kamera och analyserad. Stödda av nio lite ljusare punkter så kan reflektionen av varje punkts position beräknas baserat på det emitterade ljusets mönster, linsdistorsion, och avstånd mellan sändare och givare (Viager, 2011). Microsofts Kinect, baserad på Prime Sense teknik och algoritmer är ett exempel på en 3D givare enligt ovanstående teknik som har gått från underhållning till en industriell labbplattform där givaren används för preliminära experiment i allt från ”bin picking” till perception av omvärlden för mobila robotar. Lösningen är förhållandevis immun mot ljusstörningar från omgivningen. Just denna produkt har dock ett arbetsområde som är begränsat i djup mellan 0.4 till 3.5 m med en tolerans på 3 mm i x/y och 10 mm vid 2 m mätavstånd enligt (primesense, 2011).

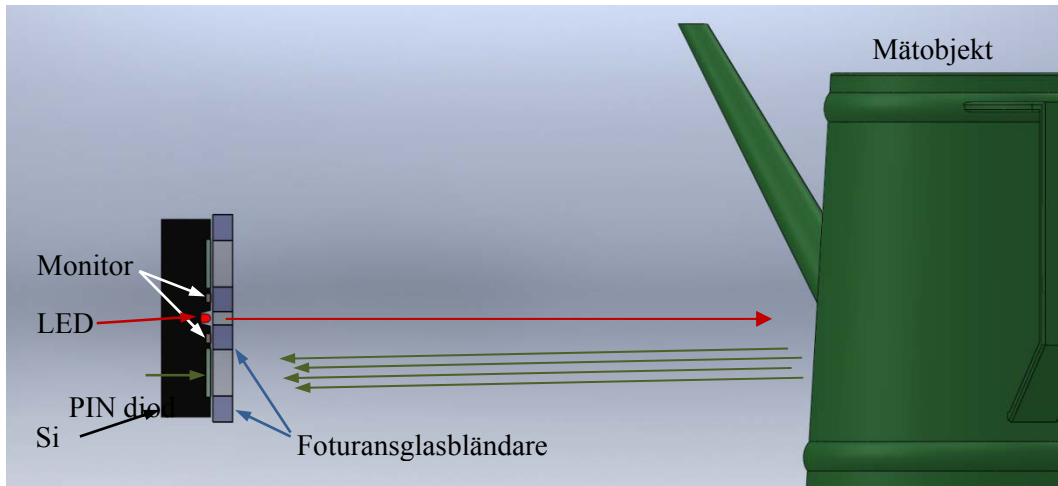


Figur 5: Principskiss för djup- och RGB-kamera med strukturerat ljus.

ToF-Teknologi

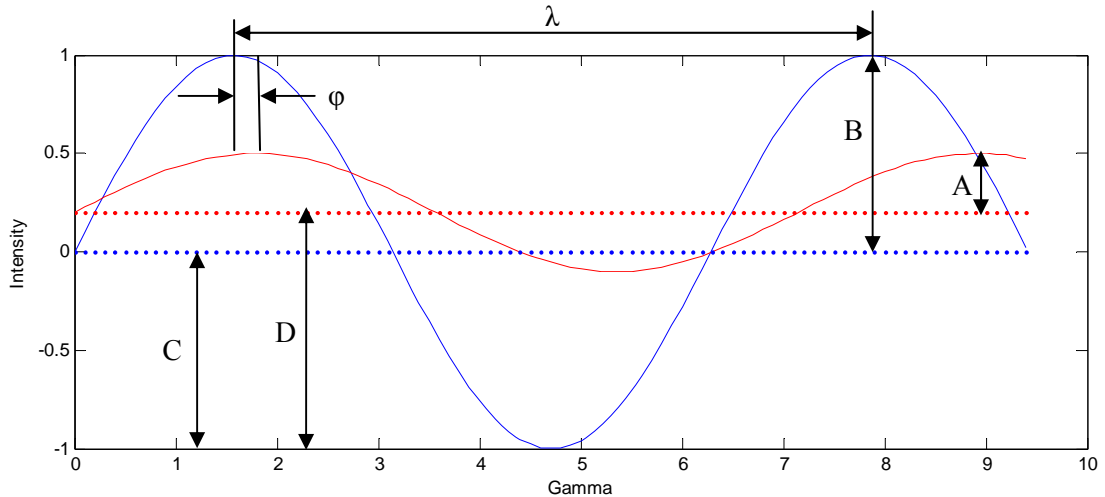
På senare år har en ny generation av 3D-kameror baserad på Time-of-Flight (ToF) principen utvecklats. Den stora fördelen med dessa kameror i jämförelse med många andra tekniker är att de kan erhålla 3D-mätningar i form av punktmoln i realtid utan någon form av scanning. ToF-mätning delas in i direkt och indirekt mätning.

Direkt ToF-mätning baserar sig på att varje pixel i realtid mäter tiden det tar för en specifik ljuspuls att resa till ett mål och studsas tillbaka till fokallplanet. Detta ger bilden ett djup (z), en position (x, y), och en reflekterad intensitet från objektet. Ett tredimensionellt punktmoln kan därefter genereras (Advanced Scientific Concepts Inc, 2011). Mätnoggrannheten för en typisk direkt TOF är 128×128 pixlar med en räckvidd på upp mot 6000 m. En annan direkt ToF-metod baserar sig på att använda sig av ett optiskt filter framför sensorn vilken öppnar i samma takt som ljuspunkterna sänds ut (Figur 6). Eftersom varje returnerad puls blockeras av filtret i direkt relation till ankomsttid så motsvarar intensiteten på ljuset som träffar sensorn avståndet som pulsen har rest. Denna princip används av bland annat TriDiCam, ZCam, och Canestra Vision där de två senare nämnda blev uppköpta av Microsoft 2009 respektive 2010 (Piatti, 2010).



Figur 6: ToF baserat på optisk filtrering

Indirekt ToF mätning har framgångsrikt implementerats i ett flertal kommersiella 3D kameror för industriella applikationer. Principen baserar sig på en princip kallad PhotometricMixerDevice (PMD). För att observera ett objekt så sänder kamerans LEDar av ut ett modulerat infrarött ljus och mäter fasförskjutningen mellan den modulerade och den reflekterade signalen för varje pixel. Om till exempel en modulerad signal skickas ut med en frekvens på 30 MHz med en amplitud B skickas ut, så kommer den uppmätta signalen ha en lägre amplitud A på grund av absorption från objektet. Däremot så kommer objektet i de flesta fall ha en offset i intensiteten mot det modulerade ljuset på grund av bakgrundsbelysning vilket resulterar i en bakgrundsintensitet B enligt Figur 7.



Figur 7: Principskiss för mätning av fasförskjutning.

Avståndet till objektet (R) kan sedan beräknas fram utifrån fasförskjutningen ϕ , den utsända frekvensens våglängd λ enligt ekvationen:

$$R = \frac{\phi}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Amplituden A kan sedan användas för att räkna ut kvaliteten på avståndsmätningen och intensitetsvärdet D kan användas för att skapa en bild i gråskala (intensitetsbild) som även innehåller information om bakgrundsbelysningen. Denna metod levererar djupbilder med en upplösning upp till 204 x 204 pixlar och ett mätområde mellan 0.3 - 10 m med en

djupnoggrannhet mellan 3 – 10 mm beroende på leverantör och modell. En mer detaljerad sammanfattning och jämförelser mellan olika kamera leverantörer beskrivs av (Piatti, 2010).

3.3 Kraftstyrning och kollisionsdetektion

Användandet av kraftstyrning är använt som en effektiv metod för att öka flexibilitet och precision så tidigt som på 50 talet och har setts som ett forskningsområde sedan kraftsensorerna introducerades i industrin på 1970 talet. Kraftstyrning går att dela in i två huvudområden:

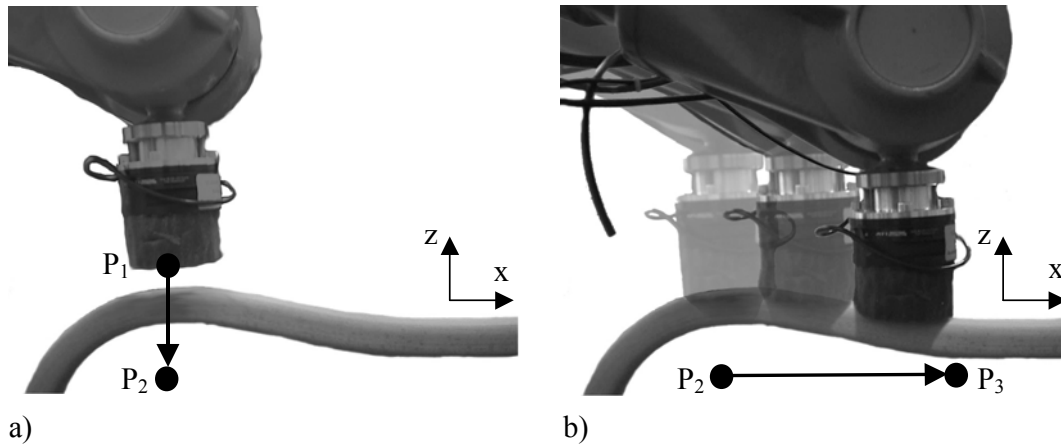
- Passiv eftergivlighet som använder sig av mekanisk eftergivlighet i robotens och/eller verktygets mekanik.
- Aktiv eftergivlighet som baserar sig på att justera robotens bana för att kontrollera krafterna på verktyget.

Passiv eftergivlighet är mycket effektiv för mindre positionsjusteringar och dynamiska slag och belastningar men är något begränsningar i slaglängd. Aktiv eftergivlighet förlitar sig på att mäta de krafter som agerar på antingen ett verktyg eller på en manipulator. Olika kraft- återkopplade applikationer ställer olika på var en givare måste vara monterad, vilken information som applikationen behöver och den tekniska lösningen av givaren. Det finns i princip tre olika områden där kraft mäts på en manipulator.

- Vid manipulators leder: Att mäta den applicerade kraften eller momentet på en aktor ger viktig information både för regleringen av manipulators leder, men ger även information om yttre påverkan på manipulatorn eller om verktyget är belastat.
- Mellan verktyg och verktyg: Denna typ av givare refereras ofta till som handledsmonterade givare varav de flesta av dessa givare baserar sig på trådtöjningsgivare som är fästa vid en mekanisk struktur. Givarna är oftast kapabla att mäta tre till sex kraftkomponenter.
- Vid verktygets fingrar eller spets.

Momentåterkoppling för manipulatorers individuella styrservon har funnits i industriella applikationer under de senaste decennierna. Denna typ av återkoppling har gjort det möjligt att ge en eftergivlighet i enklare applikationer, men för att bredda användningen av kraftåterkoppling så är det önskvärt att få en kraft och momentvektor i det kartesiska planet. Arbeten som kräver kontakt mellan verktyg och arbetsobjekt såsom slipning och polering kräver att en styrstrategi som innefattar en positions, hastighets såväl som kraftvektor.

Om vi till exempel ser till en robot som rör sig fritt i rummet så finns det inga begränsningar på manipulator. De enda krafterna som påverkar manipulatorn är krafterna från verktyget. Figur 8 visar ett enkelt exempel sekvenserna vid profilföljning med kraftåterkoppling. I den första fasen (a) så söker roboten efter kontakt med arbetsstycket med en konstant hastighet i z riktningen.



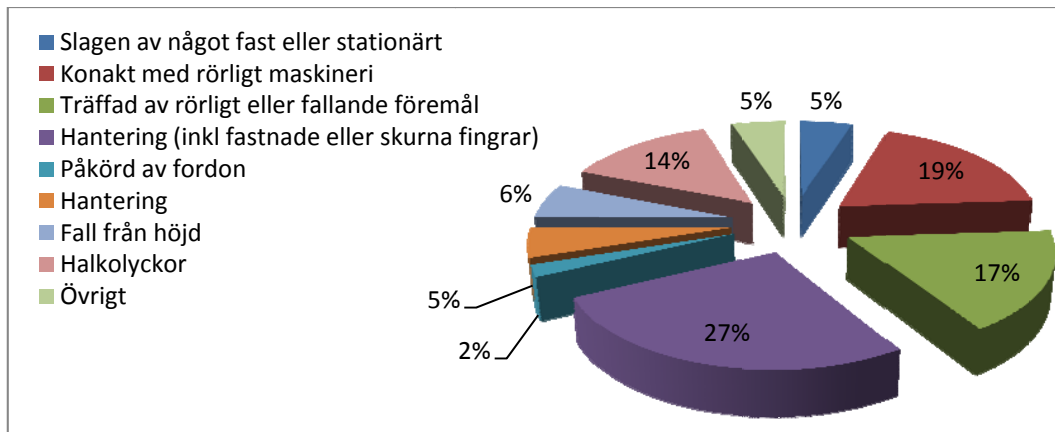
Figur 8: Sekvenser vid konturföljning a) söker efter kontakt. b) Följer konturen med på limträprofil med konstant kraft.

När manipulatern kommer i kontakt med fast yta så förloras en frihetsgrad eftersom roboten inte kan röra sig genom ytan som i Figur 8 b. Detta går att definiera som en positioneringsbegränsning, men roboten kan istället påverka objektet med ett konstant tryck (F_z) medans denna rör sig i x - och y - riktningen. I den här applikationen får positionen och hastigheten i z naturliga begränsningar, medans position och hastighet för x - och y - rörelsen samt tryckkraften F_z är artificiella begränsningar som är satta av den som har skapat applikationen (Andersson, 2000).

Kraftstyrning är ett komplement till övrig sensoråterkoppling för att kompensera ökad processkvalitet och minskad känslighet för variationer i objekt och omgivande miljö. Det är även i detta fall framför allt både extern och intern kommunikation i kombination till processorutvecklingen som har möjliggjort att använda sig av kraftåtermatning som komplement till position och hastighet till regleralgoritmerna. Kraftmätningen går att göra antingen genom att observera momentet på motorerna eller i lastceller vid verktyget, objektet/fixtures eller vid manipulatorens bas. Vilket mätställe som väljs beror på om applikationen och dess krav på mätnoggrannhet, om manipulatern kan bli självhämmande vid någon punkt (gäller vid mätning av motormoment), vilket styrsystem som används, krav på reaktionshastighet, etcetera. ABB visar bland annat en kommersiell tillämpning på vristmonterade kraftsensorer för mer komplexa applikationer såsom slipning, gradning, polering (Fixell, o.a., 2007).

4 Ett paradigmskifte i robotsäkerhet

Att öka säkerheten har alltid varit ett viktigt område inom robotapplikationer men är i synnerhet viktigt inom sågverksindustrin. Landets sågverk och hyvlerier tillhör en av de branscher med ca 14 olycksfall per 1000 anställda och andelen allvarliga skador är 46,6 % för män och 47,6 % för kvinnor mellan åren 2005 till 2009. Genom förbättrad standard och uppföljning och arbete med säkerhet så kan maskinerna bli säkrare och olyckorna färre (SIS, 2011). Figur 9 visar en fördelning av olycksfalls inom trävaruindustrin i Storbritannien.



Figur 9: Olycksfördelning inom sågverksindustrin i Storbritannien.

Säkerheten håller dock på att sakta förbättras, genom ett starkt kombinerat arbete av sågverksindustrin och systemleverantörer. Dock fortsätter sågverksindustrin att vara en av de störst ariskindustrierna med en olycksrisk som är två till två och en halv gånger den i övrig tillverkningsindustri (Health and Safety Executive, 2011).

Olyckor med industrirobotar händer men olycksförloppet är något annorlunda. Industrirobotar har lång räckvidd med kraftig acceleration och ganska hög medelhastighet. Ett scenario kan vara att en operatör går in i robotens arbetsområde för att justera ett arbetsområde som ligger snett, en givare triggas, och roboten fortsätter sitt arbete varvid operatören blir slagen eller klämd. Detta går att se i statistiken där elva av sjutton skador på robotoperatörer som har orsakats av maskin eller föremål i rörelse (Sveriges Officiella Statistik, 2002). Lösningen för att lösa robotskador har varit att placera roboten i ett skyddat arbetsområde. Detta ger en säker arbetsmiljö, men minskar möjligheten till flexibilitet och mänsklig interaktion.

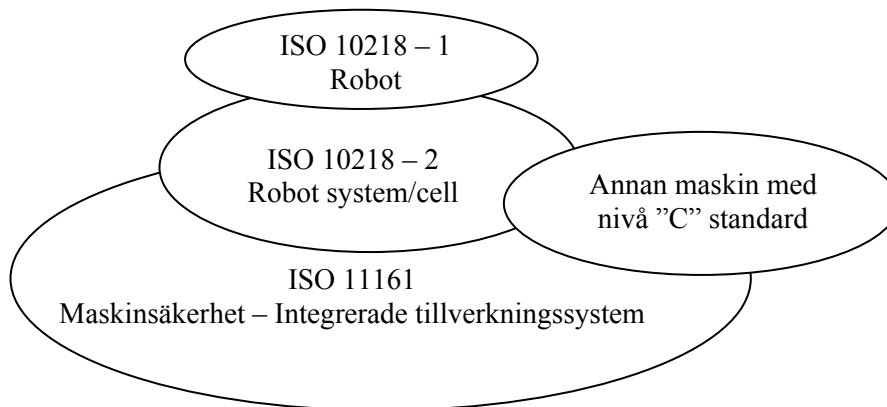
Ett nytt angreppssätt för att arbeta med robotsäkerhet har börjat användas vilket baserar sig på fordonsindustrin. Detta arbetssätt baserar sig på att först skapa sig en bild över hur skador uppstår och vilka skador som dessa ger. Detta arbete leder till lättare och rundare robotkonstruktioner, mjukare och mer kontrollerad styrning och lägre statiska och dynamiska krafter vilket leder till mindre allvarliga skador i jämförelse med traditionella industrirobotar.

4.1 Betydelsen av en ny robotstandard

Standardisering är ett av de viktigaste verktygen i arbetet med att konstruera säkra industrirobotar. Det bör observeras att standarden för robotar inte sträcker sig utanför industriapplikationer, där till exempel robotar hos privatpersoner eller i hemmet inte inkluderas. Standarden har varit ganska rigid genom åren och i och med nya produktområden, större produktutbud och krav på ökad flexibilitet så har robotapplikationerna har vuxit ifrån den tidigare robotstandarderna såväl som maskinsäkerhetsreglerna. Industrirobotapplikationer har tidigare funnits i strukturerade

miljöer där det har varit förhållandevis enkelt att separera människan från robotarna. För att få branschen att växa så behövs en förändring i säkerhetsstandarden som möjliggör att använda industrirobotar i nya applikationer.

Dock så genomgår i dagsläget industrirobotstandarden ett arbete för att anpassa denna till att hantera miljöer i vilka människor och robotar måste samarbeta med varandra. Standarden för industrirobotar består av två delar, en för robottillverkarna, och en för systemintegratorerna. En robotcell kan bestå av fler maskiner som är klassade till sin egen C standard, och roboten kan vara en del av ett integrerat tillverkningssystem vilket beskrivs i Standarden ISO 11161. Ett förhållande mellan de olika robotstandarderna illustreras i Figur 10.



Figur 10: Förhållande mellan robotrelaterade standarder (Svensk Standard, 2010) av.

Den första delen av ISO 10218-1 (Industrirobotar – Säkerhetskrav – Del 1: Robot, 2007) ger förslag på hur säkerheten säkerställs vid design och konstruktion av industrirobotar. Eftersom säkerheten är påverkad av systemintegrationen så täcks integrationsdelen in av den andra delen (Svensk Standard, 2010) av ISO 10218-2. Den andra delen robotstandarden undergår i dagsläget omarbetning och träder i kraft under 2011. Ur ett tekniskt perspektiv så är de största skillnaderna i standarden enligt (Forge & Blackman, 2010):

- *Säkerhetssystem och avstånd* – ett stort steg mot att ta bort behovet av grindar och staket är att, förutsatt att roboten har tillräckliga säkerhetssystem.
- *Nya robotoperationer* – standard för synkroniserade robotar, mobila robotar på automatiskt styra fordon, (AGV'er) och assisterande robotar som samarbetar med operatören på ett gemensamt arbetsområde.
- *Systemsammankoppling* – tidigare standard baserade sin säkerhet på elektromekaniska komponenter medan den senare standarden tillåter komponenter av bästa tillgängliga teknik, programmerbar och nätverksbaserad teknik vilken även inkluderar trådlös kommunikation.

Parallellt så arbetar ”Robotics Industry Association ANSI/RIA R15.06-1999”, USA's motsvarighet till den europeiska robotstandarden med att publicera ett utkast för människa – robot interaktion där huvudpunkterna är följande punkter enligt (Forge & Blackman, 2010):

- *Risikanalyt utifrån fasta regler* – för att identifiera gradera risker utifrån hur allvarliga dessa är.
- *Säkerhetsrelaterad mjukvara* – för mjukvara och systemstyrningar, där alla komponentfel ska leda till ett säkert stopp av maskinen. Alla säkerhetssystem av denna typ ska ha mikroprocessor redundans och självtest.

- *Första säkerhetskraven för fyra nya robot teknologier – trådlösa ”teach pendants”, människa – robotsamarbete, robot till robot synkronisering och bildbehandlings baserad säkerhetsövervakning.*

Sammanfattningsvis så pågår ett omfattande arbete med att skapa flexiblare lösningar med bättre säkerhet som i högre utsträckning kan anpassa sig till aktuell tekniknivå.

4.2 Traditionell uppbyggnad av säkerhetssystem

Staket är det vanligaste sättet att förhindra åtkomst till en robots arbetsområde. Staket hindrar även att detaljer som kan lossna från ett gripdon träffar att lämna det inneslagna arbetsområdet. En kombination av metoder kan användas för att skapa ett effektivt säkerhetssystem, där redundans och reserv system är viktiga system.

Dörr med processlås: Detta är en fysisk barriär runt robotens arbetsområde som består av en dörr eller grind med ett processlås som inte går att klättra över eller krypa under . Processlåset avbryter automatiskt alla pågående robot operationer annan farlig utrustning så fort som grinden öppnas. Processen kan med detta säkerhetssystem återstartas utanför spärrat område efter det att grinden är stängd.

Medvetande görande enheter: Detta är ett system såsom ett lågt staket eller en kedja som definiera ett säkerhetsområde men som enkelt kan passeras. Denna typ av skydd ska endast användas om riskanalysen indikerar att det är minimala risker och där det inte är möjligt att installera säkerhetsstaket. Staket och mekaniska barriärer med processlås används här för att förhindra operatören att exponeras för faror från roboten. Ljud och ljus används uteslutande för att medvetandegöra operatörer men kompletteras alltid med andra säkerhetsåtgärder.

Närvarokännande enheter: De vanligast förekommande enheterna för att tillkännage att en människa är i en industrirobots närhet är säkerhetsmattor, ljusbommar, ljusrådor och laserscanners. En effektiv närvaroavkännande enhet stoppar omedelbart all farlig rörelse när någon del av kroppen tar och närmar en skyddad zon. Kraven på ljusstråleskydd är förhållandevis strikta där de huvudsakliga kraven är en säker stoppfunktion och att dessa inte får vara känsliga för andra ljuskällor och att störningar inte får påverka skyddsfunktionen. Närvarokännande enheter såsom ljusbommar används när det är ont om plats, där det krävs produktionsvänliga skydd som möjliggör transport av material in och ut ur ett riskområde eller när det måste finnas god access för operatören.

Arbetsområdesbegränsning hos robotar: Ett arbetscell kan vara betydligt mindre än en industrirobots fysiska arbetsområde för att till exempel skapa en kompakt och effektiv produktionslina. Om arbetsområdet för en robotcell ska begränsas så kan arbetsområdesbegränsningar bestå av justerbara mekaniska stopp för axel 1, mekaniska/elektromekaniska/elektroniska justerbara stopp för axel 2 och 3 och/eller mjukvarumässig områdesbegränsning för områden i vilken roboten ska befinna sig alternativt inte får befinna sig i. Oavsett om en elektromekanisk, elektronisk, eller programmerbar säkerhetslösning väljs så ska denna uppfylla kategori 3 enligt (ISO 13849-1).

4.3 Robotkontroller relaterad säkerhet

Ett stort steg har tagits ett stort steg i riktning mot att ta bort de begränsningar som fasta mekaniska stopp och elektromekaniska arbetsområdesbegränsningar. Den nya versionen av robotstandarden ISO 13849-1 (performance level d – klass 3) möjliggör att utveckla säkerhetssystem som baserar sig på elektronik- och programvara för att ge säkra och förutsägbara robotrörelser samt övervaka robotens arbets- och skyddsområden. Driften blir därigenom, smidigare, flexiblare och mer ekonomisk.

Med denna typ av säkerhetssystem så går det att skapa kartesiska säkerhetszoner som individuellt kan kombineras som skydds eller arbetsområden, där en säker övervakad hastighet kan anges för varje arbetsområde (Kuka, 2011). Att utnyttja geometriska - och hastighetsbegränsningar i ett säkerhetsområde gör det enklare för operatörer och robotar att samarbeta utan att kompromissa säkerheten, samtidigt som det går att begränsa arbetsrörelserna till exakt de rörelser och/eller hastighet som tillämpningen kräver (ABB Robotics, 2008). Detta ger en kompakt och effektiv arbetscell.

Vidare så har utvecklingen av närvaro och intrångsgivare såsom säkerhetsscanners gjort det lättare att ”se” människor i maskinens arbetsområde och gå in i ett säkert driftsläge. En öppnare säkerhetslösning ger förutom en enklare installation även minskade risker för klämskador.

4.4 Eftergivlighet för ökad säkerhet

Risken med industrirobotar består i huvudsak av att dess kraft, acceleration, hastighet och stora arbetsområde gör att man riskerar att utsätta sig för kläm, slag eller slagskador. För att göra en robot säker så måste dess hastighet och acceleration begränsas till enligt standarden ISO 13849-1 fastslagna hastigheten 250 mm/s för att operatören hinna reagera på oväntade händelser och aktivera trelägesdonet.

En annan metod att göra en robot säker är genom att reducera dess kraft, dess energi och platser i arbetscellen som kan utgöra saxar. En reducerad kraft går att uppnå på robotkontrollernivå, men det går även att uppnå eftergivlighet genom att använda sig av aktuatorer med begränsad kraft som inte är självhämmande. Fördelen med en passiv eftergivlighet är att eftergivligheten inte är beroende på responstiden hos styrsystemet vilket är viktigt när en robotarm arm kolliderar eller utsätts för yttre fysiskt våld. Ett exempel på passiv eftergivlighet är mjölkkningsrobotar där passiv eftergivlighet används för att inte skada kor men även skydda utrustningen när korna sparkar på armen (Andersson & Björnberg).

5 Identifiering av robotapplikationer för sågverksindustrin

Industrirobotar används som tidigare diskuterats som en generell maskin för att kunna hantera olika applikationer och i olika industrigrenar. Huvud fokuset har tidigare framför allt legat mot mekanisk industri, men tillämpningar inom träindustrin har börjat att identifierats.

I de gemensamma diskussionerna har sju applikationer identifierats som kan vara lämpliga att primärt fokusera på för fortsatta robot projekt med olika grader av vision system eller multisensor teknik. Applikationer som har behandlats är:

- Bortplockning / avskrapning av bolster.
- Avströning
- Sortering av strön/bolster samt bortplockning av defekta strön och bolster.
- Palletering
- Påfyllnad av magasin i maskiner
- Diskning, uppmätning, fixturer och magasinering av sågklingor i sliprum
- Emballering och etikettering

Lösamheten och utmaningen i respektive lösning varierar kraftigt beroende på lösning och hur många liknande applikationer som till exempel systemleverantörerna har utvecklat tidigare. En kort sammanfattning av respektive exempel följer i följande kapitel.

5.1 Bortplockning/avskrapning av bolster

Mellan varje virkespaket så läggs vanligtvis ca 4 bolster för att det ska gå att få truckarnas gafflar mellan virkespaketen (Figur 11). Efter torkning och eventuell mellanlagrig lyfts virkespaketen isär och bolstren blir liggande på virkespaketen (Figur 11). När paketen sedan levereras till justerverket och lyfts upp på tilten till avstöningen så kan bolstren fastna och skada anläggningen. Detta försvåras ytterligare att bolstren kan täckas helt eller delvis av snö samt frysa fast.



Figur 11: Bolster på lågt virkespaket

5.1.1 Vad finns idag

Idag plockas bolstren bort manuellt från paketen på Tunadals sågverk innan dessa når tilten för att förhindra skador och driftsstörningar. I anläggningar där bolstren åker tillsammans med ströna så ställer dessa krav på att ströhanteringen även måste kunna skilja av bolster och driftssäkerhet på denna för att undvika att få inblandning av bolster i ströbåarna.

5.1.2 Vilka möjligheter och svårigheter finns idag?

Bra förutsättningar

- Låga krav på toleranser på utrustningen
- Låga kapacitetskrav
- Låga laster på maskinen
- Gott om utrymme för installation av utrustning mellan tilt och yttervägg
- Bra miljö och ljusförhållande om bildbehandling erfordras

Utmaningar:

- Drivsnö på paketen. Bolster är enkla att identifiera men snö som täcker dessa kan försvåra identifiering av dessa.
- Bolster ställer sig på snedden.
- Olika höjd och planhet på paketen.
- Transport ut av bolster.
- Bolster och ströblandning
- Utrymmet för inmatningen och avströningen är inte uppvärmd och temperaturen kan därigenom variera.
- Vanligt att ström fryser eller kådar fast.

5.1.3 Hur går vi vidare med detta område?

En anläggning för avskrapning av bolstren är offererad och beställd (??) av Tunadals sågverk som står vid sidan av inmatningen till tilt och avströningen. I förlängningen så är det önskvärt att integrera denna funktionalitet i inmatningen till justerverket. Denna anläggning är en väldigt bra referens för att se hur en avskrapningsfunktion fungerar på snöbetäckta virkespaket utan att riskera att påverka produktiviteten.

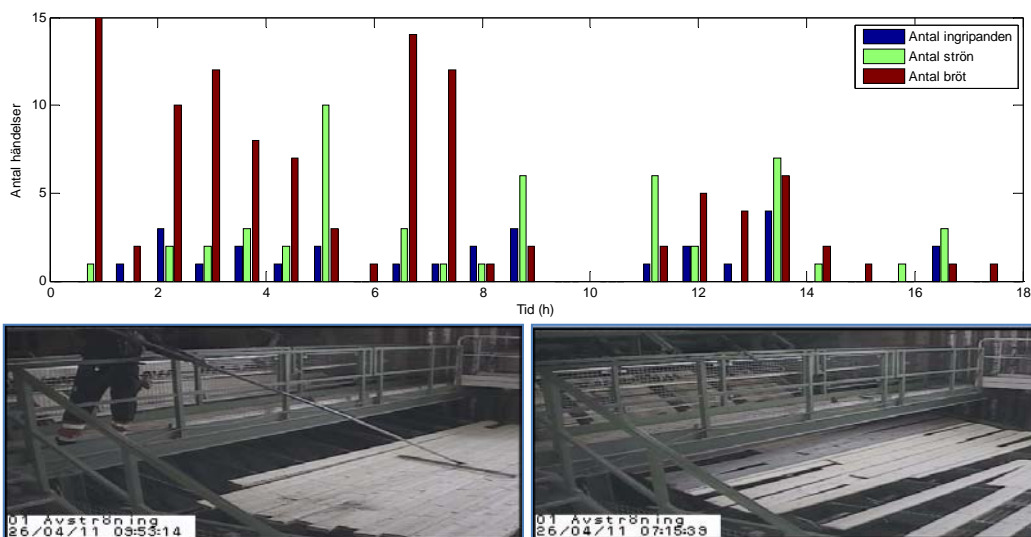
5.2 Avströning

Störningar i inmatningen till ett justerverk eller ett hyvleri ger en direkt påverkan på hela anläggningens produktivitet. Avströning med hjälp av en tilt följt av en stegmatare är nästintill den uteslutande metoden för att avströa och skapa ett virkesskikt. Ett stort antal faktorer påverkar hur väl avströningen fungerar såsom kådlåpor, snö och is, kvalitet på strön, virkeskvalitet etc. Med tanke på att denna metod bygger på att använda sig av gravitationen så blir t.ex. funktionen för avströningen direkt beroende på vilken virkesdimension som avvänds. Det finns en mängd olika metoder att plocka skikt av material från pallar såsom avskraping virkeslager som används av till exempel (OBEL-P Group Brodback & Co. A/S), eller att lyfta hela skikt med hjälp av vakuüm.

Dessa installationer arbetar dock med relativt långa cykeltider, utan ströläggning mellan lagren och relativt plana virkespaket. För robotinstallationen så är totala cykeltiden mellan varje lager ca 5 sekunder inklusive avströning. Dessutom kan det vara lämpligt att kalkylera med lite kortare cykeltid för att kompensera för framtida kapacitetshöjning. Idén i detta förslag är att utvärdera hur tillvida det går att lyfta av skikt för skikt med hjälp av en robot och därefter skrapa alternativt plocka av strölagren. Det är även viktigt att se hur en sådan installation i kombination med 3D sensorteknik och/eller multisensorteknik kan ge ökad produktivitet till reducerad investeringskostnad

5.2.1 Vad finns idag

Vid Tunadals så är det bland annat möjligt att få videologgar på paketintaget, avströningen och skiktet efter avstönningen. Platsen är vanligtvis bemannad och det är därmed möjligt att korrigera fel som uppkommer i samband med avstönningen. För att få en uppfattning om antalet ingripanden som behövs under två skift så analyserades det skiktet efter avströningen för att se hur många ingripanden som görs, hur många strön som följer med efter avströningen och hur många gånger som brädor läggs i kors (Figur).



Figur 2: Ingripande för strö i flödet och överlappande/korslagt virke under två skift.

Första skiftet så kördes kortare brädor och i andra skiftet så kördes brädor som var fem till sex meter. Om man ser till ett medelvärde så kommer det att ske 1.5 ingripanden per timma, 2.8 strön följer med i brädlagret per timma och 6.6 brädor lägger sig i kors eller överlappar varandra per timma. Det senare är aningen vanligare för korta brädor och speciellt när det första brädlagret faller. Vid ingripandena så innebär detta vanligtvis ett stopp på ca 1-3 minuter och ett behov av att ha bemanning på platsen för att bibehålla produktiviteten.

5.2.2 Vilka möjligheter och svårigheter finns idag?

Bra förutsättningar

- Låga krav på toleranser på utrustningen
- Bra lönsamhet både maskinellt och bemanningsmässigt
- Ger en kompakt lösning.
- Låga laster på maskinen
- Gott om utrymme för installation av utrustning mellan tilt och yttervägg
- Bra miljö och ljusförhållande för bildbehandling

Utmaningar:

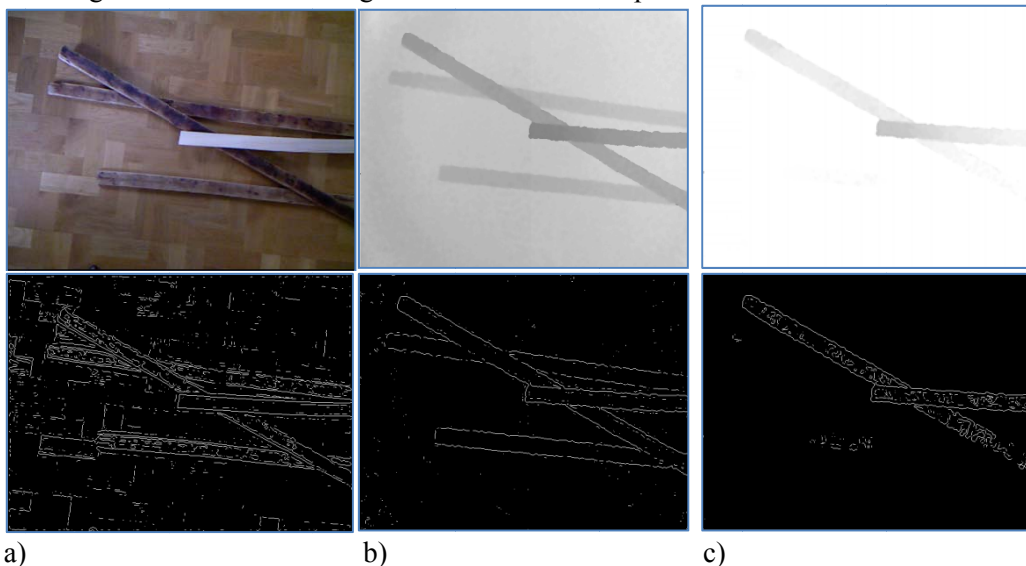
- Takttiden
- Drivsnö på paketen. Vanligt att strön fryser eller kådar fast.
- Korslagda brädor och plank längst uppe på paketen.
- Olika höjd och planhet på paketen med påföljande påverkan på verktygen.
- Ströhantering.
- Utrymmet för inmatningen och avströningen är inte uppvärmd och temperaturen kan därigenom variera.
- Krav på flexibilitet hos verktyget som plockar lagren

5.2.3 Hur går vi vidare med detta område?

Detta arbete går att dela in i tre olika arbetsmoment.

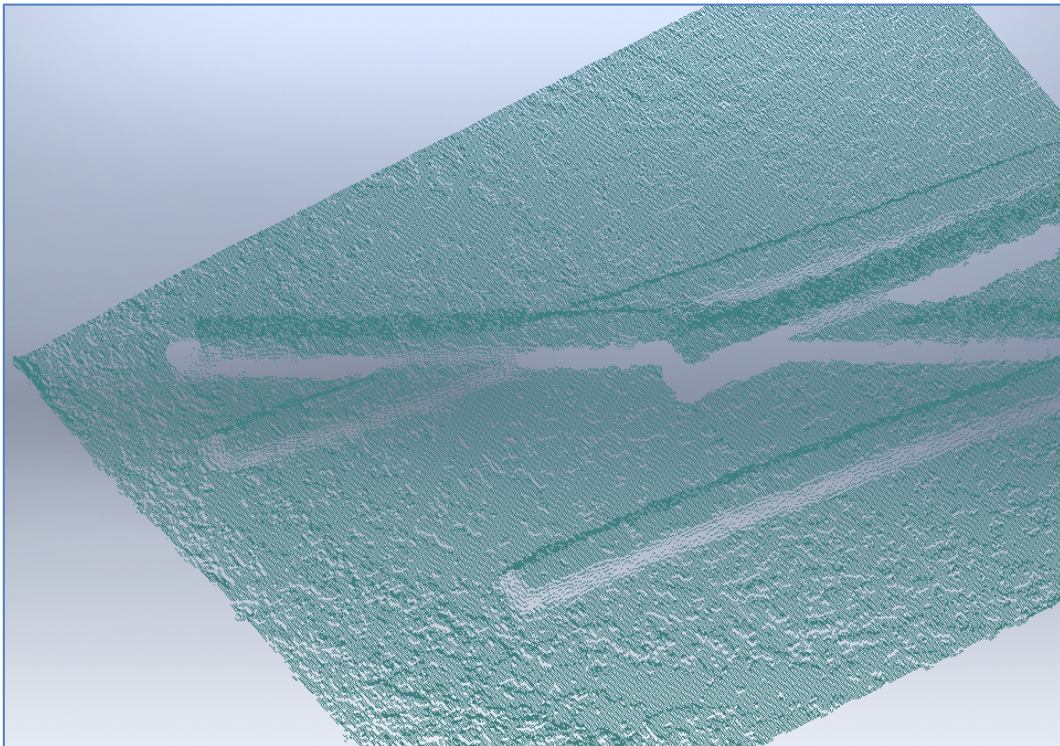
1. Justera existerande utrustning för att minska medföljande strön och bröt, på Tunadal så bör "Avströningsbågen" justeras.
2. Mäta geometri övre skikt på ingående paket med 3D kamera.
3. Utveckla en anläggning för att plocka hela skikt.
4. Utveckla mätutrustning för att detektera strön och/eller bröt tidigt i skiktet efter avströningen med 3D kamera

Det är ganska tydligt att inmatningen av material till justerverk, hyvel, eller liknande är avgörande för hela anläggningens prestanda. Att analysera vilket material vi får in är helt avgörande för en avströninganläggningens prestanda. Att filma och försöka identifiera översta lagret på ingående virkespaket är en bra start, speciellt med tanke på att det är detta lager samt de understa lagren som kan ställa till problem.



Figur 12: Korslagda strön med kantdetektering i nedre bildraden. a) RGB bild. b) Djupbild. c) Djupbild där nedersta lagret är bortfiltrerat.

Trä som ligger på ett lager av trä kan vara svårt att detektera även på grund av att variationen i färg ger otydliga kontraster. För att komma tillrätta med detta problem är en metod att använda en 3D kamera med strukturerat ljus. Figur 12 visar skillnaden mellan att göra en kantdetektering för ett antal korslagda tork strön för en RGB bild i jämförelse med en djupbild tagna med en Kinect 3D kamera. Det går att se att variationerna i ljushet hos fiskbensparketten i bakgrunden i Figur 12 a) ger ett kraftigt bakgrundsbrus. Vid djupbilden i Figur 12 b) försvinner bakgrundsbruset på grund av textur och färgvariationerna i stort sett fullständigt. Djupbilder (Figur 13) ger möjligheten att filtrera eller skära bilden i höjdlid, det vill säga vi kan helt och hållet filtrera det underliggande lagret vilket kan vara ett virkespaket, transportbana eller liknande. Figur 12 c) visar ett exempel där det undre lagret av stön har blivit bortfiltrerat.



Figur 13: Punktmoln av korslagda strön i SolidWorks

Kommersiella 3D kameror har en relativ hög samplingsfrekvens på 30 -80 bilder per sekund med obetydlig belastning på övrig hårdvara, men har lite lägre upplösning. Denna är dock fullt tillräckligt för applikationer som identifiering och positionering av stön och bolster, samt för att detektera objekt som kan leda till allvarigare driftsstörningar.

Efter en intrimning av existerande tilt och avströning så skulle ett första steg vara att rigga en 3D kamera ovanför paketintaget alternativt när paketet är tiltat och lyft. Detta är särskilt intressant på vinterhalvåret när paketen delvis kan vara täckta med snö. Det andra steget är att rigga en 3D kamera efter stegmatoren före det att virkeslagret går in i justerverket.



Figur 14: Exempel på robotanläggning för plockning av lager brädor eller plank.

Bergkvist arbetar med en offertförfrågan på en robotanläggning från Kuka Robotics i samarbete med Teamster. Dessa visade en grov skiss av denna på Lignamässan. Lösningen baserar sig på att bygga en anläggning kring existerande anläggning för att ha en reserv lösning. Tekniken med att lyfta skiktet med vakuum kräver en viss validering för att hantera paket med kortare virkeslängder för att allt för stort vakuumfall inte fås. Provokation av systemet med tillstökning av skikten och genom att testa med olika virkeslängder och formfel ger bra återkoppling om viss mån av aktiv eller passiv eftergivlighet krävs för att plocka virkeslager (Figur 14).

5.3 Sortering av strön/bolster samt bortplockning av defekta strön och bolster

Kvaliteten på strön, bolster, och hanteringen av dessa ger till exempel genomslag på nyttjandegraden hos ströläggare men även övrig ströhantering i anläggningen. Genom att utföra regelbundet underhåll av en ströläggare och leverera rätt sorterade strön till en ströläggare, det vill säga sortera bort avbrutna, krokiga och skruvade strön samt bolster så går det att öka produktiviteten med 18 % (Sjödén & Wikström, 2007). Idén med detta förslaget är att se om en industrirobot med tillhörande vision system kan ersätta eller komplettera konventionell avskiljning av korta och/eller krokiga strön sortera.

5.3.1 Vad finns idag

På sågverken sker den mesta av sorteringen med fast dedikerad automation med avskiljning av korta strön och avskiljning av bolster. Användning av industrirobotar för sortering av material inom andra branscher såsom mekanisk industri, livsmede, etc. har förekommit under lång tid. De flesta större industrirobotleverantörerna och deras systembyggare kan i dagsläget leverera lösningar för att identifiera och sortera ut defekta produkter. Kommersiella system för identifiering, lokalisering och kvalitetskontroll har funnits för styrning av robotar har funnits på marknaden i över 10 år och har blivit allt lättare och snabbare att integrera i nya applikationer. De flesta av dessa system kräver dock att odefinierat material och separeras och matas fram en och en för enklare identifiering, uppmätning och hantering. (Enarvi, 2008) beskriver en algoritm för att detektera dubbelmatning i timmerintaget. Metoden har dock några problem att hitta stockar som ligger bredvid varandra eller stockar som ligger 90° över transportören.

5.3.2 Vilka möjligheter och svårigheter finns idag?

Bra förutsättningar

- Existerande systemlösningar går att applicera
- Går att se fler varianter av defekta strön (korta samt krokiga)
- Rimlig pay-off tid. Indirekt ger detta kraftig ökning av tillgänglighet
- Enkelt att implementera på existerande anläggningar

Utmaningar:

- Takttiden vs behov av räckvidd.
- Färgvariationer på strön kan försvåra identifiering och mätning.
- Varierande klimat.

5.3.3 Hur går vi vidare med detta område?

Vinstpotentialen inom detta område är mycket stor med avseende på ökad tillgänglighet. För att gå vidare är det framför allt viktigt att kartlägga vilken tolerans som krävs på strön för att dessa inte ska leda till driftsstörningar på ströläggaren. Denna information är grundläggande för att ge rätt grunder för att kunna sortera strön med avseende på raket, längd, vridning, etcetera.

Vissa av måtten är enkla att se i 2D såsom längd och krökning på ett strö (**Fel! Hittar inte referenskälla.**), medan vridning är svårare, och kan kräva tredimensionell mätning. Enligt tidigare beskrivning så kan det även vara svårt att detektera om dubbelmatning fås med hjälp av konventionella bildbehandlingssystem. Lite noggrannare försök med uppmätning av strökvalitet med hjälp av en 3D kamera skulle kunna vara en ide, för att se hur dess tolerans klarar av att mäta upp de formkrav som ställs från till exempel ströläggaren.

För att få en uppfattning om lönsamheten, så gör Bergkvist en offertförfrågan på en anläggning hos en underleverantör för att utvärdera en industrirobotlösning kan tävla mot fast automation i fråga om förbättrad kvalitet, tillgänglighet och kostnad.

5.4 Palletering

Palletering förekommer de flesta livsmedelsindustrierna, som till exempel möbel, livsmedel, tillverkande industri, etc. Systembyggare och robotleverantörer de flesta industrirobotleverantörerna erbjuder allt från lösa maskiner till färdiga sortering och paketeringslösningar. Det är därmed möjligt att erbjuda kostnadseffektiva lösningar till ett konkurrenskraftigt pris

5.4.1 Vilka möjligheter och svårigheter finns idag?

Bra förutsättningar

- Väl definierat ingående material.
- Känd applikation
- Existerande systemlösningar går att applicera.

5.4.2 Hur går vi vidare med detta område?

Utrustningen för till exempel Palletering av korta bitar är en ganska enkel applikation. En uppföljning av prestanda och lönsamhet mot konventionell läggare är intressant för övriga applikationer.

5.5 Påfyllnad av magasin i maskiner

Vid en rundvandring på Tunadals justerverket så visades emballeringen och behovet av att fylla på magasinerna för strön och bolster på ett antal platser i produktionen samt behovet av att byta band.

5.5.1 Vad finns idag

I dagsläget görs detta arbete manuellt och kräver bemanning på flera delar av produktionslinan. Materialet ligger i närheten av maskinen för förenklad arbetsituation vid satsning av maskinen.



Figur 15: Material och magasin till bandare

5.5.2 Vilka möjligheter och svårigheter finns idag?

Bra förutsättningar

- Existerande robotsystemlösningar går att applicera
- Går att se fler varianter av defekta strön (korta samt krokiga)
- Rimlig pay-off tid.
- Enkelt att implementera på existerande anläggningar, ingen återkoppling från maskinerna krävs förutom nivågivare på magasin.

Utmaningar:

- Takttiden vs behov av räckvidd
- Färgvariationer på strön kan försvåra identifiering av objekt

5.5.3 Hur går vi vidare med detta område?

Applikationen är ett typiskt exempel där den nya robotsäkerhetsstandarden möjliggör en enklare systemuppbyggnad. Detta innebär att det går att bygga en anläggning utan grindar där roboten saktar in när någon närmar sig maskinens skyddsområde och nödstoppar om operatören kommer så nära att klämrisk föreligger. En operatör kan därigenom satsa in en ny pall med material utan produktionen stannar.

5.6 Diskning, uppmätning, hantering och magasinering av sågklingor i sliprum

Vid byggnaden av ett nytt sliprum så har önskemål och plats skapats för att automatisera lagerhållningen och hanteringen av klingor och stål för att öka kvalitetssäkringen vid om-
postning av delningssågen. Målet är att dessutom att automatisera viss enklare hantering
som diskning av klingor, lastning lossning av fixturer samt mätning och kontroll av
klingor för att minska belastningen på existerande personal.

5.6.1 Vad finns idag

För att uppnå målen med av att serva maskinrummet behövs en kombination av märkning
av klingor, uppmätning av klingorna, hantering och mellanlagring av dessa.

Märkning och spårning av klingor är en mycket effektiv metod för att öka
kvalitetssäkringen. Ett system för att för laser märkning av klingor kan innehålla logo,
produkt beskrivning, artikelnummer, identifikationsnummer produktionsnummer,
etcetera. Data matriser är en tvådimensionell matrissymbolik för att lagra text eller rådata
vilket kan vara ett effektivt sätt att lagra id för klingor. Figur 16 visar ett exempel på en
tvådimensionell datamatris. ISO/IEC 16022:2006 beskriver symboliken bakom data
matriserna, tecken kodning, symbolformat, dimensioner och kvalitetskrav,
felkorrigeringsmetoder, avkodningsalgoritmer (ISO, 2006) (The Global Language of
Business, 2011).



Figur 16: Exempel på 2D datamatris

Hanteringen av klingor är förhållandevis enkel för denna typ av applikation. Utmaningen
ligger i att få en effektiv lagring av klingorna i höglager, längs ett ställ med en robot
monterad på en förskjutningsenhet (KUKA-robotics) eller i ett runt mellanlager
(Swisslog, 2009). Ett visst mått av flexibilitet i fixturer såsom ett använda borstar (Mink-
Büersten) underlättar vid programmering och installation

Kvalitetssäkring och mätning av klingor och verktygs slitage finns beskrivet i litteraturen
sedan den industriella introduktionen av bildbehandlingssystem. Många av de
kommersiella 2D systemen för att mäta kvaliteten på sågklingor liknande (Mumtec,
2011) baserar sig på att mäta geometriska parametrar såsom skärbredd, tand centrerung,
rundning, släpp vinkel etcetera från tre olika riktningar. För lite noggrannare analyser av
verktygsslitaget så går det att analysera profil slitaget genom att analysera den
tredimensionella texturen på verktygs flanken (Lamda Photometric, 2011), (Wyant,
2007).

5.6.2 Vilka möjligheter och svårigheter finns idag

Bra förutsättningar:

- Säkrare sortering av klingor ger indirekt vinst genom säkrare postning
- Bättre disk?
- Långa cykeltider
- Enkla fixturer
- Möjligt att plocka klingor med elektromagneter

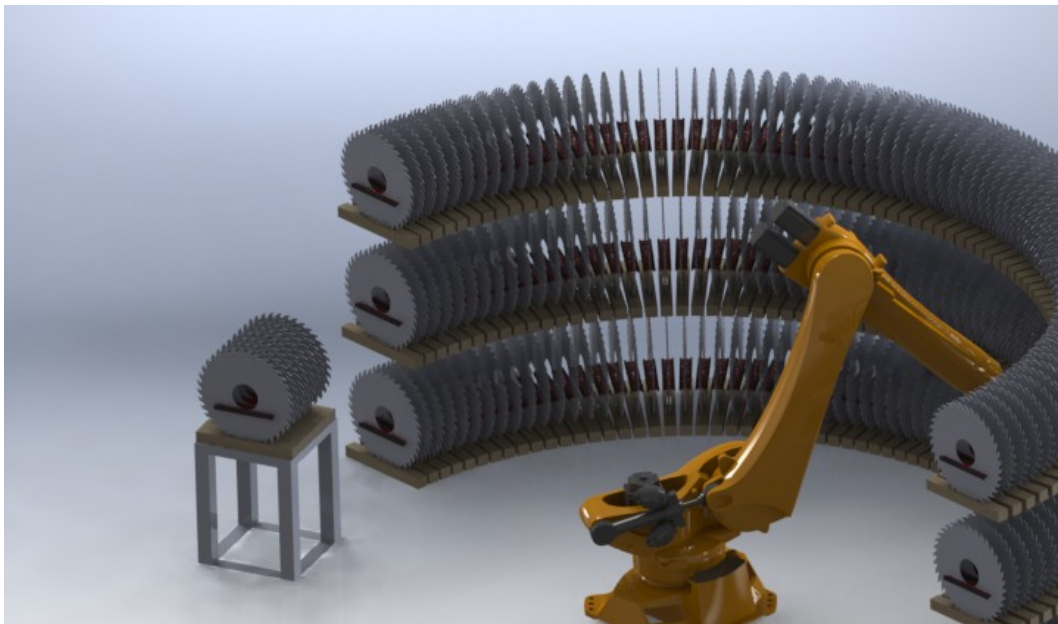
Utmaningar:

- Mätning av klingor till kostnadseffektivt pris
- Koppling databas för klingor mot robotcell

5.6.3 Hur går vi vidare med detta område

Vinsten med denna anläggning är framför allt indirekt genom att minska risken för felpostning. Ytterligare vinster är även att minska tung hantering och minska på avsyningsjobb.

Bergkvist arbetar med att göra en offertförfrågan på en anläggning för hantering. Ett förslag som kom från systemintegratören var att utnyttja sig av ett runt lager för att lagra klingor och skär för att maximalt utnyttja robotens rörelseområde liksom exemplet i Figur 17.



Figur 17: Lager för klingor samt vagn för ompostning

Den enda positionerings osäkerheten är hur noggranna vagnar och positioneringen av dessa är när dessa kommer med material till arbetscellen. Eventuellt kan någon form av positionering eller lokalisering av dessa att behövas.

Applikationen lämpar sig väl för att applicera den nya säkerhetsstandarden med olika säkerhetszoner för att kunna hämta och lämna material/postningsvagnar till cellen utan att bryta automatläget.

5.7 Emballering och etikettering

Emballering är ett personalkrävande arbetsområde där varje virkespaket ska förses med täckplast eller en huv över sig. Beroende på vilken metod och taktid som krävs så kräver detta arbete en bemanning av en till två personer vilka hanterar mellan hundra och hundrafemtio paket per skift. Detta ger en hög belastning på axlar men även en risk i form av att paketen rör sig genom arbetsområdet.

5.7.1 Vad finns idag

Den större delen av emballeringen på sågverk görs manuellt. Valet av täckmaterial består av täckhuvar eller emballageplast på rulle. Figur 18 Visar ett exempel på emballering med huvar. Kravet på halskydd för virkespaket enligt SIS-TS 12:2006 styr i hög grad valet av material och därigenom metoderna för att applicera emballageplast. Det är dock inte enbart emballagematerialet som påverkar valet av automationsgrad för emballeringen. En bred linje av produkter ska levereras med en blandning av olika dimensioner på färdigkapade paket men även kvastpaket skapar ett behov av flexibilitet vid emballeringen.



Figur 18: Emballering av virkespaket med virkeshuvar.

Industrirobotar i förpackningssammanhang samarbetar oftast med emballeringsutrustning såsom sträckfilms och bandningsmaskiner där industrirobotens huvudsakliga roll är hantering av material. Robotinstallationer har dock börjat att etableras på marknaden för att hantera täckmaterial. (Myers, 2009) beskriver ett system för att dra av sträckplast från pallar med hjälp av en industrirobot.

5.7.2 Vilka möjligheter och svårigheter finns idag

Bra förutsättningar:

- Ökad personsäkerhet
- Minskade belastningsskador
- Ökad lönsamhet

Utmaningar:

- Kvastpaket
- Produktvariation
- Embalagematerial

5.7.3 Hur går vi vidare med detta område

Virkesemballering är tacksamt att vidareutveckla hjälpmedel och automation för eftersom detta är ett område där ingående material är väl geometriskt definierat och har ett jämt flöde. Något större behov av sensoråterkoppling ska därigenom inte behövas, men

däremot behövs en återkoppling mot paketläggningen. Försök pågår från några systembyggare att bygga automatisk emballering i sågverk med varierande framgång.

En av strategierna att hantera variationerna vid emballering är att använda sig av sträckplast men detta material saknar några av egenskaperna som krävs för att skapa ett säkert emballage. En vidare undersök om möjlig utveckling av sträckplastmaterial kan vara en utväg.

Att utnyttja sig av en industrirobot för att emballera ett virkespaket kan liknas med att dra på ett emballage med en arm. För att klara av uppgiften så bör samtliga arbetsmoment i emballeringen delas in i delmoment, och materialet ska vikas eller rullas så att den är lätt att hantera med en arm. Det är således enklare att börja med att emballera paket med material från till exempel en rulle och häfta och/eller svetsa ihop detta än det är att trä på en huv.

5.8 Slutsatser

Industrirobotar kan i många sammanhang direkt appliceras i sågverksindustrin med existerande systemlösningar från andra industrisegment. Typiska exempel är palletering, påfyllnad av magasin och hantering av material såsom lagring av klingor.

En ny säkerhetsstandard för industrirobotar gör det enklare att skapa applikationer där människor och industrirobotar kan arbeta i direkt närhet till varandra, som till exempel att köra in nytt material i en robots arbetsutrymme utan att avbryta pågående operation.

För att få en god utnyttjandegrad av utrustningen så krävs en kvalitetssäkring av ingående material såväl som för material i processen. Detta gäller såväl för industrirobotanläggningar som för övrig utrustning. Ett första steg är därmed att hitta problemen innan dessa skapar ett stopp. ToF kameror eller kameror med strukturerat ljus kan här ses som en metod för att identifiera och positionera brädor, plank, strön och bolster i realtid.

Informationen från positioneringen och identifieringen är sedan grunden för hantering, sortering, och utvecklingen av nya produktionsmetoder.

6 Referenser

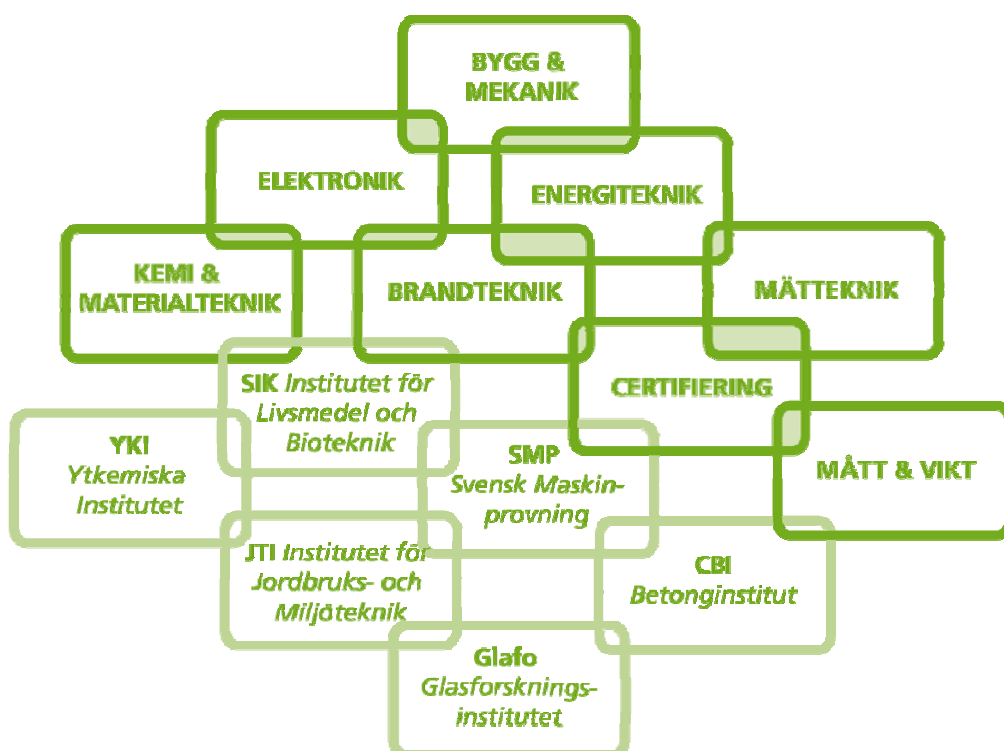
- (u.d.). Hämtat från OBEL-P Group Brodback & Co. A/S:
<http://163672.buildyourownpublisher.com/00005/00024/> den 09 06 2011
- Japan Robot Association. (den 10 02 2011). *JARA Yearly Results*. Hämtat från JARA:
<http://www.jara.jp/e/h/statistics02.html> den 30 06 2011
- ABB Robotics. (den 16 05 2008). *ABB*. Hämtat från SafeMove:
<http://www.abb.com/product/seitp327/ec6cfad87f69dd2dc12572d300775f5b.aspx?productLanguage=se&country=SE> den 11 07 2011
- adept. (den 30 03 2007). *adept*. Hämtat från Six-Axis Robot Configuration Singularities:
<http://www1.adept.com/main/ke/data/procedures/singularity/singularity.pdf> den 14 07 2011
- Advanced Scientific Concepts Inc. (den 28 04 2011). *Advanced Scientific Concepts Inc.*
 Hämtat från 3D Flash LIDAR:
<http://advancedscientificconcepts.com/technology/technology.html> den 19 07 2011
- AIA Association. (u.d.). Hämtat från AIA Association: <http://www.machinevision.co.uk/>
- Andersson, J.-E. (2000). *On the Use of Sensor-controlled Robots for Wood Carving Operations*. Linköping: Linköping University.
- Andersson, J.-E., & Björnberg, A. DeLaval's automatic milking machine – A comparison between pneumatic and hydraulic robotarm.
- BGIA Report. (12 2088). *Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung*. Hämtat från Functional safety of machine control - Application of EN ISO 13849: http://espositoigor.xoom.it/Report_2_2008_INGLESE.pdf#page=19 den 07 07 2011
- Cognex. (den 15 07 2011). *Applications Range Introduction*. Hämtat från Cognex:
<http://www.cognex.com/machinevisionapplications.aspx> den 15 07 2011
- Enarvi, S. (den 16 08 2008). *Marjaniemi*. Hämtat från IMAGE-BASED DETECTION OF DEFECTIVE LOGS:
http://users.marjaniemi.com/seppo/enarvi_2006_masters_thesis.pdf den 15 07 2011
- Fixell, P., Groth, T., Isaksson, M., Zhang, H., Wang, J., He, J., o.a. (2007). *ABB visar bland annat en kommersiell tillämpning på*. Hämtat från ABB:
[http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/008b9ebaf6079dd8c12573d700592aa5/\\$file/22-25%204m799_eng72dpi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/008b9ebaf6079dd8c12573d700592aa5/$file/22-25%204m799_eng72dpi.pdf) den 09 07 2011
- Forge, S., & Blackman, C. (2010). *A Helping Hand for Europe: The Competitive Outlook for the EU Robotics Industry*. Seville: European Commission.
- Health and Safety Executive. (den 10 05 2011). *Health and safety in sawmilling*. Hämtat från Health and Safety Executive: <http://www.hse.gov.uk/woodworking/statistics.htm> den 04 07 2011
- (2007). *Industrirobotar – Säkerhetskrav – Del 1: Robot*. Stockholm: Svensk Standard.
- ISO. (2006). *ISO/IEC 16022:2006 Information technology -- Automatic identification and data capture techniques -- Data Matrix bar code symbology specification*. Hämtat från International Organization for Standardization:
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=44230 den 19 07 2011
- Kuka. (den 07 07 2011). *Kuka*. Hämtat från FORCE TORQUE CONTROL/SENSOR COMMUNICATION: http://www.kuka-robotics.com/sweden/se/products/software/hub_technologies/print/start.htm den 07 07 2011
- KUKA-robotics*. (u.d.). Hämtat från : http://www.kuka-robotics.com/sweden/se/solutions/solutions_search/L_R028_Sorted_by_robot_washed_and_returned_to_the_field.htm den 16 06 2011
- Lamda Photometric*. (den 17 06 2011). Hämtat från Diamond Tool Wear Characterisation: Diamond Tool Wear Characterisation den 17 06 2011

- Leica Geosystems. (den 04 02 2011). *Leica Geosystems*. Hämtat från HDS Laser Scanners & SW: http://www.leica-geosystems.com/en/HDS-Laser-Scanners-SW_5570.htm den 15 07 2011
- Lenz, C., Nair, S., Rickert, M., Knoll, A., Rosel, W., Gast, J., o.a. (2008). Joint-action for humans and industrial robots for assembly tasks. *Robot and Human Interactive Communication, 2008. RO-MAN 2008. The 17th IEEE International Symposium on*, 5.
- Mamaev, I., Tchouchenkov, I., Safronov, K., & Wörn, H. (2008). *Karlsruhe Institute of Technology*. Hämtat från Real-time Framework for Bin-Picking Problem using Advantages of PMD-Technology: <http://www.ipr.ira.uka.de/get.php?id=616>
- Mink-Büersten. (u.d.). *Mink-Büersten*. Hämtat från www.mink-buersten.com 2011
- Mumtec. (2011). *Mumtec*. Hämtat från Kombinierte Prüf-, Spannungswalz- und Richtmaschinen: <http://www.mumtec.de/psr-serie.html> den 19 07 2011
- Myers, G. (2009). *fgwa*. Hämtat från FleetwoodGoldcoWyard Introduces New Robotic Unwrapper: http://www.fgwa.com/pressrelease/documents/FGWRoboticUnwrap_772.pdf den 30 07 2011
- Nextengine. (den 15 07 2011). *Nextengine*. Hämtat från 3D Scanner HD: <http://www.nextengine.com/products> den 15 07 2011
- opto-engineering. (den 22 03 2011). *opto-engineering*. Hämtat från 3D LED Pattern Projectors with 3D LED Pattern Projectors with: http://www.opto-engineering.com/brochure/LT_PRSM.pdf den 15 07 2011
- Piatti, D. (2010). *Academia.edu*. Hämtat från Time of Flight Cameras: test, calibration and multi-frame registration for automatic 3D object reconstruction: http://polito.academia.edu/dariopiatti/Papers/493214/Time-of-Flight_cameras_tests_calibration_and_multi-frame_registration_for_automatic_3D_object_reconstruction den 19 07 2011
- primesense. (den 18 07 2011). *Prime Sensor Reference Design*. Hämtat från primesense: <http://www.primesense.com/?p=514> den 18 07 2011
- SIS. (den 29 06 2011). *SIS*. Hämtat från Träbearbetningsmaskiner och verktyg: <http://www.sis.se/tr%C3%A4teknik/utrustning-f%C3%B6r-tr%C3%A4bearbetning/tr%C3%A4bearbetningsverktyg/sis-tk-247> den 29 06 2011
- Sjödén, M., & Wikström, T. (den 22 02 2007). *Luleå Tekniska Universitet*. Hämtat från Analys av tillgänglighet och Nyttjandegrad vid Bollsta sågverk: <http://pure.ltu.se/portal/files/31072572/LTU-EX-08068-SE.pdf> den 8 Juni 2011
- Stäubli. (den 27 06 2011). *Stäubli*. Hämtat från Stäubli: <http://www.staubli.com/en/robotics/products/6-axis-scara-industrial-robot/specialized-robot/high-speed-machining-robot/rx170-hsm/> den 27 06 2011
- Swedish Standard Institute. (1994). *Svensk Standard, Manipulating industrial robots - Vocabulary*. Stockholm: Swedish Standard Institute.
- Svensk Standard. (2009). *ISO 13849-1*. Stockholm: Svensk Standard.
- Svensk Standard. (2010). *Robots and robotic devices — Safety requirements — Part 2: Industrial robot systems and integration*. Stockholm: Svensk Standard.
- Sveriges Officiella Statistik. (den 09 08 2002). *Sveriges Officiella Statistik*. Hämtat från Arbetsskador 2001: http://www.av.se/dokument/statistik/officiell_stat/ARBSKAD2001_PREL.pdf den 03 07 2011
- Swisslog. (den 10 12 2009). *Swisslog*. Hämtat från Swisslog's logistics industry expertise: <http://www.swisslog.com/wds-br-ism-fb-en.pdf> den 14 06 2011
- The Global Language of Business. (2011). *GSI*. Hämtat från GSI DataMatrix An introduction and technical overview of the most advanced GSI Application Identifiers compliant symbology: http://www.gs1.org/docs/barcodes/GS1_DataMatrix_Introduction_and_technical_overview.pdf 07 2011
- Viager, M. (03 2011). Hämtat från Analysis of Kinect for Mobile Robots: <http://www.scribd.com/doc/56470872/3/Light-Coding-with-the-Kinect> den 19 07 2011

- WINTERSTEIGER*. (u.d.). Hämtat från New Laser Inscription for Saw Blades: <http://www.wintersteiger.com/us/Woodtech/News/62-New-Laser-Inscription-for-Saw-Blades/>
- Vision-Systems. (den 01 09 2008). *Quickpick*. Hämtat från Vision-Systems: <http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-13/issue-9/features/industrial-automation-products/quick-pick.html> den 16 07 2011
- Wyant, J. C. (den 27 03 2007). *The University of Arizona*. Hämtat från Optical Profiler Papers: http://www.optics.arizona.edu/jcwyant/Papers/Optical_Profiler.htm den 17 06 2011
- Yi Liao, D. A. (2010). A Multifeature Approach to Tool Wear Estimation Using 3D Workpiece Surface Texture Parameters. *J. Manuf. Sci. Eng.* 132 .

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 9000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Bygg och Mekanik

SP Rapport 2011:

ISBN

ISSN 0284-5172

Mer information om SP:s publikationer: www.sp.se/publ

Om TräCentrum Norr

TräCentrum Norr finansieras av de deltagande parterna tillsammans med medel från Europeiska Regionala Utvecklingsfonden (Mål 2), Länsstyrelsen i Norrbottens län samt Region Västerbotten.

Deltagande parter i TräCentrum Norr är: Lindbäcks Bygg AB, Holmen Timber, Martinsons Trä AB, SCA Forrest Products AB, Norra Skogsägarna, Setra Group AB, Sågverken Mellansverige, SÅGAB, Sveaskog AB, Luleå tekniska universitet, Skellefteå kommun och Piteå kommun.

En investering för framtiden



EUROPEISKA
UNIONEN
Europeiska
regionala
utvecklingsfonden