



UPPSALA
UNIVERSITET

ISRN UTH-INGUTB-EX-M-2013/29-SE

Examensarbete 15 hp
Oktober 2013

Val av teknik för hastighetsmätning i ett kallvalsverk

Martin Öling



UPPSALA
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
<http://www.teknat.uu.se/student>

Abstract

Val av teknik för hastighetsmätning i ett kallvalsverk

Choice of technology for speed measurement in a cold

Martin Öling

An often encountered problem when implementing a mass flow regulator in a rolling mill is the one with measurement of speed. The most widely used solution is to fit a pulse counter to a wheel that is in contact with the strip. Common problems with this design are for instance scratch marks on the strip and problems with the flatness measuring system. One way of circumventing the aforementioned problems would be a non-contact measuring system. The market of today only offers systems based on the Doppler principle.

This report evaluates three different systems for non-contact speed measurement. Important areas in the evaluation have been the ability to operate under normal rolling conditions, integration in existing control system and how well the sensor can be fitted to the rolling mill. The potential gains and possibilities for improvements have also been evaluated.

To be able to calculate the possible earning potential of the implementation of a mass flow regulator it's very important to know how much scrap the rolling mill in question generates. The approximation showed that the average loss is 250 kg per coil which equals 2,5 % of the weight of a full size coil. It's possible to improve this number with a perfectly tuned mass flow regulator. Focus for the near future ought to be on designing a solution for measuring speed with existing components with a Laser-Doppler system as a backup plan.

Handledare: Christer Lindblom
Ämnesgranskare: Claes Aldman
Examinator: Lars Degerman
ISRN UTH-INGUTB-EX-M-2013/29-SE

Sammanfattning

Ett av problemen man stöter på då man försöker implementera massflödesreglering i ett valsverk handlar om hastighetsmätningen. En standardlösning för hastighetsmätning är att ha ett hjul med en pulsräknare som ligger an mot plåten. Problem som kan uppstå vid hastighetsmätning med denna metod är bland annat att hjulet kan repa materialet som processas i valsverket alternativt påverka planheten. Vidare kan det generera felaktiga mätvärden då det ibland slirar mellan plåten och själva hjulet. Höga accelerationer eller inbromsningar är exempel på situationer då slirning kan uppstå. Ett sätt att kringgå dessa problem skulle kunna vara att använda sig av någon typ av beröringsfri metod för hastighetsmätning. På markanden finns idag bara ett konkurrenskraftigt alternativ för beröringsfri hastighetsmätning. Metoden går ut på att mäta frekvenser hos reflekterat laserljus och bygger på Dopplerprincipen.

Den här rapporten granskar tre olika alternativ för beröringsfri hastighetsmätning som alla kan vara intressanta för det aktuella valsverket. Genom kontakter med återförsäljare och tillverkare har material insamlats och de olika alternativen jämförts med avseende på olika egenskaper. Därefter har anställda på AvestaPolarit AB Thinstrip intervjuats och en utvärderingsmall sammanställts som använts för att utvärdera de olika förslagen. Egenskaper som är viktiga är bland annat noggrannhet, förmågan att kunna mäta korrekt i befintlig arbetsmiljö, integreringsmöjligheter i valsverkets styrsystem och möjligheten att montera sensorhuvudet i maskinen. Eventuell vinst- och förbättringspotential har också utvärderats.

För att kunna skatta de eventuella vinsterna med installation av ett system för beröringsfri hastighetsmätning så är det essentiellt att veta hur mycket skrot som valsningsprocessen i det aktuella valsverket genererar som det är konfigurerat idag. Detta visade sig vara relativt svårt att skatta men en approximation som tros fungera dugligt har hittats. Den visade att processen genererar, i storleksordningen 250 kg skrot på ett fullstort (ca 9 ton) band vilket motsvarar ca 2,5 % av vikten. Denna siffra går att putsa lite med en väl intrimmad massflödesreglering. Fokus inför framtiden bör dock ligga på att designa en fungerande hastighetsmätning utifrån befintliga idéer i första hand och med utrustning för beröringsfri mätning i andra hand i andra hand.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	3
1.3	Målsättning.....	3
1.4	Avgränsningar	3
1.5	Metodik	3
2	Förstudier	5
2.1	Tillgänglig teknik	5
2.2	Undersökning av markanden för beröringsfri hastighetsmätning.....	6
2.3	Studiebesök 1, Surahammars Bruk i Surahammar.....	7
2.4	Studiebesök 2, Comital i Skultuna	9
3	Utvärdering av alternativen	11
3.1	Noggrannhet hos lasermätare	11
3.2	Noggrannhet hos befintligt mätjul.....	11
3.3	Jämförelse av noggrannhet och repeterbarhet för alternativen	12
3.4	Design.....	13
3.4.1	Alternativ 1 LDV-systeme	13
3.4.2	Alternativ 2, Polytech.....	13
3.4.3	Alternativ 3, Vollmer	14
3.4.4	Befintlig mätutrustning	14
3.5	Installation	14
3.5.1	Alternativ 1 LDV-systeme	15
3.5.2	Alternativ 2 Polytech.....	15
3.5.3	Alternativ 3 Vollmer	15
3.6	Kommersiella skillnader i offerterna.....	15
3.6.1	Alternativ 1 LDV-systeme	15
3.6.2	Alternativ 2 Polytech.....	15
3.6.3	Alternativ 3 Vollmer	16
3.7	Demonstration	16
3.8	Integration i befintligt styrsystem	16
3.8.1	Noggrannheten i styrsystemet	16
3.8.2	Hastighetsförändringar	17
3.8.3	Alternativ 1 LDV-systeme	18
3.8.4	Alternativ 2 Polytech.....	18
3.8.5	Alternativ 3, Vollmer	18
4	Besparingspotential genom minskning av processkrot	19
5	Investeringskalkyl	23
5.1	Skattning av investeringskostnaden	23
5.1.1	Alternativ 1, LDV-systeme	23
5.1.2	Alternativ 2, Polytech.....	23
5.1.3	Alternativ 3, Vollmer	23
5.2	Beräkning av k_{nvs}	24
5.3	Beräkning av driftskostnader	24
5.4	Beräkning av underhållskostnader	24
5.5	Beräkning av LCC för alternativen	24
5.6	Beräkning av intäktsökningen	25
5.7	Beräkning av LCP	26
6	Diskussion	27

7	Slutsats	28
8	Rekommendationer	29
9	Referenslista	30

Förord

Detta fristående arbete fungerar som avslutande del för utbildningen i maskinteknik med inriktning produktionsteknik vid Uppsala universitet. Rapporten kan sägas bestå av två delar, den första delen behandlar de olika system för beröringsfri hastighetsmätning med laser som finns på marknaden idag. Den andra delen har som ambition att reda ut om några vinster finns att hämta i och med implementeringen av ett väl fungerande sådant system. Jag vill även passa på att rikta ett tack till mina kontorsgrannar Håkan Morelius, Lars Olov Nordholm och Jens Blomqvist, de har hjälpt mig med allt från svar på, ibland, bökiga frågor till mindre administrativa problem. De personer som tagit emot mig på studiebesök och guidat mig på dessa förtjänar också ett omnämmande. Dessa är, i ingen speciell ordning, Tomas Kuhs på Comital i Skultuna, Torbjörn Eriksson på Surahammars bruk i Surahammar och Gunnar Bengtsson på First Control i Västerås. Sist men inte minst vill jag rikta ett tack till mina båda handledare Lars Degerman för att han fick mig att inse vikten av en väl formulerad projektplan och Christer Lindblom för hjälp med allt från logmaterial till tips om vart det kan vara lämpligt att vända sig med funderingar.

1 Inledning

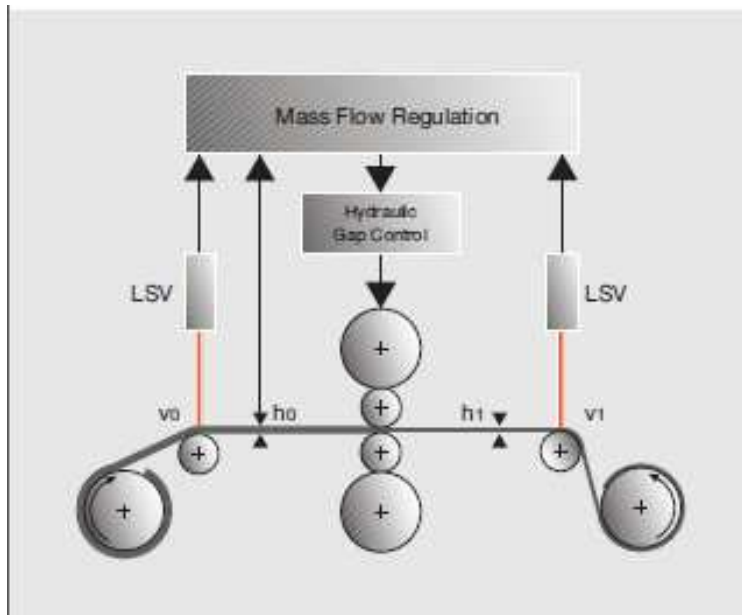
1.1 Bakgrund

AvestaPolarit Thin Strip AB är beläget i Långshyttan och tillverkar rostfria precisionsband med snäva toleranser. Dimensionsområdet på bredden är 10 mm upp till ca 850 mm och tjockleken varierar från 0,15 upp till 4 mm. Fabriken kan sägas bestå av tre avsnitt, valsning, värmebehandling och färdigställning. En bild på råvaran syns nedan:



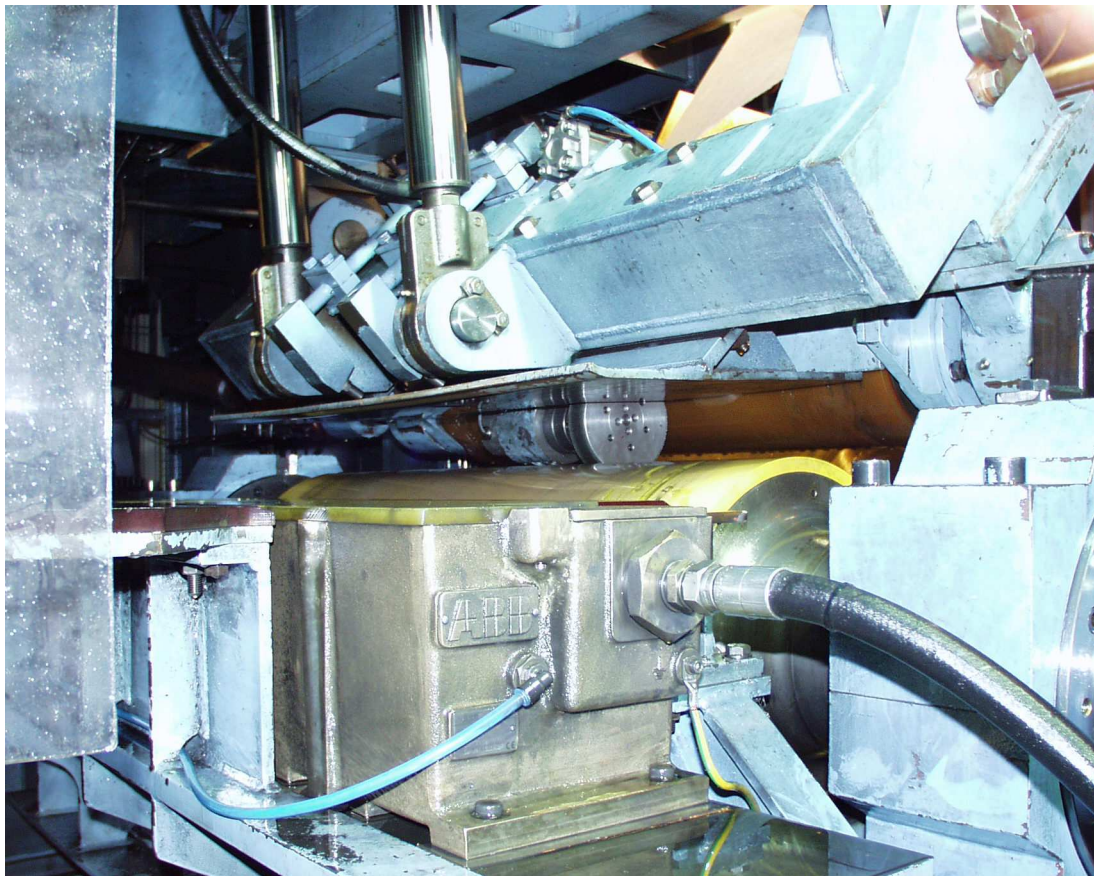
Figur 1, bild råband

I dagsläget arbetar ca 250 personer i fabriken. Att ständigt utveckla verksamheten är nödvändigt för att överleva i en bransch med hård konkurrens. Ett sätt att öka vinstmarginalerna är reducera mängden processkrot och ett sätt att göra det på är att jobba med att nå önskad tjocklek i valsningsprocessen så fort som möjligt. Det vill säga att sträva efter att hålla så stor del av ett band som möjligt innanför tjocklekstoleranserna. Den typ av reglering som snabbast svänger in mot tolerans heter massflödesreglering och den är beroende av en stabilt fungerande hastighetsmätning. Vid reglering enligt massflödes-principen är hastighet före och efter valsspalten samt tjocklek före och efter valsspalten de viktigaste parametrarna. Principen för massflödesreglering förklaras av bilden nedan:



Figur 2, bild av process beskriven som massflöde

Det hastighetsmätningssystem som används i Långshyttan idag är av standardtyp, dvs. ett hjul som ligger an mot plåten i valsverket. Hjulet ifråga syns i bildens mitt nedan:



Figur 3, bild av mät hjulet

På hjulets axel sitter det skivor med hål i som belyses av en ljuskälla och bakom skivan sitter det en optoelektrisk mottagare. Detta genererar pulser som sedan matas in i valsverkets reglersystem då detta står i läget för massflödesreglering. Det största problemet med befintlig

metod för hastighetsmätning är att det sätter planhetsregleringen ur spel samt riskerar att repa plåten.

1.2 Syfte

Syftet med det här examensarbetet är att se vilka alternativ som finns till befintlig utrustning för hastighetsmätning och påvisa vilken ekonomisk potential som eventuellt finns i en fungerande reglering enligt massflödesprincipen.

1.3 Målsättning

Målsättningen är att presentera ett konkret förslag för ombyggnad av hastighetsmätningen, antingen genom installation av ny teknik eller genom ändring av befintlig installation samt presentera och beräkna besparingspotentialen. Föreslagen lösning skall uppfylla ställda krav på noggrannhet, integrationsmöjlighet i befintligt styrsystem och underhållsmässighet. Slutresultatet skall kunna användas som beslutsunderlag vid investeringsmöte och presenteras därför också som en LCC/LCP-kalkyl.

1.4 Avgränsningar

Man kan även reglera enligt Feed Forward och Feed Backwards-principerna. Men då hastigheten är mindre viktig i dessa fall och man strävar efter att reglera enligt MFC så kommer inget utrymme att ägnas åt dessa valsningsmodeller.

1.5 Metodik

Projektet kan sägas bestå av fyra delar:

- Förstudie – vilka alternativ till befintlig konstruktion finns
- Utvärdering av alternativen
- Beräkning av besparingspotential
- Kontroll om en eventuell investering bär sig ekonomiskt

Ett normalt förfarande vid inköp av sofistikerad mätutrustning, som i det här fallet, är att insamla kunskap om vilka leverantörer som marknaden har att erbjuda samt om deras system. Applikationen som utrustningen skall användas i måste också studeras med avseende på modifieringen. Detta för att kunna jämföra de olika alternativ som är tänkbara med avseende på befintlig arbetsmiljö. Ingressen till detta projekt gick alltså ut på att, med tillgängliga medel (läs Internet), ta reda på vilka företag som tillverkar beröringsfri hastighetsmätning.

Efter utförd förstudie så utvärderas alternativen enligt ett antal parametrar som bedömts som viktiga för att ta hänsyn till för att ett byte av mätmetod skall förflyta smidigt. En investering måste också bära sig ekonomiskt varför besparingspotentialen måste beräknas.

Detta görs genom att skatta hur mycket skrot som processen genererar och beräkna hur mycket bättre den antas bli med massflödesreglering.

Slutligen ställs den besparingen mot en investeringskostnad i en LCP-kalkyl som påvisar om interna krav på lönsamhet uppfylls.

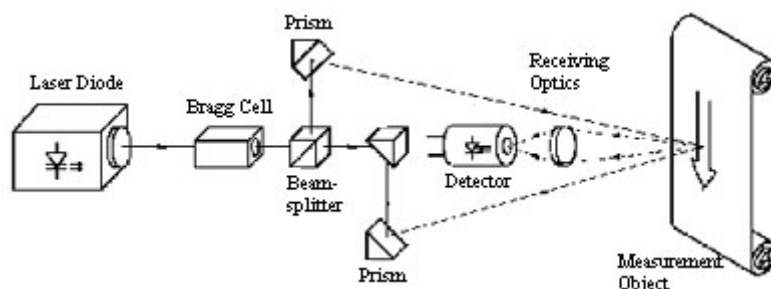
2 Förstudier

2.1 Tillgänglig teknik

Befintlig mätmetod med optoelektriska givare kopplade till en rulle med känd diameter är vanlig. Problemet med denna metod ligger inte i själva mätprincipen, den är väl beprövad och tillförlitlig. Dock så finns det andra problem vid hastighetsmätning med mätjul när installationen ser ut som i Långshyttans Mitsubishi-valsverk.

Givetvis finns problemet med friktionsförluster som gör att hjulet slirar och mäter felaktigt. Vidare så applicerar man en kraft, i det här fallet 100 N, detta kan, vid valsning av tunna tjocklekar, resultera i att planhetsmätningen blir felaktig eftersom hjulet trycker på rullen som mäter planheten. Hjulen är också belagda med en gummibeläggning, denna slits naturligtvis och kan i värsta fall repa plåten och på så sätt påverka kvaliteten negativt. För att komma runt problemet som beskrivs ovan måste man mäta hastigheten beröringsfritt. Det är möjligt med ett system som mäter skillnad i frekvenser hos laserljus.

En principskiss över hur ett sådant system ser ut är inte speciellt komplicerad och utmärkt att använda som utgångspunkt i en noggrannare beskrivning:



Figur4, principskiss över ett system för beröringsfri hastighetsmätning

Tekniken går alltså ut på att man delar på en laserstråle med en prisma och sedan mäter ljuset som reflekteras av mätobjektet med hjälp av en detektor som är placerad enligt bild. Linsen framför detektorn används för att samla ihop ljuset och förstärka det för exaktare avläsning. Dopplers princip, som den här metoden bygger på, säger att om något (laser, radar, etc.) med en viss frekvens riktas mot ett objekt i rörelse så har det som reflekteras en s.k. dopplerskiftad frekvens (Letokhov & Chebotayev, 1977). Sedan mäter man frekvensdifferensen som vanligtvis ligger i området några tiotals megahertz och räknar om den i till hastighet i någon form av processor. Det ingår även en apparat som kallas braggcell (inte alltid) i systemet, dennas funktion är att den, tillsammans med prismet, inte bara delar strålen utan också introducerar ett frekvensskifte mellan de två strålarna för att man ska kunna se i vilken riktning det man mäter på går samt kunna mäta hastigheten noll. Grundstenen vid hastighetsmätning enligt metoden ovan är givetvis själva lasern (Milonni Eberly, 1988).

Denna kan vara konstruerad på lite olika vis, antingen kan det vara en diodlaser som är en variant på en fast-tillståndslaser, alternativt en Helium-Neonlaser som, vilket namnet antyder, använder sig av gas för att generera laserljus. Det som skiljer dessa två varianter åt är, förutom konstruktionen, våglängden på ljuset de skickar ut. En Helium-Neonlaser har vanligtvis våglängden 6328 Å medan en diodlasers våglängd kan varieras i större utsträckning beroende på vilket medium som används, i denna och liknande applikationer är en våglängd

runt 6700 Å vanlig. En annan skillnad som bör belysas är att vissa konstruktions- samt lasertekniska detaljer gör att kvaliteten på ljuset från en Helium-Neonlaser är ”bättre” än ljuset från en diodlaser. Konkret innebär det att koherensen och monokromiteten är högre hos andra lasertyper än diodlasern (Milonni, Eberly 1988). Den vanligaste invändningen mot lasersystem i industriell miljö torde vara den om smuts i och med all optik som behövs (Milonni Eberly, 1988).

Själva synpunkten är helt riktig. Lasrar och optik är mycket smutskänsliga. Laserstrålen kräver fritt ”synfält” till mätobjektet. Linsen måste hållas ren för att inte felaktiga mätvärden skall erhållas. Vidare måste sensorhuvudet (dvs. själva lasern) monteras med stor noggrannhet. Följden blir att ett mätsystem enligt beskrivningen ovan inte kan användas överallt eftersom det inte skulle fungera tillfredställande samt förmodligen gå sönder om omgivningarna blev alltför aggressiva. Själva poängen är dock att man, i och med de i apparaturen inbyggda skyddssystemen, kan använda teknik för beröringsfri hastighetsmätning i kallvalsverk och också gör det på många håll. Sensorhuvudet måste monteras på ett fixt avstånd (varierar mellan 250 och 2000 mm beroende på modell och tillverkare) samt vinkelrätt mot mätobjektet. Detta sker dock på ett enkelt vis med plattformar som kan justeras i tre dimensioner. Renhållningen av linsen sker med hjälp av tryckluft. Vidare så är huset som innesluter laseroptiken tillverkad enligt IP 65 eller bättre. Detta innebär att husets motstånd mot vatten kan betecknas som varierande från spolsäkert till vattentätt (graden betecknas av den sista siffran). Vidare så är huset dammtätt, vilket den första siffran skvallrar om. Temperaturen gör sig påmind runt 40° Celsius, betydligt högre temperaturer är dock möjliga då alla system på marknaden är förberedda för kylning med vatten, eller i vissa fall andra medium. Gällande störningar i själva mätningen så kompenseras dessa för av den processor/mätvärdesomvandlare som medföljer apparaturen. På denna punkt går det att skönja vissa olikheter mellan de olika system som finns, några leverantörer har implementerat matematiska algoritmer för att kompensera för störningar, andra inte osv. För att summera: de störningsreducerande åtgärderna som vidtagits från tillverkarnas sida varierar både i form och i förfining. Det framfördes även en del funderingar rörande mätobjektets blankhet. Detta är troligtvis inte ett problem. Rent teoretiskt så är det riktigt, en perfekt spegel (reflektion lika med 100 procent) skulle sätta mätfunktionen ur spel. Detta beror på att det inte skulle bli någon skillnad i frekvens om reflektionen var fullständig, vilket i sin tur innebär att inget av intresse skulle finnas att läsa av i mätapparaturen. Även om det gjorde det så skulle det räcka med att det perfekta objektet vistades i rumsmiljö för en bråkdel av en sekund för att det skulle vara så smutsigt att det inte längre kan betraktas som perfekt. Mot bakgrund av ovanstående är det nu dags att noggrannare studera de olika tillverkarna och deras system samt vad man eventuellt kan förvänta sig för vinster.

2.2 Undersökning av markanden för beröringsfri hastighetsmätning

Det stod klart på ett mycket tidigt stadium att ett system för beröringsfri hastighetsmätning som använder sig av laser-dopplerteknik var det enda alternativet till befintlig pulsgivarteknik. För att kunna jämföra de olika systemen med avseende på pris och andra egenskaper som är relevanta för sammanhanget skapades en matris i form av ett excel-mall där de egenskaper som verkade vara viktigast fördes in.

Näst led i urvalsprocessen var att kontakta de olika företagen eller deras återförsäljare. Ett misstags begicks, lyckligtvis inget allvarligt sådant, då en firma i Tyskland kontaktades först och sedan deras Skandinaviska återförsäljare. Material i form av offerter, tekniska

specifikationer och produktblad samlades ihop och sammanställdes. Materialet studerades och sammanfattades i ovan nämnda excel-mall. Efter den första sorteringen så återstod tre alternativ att välja bland, dessa är sammanfattade i bilaga ett till tre. För att bekräfta att apparaturen fungerade enligt specifikation och se hur en installation kan se ut i verkligheten så planerades ett antal studiebesök. Planen var ett besök per system, dvs. tre besök sammanlagt. Detta visade sig vara svårt då en firma, Vollmer, inte hade sålt något system till Sverige. I förberedande syfte skrevs de frågor och funderingar som studiebesöket förväntades besvara ner på papper och medfördes som underlag vid fabriksbesöket, detta frågeblad finns bifogat som bilaga fyra.

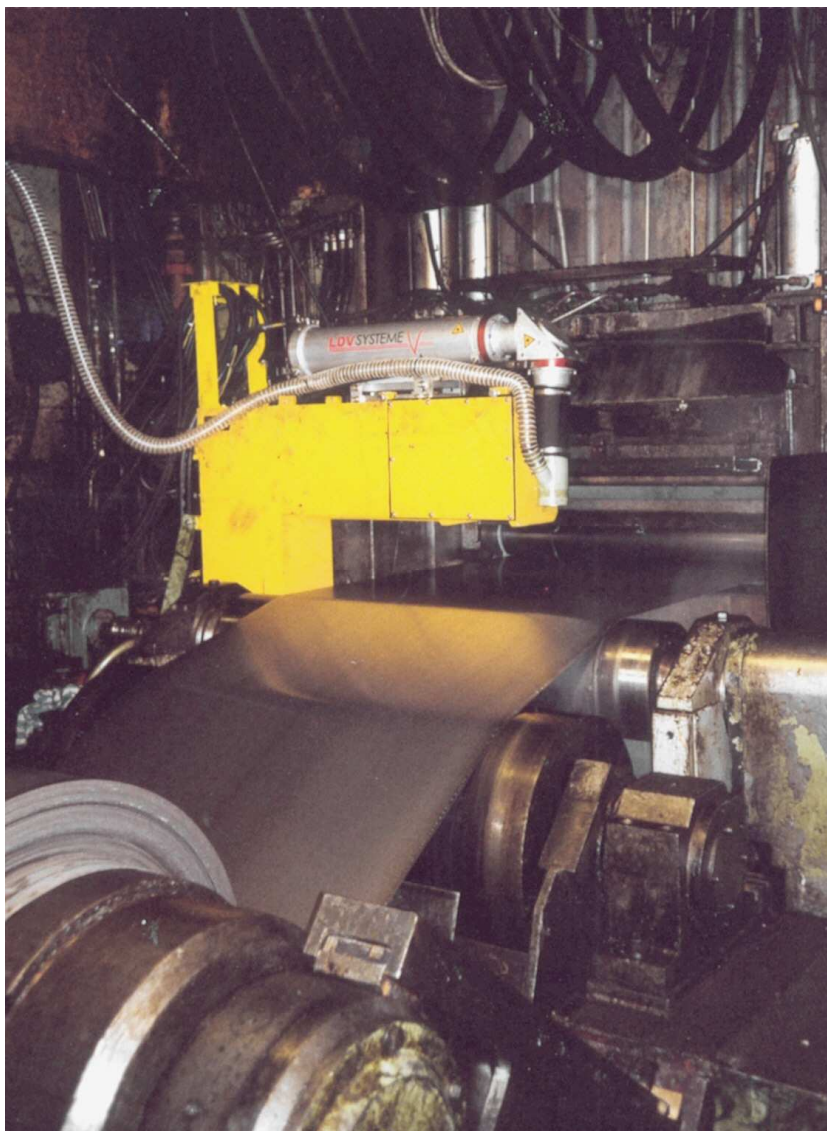
2.3 Studiebesök 1, Surahammars Bruk i Surahammar

Först ut var Surahammars bruk som är ett kallvalsverk som använder sig av en Velemeter modell A från LDV-systeme i Tyskland. Systemet ifråga ser, i alla fall på papper, ut att vara mycket stabilt. Det har en riktig Helium-Neonlaser som är känd för att emittera "bättre" laserljus än en vanlig diodlaser. Vidare har den IP 67 kapsling på mät huvudet vilket är lite säkrare än konkurrenternas lägre klassningsgrader. Mät huvudet ser mycket robust ut med sitt rostfria hölje. Systemets exakta specifikationer finns att läsa mer om i bilaga ett som är det excel-mall där LDV-systemes hastighetsmätare är införd. Mannen som stod för rundturen på Surahammars bruk heter Torbjörn Eriksson. I Surahammar valsar man plåt som är mycket spröd med snäva toleranser och lasersystemet från LDV-systeme spelar en mycket stor roll i de goda resultat man kan uppvisa, allt enligt Torbjörn. Man kommer ner i rätt tjocklek mycket snabbt (när stödvalsens snurrat ett varv) och sparar därigenom ca 10 meter plåt som tidigare var tvungen att klippas bort. Detta fenomen har delvis sin förklaring i verkets design, där en haspeltrumma är placerad förhållandevis långt ifrån själva valspalten. Oavsett detta så kan man alltså märka en tydlig skillnad i antal godkända bandmeter tack vare den snabbare reglering som kom med installationen av lasersystemet. Verket var även mycket vältrimmat innan man började använda sig av massflödesprincipen för styrning av verket. En liknelse får illustrera hur personalen upplever införandet av den nya styrningen: "Förut gjorde vi ett bra lopp, nu för tiden har vi en utmärkt start i kombination med ett lite vassare lopp" (Torbjörn Eriksson fritt tolkad). Man kan även notera bättre kvalitetsutfall som en av vinsterna. Angående mätutrustning i allmänhet så hävdar Torbjörn att lasermätarna inte är den utrustning som står för störst antal stopptimmar utan att tjockleksmätarna innehar förstaplatsen på den listan vilket tyder på att laserns funktion är stabil. Torbjörn tror också att faktumet att utrustningen använder sig av en riktig Helium-Neonlaser är en orsak till den höga tillförlitlighet och precision som utrustningen står för. Men som bekant har även solen sina fläckar.

Det finns problem och brister hos system för beröringsfri hastighetsmätning och även om de inte är av allvarlig natur så måste de naturligtvis redovisas. Torbjörn belyser ett par saker som är värda att notera. Lasermätarna mäter relativt exakt och registrerar även snabba accelerationer, detta är vanligtvis en fördel men kan under speciella omständigheter vara till nackdel. Materialet som valsas i Surahammar är, som sagt, mycket sprött. Detta medför att man ibland får lösvarv på verkets ingångssida vilket i sin tur leder till att plåten "hoppas till" när man sedan valsar ut lösvarvet. Med hastighetsmätning av standardtyp (läs mät hjul) så kommer inte störningen i hastighet att registreras eftersom de inte hinner med och problemet kan hanteras. En lasermätare däremot, hinner registrera den dramatiska ändringen i hastighet och sätter därigenom hela reglersystemet ur spel. Detta problem avhjälper man enklast genom att bygga in säkerhet i styrsystemet, man programmerar det helt enkelt så att man inte tillåter det att använda hastighetsvärden som avviker mycket från det normala. Alternativt kan man, om man misstänker att bandet kommer generera lösvarv, redan från början koppla ur

hastighetsmätarna och valsa på traditionellt vis. Problematiken med lösvarv är dock obefintlig i Långshyttan. Man har även vissa problem med miljön i vilken lasern arbetar i Surahammar. Instrumentluften som håller laserns synfält fritt klarar för det mesta att blåsa rent. Det finns även ett sekundärt renblåsningssystem, detta är till för att hålla mätytan ren. Här har man vissa problem som grundar sig i att man ibland får så kallade sjöar på plåten, dessa blir ibland så stora att de inte kan blåsas bort helt. Sjöar kan sägas vara stora mängder emulsion på plåten. Detta leder dock sällan till några allvarliga problem men är ändå någonting man försöker råda bot på. Den rök och dimma som uppstår under valsning är, enligt Torbjörn, inte ett problem. Noteras bör, att under mitt besök rådde gynnsamma förhållanden med låg luftfuktighet utomhus samt relativt ”snäll” valsning. Torbjörn, som tidigare arbetat i Långshyttan, instämde i bedömningen att de mest harmlösa valsningsförhållanden som uppstår i Surahammar är lika aggressiva som de mest extrema fall av olja på plåten samt rök/dimma som kan uppstå i Långshyttan. Det bör även tilläggas att det naturligtvis kan hända saker som är svåra att hantera. Exempel på sådana är bandbrott som träffat lasern och skadat den och brott på kylslangar. Trots att lasern måste monteras med relativt stor precision så är det inte ett allvarligt problem om den får en smäll och måste justeras in igen, proceduren tar någon timme. Gällande brottet på kylslangen så resulterade detta i att man var tvungen att tömma ut vattnet och göra rent optiken varefter man kunde återuppta produktionen igen. Rörande underhåll i största allmänhet så är rengöring av optiken en gång i veckan (fast UH-stopp) den enda åtgärd som man anser behövs. Det enda man inte är riktigt nöjda med i Surahammar är placeringen av mätarna samt elskåpets design.

Som man kan se på bilderna nedan så är mätaren monterad ovanpå tjockleksmätarens C-ram.



Figur 5, installerad mätare i Surahammar

Det som sticker ner är inget annat än en option som består av ett rör med en spegel i, vilket tillåter horisontell montering av mätaren. Man valde denna lösning eftersom valsverkets design inte tillät något annat. Denna montering är dock något som Torbjörn avråder från. Han rekommenderar att mätaren monteras vertikalt med en skyddsplåt med ett hål i (som lasern tittar genom) monterad under mätaren. Detta för att förebygga skador på utrustningen vid ett eventuellt bandbrott. Gällande elskåpet så är det för trångt vilket medför att man måste ha dörren öppen för att elektroniken inte ska bli för varm vilket i sin tur medför att man exponerar den för smuts vilket naturligtvis är helt oacceptabelt. Den skåpmodell som numera används är förbättrad och värmeproblematiken bortbyggd.

2.4 Studiebesök 2, Comital i Skultuna

Studiebesök nummer två avlades hos Comital i Skultuna, de använder sig av Polytechs lasersystem. Tomas Kuhs förevisade utrustningen. I Skultuna valsas aluminium som används av förpackningsindustrin. Man arbetar bara med två olika legeringar och mot två sluttjocklekar. Detta gör att produktionen i stort sett är helt homogen varför utrustningen kan sägas arbeta under konstanta förhållanden. Temperaturen utomhus och luftfuktigheten kan dock spela en mindre roll men aldrig påverka så mycket att utrustningens funktion riskerar att

sättas ur spel. I och med att så små tjocklekar valsas hos Comital (sex respektive nio mikrometers sluttjocklek) så är reglerfilosofin en annan än i exempelvis Långshyttan. Den går ut på att valsspaltens gap är konstant i varje stick och man ändrar andra parametrar istället, bland annat hastigheten. Polytechs laserhastighetsmätare ligger med i regleringen, dock inte som primär hastighetsmätare utom som en variabel för diameterberäkning. Det man gör är alltså att mäta hastigheten hos plåten i verket, denna hastighet blir då lika med rullens periferihastighet, genom att sedan jämföra denna med rotationshastigheten så beräknas diametern. Noggrannheten är tillräcklig, lasern sköter sitt jobb och diameterberäkningarna är exakta och väl inom toleranserna. Tomas berättar vidare att hastighetsmätaren egentligen är lite ”onödig” då den inte spelar någon avgörande roll i styrningen av processen. Den kom så att säga på köpet när ett nytt valsverk inhandlades efter en storbrand för tre år sedan. Men likväl så används den och intressant är att den fungerar klanderfritt fortfarande och har gjort så ända sedan installation. Tomas passar även på att berömma Polytech för den smidiga integreringen av mätaren i reglersystemet. Angående arbetsmiljön i Skultuna kan man säga att den inte är speciellt ansträngande med avseende på rök och dimma, alltså de yttre faktorer som påverkar själva funktionen. Lasern har fritt synfält under hela processen. Däremot så används en sorts fotogenlösning för kylning och smörjning, denna vätska är synnerligen aggressiv mot packningar och tätningar. Vätskan är även brandfarlig och eldsvådor är definitivt ingen ovanlighet. Det faktum att mätaren överlevt i tre år i en miljö som exponerar den för eld och frätande vätskor visar att den är mycket stryktålig. Själva valsverkets design innebar att installationen av mätaren var enkel. Det finns gott om plats och apparaten sitter snyggt monterad vertikalt 1000 mm från plåten. Bandbrott och dylika haverier inträffar naturligtvis även hos Comital men då man i princip valsar folie så är dessa inte så mycket att bry sig om, någon större risk att allvarligt skada utrustningen finns inte. Sammanfattningsvis kan man säga att detta studiebesök besvarade en del frågor rörande tillförlitlighet och bruksvärdig design på utrustningen. I nuläget finns inget som tyder på att det inte skulle gå att installera laserhastighetsmätare i Långshyttan, varken med avseende på funktion eller på hållbarhet.

Den ursprungliga planen var ju som sagt att avlägga minst ett studiebesök per system. Nu visade sig detta inte vara möjligt då Vollmer inte hade sålt några system i Sverige. Flera faktorer gör den utrustningen mindre intressant en är den otillräckliga noggrannheten, en annan är det faktum att mätavståndet inte får vara större än 250 mm vilket ger mycket begränsade installationsmöjligheter. Vidare så är konstruktionen med den integrerade skyddskåpan skrymmande vilket gör att det ser svårt ut att få till en bra installation.

3 Utvärdering av alternativen

Tre system har alltså undersökts vid det här stadiet och det har blivit dags att utvärdera alternativen.

3.1 Noggrannhet hos lasermätare

De tre olika leverantörerna anger olika siffror i sina datablad, de är dock definierade på samma sätt och anges som procent av uppmätt värde. Det som avgör noggrannheten på hastighetsangivelsen är bland annat hur lång tiden under vilken medelvärdet bildas är. Beräknas medelvärdet under lång tid så blir noggrannheten givetvis högre. Denna tid är också intressant ur ett annat perspektiv. Den får inte vara för lång eftersom värdena då blir ointressanta för styrsystemet. Enligt Gunnar Bengtsson på First Control så får inte tiden vara längre än 15 – 20 millisekunder. Alla offererade utrustningar klarar detta krav. I ett eventuellt kontrakt ska noggrannhets- och repeterbarhetskrav samt tid för medelvärdesbildning vara specificerade.

3.2 Noggrannhet hos befintligt mätjul

Problemet med befintlig mätmetod ligger inte i själva mätprincipen, den är väl beprövad och tillförlitlig. För att beräkna felet använder formeln bågsekunder (Heidenhain, 2013). Detta fel har sedan omvandlats till procent för att en jämförelse med lasermätarna ska bli möjlig. Felet som beräknas är det fel som genereras av själva givaren. Det beror bland annat av det faktum att hålen i skivan inte är helt symmetriskt placerade. Det totala felet är egentligen lika med den algebraiska summan av fyra stycken olika delfel. Men då dessa beräkningar är tänkta att användas som underlag vid jämförelse av mätjulet med olika system för beröringsfri hastighetsmätning så är endast det fel som genereras av den mätande enheten intressant. Dessutom är det fel som uppstår i och med att skivan med hålen inte är perfekt det dominerande. Beräkningar för att fastställa noggrannheten på de hjul med tillhörande optoelektriska givare (av fabrikat Heidenhain, modell ERN 430) som sitter monterade idag, följer nedan:

Beräkning av noggrannhet på mätjulet:

Formel för beräkning av det fel som uppstår på grund av asymmetriskt placerade hål i mätskivan:

$$\frac{18^{\circ} * 3600}{linecount} = [arcsekunder]$$

Heidenhains mätjul modell ERN 430 finns i varianter som har 250 linjer ända upp till 5000 linjer. Detta innebär att max- och minfel i bågsekunder ser ut enligt nedan:

$$\frac{18^{\circ} * 3600}{250} = 259.2$$

$$\frac{18^{\circ} * 3600}{5000} = 12,96$$

På ett varv går det 1 296 000 bågsekunder, vilket gör det möjligt att konvertera felet till procent:

$$\frac{259,2}{1296000} * 100 \approx 0,02\% \text{ till } \frac{12,96}{1296000} * 100 = 0,001\%$$

Just det här mät hjulet finns alltså i varianter med en noggrannhet på 0,001 % till 0,02 %

Varianten som sitter monterad i Mitsubishivalsverket har 4000 linjer vilket ger en noggrannhet enligt nedan:

$$\frac{18^\circ * 3600}{4000} * 100 = 0,00125\%$$

Då antas mät hjulet verka under perfekta förhållanden, vilket innebär full friktion och inget slir. Viktigt att poängtera är också att det fel som finns hos mät hjulet är konstant och alltså inte beroende av hastigheten som det är hos laserhastighetsmätarna.

3.3 Jämförelse av noggrannhet och repeterbarhet för alternativen

Tabell 1, jämförelse av noggrannhet och repeterbarhet

Leverantör/Teknik	Noggrannhet	Repeterbarhet
LDV-systeme	0,01 %	0,05 %
Polytech	0,05 %	0,02 %
Vollmer	0,10 %	0,20 %
Pulsgivare max	0,001 %	> 0,01 %
Pulsgivare min	0,02 %	> 0,01 %
Pulsgivare Mitsubishi	0,00125 %	> 0,01 %

Vad som bör poängteras är att LDV-systemes variant, på papperet, är noggrannare än sina konkurrenter. De anger ett värde som är fem respektive tio gånger bättre än konkurrenterna Polytech och Vollmer. En annan intressant faktor som bör tas i beaktande när man diskuterar mätapparatur är repeterbarheten. Denna kan definieras som hur mycket ett antal värden skiljer sig åt sinsemellan vid mätning av en konstant storhet. Här är inte LDV-systemes variant bäst utan det system som Polytech säljer har bäst prestanda. Polytech kan uppvisa en repeterbarhet som är 2.5 gånger bättre än LDV-systemes apparatur. Vollmer anger inte något mått på repeterbarheten, ett rimligt antagande är att den ligger i närheten av deras noggrannhetsangivelser, då skulle den vara i storleksordningen fem till tio gånger sämre än Polytech. Ska man välja utrustning med avseende på noggrannhet så är LDV-systemes alternativ rätt val medan man, om man värdesätter repeterbarheten högre, skall välja Polytechs mätsystem. Men, som synes i tabellen ovan, så är alltså befintlig teknik med en vanlig pulsgivare överlägsen vad gäller både noggrannhet och repeterbarhet.

3.4 Design

De tre systemen skiljer sig åt en del utseende- och designmässigt. Detta innebär i praktiken också att de har lite olika storlek och kapslingsklasser. En beteckning enligt IP-systemet beskriver hur väl skyddad en komponent är mot miljön den är monterad i. Den viktigaste kapslingsaspekten för den här applikationen är hur väl skyddade sensorhuvudena, alltså den del som innehåller laserkällan och den känsliga optiken, är. Skillnader finns mellan de olika systemen. Det är svårt att avgöra exakt vilka situationer som kan uppstå under valsning men klart är att miljön är utmanande. För att få ytterligare en referens kan tilläggas att de mätjul som sitter monterade idag uppfyller kraven för IP 65. Gällande mått och utseende på de olika komponenterna i mätsystemen är det återigen själva sensorhuvudet som är intressant då det är denna del som ska monteras i valsverket. Säkerhet är en annan aspekt som bör tas upp då direkt exponering kan vara farlig. Laserkällorna i de aktuella systemen faller under laserklass 3B vilket innebär att direkt exponering är hälsovådlig medan reflektion från en matt yta är ofarlig (Strålskyddsmyndigheten, 2013). Slutare är en viktig säkerhetsdetalj som bör ingå eftersom personal ofta arbetar i laserns direkta närområde

3.4.1 Alternativ 1 LDV-systeme

Den utrustning som skall monteras i verket ser ut så här:



Figur 6, bild Velemeter

LDV-systeme anger kapslingsklass IP 67 på sin utrustning vilket innebär att den är damm- och vattentät. Rent subjektivt upplevdes LDV-systemes lösning som mest robust. Storleksmässigt så är de delar som ska monteras i valsverket ganska stora. Tuben är ca 900 mm lång och har en diameter på knappt 200 mm, men det uppvägs till viss del av spegelloptionen som möjliggör horisontalt montage. Systemet är utrustat med en slutare som är låsbar. Varningsskyltar och varningslampor ingår också.

3.4.2 Alternativ 2, Polytech

Polytechs utrustning för integration i valsverket ser ut så här:



Figur 7, bild av Polytechs sensor

Sensorn klarar IP 66 vilket innebär att den kan karakteriseras som dammtät och spolsäker. Ungefärliga mått är 400 mm x 250 mm x 180 mm vilket gör sensorn kompakt och den upplevdes också som mindre än LDV-systemes utrustning. Designen upplevs som kompakt. Slutare är tillval på den här sensorn vilket får anses vara negativt. Det ligger inte i linje med samhällsutvecklingen att behöva betala extra för att operatörer och underhållspersonal ska kunna arbeta säkert i valsverket. Varningsskyltar och varningslampor ingår däremot som standard.

3.4.3 Alternativ 3, Vollmer

Vollmer uppger kapslingsklass IP 65 på sin utrustning. Utrustningen levereras enligt den svenske importören med integrerad skyddskåpa. Denna erbjuder de sig att modifiera efter kundens önskemål. Nämnas bör också att detta system är skrymmande då kåpan i originalutförande är stor. Den har de ungefärliga måtten 900 * 400 mm. Systemet levereras med låsbar slutare och varningsskyltar och varningslampor ingår.

3.4.4 Befintlig mätutrustning

Designen är av robust standardtyp och fungerar så bra som kan förväntas. Men den har också inbyggda problem i form av att den påverkar planhetsmätningen eller kan repa materialet. Problem med slir finns också. Det som är intressant med designen är snarast att undersöka om pulsgivaren kan monteras på annat sätt eller kanske på en annan rulle för att komma runt problemen ovan.

3.5 Installation

Här finns det flera intressanta olikheter mellan de tre aktuella systemen. Den första är det avstånd som sensorhuvudet måste ha till mätobjektet. Detta avstånd måste vara fixt, dock så kan det varieras mellan ett antal olika avstånd. Alla systemen har ett mätdjup som klarar de, i mm mätt, små reduktioner som tas på anläggningen i Långshyttan. Den kringutrustning som ett mätsystem av den här typen behöver är av standardtyp, dvs. tryckluft och vätskekyllning, vilket är lättlösta problem. Angående kablage och slangar för tryckluft och kylvätska så sitter anslutningarna baktill som standard vilket borgar för en enkel installation. En annan viktig del är själva monteringsplattformen. Alla system kommer med en sådan, och de är justerbara i tre dimensioner. Grundkonstruktionen bedöms vara likvärdig för alla tre alternativen.

3.5.1 Alternativ 1 LDV-systeme

LDV-systeme kan leverera system som kan monteras på 500 – 2000 mm (steglöst) avstånd från mätobjektet, 1000 mm är dock rekommenderad offset. Spegeloption möjliggör både vertikalt och horisontellt montage. Detta skapar betydligt fler variationsmöjligheter än om man är begränsad till vertikal montering.

3.5.2 Alternativ 2 Polytech

Polytech erbjuder avstånd på 500, 1000 och 1500 mm. Precis som hos LDV-systeme är både horisontellt och vertikalt montage möjligt.

3.5.3 Alternativ 3 Vollmer

Vollmers utrustning kan däremot bara monteras 250 mm från mätobjektet, vilket är en av de största nackdelarna med detta system. Det är för nära plåten med avseende på haveririsk och gör det svårt att överhuvudtaget hitta en lämplig monteringsplats med det mätavståndet. Tilläggas bör, att när ett bandbrott inträffar säger erfarenheten att skadorna blir allvarigare om apparaturen är monterad i plåtens direkta närområde.

3.6 Kommersiella skillnader i offerterna

De tre olika systemen ligger lite olika i pris. Polytech och Vollmer ligger ganska lika i pris, de systemen kostar ca 500 000 sek styck. LDV-systeme däremot är dyrare och kostar ca 80 000 Euro Naturligtvis måste hänsyn tas till helheten och erbjudandena granskas i detalj för att utvärderingen skall bli rättvis. Priserna som anges är för en komplett utrustning med två sensorhuvuden och en eller två utvärderingsenheter (beroende på hur många som behövs). Nedan följer en utvärdering av de tre systemen.

3.6.1 Alternativ 1 LDV-systeme

LDV-systeme lämnar en garanti på 12 månader efter det att systemet testats och tagits i bruk, dock max 18 månader efter leverans. Betalningsvillkoren ser ut att vara av standardtyp, det vill säga 40 % vid orderbekräftelse, 50 % vid leverans och de sista tio procenten efter uppstart av utrustningen. Det som ingår avseende material är sensorhuvud med tillhörande justerbar monteringsplatta, ett ”tittrör” med utbytbart fönster för laserstrålarna, en utvärderingsenhet komplett kabel till sensorhuvudet, en servicedisplay, en varningslampa och ett filter och en regulator för renblåsningsluften. För detta får man betala två gånger 40 000 Euro.

Installationen av systemet kostar 6600 Euro och betalas alltså av kunden, då ingår också en tvådagarskurs för tre personer. De optioner som finns att köpa till är vinkeloptik (4576 Euro), extra kylare (8436 Euro) samt en extra skyddad kabel (11 Euro). Mycket viktigt är också att den renblåsning som det talas om i LDV-systemes fall endast klarar att hålla laserns synfält fritt, den klarar alltså inte att blåsa bort så kallade sjöar från plåten. Dock så erbjuder man sig att hjälpa till med injusteringen av dysorna som ska hålla eventuella sjöar borta.

Leveranstiden är fem månader.

3.6.2 Alternativ 2 Polytech

Om Polytechs variant blir aktuell för inköp kommer den att levereras av deras Svenska återförsäljare som heter Alvetech, I erbjudandet ingår ett sensorhuvud, en signalprocessor, ett encoder interface med programmerbar output och en specialkabel. Den utrustningen kostar 293 830:- per sida, alltså 587 660 sek. Ingen tull behöver betalas och leveranstiden är ca 10 veckor efter beställning. Angående betalningsvillkoren så gäller att hela beloppet skall vara

Alvetech tillhanda 30 dagar netto från fakturadatum. De optioner man erbjuder är ett process interface med en del extra funktioner, en monteringsplattform och ett utbytesfönster till lasern. Eventuell justering av priset beror av Eurokursen vid leveranstillfället. Ingenting nämns om utbildning av personal eller själva installationen i offerten.

3.6.3 Alternativ 3 Vollmer

Alternativet som Vollmer erbjuder kostar 470 000 sek, idrifttagning ingår då. I paketet medföljer två st. mät huvuden med skyddshus (IP 65), en utvärderingsenhet (kan byggas in i befintliga skåp eller levereras med separat skåp allt enligt kundens önskemål), erforderliga kablar, pneumatikdelar (tryckreduceringar, snabbkopplingar, magnetventiler etc.) samt två stycken upphängningskonsoler. Två stycken manualer och servicebeskrivningar på engelska ingår också. Vollmer vill att AvestaPolarit bistår med ett stabilt stativ, spänningsförsörjning (230 V AC till utvärderingsenhet samt 24 V DC till slutarens magnetventiler) och anslutning för fem bars instrumentluft. Priset är beräknat på en Eurokurs på nio sek. Det gäller som sagt inklusive idrifttagning och emballage, dock så ingår inte externt kablage eller montering. Inga prisuppgifter anges heller på dessa punkter. Leveranstiden är fyra månader och betalning skall ske med 90 % 30 dagar netto efter leverans och 10 % efter godkänd idrifttagning.

3.7 Demonstration

Karl Fonad på Alvetech som är Polytechs svenska återförsäljare har erbjudit sig att arrangera så att personal kommer upp till Långshyttan för att installera och demonstrera deras utrustning till självkostnadspris om en investering blir aktuell. En sådan demonstration från LDV-systemes sida för att verifiera det som anges i databladet, bör absolut genomföras. Ett test av de båda utrustningarna är ett rimligt krav för att kunna avgöra vilket system som är mest lämpligt.

3.8 Integration i befintligt styrsystem

Ett studiebesök avlades hos Gunnar Bengtsson som har byggt styrsystemet för att få hans synpunkter rörande en eventuell integrering av lasermätarna. Besöket resulterade i en intressant diskussion som mynnade ut i två spår som kräver vidare utredning. I Långshyttans Mitshubishivalsverk producerar man tunn rostfri plåt med mycket snäva toleranser. Den tunnaste plåten man valsar är mindre än 0.2 mm och har en tjockleksvariation på endast 2 – 3 µm vilket är ungefär lika med 0.1 procent. Vad innebär då detta i praktiken? Analogt innebär det att mätutrustning som är tänkt att utgöra en del av reglersystemet inte får ha en noggrannhet som är sämre än produktens toleranskrav.

3.8.1 Noggrannheten i styrsystemet

I 3.1 visas att ett mät hjul med pulsgivare är noggrannare än en lasermätare då det arbetar under optimala förhållanden. Men en lasermätare är tillräckligt noggrann förutsatt att det som lovas i datablad också hålls i befintlig arbetsmiljö. Lasern kan alltså inte väljas bort på grund av bristande noggrannhet, förutom möjligen Vollmers alternativ som landar precis på gränsen. Vidare så är signalen, eller hellre kvaliteten på signalen, som skickas till reglerenheten intressant ur flera synvinklar.

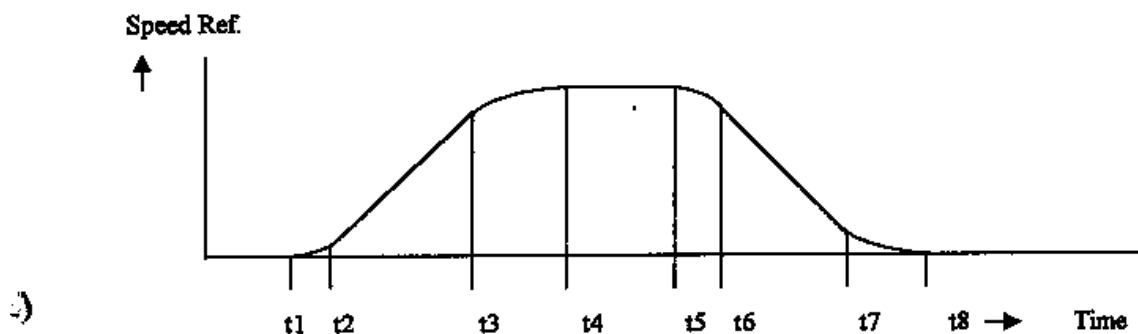
Dels ska den synkas mellan de båda sidorna och dels ska den uppdateras tillräckligt ofta. Uppfylls inte dessa båda krav så ger det upphov till allvarliga reglerfel. Ett uppdaterat hastighetsvärde kan erhållas varje millisekund om så behövs, intervallet är dock justerbart. Det finns flera så kallade outputmodes hos utrustningarna, både digitala och analoga varianter. Väljer man Pc-varianten så är tiden hur ofta man vill läsa in ett nytt värde justerbar i tre ställbara tider. Tilläggas bör också att medelvärdesbildningen, alltså den tid under vilken hastigheten som skickas till styrsystemet beräknas är mycket intressant då den påverkar noggrannheten. Kravet som ska ställas på det lasersystem som eventuellt skall handlas upp är att det klarar nödvändig noggrannhet med medelvärdesbildningstider som är mindre än 15 millisekunder.

3.8.2 Hastighetsförändringar

Ytterligare en kontroll som gjordes var huruvida lasermätaren kan registrera de, snabbaste accelerationer och retardationer som kan uppstå. Efter en granskning av hur Ingelectric konstruerat elektroniken till det aktuella verket samt jämförelse med tillverkarnas uppgifter konstaterades att apparaturen, med god marginal dessutom, kan mäta de kraftigaste accelerationer och retardationer som kan uppstå Under normal produktion så kan man accelerera eller bromsa verket på tre olika sätt. Drivningen är dessutom konstruerad på ett vis som gör att dessa två förlopp blir identiska. Valsningsförloppet med avseende på hastigheten ser, i idealfallet ut som nedan:



GENERAL FUNCTIONAL DESCRIPTION Main Functions 12 HIGH CR MILL 3. Rolling / Rewinding



where:

- t1-t2 : beginning S
- t2-t3 : variable slope
- t3-t4 : ending S
- t4-t5 : constant reference
- t5-t6 : beginning S
- t6-t7 : variable slope
- t7-t8 : ending S

Figur 8, bild av kurva med ramptider

Kurvan ovan är inte helt symmetrisk, detta beror på att en långsammare ramp (40 sekunder) valdes för acceleration än för retardation (30 sekunder) under loggningen. Detta för att illustrera valbarheten. Tiderna T2 – T3 och T6 – T7 representerar accelerations- respektive bromsförloppen. Operatören kan reglera dessa på tre sätt, det man kan variera är hur snabbt man tar upp eller ner bandet i fart. Man har tre fasta ramper att välja bland, 60, 40 eller 30 sekunder. Räkneexemplet nedan illustrerar allt:

$$\Delta T = \text{Tiden} \quad V = \text{Hastighet}[\text{meter} / \text{min}] \quad S = \text{Acceleration} / \text{Retardation}[\text{m} / \text{s}^2]$$

$$S = \frac{V}{\Delta T} \Rightarrow S = \frac{800}{60 * 30} = 0.444[\text{m} / \text{s}^2]$$

Detta är alltså extremfallet, eftersom de andra tiderna ger lägre acceleration/retardation och är därför inte intressanta i den här diskussionen. Naturligtvis kan högre accelerationer uppstå, under t.ex. ett haveri eller dylikt men det är knappast heller intressant. Dessa siffror ska även sättas i relation till de accelerationer/retardationer som en lasermätare klarar. Alla system klarar, enligt tillverkarna, att mäta i trakterna av fem till 15 m/s² vilket är mer än tillräckligt. Detta är alltså betydligt mer än de mest extrema förhållanden som kan uppstå under produktion.

3.8.3 Alternativ 1 LDV-systeme

Gällande synkningen så vidarebefordrades frågan till Karl Heinz Fröhling på LDV-systeme som försäkrade att det inte är något problem att synka signalerna. LDV-systemes alternativ klarar att mäta hastighetsförändringar på 10 m/s². Systemet klarar att generera 3333 mätningar per sekund vid en hastighet på 2000 m/min, vilket ger en medelvärdesbildningstid på 6 ms om 20 mätningar per skickat medelvärde väljs.

3.8.4 Alternativ 2 Polytech

Polytechs lösning för synkronisering av de uppmätta hastigheterna är att ”bombardera” styrsystemet med mätningar och på så vis eliminera behovet av synkning. Polytech uppger att systemet klarar 2300 mätningar per sekund vid en hastighet på 2000 m/min vilket ger en medelvärdesbildningstid på 8,6 millisekunder om 20 mätningar per skickat medelvärde väljs. Systemet klarar hastighetsförändringar upp till 15 m/s²

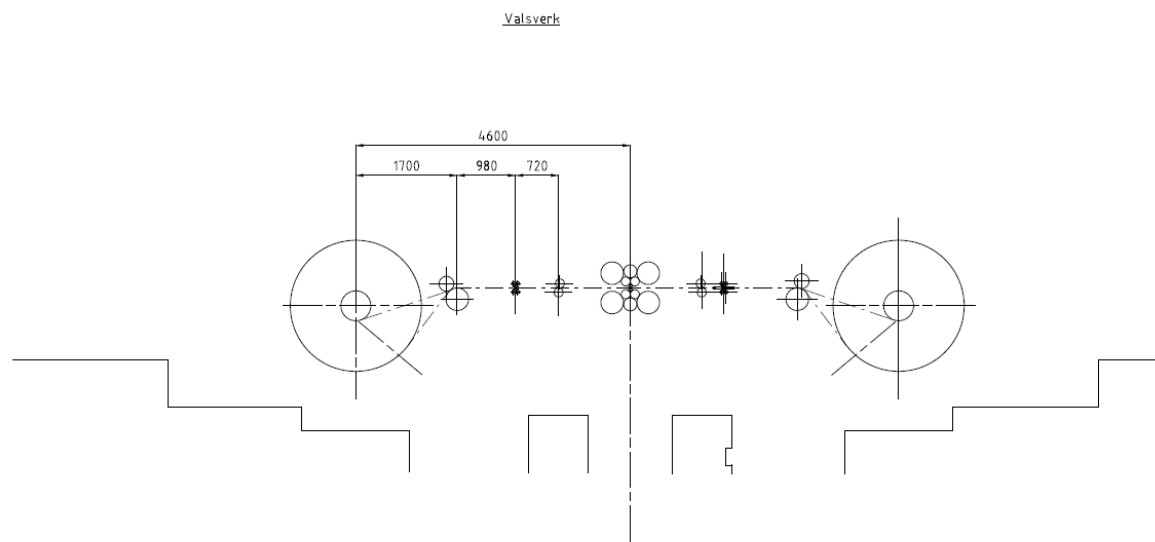
3.8.5 Alternativ 3, Vollmer

Vollmer hävdar att synkronisering av signalerna inte är något problem. Man uppger vidare att systemet klarar 2380 mätningar per sekund vid en hastighet på 200 m/min, det ger en medelvärdesbildningstid på 8,4 millisekunder om 20 mätningar per skickat medelvärde väljs. Den största hastighetsförändring som kan hanteras är 5 m/s²

4 Besparingspotential genom minskning av processkrot

I projektplanen ingick att försöka koppla tjockleksspridningen till en eventuell installation av laserhastighetsmätare som ett delmål. Detta har visat sig vara alltför svårt, en sådan kalkyl skulle även komma att innehålla alltför många antaganden för att överhuvudtaget vara intressant. Vidare så bör det även tilläggas att processen i Långshyttans Mitsubishi-valsverk är så pass vältrimmad redan idag att det inte är realistiskt att vänta sig några reglervinster när stabiliserat sig i mitten av toleransområdet. Loggen illustrerar på ett bra sätt hur saker och ting förhåller sig under normal produktion. Men det är ändå ide att titta närmare på ett lasersystem, det är nämligen så att med laserhastighetsmätare och massflödesreglering så kan man få processen att stabilisera sig mot önskad tjocklek snabbare än med Feed Forward-filosofin som används idag. Ett antal extra godkända bandmeter ur varje enhet ingångsmaterial Möjliggör stora besparingar. Ett problem som uppstod här var att det inte går att hitta loggmaterial för denna sträcka.

Det finns bara tjockleksloggar som börjar i och med tjockleken ligger inom toleranserna. Den sträcka som valsas men ändå hamnar utanför toleranserna går alltså inte att utläsa ur den logg som medföljer varje band. Däremot går det att räkna ut genom att använda data som finns i ett antal tjockleksloggar. Beräkningen tar hänsyn till bandets ursprungliga vikt, det konstanta antal meter som aldrig valsas, godkända antal kilo samt bandets dimensioner när den vikt som valsas och ändå blir skrot kalkyleras. Noggrannheten i en sådan beräkning duger som approximation. En principskiss över bandets väg genom verket gjordes i AutoCad, se bilden nedan:



Figur 9, principskiss av Mitsubishi-valsverk

Ytterligare ett problem dök under arbetet, det gestaltade sig i att det antal varv som lindas upp på trumman vid laddning av ett nytt band inte är konstant. Operatörerna spänner upp bandet automatiskt och enligt de operatörer som intervjuades så varierar antalet uppspända varv mellan 1.5 och 2. Dock så säger alla att antalet varv torde ligga närmare 2 varv i nästan alla

fall. Denna variation påverkar olyckligtvis approximationen en del, skillnaden i extremfallet uppgår till 1571 mm. Antalet varv på trumman sattes lika med 1,875 i beräkningen. Valet av denna konstant grundar sig på intervjuer med operatörerna som alla hävdade att man bör ligga i övre halvan av intervallet och 1,875 ligger då mitt i övre halvan av hela intervallet. Detta är den enda åtgärd som vidtagits för att sänka variansen. För att säkerställa tillräcklig statistisk säkerhet sattes populationens storlek till 21 band.

Tillräcklig statistisk säkerhet uppnås om följande påstående tas i beaktande: ”antalet observationer ska vara stort, men i regel räcker det med 20 för att tillräcklig noggrannhet skall uppnås” (Jonsson Norell, 1999). Vidare bör det också tilläggas att populationen band har en medeltjocklek på 0.4 mm, detta för att spegla produktionen, som då också har en medeltjocklek på 0.4 mm, i möjligaste mån. Påpekas bör även att de band som studerats närmare är av olika typ och ursprung. Ett rimligt antagande är att band med olika dimensioner och material når toleranssatt tjocklek olika snabbt men eftersom generell spill är vad som är intressant så bedöms observationerna vara fullgoda. Beräkningen ser ut så här:

Formeln för beräkning av processkrot ser ut så här:

$$V_{in} - (C_1(\pi * d + \pi(d + T_{in})) + 2A + 2B + C + D)B_{in} * T_{in} * \eta - L_{gut} * T_{ut} * B_{ut} * \eta = processkrot$$

$$C_1 = 1,875, \eta = densitet = 7800 \text{ kg} / m^3, L_{gut} = godkända \text{ bandmeter}$$

$$C = \frac{2\pi\alpha}{360} \Rightarrow \frac{2\pi * 0,190 * 18,55}{360} = 0,062 \text{ m}, B_{in} = B_{ut} = B, V_{in} = Invikt$$

Efter förenkling och insättning av valsverkets mått fick formeln detta utseende:

$$V_{in} - (14,945 + 5,9T_{in})B * T_{in} * \eta - L_{gut} * T_{ut} * B * \eta = processkrot$$

Alla mått anges i meter, vikten erhålles då i kilo. Resultaten finns i tabellen nedan.

Tabell 2, beräkning av processkrot

Band	Processkrot [kg]
1	291
2	140
3	144
4	643
5	172
6	277
7	108
8	76
9	569
10	158
11	444
12	11
13	291
14	25
15	21
16	284
17	670
18	213
19	263
20	150
21	298

Medelvikten processkrot blir 250 kg.

Angående ovanstående approximations noggrannhet så är antalet godkända bandmeter och konstanten för antal upprullade varv på trumman är de variabler med störst inbyggd onoggrannhet. Antalet godkända bandmeter kan som mest skilja sig 5 meter från verkligheten då den är avrundad till närmsta hela tiotal.

I den aktuella populationen om 21 band så var medelvikten processkrot 250 kg. Detta motsvarar ca 2.5 procent av ett fullstort bands invikt och kan anses vara rimligt. Den stora frågan som nu behöver besvaras är: Vad kan en riktig massflödesreglering göra åt denna siffra. Hela finessen med massflöde är att få en bättre och snabbare kontroll av sin process. Bortsett från ”start” och ”mål” så är förbättringar inte realistiskt att uppnå med tanke på de fina värden processen uppvisar. De eventuella vinsterna ligger alltså i starten av varje band. Operatörerna som var med när Mitsubishivalsverket togs i bruk har i intervjuer uppgett att när man körde med mätjulen från Vollmer så kunde man notera att regleringen var snabbare. Man tog sig alltså ner i tjocklek fortare. Intrycken från Surahammar tyder också på att de eventuella vinster man kan göra ligger i inledningen av sticken. Torbjörn Eriksson talade som bekant om ”en bättre start”. En diskussion med Karl Sjöblom (anställd här i Långshyttan) antyder att man kan vinna material på effektivare provtagning vid valsning av hårdvalsat material. Detta eftersom man kommer man ner i tjocklek snabbare och får ett prov som är godkänt tidigare och därigenom minskar alltså materialförlusterna. Hela proceduren förenklas också i och med att provet kan tas närmare ändarna. Generellt kan sägas att vinsterna med massflödesreglering kontra Feed Forward-filosofin ligger i att man kan reglera på en sträcka lika med avståndet från tjockleksmätare ett till spalt plus avståndet från tjockleksmätare två till spalt som annars är ”oreglerbar” (Gunnar Bengtsson, First Control). I fallet med Mitsubishiverket så är denna sträcka 4410 mm. Genom att jämföra med tjockleken i näst sista

stick och vikten på processkrotet så kan man alltså se ungefär vilka vinster man kan förvänta sig med massflödesreglering.

För att kunna approximera hur många längdenheter band man eventuellt tjänar med massflödesreglering så är två antaganden gjorda. Det första är att massflöde svänger in mot önskad tjockhet 30 % snabbare än Feed Forward. Det andra är att tjockleken avtar linjärt mot önskad tjocklek i inledningen av varje nytt stick. Detta gör att följande formel kan användas som approximation för medeltjockleken på material som valsas men hamnar utanför toleranserna:

$$\frac{T_{in} + T_{ut}}{2} = \bar{T}$$

Formeln för att beräkna vinsten i längd får, med ovanstående approximation, följande utseende:

$$1.30 \left(\frac{\text{skrotvikt}}{B * \frac{T_{in} + T_{ut}}{2} * \eta} - \left(\frac{\text{skrotvikt}}{B * \frac{T_{in} + T_{ut}}{2} * \eta} - 4.41 \right) \right) = \text{vunnen längd}$$

Med alla siffror insatta så blir alltså besparingspotentialen 5,7m/band. Denna siffra är alltså lika stor på varje band. När den siffran stämde av med operatörer med erfarenhet av massflödesreglering så nickades bifall och siffran förefaller vara rimlig. Gällande approximationen av tjockleken så ger den inte upphov till så stort fel då reduktionen i sista stick är liten. Betraktas ett medelband utifrån ovanstående (anta att en kvadratmeter av ett band väger 1 kg) med en processkrotvikt på 250 kg så skulle besparingen motsvara ca 2,3 %.

5 Investeringskalkyl

För att få en uppfattning huruvida en eventuell investering i ny utrustning för hastighetsmätning bär sig ekonomiskt gjordes en LCP-kalkyl. LCP står för Life Cycle Profit och är en metod som tittar på vilka vinster man kan förvänta sig under investeringens livslängd. Den kommer här att beräknas genom att subtrahera LCC, alltså Life Cycle Cost, från den intäktsökning som investeringen genererar. Eftersom investeringskalkylen i det här fallet måste ta hänsyn till ett flertal betalningar som återkommer årligen har nusummemetoden valts. Den går ut på att diskontera framtida betalningar. Konkret innebär det att det här kapitlet försöker besvara frågorna: Hur mycket kostar hela investeringen idag och hur mycket är den möjliga intäktsökningen värd idag? Detta görs alltså genom att konvertera framtida kassaflöden till en nusumma (Carlsson, Bernhardsson 2007).

5.1 Skattning av investeringskostnaden

Den här posten består av kostnad för inköp av utrustning samt kostnader för att få den på plats och driftsatt.

5.1.1 Alternativ 1, LDV-systeme

Montage av hårdvaran av hårdvara, kabeldragning och instrumentluft kräver fyra man i tre dagar och integrationen i befintligt styrsystem kräver en veckas arbete av en man. Posterna syns i tabellen nedan:

Tabell 3, skattning av investeringskostnad alternativ 1

Aktivitet	Kostnad
Montage	$(4*8*3)*200 = 19\ 200$
Automation	$40*300 = 12\ 000$
Inköp	$(80\ 000+6\ 600+4\ 576)*9 = 820\ 584$
Oförutsett 10%	~90 000
Rek investeringsäskande (i)	940 000 sek

5.1.2 Alternativ 2, Polytech

Montage av hårdvara, kabeldragning och instrumentluft kräver fyra man i tre dagar och integrationen i befintligt styrsystem kräver en veckas arbete av en man. Posterna syns i tabellen nedan:

Tabell 4, skattning av investeringskostnad alternativ 2

Aktivitet	Kostnad
Montage	$(4*8*3)*200 = 19\ 200$
Automation	$40*300 = 12\ 000$
Inköp	587 600
Oförutsett 10%	~60 000
Rek investeringsäskande (i)	680 000 sek

5.1.3 Alternativ 3, Vollmer

Montage av hårdvara, kabeldragning och instrumentluft bedöms vara mer krävande än för alternativ ett och två varför tidsåtgången skattas till fyra man i fyra dagar. Driftsättning och integration ingår däremot. Posterna syns i tabellen nedan:

Tabell 5, skattning av investeringskostnad alternativ 3

Aktivitet	Kostnad
Montage	$(4*8*4)*200 = 25\ 600$
Automation	-
Inköp	470 000
Oförutsett 10%	~50 000
Rek investeringsäskande (i)	550 000 sek

5.2 Beräkning av k_{nvs}

När nuvärdesfaktorn beräknats har kalkylräntan satts till 8 %, vilket är det som gäller inom företaget vid lönsamhetskalkyler. Utrustningen har beräknats ha en ekonomisk livslängd på 10 år. Det ger följande beräkning:

$$k_{nvs} = \frac{1 - (r + 1)^{-n}}{r} \Rightarrow k_{nvs} = \frac{1 - (0,08 + 1)^{-10}}{0,08} = 6,71$$

5.3 Beräkning av driftskostnader

De olika alternativen får anses ha ungefär samma driftskostnader och dessa består av kostnad för elkraft och tryckluft. Kostnaden för den elkraft som krävs för att driva utrustningen är försumbar. Det gäller inte tryckluften, eftersom sensorhusen är trycksatta året om och konsumtionen är angiven till 120 l/min för alla alternativ. Kostnaden för en normalkubikmeter tryckluft är 10 öre (Silvent, 2013) varför årskostnaden för att hålla lasermätarna trycksatta blir 6300 kr.

5.4 Beräkning av underhållskostnader

Normalt underhållsbehov på en lasermätare består av rengöring 1 timme per vecka, beräknat på 50 veckor med att a´ pris på 200 kr. Det innebär en årskostnad på 10 000 kr.

5.5 Beräkning av LCC för alternativen

För att beräkna livscykelkostnaden för de olika investeringsalternativen användes följande formel:

$$LCC = (i + (k_{nvs} (d + u + s))) - R$$

- LCC = Life Cycle Cost eller livstidskostnad
- i = investeringskostnad
- k_{nvs} = Kalkylfaktor eller nuvärdesfaktor
 - Den beräknas så här: $k_{nvs} = \frac{1 - (r + 1)^{-n}}{r}$
 - r = kalkylränta
 - n = antal år i kalkylen
- d = driftkostnader
- u = underhållskostnader
- s = stilleståndskostnader
- R = restvärde

Resultatet av beräkningen blir att LDV-systemes alternativ kostar 1 049 373 kr, Polytechs alternativ kostar 788 373 kr och Vollmers alternativ kostar 659 373 kr, sett över utrustningens livslängd. Följande värden användes i beräkningen:

Tabell 6, beräkning av LCC-kostnad

Variabel	LDV-systeme	Polytech	Vollmer
i	940 000	680 000	550 000
k_{nvs}	6,71	6,71	6,71
d	6300	6300	6300
u	10 000	10 000	10 000
s	-	-	-
r	0	0	0
LCC	1 049 373 kr	788 373 kr	659 373 kr

5.6 Beräkning av intäktsökningen

Ingående parametrar i beräkningen av täckningsbidragsökningen är nuvarande andel processkrot, förbättringspotential, medelskrotpris och försäljningspris. Resultatet har alltså enheten kr/år. Formeln ser ut så här:

$$\text{Möjlig intäktsökning} = (\text{skr} * \text{band} * \text{pot}) * (\text{f_pris} - \text{s_pris})$$

- skr = processkrot i kg per band
- band = antal valsade band per år
- pot = möjlig minskning av andelen processkrot
- f_pris = försäljningspris
- s_pris = skrotpris

Resultatet av beräkningen är att den möjliga årliga intäktsökningen är 171 925 kr/år om nedanstående värden används.

Tabell 7, variabler för beräkning av möjlig intäktsökning

Variabel	Använt värde
skr	250 kg
band	2300
pot	2,3%
F_pris	25 kr/kg
S_pris	12 kr/kg

Den möjliga intäktsökningen måste konverteras till en nusumma för att kunna användas tillsammans med LCC-beräkningen. När nuvärdessumman beräknades användes perioden 10 år samt kalkylränta 1,7 %. Det värdet är medelinfationen mellan 1992 och 2002 (Statistiska centralbyrån, 2013). Resultatet blir 1 568 855 kr. Beräkningen ser ut på följande vis.

$$k_{nvs} = \frac{1 - (r + 1)^{-n}}{r} \Rightarrow k_{nvs} = \frac{1 - (0,017 + 1)^{-10}}{0,017} = 9,13$$

Sedan multipliceras alltså k_{nvs} med den möjliga intäktsökningen för att få resultatet ovan.

5.7 Beräkning av LCP

För de olika alternativen ser LCP:n ut så här:

Tabell 8. Beräkning av LCP

Alternativ	LCC	Intäktsökning	LCP
LDV-systeme	1 049 373 kr	1 568 855 kr	519 482 kr
Polytech	788 373 kr	1 568 855 kr	780 482 kr
Vollmer	659 373 kr	1 568 855 kr	909 482 kr

Eftersom driftskostnad och underhållskostnad för de olika alternativen är lika så ger blir det alternativ med lägst investeringskostnad mest attraktiv ur ett LCC/LCP-perspektiv. Innan ett beslut fattas måste fler parametrar tas med i processen.

6 Diskussion

Som bekant finns det tre alternativa system för beröringsfri hastighetsmätning att välja bland. Baserat på de fakta och de produktblad och specifikationer som granskats så framstår ett alternativ bättre än de andra två. Detta har lite olika orsaker, främst så kan LDV-systemes Velemeter visa upp fina siffror gällande noggrannheten. Den är fem gånger noggrannare än bästa konkurrent. Alla system har ut signaler som lätt kan integreras i Långshyttans reglersystem. Velemetern och Polytechs LSV-sensorer har dessutom programmerbara ut signaler vilket Vollmer saknar. Gällande monteringsmöjligheterna så har Polytech den bästa lösningen men Velemetern går också att montera utan svårigheter. Vollmer erbjuder sig att skraddarsy sin lösning med integrerad skyddskåpa men begränsningen med ett fast mätavstånd på 250 mm är för stor. Gällande miljötålighet så är Velemetern klassad enligt IP 67 medan Polytech och Vollmer ligger på IP 66 och 65 respektive. Vidare så är designen robustare på Velemetern. Den har, liksom Vollmer, en slutare för lasern integrerad vilket Polytech saknar. Slutaren är alltså till för att skärma av lasern vid exempelvis underhållsarbete. Själva laserkällan, som spelar en viss roll för noggrannheten och kvaliteten på mätningarna, bör också nämnas. LDV-systeme har en Helium-Neonlaser i sin apparat, Vollmer och Polytech använder sig av diodlasrar. Dessa är inte lika bra. Kvaliteten på laserljuset och därmed mätningarna blir sämre. En diskussion med Torbjörn Eriksson i Surahammar tyder på att laserljus av bättre kvalitet klarar störningar i form av exempelvis dimma bättre än en pulserande diodlaser. Ser man slutligen till själva offerten så har LDV-systeme klart och tydligt specificerat vad som ingår och vad som kostar extra. Man erbjuder utbildning av personal och installation samt idrifttagning. Vidare så är reservdelpriserna och optionerna tydligt listade. De båda konkurrerande alternativen erbjuder bara delar av allt detta och erbjudandet på Velemetern är mer komplett vid en jämförelse, främst med avseende på installation och support.

Nästa del av uppdraget var att titta på hur ekonomin ser ut i samband med en implementering av massflödesreglering. Bara genom att skatta den möjliga intäktsökningen som ett högre utbyte skulle ge så blir det tydligt att det finns ekonomiska incitament att gå vidare. En typiskt svårskattad variabel som stilleståndskostnader orsakade av en utrustningsdel har utelämnats ur kalkylen eftersom den här typen av utrustning normalt sett har väldigt hög tillgänglighet.

Bäst av allt vore att skaka liv i befintlig lösning, förslagsvis genom att flytta hastighetsmätningen till rullen för planhetsmätning. Integration i styrsystemet är redan klar. Själva arbetet går ut på att tillverka en fläns som möjliggör montage av pulsmätaren i ändan på den odrivna rullen. Det här spåret är mest attraktivt eftersom lösningen bör ge bäst lönsamhet i och med en mycket lägre investeringskostnad. Högre noggrannhet och repeterbarhet kommer på köpet. Ingen risk att stöta på komplikationer vid integration i styrsystemet föreligger heller eftersom det jobbet redan är gjort.

7 Slutsats

Förutsatt att skrotberäkningarna och befintliga antaganden angående massflödesregleringens fördelar är riktiga så kan man alltså anta att besparingspotentialen är 2 – 3 % av vikten processkrot som varje band genererar. Reglersystemet i Långshyttan är mycket bra och väl intrimmat varför vinsterna blir relativt små men ändå räcker för att motivera vidare utredning av implementering av massflödesreglering. Vid intervjuer med anställda på fabriken har flera andra lösningar av hastighetsmättningsproblemet diskuterats. En sådan lösning är att använda mät hjulet i inledningen av varje stick för att sedan gå över till Feed Forward-reglering. En annan lösning är att flytta de optoelektriska givarna till rullen för planhetsmätning. Dessa metoder är att föredra framför laser förutsatt att de inte visar sig omöjliga att genomföra. Detta av flera anledningar, montering och idrifttagning av ny utrustning innebär generellt mer problem än modifiering av befintlig sådan. Vidare så är det fastställt att mät hjulen funkade bra tidigare bortsett från problemet med planhetsmätningen. Laserns funktion måste, även om den bevisligen funkade på andra ställen, betraktas som oprövad i Långshyttan. För att göra en lång historia kort: Ska man absolut reglera enligt massflödesprincipen undersök möjligheterna att implementera sådan med hjälp av modifikation av befintlig utrustning, går inte detta köp den utrustning som uppvisar bäst resultat vid demonstration (Polytech eller LDV-systeme).

8 Rekommendationer

För att vara så säker som möjligt på att rätt beslut fattas angående en eventuell implementering a massflödesreglering i fabriken bör nedanstående punkter finnas med:

- Eftersom möjlighet till testkörning av laserutrustningen fanns bör man ta den. På så vis får man en god ide om allt från montage till integration i styrsystemet och därigenom ytterligare öka noggrannheten i investeringskalkylen.
- En detaljprojektering av flytt av mätjul från befintlig position till rullen för planhetsmätning bör göras då misstanken är att den kostnaden vida understiger investeringskostnaden för en LDV-utrustning
- Ett program för testkörning bör tas fram där man noga mäter utfallet för att säkerställa eventuella utbytesvinster. Detta är mycket viktigt eftersom det finns fyra valsverk till att, vid gynnsamt utfall, göra samma modifiering i.
- En riktig efterkalkyl på det alternativ som väljs bör också göras.

9 Referenslista

Bengtsson, G. Personligt meddelande. VD First Control Systems AB.

Carlsson, M. Bernhardsson, J. (2007). *Ekonomi för Chefer*. Liber AB, Malmö. (ISBN 978-91-47-07710-6)

Eriksson, T. 2002. Personligt meddelande. Produktionstekniker Surahammars Bruk.

Heidenhain AB (2013), *Noggrannhet pulsgivare*, Tillgängligt på:
<http://www.heidenhain.se/> -> Broschyrer
(2013-09-30)

Jonsson, Dag. Norell, Lennart. (1999). *Ett Stycke Statistik*. Kub, Skebobruk. (ISBN 9789144029894)

Kuhs, T. Personligt meddelande. Produktionstekniker Skultuna Folie AB.

Letokhov, S. Chebotayev, P. (1977). *Nonlinear Laser Spectroscopy*. Springer-Verlag, Berlin. (ISBN 3-540-08044-9)

Milonni, Peter W. Eberly, Joseph H. (1988). *LASERS*. John Wiley & Sons, New York. (ISBN 0-471-62731-3)

Silvent AB (2013), *Kostnad för tryckluft*, Tillgängligt på:
<http://www.silvent.com/sv/kompetens/tryckluft-som-energiform/>
(2013-09-30)

Sjöblom, K. 2002. Personligt meddelande. Mekaniker AvestaPolarit Thin Strip.

Statistiska centralbyrån (2013), *Inflation*, Tillgängligt på:
http://www.scb.se/Pages/TableAndChart_33831.aspx
(2013-09-30)

Strålsäkerhetsmyndigheten (2013), *Laserklasser*, Tillgängligt på:
<http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Yrkesverksam/Laser/Laserklasser/>
(2013-09-30)

Bilaga 1

Modell:	Velmeter 500 Model A
Leverantör/kontakt:	LDV-systeme, A. Brink, K. H. Fröhning
Integrering i styrsystemet:	
max antal mätningar/sek	vid 10 mikro, 3333 kHz vid 2000 m/min
repeterbarhet	0.05%
noggrannhet	0.01%
matning	230 V AC?
hastigheter	12 - 3000 m/min
montering (vinkel, avstånd till plåt, etc)	vinkel kan varieras med optik
mätdjup	50 mm
Montering:	
luft	10 Nm ³ /h
vatten	3 l/min
ytermått (approx)	cyindriskt d = 194, l = 900
mätavstånd	500 - 2000 mm (1000 std)
Miljö:	
oljedimma	inget prob
vibrationer	inget prob
temperatur	0 - 40 grader utan kylning
Underhåll:	
slitage	nosslar, tryckluft, kylning
slitdelar	laser, HeNe, håller 5 år
Krävs utbildning av personal?	Ja, kommer med ev. köp
finns svensk support?	skandinavisk
Pris:	2 * 40000 Euro
uppstart	ja
kringutrustning (kablage, stativ o dyl.)	ja
montering	Ja, 6600 Euro
Säkerhet:	
Laserklass	3B
Slutare	ja
Varningslampa	ja
IP klass på sensor	67

Bilaga 2

Modell:	LSV - 0XX
Leverantör/kontakt:	Polytec/Alvetec
Integrering i styrsystemet:	
max antal mätningar/sek	2300
repetierbarhet	0,02 % (of measured value)
noggrannhet	0,05 % (of measured value)
matning	standard
hastigheter	0 - 4000 m /min
montering (vinkel, avstånd till plåt, etc)	standard
mätdjup	60 - 200 mm
Montering:	
luft	0.5 - 1.5 bar
vatten	3 l/min
ytermått (approx)	410 * 240 * 179
mätavstånd	500 - 1500
Miljö:	
oljedimma	inga problem
vibrationer	inga problem
temperatur	0 - 45 grader
Underhåll:	
slitage	ja
slitdelar	laser (av diaodtyp)
Krävs utbildning av personal?	förmodligen
finns svensk support?	ja
Pris:	2 * 216150 sek
uppstart	ja
kringutrustning (kablage, stativ o dyl.)	nej
montering	nej
Säkerhet:	
Laserklass	3B
Slutare	option
Varningslampa	option
IP klass på sensor	65/66

Bilaga 3

Modell:	VLG 250
Leverantör/kontakt:	Vollmer/Kenneth Jogeryd
Integrering i styrsystemet:	
max antal mätningar/sek	vid 14 mikro 2380 khz vid 2000 m/min
repeterbarhet	gissningsvis runt 0.20%
noggrannhet	0.10%
matning	230 V 110 V eller 24V
hastigheter	0 - 2400 m/min
montering (vinkel, avstånd till plåt, etc)	standard
mätdjup	+ - 8 mm?
Montering:	
luft	5 bar (instrumentluft)
vatten	?
ytermått (approx)	denna apparat är stor! (se bild)
mätavstånd	250 mm
Miljö:	
oljedimma	ingen fara
vibrationer	ingen fara
temperatur	?
Underhåll:	
slitage	ja
slitdelar	laser (diod laser)
Krävs utbildning av personal?	?
finns svensk support?	ja
Pris:	470 000 sek
uppstart	ingår
kringutrustning (kablage, stativ o dyl.)	ingår ej
montering	ingår ej
Säkerhet:	
Laserklass	3B
Slutare	ja
Varningslampa	
Ip klass	65

Bilaga 4

Vilken miljö arbetar laserstrålen i?

Hur klaras problemet med strålens fria synfält?

Var det problem att montera apparaten med tanke på de krav som ställs?

Har man problem med avseende på vibrationer, skakningar etc?

Behöver apparaturen kalibreras/justeras? Om ja, hur ofta?

Har apparaturen havererat? Är detta vanligt? Vad går sönder?

Har man märkt nån skillnad i utfall? (produktionsmässigt, kvalitetsmässigt etc.)

Vart är mätaren installerad? Med facit i hand, sitter den bra, eller borde man satt den annorlunda?

Hade man problem när apparaturen skulle integreras i PLC-miljö?

Går det ev. att få ta ett foto av installationen?

Havererar mätningarna totalt om renblåsningen falerar?

Livslängd på laserkällan (5 år)?