

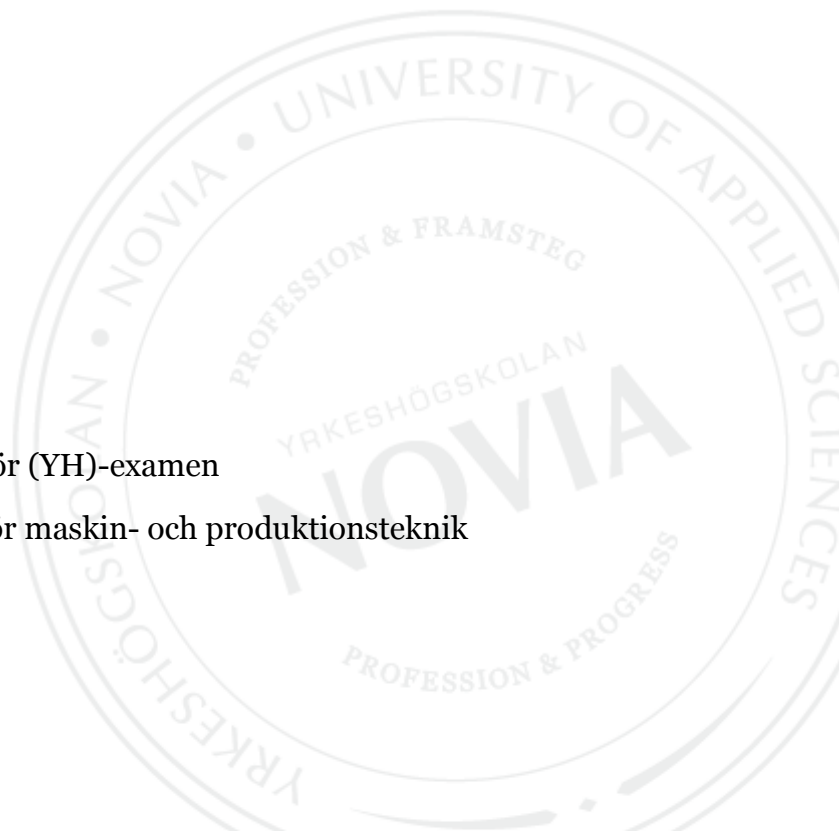
Axeluppriktning vid installation av maskiner

Mikael Blomqvist

Examensarbete för Ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för maskin- och produktionsteknik

Raseborg 2013



EXAMENSARBETE

Författare: Mikael Blomqvist

Utbildningsprogram och ort: Maskin- och produktionsteknik, Raseborg

Handledare: Håkan Bjurström

Titel: Axeluppriktning vid installation av maskiner

Datum 15.5.2013

Sidantal 63

Bilagor 0

Sammanfattning

Syftet med arbetet är att göra ett fördjupningsarbete inom axeluppriktning vid maskininstallation. I arbetet presenteras varför det är viktigt att göra en axeluppriktning vid installation av en eller flera maskiner. I arbetet beskrivs den idag mest använda uppriktningssmetoden med laserinstrument samt den äldre tekniken med indikatorklocka. Några olika varianter av maskinfundament presenteras då olika maskiner har olika fundament. Samtidigt beskrivs olika slags axelkopplingar och kraftöverförande komponenter samt till vilka ändamål de lämpar sig. Tyngdpunkten ligger på hur viktig precisionen är vid monteringsarbetet eftersom det ger en säker maskin, längre livslängd på utrustningen med lägre drift- och underhållningskostnader och mindre oplanerade stagnationer.

Förebyggande underhållsverksamhet utnyttjar vibrationsmättekniken för maskiner i drift då man följer med begynnande skador eller fel i monteringskedet. I detta arbete beskrivs tekniken i korthet för att ge läsaren en bild hur man kan söka fel utan att stanna maskinen och därmed förorsaka driftstopp i en produktionslinje.

Examensarbetet är också tänkt att kunna fungera som material för studerande och personer som arbetar med installationer inom industrin. Som ett eget kapitel beskrivs ett omfattande projekt där ett stort fundament bytts ut under flera maskiner.

Språk: Svenska Nyckelord: fundament, koppling, maskin, mätning, uppriktning

Examensarbetet finns tillgängligt i webbiblioteket Theseus.fi

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Mikael Blomqvist

Koulutusohjelma: Maskin- och produktionsteknik, Raasepori

Ohjaaja: Håkan Bjurström

Nimike: Akselilinjaus koneita asennettaessa /Axeluppriktning vid installation av maskiner

Päivämäärä 15.5.2013

Sivumäärä 63

Liitteet 0

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä akseleiden linjaukseen koneasennuksessa. Työssä kuvataan linjauksen tärkeydestä koneita asennettaessa. Laserlinjausmenetelmä, joka on nykyään käytetyin linjausmenetelmä, sekä aikaisempi mittauskelloa käyttävä tapa esitetään opinnäytetyössä. Erilaisia konealustoja kuvataan koska erityyppisillä koneilla on erilaiset alustat. Samassa kuvataan erimallisia kytkimiä ja voimansiirtokomponentteja, sekä sitä, mihin tarkoitukseen ne soveltuvat. Painopiste kohdistuu siihen, kuinka tärkeää tarkkuus on asennustyössä, sillä se tekee koneesta turvallisen, antaa laitteille pidemmän käyttöiän pienemmällä käyttökustannuksella sekä vähentää suunnittelemattomia tuotantoseisokkeja.

Ennakkoiva huoltotoiminta hyödyntää värähtelymittaustekniikkaa alkavien vikojen ja asennusvirheiden seurannassa. Värähtelytekniikasta kerrotaan lyhyesti, jotta lukija saisi käsityksen miten vianmäärittystä voidaan tehdä ilman että koneita tarvitsee sammuttaa.

Opinnäytetyön on myös tarkoitus toimia materiaalina opiskelijoille ja henkilöille, jotka työskentelevät koneasennuksien parissa teollisuudessa. Omana lukunaan kuvataan yhtä isoa projektia, jossa vaihdettiin koneperusta, jonka päällä on useita koneita asennettuna.

Kieli: Ruotsi Avainsanat: kone, kytkin, linjaus, mittaus, perusta

Opinnäytetyö on saatavilla verkkokirjastossa Theseus.fi

BACHELOR'S THESIS

Author: Mikael Blomqvist

Degree Programme: Mechanical and Production Engineering, Raseborg

Supervisor: Håkan Bjurström

Title: Shaft Alignment when Installing Machines/Axeluppriktning vid installation av maskiner

Date 15 May 2013

Number of pages 63

Appendices 0

Summary

The aim of this work was to get knowledge of shaft alignment in installation of machines. The importance of aligning machines in installation of one or more machines is presented. The most commonly used aligning method using a laser instrument is described as well as the older technology using dial indicator. Some types of machine foundations are presented because different machines have different foundations. Also various couplings and power transmission components are described, and for what purposes they are suitable. The emphasis is on the importance of the accuracy when assembling machines, because accuracy provides a safe machine, longer equipment life with lower operating costs and fewer unplanned production stops.

Preventive maintenance operations use vibration measuring technology on machines in operation when monitoring incipient damage or defect in the assembly stage. This work describes briefly the vibration technology to illustrate the technique to the reader of how to find errors without stopping the machine and causing downtime in a production line.

The work is also intended to serve as material for students and people who work with machine installations in industry. As a separate chapter at the end of this thesis there is a big project described where a machine foundation was replaced with a new one.

Language: Swedish Key words: alignment, coupling, foundation, measurement, machine

The examination work is available at the electronic library Theseus.fi

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Axeluppriktning eller linjering av maskiner	2
1.2.1 Skadliga faktorer och tekniska lösningar som hjälpmedel	3
2. En god grund – säkrare axeluppriktning	4
2.1 Materialval för fundament	5
2.1.1 Fundament i stål	6
2.1.2 Gjutjärn som material	6
3. Kraftöverförande komponenter	7
3.1 Fasta axelförband	8
3.2 Rörliga, vridstyva axelförband	10
3.2.1 Kuggkopplingar	10
3.2.2 Lamellkopplingar	12
3.2.3 Kardan- och ledaxlar	13
3.3 Elastiska axelförband	15
3.3.1 Klokoppling	15
3.3.2 Gummibälgekoppling	16
3.3.3 Metallfjäderkoppling	16
4. Axeluppriktning – en del av underhållsarbetet	18
4.1 Axeluppriktning i tiden	18
4.2 Förberedning av axeluppriktning	20
4.2.1 Olika typer av uppriktning	21
4.2.2 Ställskruvar och shims	21
4.2.3 Förberedande mätningar	22
4.2.4 Mjukfotskontroll	24
4.2.5 Uppriktningsstoleranser	24
4.2.6 Val av uppriktningssmetod	26
4.3.1 Indikatorcklockans precision	27
4.3.2 Axeluppriktning med indikatorcklocka – Rim and Face	27
4.3.3 Axeluppriktning med indikatorcklocka – reverserande indikatorcklockametoden	29
4.4.1 Laserinstrument	32
4.4.2 Axeluppriktning med laser	33

4.5 Dokumentation på utförd mätning	36
4.6 OL2R – från stillastående till drift	37
5. Mätteknik	38
5.1 Mätosäkerhet	39
5.2 Fysikaliska faktorer som påverkar mätning	40
5.3 Deformation av mätverktyg eller objekt	41
6. Vibrationsteknik som verktyg i underhållet	42
6.1 Vibrationsanalys och givarplacering	42
7. Bristfällig axeluppriktning leder till defekter	46
7.1 Skador på maskinen och fundamentet	46
7.2 Energiförluster	47
8. FNsteel:s valsverk i Dalsbruk	48
8.1 Trådframställning	48
8.2 Trådblockets uppbyggnad	50
8.2.1 Beslut om fundament- och valsstolsbyte	51
8.2.2 Planering och genomförande	52
8.2.3 Demontering av maskiner och fundament	52
8.3.1 Fastgjutning av nya fundamentbultar	54
8.3.2 Montering av nya valsstolar och uppriktning av växellådor	56
8.3.3 Uppriktning av valspar	57
8.4.1 Onormalt slitage på rull-ledare i valspar	58
8.4.2 Ny mätning av trådblocket	60
8.4.3 Mätresultat visade fakta	60
8.5 Orsaken till felen var många	61
9. Sammanfattning	62
Terminologi	63
Källförteckning	64
Figurförteckning	65

1. Inledning

Ett av de sista skedena före drifttagning av fastmonterade maskiner är axeluppriktning eller också kallat linjering. Axeluppriktning av maskiner, växellådor och motorer har alltid gjorts men metoden har utvecklats med åren då nya tekniker uppfunnits. Detta förfarande används i flera utföranden inom maskininstallation, t.ex. en motor som driver en fläkt via remskivor. För att remmen skall hålla så linjerar man de två remskivorna så de ligger i samma plan. En annan liknande linjering finns på en traditionell cykel, där de två kugghjulen ligger i samma plan. Om de inte gjorde det skulle kedjan börja stiga på kuggarna och riskera att hoppa bort. Axeluppriktning är då man positionerar maskiner med roterande axlar i ett läge som bidrar att axlarna ligger på samma centrumlinje i både höjd- och sidled men även så att vinkelfel undviks. I detta arbete kommer jag att fokusera på de allmänna begreppen och termerna kring axeluppriktning, och vad som bör beaktas för att nå ett gott resultat vid maskinmontering.

1.1 Bakgrund

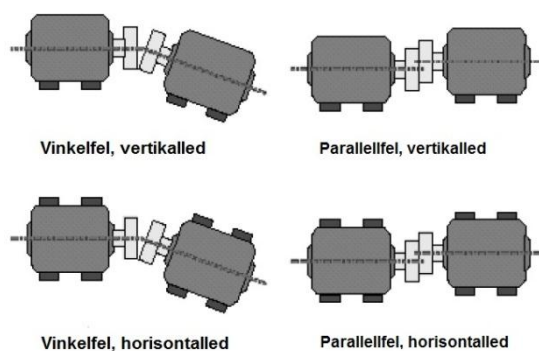
Maskiner och mätmetoder har alltid intresserat mig. Då jag under flera år arbetade som förman för mekaniska underhållet i FNsteel:s valsverk i Dalsbruk stötte jag ofta på arbeten som krävde axeluppriktning innan bruktagning av maskiner. Under de tre sista åren då jag arbetade i FNsteel stod jag flera gånger inför problem med axeluppriktning. Ett stort projekt gjordes 2009 i valsverket då trådblockets fundament skulle bytas och tio växellådor och valspaket skulle linjeras på nytt. Projektet lyckades inte fullständigt då och på sommaren 2012 skulle det utföras igen men blev avbrutet pga. konkursen som drabbade FNsteel. Så långt hann man att mätningarna gjordes för att analysera hur stort felet var men inte varifrån det kom. I detta arbete kommer jag att beskriva projektet. I övrigt vid axeluppriktning är det många faktorer som spelar in för att resultatet blir önskat. Jag vill återge de viktiga skedena i en maskinkonstruktion, där olika komponenter från grunden till de kraftöverförande delarna beskrivs. Examensarbetet skall också fungera som en beskrivning om axeluppriktningens olika skeden för personer som arbetar med mekaniskt underhåll.

1.2 Axeluppriktning eller linjering av maskiner

För att en maskin skall fungera tillfredställande under hela sin livstid behöver många saker tas i beaktande. Redan i utvecklingskedet har planeraren funderat över vad maskinen kommer att utföra, hur många timmar den skall arbeta i dygnet, vilka belastningar den utsätts för. Maskinen körs kanske med hög hastighet och låga vridmoment eller tvärtom. Maskinen är kanske tung eller risken för att resonanser väcks gör att den behöver en robust grund att stå på. Omgivningen är varm alternativt kall, eller så förekommer båda alternativen. Då bör temperaturväxlingarna tas i beaktande. Maskinen bör eventuellt kunna röra på sig under drift p.g.a. inställningsmöjligheter eller övriga funktionsmässiga krav. Detta ställer krav på axlar och koppling som räknas till de kraftöverförande komponenterna. Alla dessa saker skall finna balans för att maskinen skall uppfylla användarens villkor och önskemål. En maskin som producerar kraft och vridmoment kan vara t.ex. elmotor, förbränningsmotor, hydraulisk motor o.s.v. Ofta driver motorn någon annan maskin som en växellåda, rulle, valspar eller någon annan separat enhet. Det förekommer också maskinlinjer med flera efterföljande maskiner som är beroende av varandra, också kallat maskintåg. Alla dessa sammanställningar av maskiner är beroende av en god installation. En god installation startar redan vid planeringsbordet men kräver att hela kedjan följer samma regel tills maskinen är i bruk.

Axeluppriktning, eller också kallat maskinlinjering, är ett gammalt begrepp inom maskinteknik. Det är inte svårare än att maskiner kopplade i samma drivlina som har roterande axlar vilka bör ligga i rät linje. Det finns två typer av uppriktningssfel:

- Parallellfel (centreringsfel)
- Vinkelfel



Figur 1. Olika typer av uppriktningssfel. (An engineer's guide. 2012).

Även kombinationer av dessa förekommer där vinkelfelet och parallellfelet finns i antingen i vertikalt eller horisontellt plan, eller också i båda planen. Med axeluppriktningen vill man uppnå minimalt kast i radiell och vinkelriktning. Det finns dock undantag, kardanaxeln och vissa kuggkopplingar, där man helst har vinkelfel för att leden eller kuggarna skall röra sig så man kan säkerställa att smörjningen fungerar mellan glidyorna i nållagren (mera om detta i kapitel 3.2.3). (Ranta, 1997; Piotrowski, 2007).

1.2.1 Skadliga faktorer och tekniska lösningar som hjälpmedel

Axeluppriktningen kan utföras på många sätt, både med enkla metoder innehållande bladmått, skjutmått och raxskiva samt indikatorklocka. Då objektet kräver större precision används optiska instrument såsom laser, avvägningsinstrument och teodolit. Tekniken har utvecklats genom åren till väldigt noggranna instrument som hjälper användaren att utföra en exakt linjering. Också efter bruktagning fordras underhåll, byte av komponenter och eventuellt ny axeluppriktning av maskinen. Många faktorer påverkar maskinen under dess livstid. Temperaturförändringar, vibrationer, momenttoppar och många andra saker belastar fundament, växellådor och maskiner. Feluppriktade maskiner är ett underhållsproblem som leder till skador i något skede. För att hindra att skadorna blir för stora använder man olika underhållsmetoder inom industrin:

- Förebyggande underhåll
- Reparerande underhåll
- Förbättrande underhåll
- Modifieringsarbeten

Det som kanske handlar mest om att följa med maskinen under dess användning kallas förebyggande underhåll. Med förebyggande underhåll avser man att med regelbundna och jämna tidsintervall följa upp maskinens tillstånd. Vibrationsmättekniken är mycket lämplig med tanke på mekaniska maskiners funktionsövervakning. Också visuella kontroller och övriga analysmetoder tillämpas. (Piotrowski, 2007; Ansaharju m.fl, 2002).

2. En god grund – säkrare axeluppriktning

En växellåda, motor eller maskin av något slag vilar alltid på en grund eller fundament. För att maskinen skall fungera utan störningar och hållas i samma position under drift krävs det att fundamentet är tillräckligt starkt och vridhållfast. Fundamenten dimensioneras efter den kraft och det vridmoment som uppkommer vid användning, samt för att bära upp maskinens massa. Den skall också ta emot stötar, vibrationer och brytningar som förekommer under maskinens gång. Också fastsättningen av maskinen inverkar på hurdant fundamentet skall vara. Man måste eventuellt komma åt fastsättningsbultar som placeras inuti eller under fundamentet och ofta finns det ställskruvar för uppriktning av maskinen.

Maskininstallation går att indela i tre olika kategorier:

1. **Fast installation**, där maskinen oftast fästs ordentligt med ankarbultar som är ingjutna i betongen. Denna metod lämpar sig där maskinen inte behöver isoleras från resonanser som uppkommer. Vissa maskiner behöver inte ett speciellt fundament utan klarar att stå direkt på ett golv enbart fastspänd med ankarsbultar. Liknande maskiner är pelarborrmaskiner.
2. **Flexibel installation** eller med vibrationsdämpande material utförd montering. I detta utförande används vibrationsdämpande matta eller maskinskor. Deras avseende är att hindra buller och vibrationer från att fortplanta sig till omgivande konstruktioner. Används i flertal maskiner såsom fläktar, mindre spånskärande maskiner osv.
3. **Installation på skild ram eller fundament** förekommer bl.a. vid precisionsslipmaskiner där noggrannheten är hög. Fundamentet kan vara gjort av stabil eller homogen konstruktion, och mellan den och det egentliga underlaget kan vibrationsdämpande matta eller motsvarande maskintass monteras. (Ansaharju, 2009; Piotrowski, 2007).



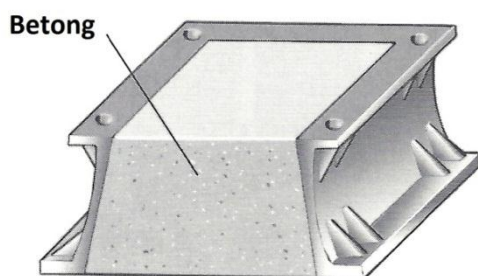
Figur 2. Förankringsplatta och ankarbult.
(www.kiinnikekolmio.fi).



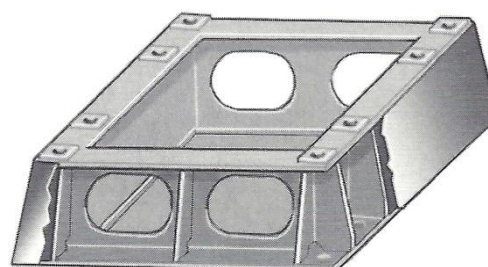
Figur 3. Vibrationsdämpare.
(www.rubberdesign.fi).

2.1 Materialval för fundament

Fundament kan tillverkas i olika material och utföranden beroende på användningsändamålet. Stålfundament är kanske det vanligaste men även i gjutet utförande, då i gjutjärn, eller närmare bestämt gråjärn, används också. Av profilämnena såsom balkar, fyrkantrör och vinkeljärn tillverkade fundament är oftast till maskiner som inte ger stora vridmoment. Större maskiners fundament tillverkas av stora plåtar som skärs ut och svetsas ihop till en vridstark konstruktion. Ofta gör man eftergjutning med betong i själva lådan för att ytterligare förstyyva konstruktionen och samtidigt eliminera vibrationer. Samma gäller fundament som är gjorda i gråjärn. Innan betong gjuts lägger man armeringsjärn in i konstruktionen. Eftergjutning med specialbetong, som inte får krympa, görs mellan grunden och fundamentet och sker då själva fundamentet är positionerat i såväl höjd- och sidled. Fundament gjorda i betong är en stabil och stark lösning som även motverkar oönskade vibrationer. Trä används också som material för fundament men dock sällan och då för det mesta vid tillfälliga mindre maskininstallationer. (Ansaharju, 2009).



*Figur 4. Gjutjärnsfundament fylld med betong.
(Ansaharju, 2009).*



*Figur 5. Stålfundament.
(Ansaharju, 2009).*

Vid planering och tillverkning av fundament skall axelhöjderna i maskinerna tas i beaktande. Detta gäller då den drivande och drivna maskinen står på samma fundament och är direkt kopplade till varandra. En standard är speciellt uttagen för detta ändamål av Finlands Standardiseringskommission, standardens nummer är SFS 2635.

2.1.1 Fundament i stål

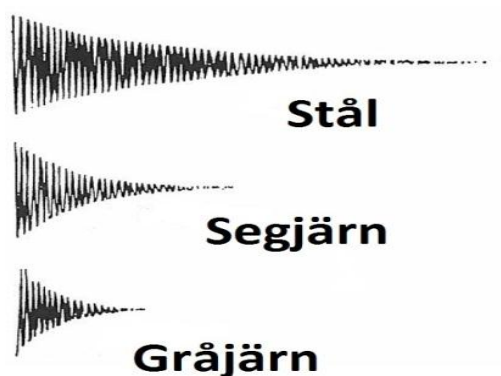
Vid tillverkning av stålfundament används balkar, profiler och stycken skurna ur plåt som sedan svetsas ihop till en konstruktion som maskinen skall vila på. Vid hopsvetsning av fundamentet bör man undvika värmespanningar så långt som möjligt för att konstruktionen inte skall vrida sig. Om det inte är möjligt att säkerställa om värmespanningar uppstått kan man avspänningsglödga konstruktionen vid ca 600 °C under några timmar. Efter det får den svalna långsamt i luften. Om däremot fundamentet består av delar med stor variation på tjocklek bör den svalna i ugn. Då fundamentet är hopsvetsat och värmebehandlat skall bearbetning göras på de ytor som maskinen vilar på. Vid tillverkningen har man lämnat bearbetningsmån på de ställen där maskinens tassor kommer, ofta fyra men med flera finns då maskinerna blir större. Ytorna körs med planfräs till önskat mått och ytfinhet. De bearbetade ytorna skall ligga i samma plan. Hål för fastsättning av maskinen och placering på ankarbultar borras i detta skede. Fundamentet har eventuellt lådform och då bör den förses med avrinningshål för vatten som den kan utsättas för. Ytbehandling är bra att göra före installationen och då bör de bearbetade ytorna skyddas. (Ullman, 2003; Ansaharju, 2009).

2.1.2 Gjutjärn som material

Gjutjärn kan indelas i flera kategorier efter vilka legeringar eller framställningsmetoder som använts i tillverkningen. Vid tillverkning av fundament, maskinstativ eller växellådsstomme används vanligtvis segjärn eller gråjärn. Gråjärnet är det vanligaste av de två gjutjärnen. Gråjärnet finns i ett flertal olika legeringstillstånd. Dess många goda egenskaper gör det till ett lämpligt material för maskinbyggnad. Nedan beskrivs några av de viktigaste egenskaperna som krävs för material till fundament:

- Tryckhållfasthet
- Draghållfasthet
- Hög sträckgräns
- God dämpningsförmåga (resonanser)
- God slitstyrka
- Bearbetbarhet
- Korrosionsbeständighet

God dämpningsförmåga är en viktig egenskap då man väljer material för maskiner. Dämpningsförmåga betyder att materialet absorberar eller upptar vibrationer som maskinen ger upphov till. Gråjärnet har den bästa dämpförmågan då man jämför den med t.ex. stål eller segjärn. Den rikliga förekomsten av grafit i gråjärnet bidrar till detta. Också bearbetbarheten blir enklare då grafitförekomsten är högre. Svetsbarheten hos gråjärnet är dåligt då svetsfogarna blir spröda. (Ranta, 1987; Ullman, 2003; Kleimola, 1997).



Figur 6. Exempel på dämpförmåga mellan olika material – Visar hur resonanser avtar med tiden i en stav som satts i svängning. (Ullman, 2003).

3. Kraftöverförande komponenter

För att en motor skall kunna driva en växellåda eller maskin behövs något mellan de roterande axlarna i maskinerna. Till kraftöverföring används kopplingar av olika slag och med varierande funktionsprinciper. Kopplingen skall överföra vridmomentet från motor till maskin antingen hela tiden eller då så att man kan frikoppla den i drift. Även säkerhets- eller överlastkopplingar som skyddar maskinen men också överför kraft samtidigt används. Då sträckorna är långa mellan den drivande och drivna parten använder man mellanaxel eller kardanaxel för att förbinda parterna med varandra. Man bör alltid säkerställa att man uppnår rätt axiell uppriktning genom att följa leverantörens anvisningar gällande toleranser vid montering. Axelns varvtal har också en stor inverkan vilken noggrannhet som krävs vid linjering. Olika typer av kopplingar tillåter olika vinkel-, radial- och axialkast. Man indelar de olika kraftöverförande komponenterna i följande kategorier (se nästa sida)



Figur 7. Kopplingarnas uppdelning. (Översatt från finska, (Kivioja, 1997)).

I detta kapitel kommer några av de vanligaste kraftöverförande komponenterna att beskrivas noggrannare. (Kivioja, 1997).

3.1 Fasta axelförband

Den kanske allra vanligaste kopplingstypen är en s.k. fast koppling som är väldigt enkel till sitt utförande. Den har som uppgift att enbart överföra direkt vridmoment utan förluster från motor till maskin. Kopplingssammanställningen består av två enskilda delar som spänns ihop med bultar, eventuellt kan styrande holkar användas därtill.

Kopplingarna kan indelas i tre kategorier:

- Stela axelkopplingar
- Flänskopplingar
- Splineskopplingar

Vid användning av de två första fasta kopplingarna bör man säkerställa att axeluppriktningen av maskinerna är innanför givna toleranser samt att värmeutvidgning inte förekommer. Maskinerna bör stå stadigt och orörliga då kopplingen inte kan ta upp stora sidkrafter eller böjmoment. Den stela axelkopplingen förbinder vardera axeln med varandra genom att spänna ihop de två halvorna med varandra. Eventuellt kilförband eller låsskruvar kan också säkra positioneringen av kopplingen. Den är avsedd att överföra

mindre vridmoment. Flänskopplingen kan däremot överföra stora vridmoment. Två likadana kopplingar finns på båda axlarna och deras flänsar spänns ihop med bultar. Fasta kopplingar leder vridmomentets impulser oförändrade vidare.

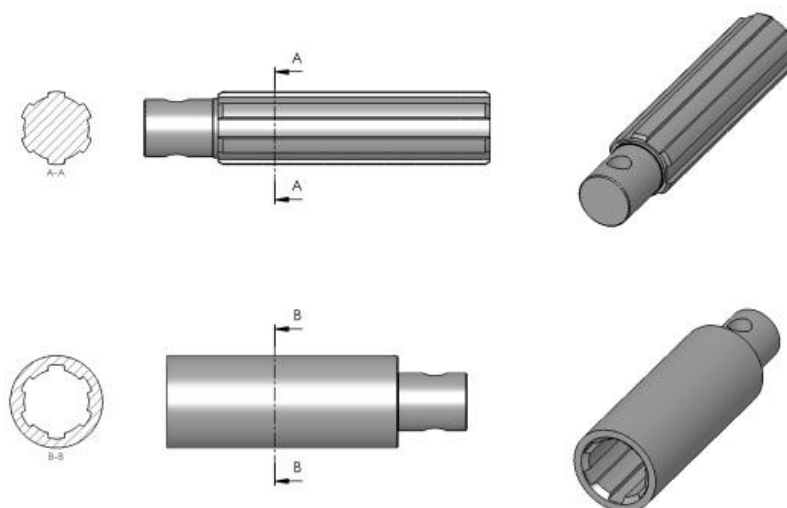


Figur 8. Olika stela axelkopplingar. (www.ruland.com).



Figur 9. Fast koppling med fläns. (www.directindustry.com).

Splineskopplingen är fördelaktig då den centrerar automatiskt sig själv och axeluppriktningen behöver inte utföras. Denna koppling överför också vridmomentet utan förluster. Metoden används också i kardanaxlar då längdförändringen på axeln kan vara av betydelse då splinen kan röras i axiell riktning. (Kivioja, 1997).



Figur 10. Bild på splinesaxel. (www.wikimedia.org).

3.2 Rörliga, vridstyva axelförband

I maskiner finns många faktorer som påverkar kopplingen regelbundet, både då maskinen installeras och är i drift. En rörlig men vridstyv koppling används då man vill säkerställa att maskinen fungerar även då rörelse sker p.g.a. temperaturförändringar, axelns böjning eller då lagringen eller maskinstommen fjädrar. Dessa kopplingar klarar av en viss grad av fel vid uppriktning men man bör ändå beakta tillverkarens instruktioner vid montering. I och med att kopplingen är vridstyv kan man behålla vridmomentet oförändrat mellan maskinerna. Dessa kopplingar finns i olika utföranden:

- Kuggkopplingar
- Stållamellkopplingar
- Kardanaxlar och ledaxlar
- Övriga kopplingar såsom klokoppling, kedjekoppling etc.

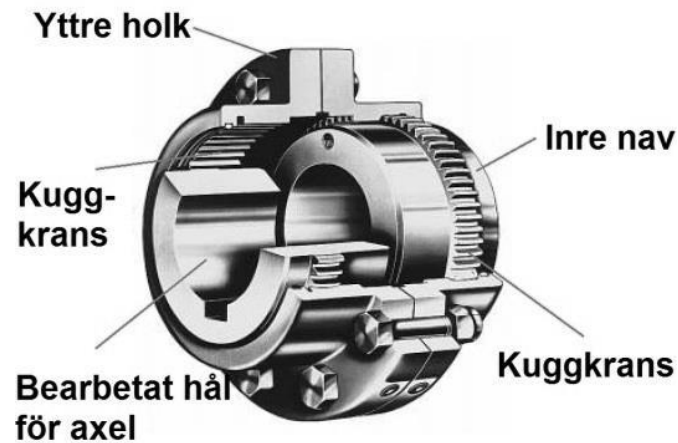
(Kivioja, 2009).

3.2.1 Kuggkopplingar

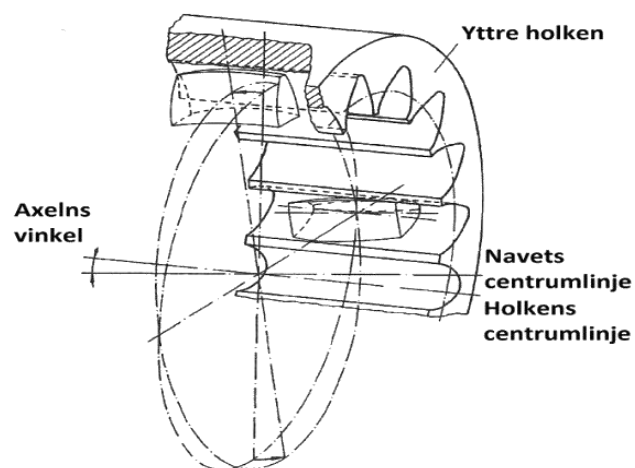
En komplett sammanställning av en kuggkoppling består av en inre och en yttre del. Den inre delen kallas nav och monteras direkt på axeln t.ex. på den drivande motorn. Navet har en kuggkrans med en viss modul som passar ihop med den yttre kransen eller holken. Den yttre holken förs på navet och kuggarna överför vridmomentet mellan de två delarna. Den yttre holken har en fläns som är försedd med hål för bultar för att monteras ihop med en motsvarande koppling som är monterad på den drivna maskinen. Kuggkopplingar finns i ett brett sortiment och i flera utföranden. De kan vara gjorda i stål eller segjärn. Olika plaster används i mindre kopplingar och dessa är fördelaktiga eftersom de inte behöver smörjning.

Normalt används olika fetter för att smörja kuggarna i kuggkopplingar gjorda i metall. Kuggkopplingarnas kugg är av evolventtyp med ingreppsvinkeln normalt 20° , men med 30° vinkel förekommer också. Dessa kopplingar är speciellt bra vid överföring av stora vridmoment och höga rotationshastigheter. Förlusterna är låga men vid ökande vinkelfel i uppriktningen sjunker kraftöverföringen rejält. Max tillåtna vinkelfel ΔK_w ligger på $< 1^\circ$ vanligtvis. Största tillåtna radialkastet ΔK_r beror på avståndet mellan kopplingarna, eller

kuggbanorna, längden L och det tillåtna vinkelfelet ΔK_w . I vilket fall som helst är stora avvikelser i upprikningen skadliga för kopplingen eller övriga maskinkomponenter som t.ex. lagringen. Kuggkopplingarna kan indelas i två grupper, snabbt roterande s.k. turbokopplingar som används i maskiner med höga varvtal som t.ex. kompressorer och generatorer. Vanliga kuggkopplingar används i maskiner med lägre rotationshastighet som överför stora vridmoment. (Kivioja, 1997; Mobley, 2004).



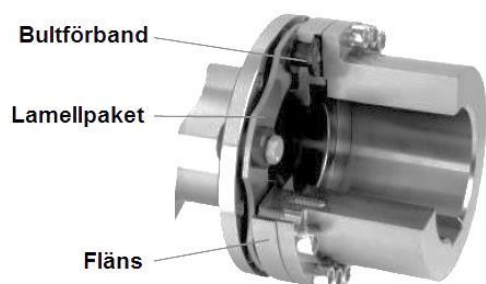
Figur 11. ESCOGEAR kuggkoppling. (www.sks.fi).



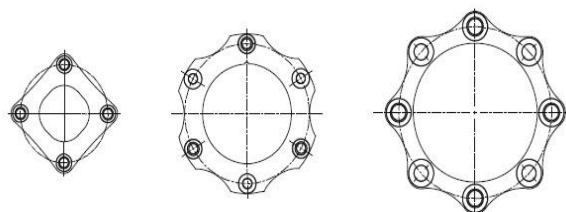
Figur 12. Rörelseförhållandet mellan tänderna i yttre holken och navet i kuggkopplingen då axlarna bildar en vinkel. (Kivioja, 1997).

3.2.2 Lamellkopplingar

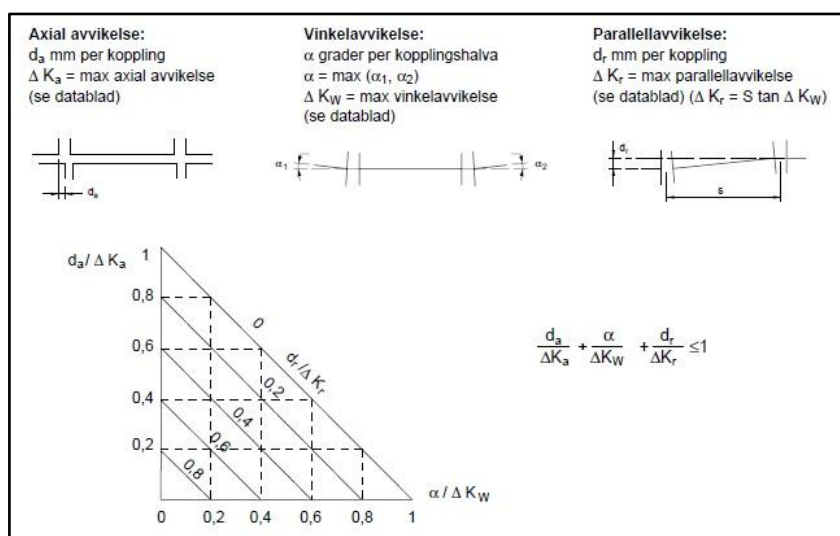
Ibland behövs kopplingar som är underhållsfria och klarar högre driftstemperaturer. Där kan ställamellkopplingar komma till nytta. Kopplingen har ett fjädrande element, ofta gjort av rostfritt fjäderstål, som är fastmonterat mellan de två kopplingshalvorna. Vridmomentet överförs genom elementet som kan ha olika former (se figur 14). Elementet är styvt i radiell riktning men böjs vid axial- och vinkelrörelse. Ställamellkopplingen har ungefär samma upprikningstoleranser som kuggkopplingen, alltså $< 1^\circ$, då enbart ett lamellpaket används. Vid användning av två lamellpaket kan ökning av vinkelfelet accepteras. Vridmomentet överförs direkt men nackdelen med denna koppling är dess känslighet för korta överbelastningsfall. Lamellpaketet som består av tunna plåtar riskerar brytas av då. (Kivioja, 1997).



Figur 13. KTR:s koppling RIGIFLEX®-N.
(www.ktr.fi).



Figur 14. Olika ställamellpaket och dess former.
(www.ktr.fi).



Figur 15. ESCODISC:s beräkning av högsta tillåtna upprikningsfel. Beräknas från diagrammet eller genom formeln. (www.jens-s.se).

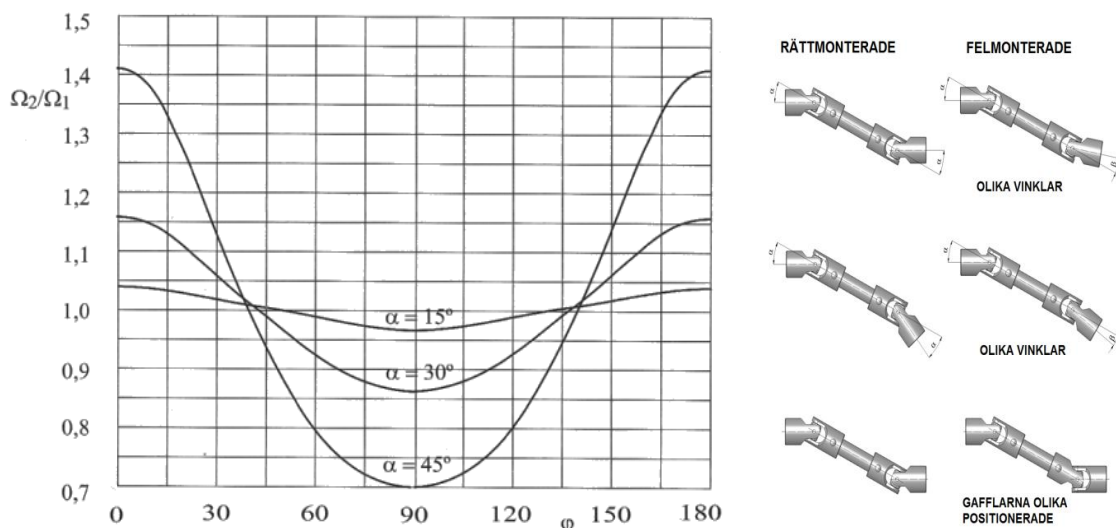
3.2.3 Kardan- och ledaxlar

Det finns fall då axeln i drivande och drivna maskinen inte står mitt för varandra. Då behövs en koppling med axel som kan rotera trots att en stor vinkel existerar. Kardanaxeln ger möjlighet att överföra vridmoment och rotation mellan två maskiner. Kardanaxeln har en led som består av två gafflar som är förenade med ett kardankors också kallat knut samt fyra nållager. Vinkeln kan vara konstant eller varierande hos en kardanaxel men placering då vardera maskinens axel ligger på samma centrumlinje bör undvikas. Orsaken till detta är att ledens nållager får en för liten rörelse vilket ökar risken är att lagerbanorna blir gropiga. Lederna utgör den delen på kardanaxeln som medger vinkelställningen hos den. Nållagren roterar inte helt men de rörs en del hela tiden då axeln roterar. Vinkeln hos en kardanaxel i drift kan vara stor, upp till 45° är möjligt men då kan inte varvtalet vara högt.

Nackdelen med kardanaxeln är att hastigheten inte förs över konstant utan varierande rotationshastighet uppstår. Detta gäller då bara en led är monterad. Med två leder, som är förbundna med en mellanaxel och ligger i samma plan, kan man reducera eller nästan helt eliminera hastighetsvariation. Gaffellänkarna bör vara korrekt monterade och svängda i förhållande till varandra. Kardanaxlarna kan vara monterade i excentrisk- eller vinkelavvikelseposition. Vinkeln i vardera kardanknuten bör hållas samma. Man strävar till att hålla vinkeln $\alpha = 0,03$ mm/100 mm. Då stabila rotationshastigheter skall överföras utan hastighetsförändring använder man drivknutar, eller också kallade konstanthastighetskoppling. Deras engelska förkortning är CVJ, Constant Velocity Joints. Framhjulsdrivna bilar har en s.k. Rzeppa-knut närmare hjulet och en Tripod-knut på den inre delen av drivaxeln. Tripod-knuten kan inte ta lika stora vinklar som Rzeppa-knuten men klarar däremot bra av axiell rörelse. (Olsson, 2006; Kivioja, 1987; Kivioja, 1997).



Figur 16. Kardanaxel. (gknservice.com).



Figur 17. Hastighetsvariation i en kardanaxel med en led i olika vinkelutslag. Som exempel kan man avläsa att vid samtliga kardanaxelvinklar är hastigheten på in- och utgående ungefär samma vid rotationsvinkeln $\approx 37,5^\circ$ och följande gång mellan 135° och 150° . Ur tabellen framgår också att hastigheten förhåller sig jämnare med mindre kardanaxelvinkel (Olsson, 2006). Bilden till höger visar olika monteringsarrangemang (<http://commons.wikimedia.org>).



Figur 18. Rzeppa drivknut. (www.ntnamericas.com).



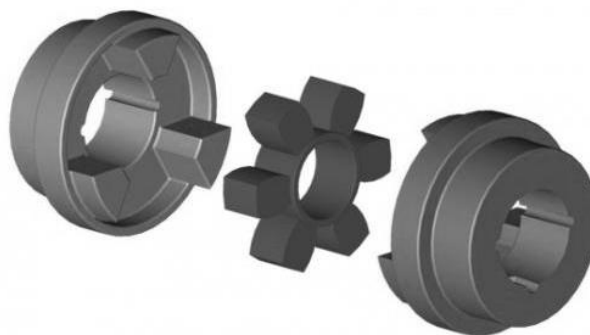
Figur 19. Tripod drivknut. (www.ntnamericas.com).

3.3 Elastiska axelförband

De vanligaste kopplingarna som används är elastiska kopplingar. Gemensamt för dem alla är deras elastiska element (en eller flera) som medger större och mindre uppriktningfel samt chocker orsakade av hastighetsvariationer. Vibrationer och resonanser dämpas genom elementet. Momentimpulserna minskas p.g.a. att en deformation sker i kopplingselementet. Elementet kan vara gjort av metall, gummi, olika plaster, polyuretaner och andra konstgjorda material. Dessa typer av kopplingar behöver inte smörjning. Det finns begränsningar när dessa kopplingar kan användas. Det är främst fråga om gränser i temperaturområde och hastigheter. (Piotrowski, 2007; Kivioja, 1987).

3.3.1 Klokoppling

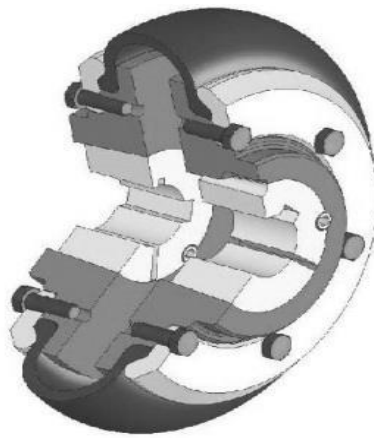
En praktisk koppling, där man kan ändra egenskaperna genom att byta ut ett elastiskt element, heter klokoppling. Denna koppling finns i flertalet utföranden men systemet är liknande hos dem alla. Kopplingen består av tre delar. Den kan ta upp alla typer av uppriktningfel men även med denna koppling måste man följa tillverkarens rekommendationer. Dess goda förmåga att absorbera höga impulser förorsakade av förändringar i vridmoment eller chock från uppstartssituation gör den till en utmärkt koppling där många goda egenskaper är samlade. Kopplingen förhindrar också vibrationer att fortplantas. Kopplingen är trots det gjord för överförande av mindre vridmoment än t.ex. kuggkopplingen. (Ansaharju m.fl. 2002; Kivioja, 1997).



Figur 20. Klokoppling av märket BICO. (www.kullager.se).

3.3.2 Gummibälgkoppling

Gummibälgkopplingen är en elastisk koppling som klarar stora avvikelser både i axiell och radiell riktning samt en stor vridningsvinkel i elementet. Denna koppling har ett element i gummi som sitter fast med bultar i de två kopplingshalvorna. I och med elementets form kan vinkelfelet vara upp till 4° , axiell skillnad ± 6 mm, radiell skillnad 2 – 6 mm och vridningsvinkeln 1° . Elementet är lätt att byta ut då den är kapad. (Ansaharju, 2009).



Figur 21. Gummibälgkoppling, FenaFlex. (tuotteet.etra.fi).

3.3.3 Metallfjäderkoppling

Metallfjäderkopplingen förekommer i tre rätt så olika utseenden. Den första versionen påminner mycket om kuggkopplingen men fungerar på ett annat sätt. I denna koppling finns ett band av fjäderstål som är sicksack-lindat kring tänderna så att båda kopplingshalvorna förbinds med varandra. Kopplingshalvorna vrids i förhållande till varandra då de utsätts för vridmoment. Kopplingen klarar av axial-, radial- och vinkelfel till viss mån. En annan typ av metallfjäderkoppling som används i mindre applikationer som t.ex. pumpar, små fläktar o.s.v. där de två kopplingshalvorna är förknippade med tre stålfjädrar. Fjädrarna är lindade i vardera riktningen. Kopplingen lämpar sig för höga

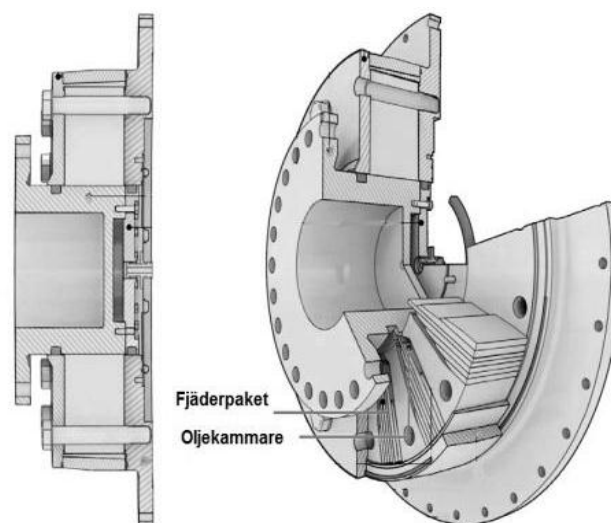
rotationshastigheter och tar bra upp vinkelfel ända från 3° - 6° . Den tredje versionen av metallfjäderkoppling har flata fjädrar radiellt placerade mellan inre och yttre kopplingshalvan. Kopplingen är fylld med olja. Oljan förflyttar sig mellan de olika delarna i kopplingen och dämpar vibrationer samt bromsar rörelse mellan de olika kopplingshalvorna. (Kivioja, 1997).



Figur 22. Lovejoy koppling. (www.lovejoy-inc.com).



Figur 23. Baumann-Flex koppling. (www.mikipulley.co.jp/en/product).



Figur 24. Geislinger koppling. (www.directindustry.com).

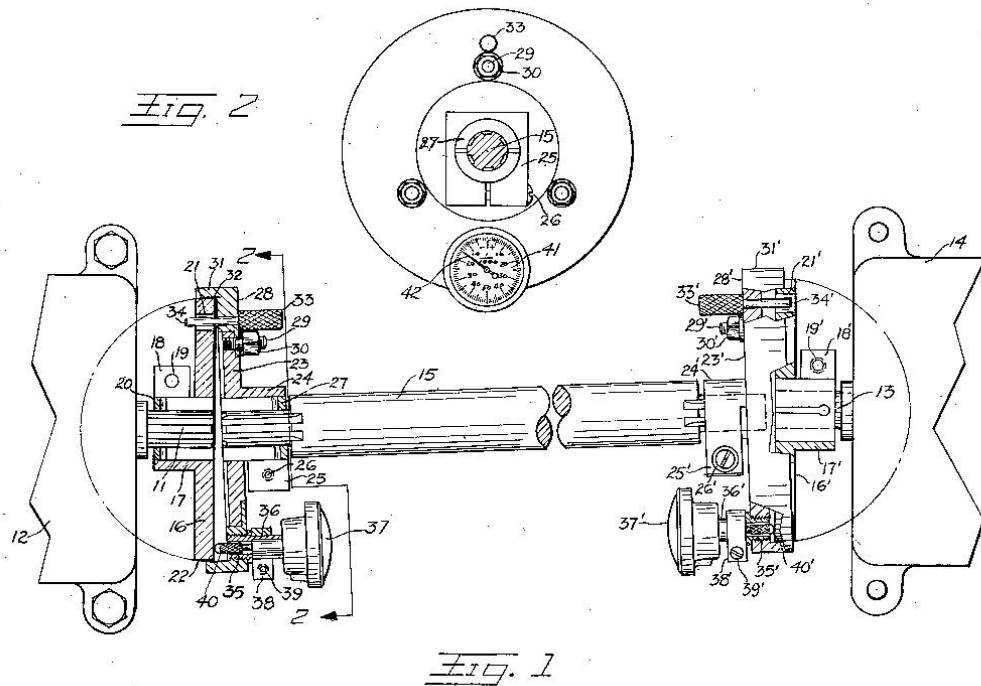
4. Axeluppriktning – en del av underhållsarbetet

Ett företag vill att maskinerna skall producera så mycket som möjligt och att stagnationstiden förblir minimal. Ibland behövs ändå service som betyder att maskinen körs ner och repareras. Komponenter eller större helheter byts ut med vissa intervall eller då fel och störningar upptäckts. Då man byter större delar som t.ex. motorer, växellådor eller hela maskiner står man inför att utföra en axeluppriktning. Det är ett noggrant skede i reparationen och risken finns att många saker går snett. Bristfällig axeluppriktning skapar en massa arbete och kostnader för företaget. Också bullernivån ökar p.g.a. vibrationer som väcker resonanser som fortplantas i konstruktioner och omgivningen. Även kvaliteten på den produkt företaget tillverkar kan försvagas genom att maskinerna inte arbetar optimalt eller hastighetsvariationer och vibrationer existerar. Därför är det viktigt att maskinerna riktas in med varandra så att de roterande axlarna finner samma centrumlinje. (Piotrowski, 2007).

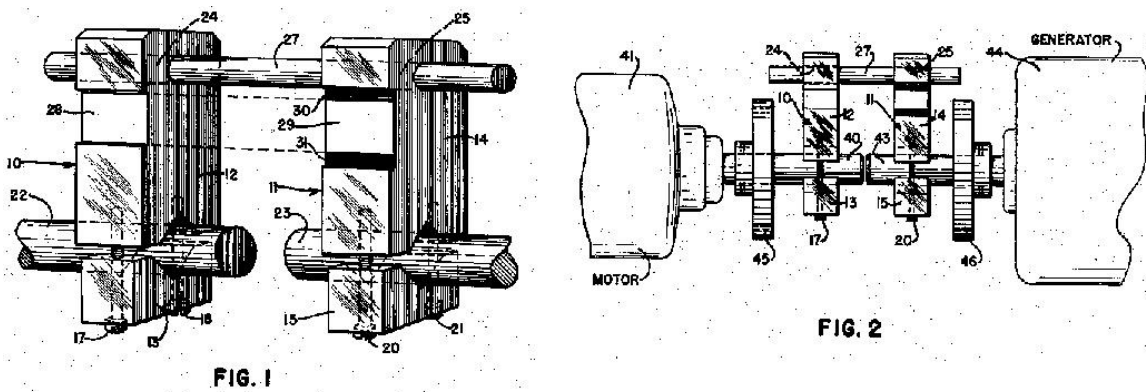
4.1 Axeluppriktning i tiden

Axeluppriktningen kan utföras på många sätt men de lättaste sätten är med dagens moderna laserinstrument. Men för att förstå vad man gör vid axeluppriktning kan det vara bra att gå till grunden med begreppet och studera den gamla tekniken. Redan på 1800-talet då industrialismen hade kommit igång och maskiner började dyka upp i fabriker, kom behovet att kunna rikta in maskinerna med varandra. De första instrumenten var enkla men innebörden var samma, att hitta de roterande axlarnas centrumlinje och därmed få dem parallellt samt utan vinkelfel inriktade. Flera innovationer föddes under fyrtio- och femtiotalet av folk som arbetade med mekanik. Man visste att uppriktningen var av betydelse för att minska på skador i maskinerier. J.B. Christian utvecklade ett uppriktningssverktyg för axlar 1946 och blev beviljad US Patent nr: 2516854 augusti 1950. Den var utrustad med två indikatorklockor med vilka man kunde avläsa värden då man roterar axeln. Ett annat verktyg, som John E. Callahan uppfann i april 1949 och fick patent på i maj 1953, där man fäster axlarna från vardera maskinen i delarna med frästa v-formade spår. På verktyget finns spår som är noggrant bearbetade för att fungera som mät- och referensyta. Uppriktning med enkla mekaniska metoder som skjutmått, ställinjal och

vinkelhake användes i flera år men gav inte tillräcklig mätprecision. På senare dagar började indikatorklockor användas i olika utföranden. De gav relativt goda resultat jämfört med de okulära metoderna. Idag används nästan enbart laserinstrument då man riktar maskiner eftersom de är enkla att använda och ger noggranna mätningar. Instrumenten vägleder hela utförandet tills uppriktningen är innanför toleranser. (Piotrowski, 2007).



Figur 25. J.B. Christians uppriktningsverktyg från 1950. (www.freepatentsonline.com).



Figur 26. John E. Callahan's axeluppriktningsverktyg från 1953. (www.freepatentsonline.com).

4.2 Förberedning av axeluppriktning

Då en axeluppriktning skall utföras skall vissa saker noggrant utredas innan man utför själva mätningen. Då maskinen är igång är det många saker som påverkar driften och funktionaliteten. Dessa saker skall beaktas just vid uppriktningen. Arbetarskyddet är viktigt och det första man gör är att säkra att maskinen är separerad från elnätet så att olovlig start inte kan ske. Maskinens fundament är den första komponenten som granskas. Fundamentet undersöks för att inga sprickor finns eller att det eventuellt är löst från golvet. Fundamentets ytor där maskinen vilar på skall mätas för dess raket och parallellitet. Själva maskinen (t.ex. växellåda, pump, valspar, generator o.s.v.) kollas för eventuella skador. Skadorna kan vara i form av läckande axeltätningar, böjda eller krokiga axlar eller skadade kraftöverförande komponenter, t.ex. kuggkopplingar med skadade kuggar. Maskinstommen kan också vara skadad. Maskinens fötter bör vara hela och måttnoggranna. Med måttnoggranna menas att alla dess fötter är på samma plan eller innanför givna mått och toleranser. Statiska och dynamiska krafter som maskinen utvecklar under drift skall kontrolleras i mån och möjlighet. Övriga fysikaliska faktorer som temperaturförändringar i maskinen eller omgivande konstruktioner beaktas vid uppriktning. T.ex. pumpar är ofta utsatta för temperaturförändringar som beror på mediet de förflyttar och inte direkt av pumpens egenskaper.

Ytorna som maskinerna vilar på och dess egna fötter skall vara rena från smuts och rost. Vanligtvis tvättar man ytorna före med någon form av lösningsmedel eller avfettningsmedel och gör en lätt slipning av ytan med fint sandpapper eller fil. Ytorna får inte utsättas för grov slipning eller bearbetning eftersom dess mått inte får ändra radikalt. Höjdmåtten bör hållas samma. Om maskinföterna eller fundamentets ytor får stora kast kan "mjuk fot" uppstå. Med mjuk fot, eller på engelska *soft foot*, menar man att en av maskinens fötter inte har kontakt med underlaget, alltså fundamentet. Det märks då maskinens fastsättningsbultar inte är åtdragna och en skarv bildas mellan maskinens fot och fundamentet. (Piotrowski, 2007; PSK Standardisointi, 2007).

4.2.1 Olika typer av uppriktning

Axeluppriktningen kan indelas i fyra olika kategorier där maskinerna är monterade i olika lägen. Det gemensamma med all uppriktning är att centrumlinjen för rotationen bör vara på samma linje eller befinna sig parallellt med varandra.

- **Horisontal uppriktning.** Med horisontal uppriktning menas maskiner som ligger i horisontellt läge där man justerar den rörliga maskinen i höjd- och sidled för att hitta axlarnas rotationscentrum. Genom att placera shims under maskinens fötter ändrar man höjdposition och för sidledes positionering använder man eventuella ställskruvar.
- **Vertikal uppriktning.** Maskiner som är vertikalt monterade skiljer sig från de horisontellt monterade genom att t.ex. en motor och pump är fastmonterade med en fläns och genom att flytta endera maskinen i förhållande till den andra korrigerar man uppriktningen.
- **Parallellt förskjutna maskiner.** Dessa maskiner har vanligtvis en kardanaxel som kraftöverförande länk. Uppriktningen går ut på att finna parallellitet mellan roterande axlarnas centrumlinje. Vinkelfelet skall elimineras medan parallellkast får förekomma.
- **Maskintåg.** I ett maskintåg finns flera än två maskiner och utgående från namnet ligger de efter varandra i en drivlina. Den enskilda maskinens uppriktning påverkar de övriga.

4.2.2 Ställskruvar och shims

Vid uppriktningen använder man ofta ställskruvar monterade på fundamentet för att göra flyttningar av maskinen i horisontalled. Ibland kan dessa också vara monterade direkt på maskinen. Ställskruvarna kan vara väldigt enkla i sitt utförande och självgjorda men också massproducerade varianter finns att få. Ställskruvens uppgift är att förenkla fininställningen av maskinen vid uppriktning. För att kunna justera maskinen i höjddled finns också motsvarande ställdon. Mellan maskinens fötter och fundamentet placeras shims eller också kallat underlägg som kan vara gjorda i mässing eller rostfri plåt. Dessa skall vara rena och släta för att inte ge efter vid fastspänning av maskinen. Oy SKF Ab som

tillverkar lager och annat underhållsmaterial marknadsför shimplåtar för maskiner. Shimsens tjocklek är normalt 0,05 – 2,00 mm och finns i olika storlekar beroende på måttet på maskinens fötter. Måttnoggranna plåtar speciellt för detta ändamål går att få då standardshims inte passar.



Figur 27. Standardshims till maskiner. (www.shimstainless.com).

4.2.3 Förberedande mätningar

Då de allmänna förberedelserna är utförda och eventuella korrigeringar gjorda gör man mätning av axelns nedböjning samt genom att rotera den kontrollera eventuella kast för att kunna beakta dessa mått i senare skeden. En kontroll av axelns radialkast är alltid bra att göra eftersom den påverkar resultatet på uppriktningen. Den görs med indikatorklocka som placeras stabilt med magnetfot fast t.ex. på maskinen eller fundamentet. Indikatorklockans mätspets placeras mot en markerad punkt på axeln. Därefter nollar man indikatorklockan vid märket och roterar axeln ett helt varv och noterar klockans utslag. Är kastet alltför stort misslyckas axeluppriktningen eller så skadar den maskinen i.o.m. att obalans uppstår. Mindre kast kan kompenseras vid uppriktningen.

Kopplingarna bör alltid mätas eftersom de kan ha sneda eller icke-koncentriska axelhål som påverkar axeluppriktningen eller t.o.m. helt och hållet omöjliggör den. Kopplingarna har en ansats som fungerar som styrning vid montering av den motsatta kopplingshalvan. Ansatsen respektive kopplingens fläns bör vara parallell och vinkelrät med axeln. Den mäts också med indikatorklocka eller annan lämplig metod för att säkerställa att måtten är innanför toleranserna. Eventuella radialkast från lagringen granskas genom att lyfta på axeln medan indikatorklockan är monterad med mätspetsen positionerad mot axeln. Man bör då kolla vilka lager som är använda i maskinen och kontrollera i lagertillverkarens

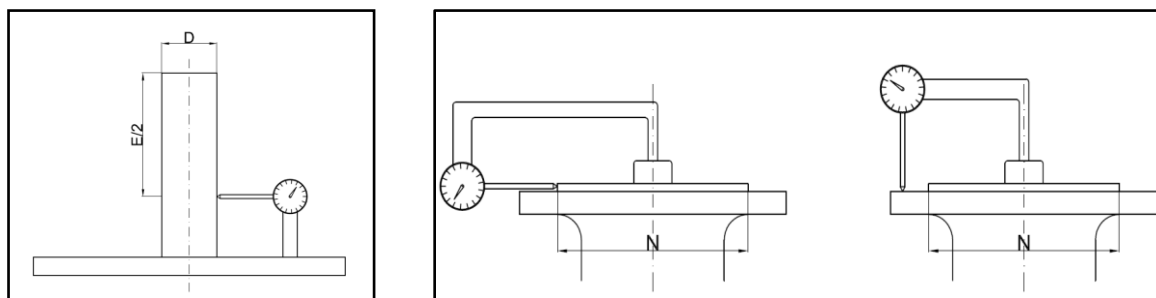
katalog vilka toleranserna för radialglappet är. Därefter gör man en grov axeluppriktning med mekaniska eller optiska instrument. Som tumregel placeras 2 mm tjocka shims under maskinen vid början av grovuppriktningen och det maximala antalet mellanlägg bör inte överskrida fem stycken vid färdigt uppriktad helhet. Ibland har fundamenten ställskruvar som förenklar finjustering i axialled och sidled av maskinen. Vissa elmotorer och andra maskiner kan dessutom ha en ställskruv för att lyfta maskinens fötter vilket underlättar placering av shimsen. (Piotrowski, 2007; PSK Standardisointi, 2007).

Tabell 1. Normer för högsta tillåtna radialkast på axel. (Översatt från finska, källa: PSK 8301)

Axelns diameter D (mm)	Axelns högsta tillåtna kast	
	Normal klass (μm)	Precisionsklass (på begäran) (μm)
$D \leq 10$	30	15
$10 < D \leq 18$	35	18
$18 < D \leq 30$	40	21
$30 < D \leq 50$	50	25
$50 < D \leq 80$	60	30
$80 < D \leq 120$	70	35
$120 < D \leq 180$	80	40
$180 < D \leq 250$	90	45
$250 < D \leq 315$	100	50
$315 < D \leq 400$	110	55
$400 < D \leq 500$	125	63
$500 < D \leq 630$	140	70

Tabell 2. Största tillåtna kast på styrning i koppling. (Översatt från finska, källa PSK 8301)

Diameter på styrning N (mm)	Största tillåtna mätvärde	
	Normal klass (mm)	Precisionsklass (på begäran) (mm)
$40 < N \leq 100$	0,080	0,040
$100 < N \leq 230$	0,100	0,050
$230 < N \leq 450$	0,125	0,063
$450 < N \leq 800$	0,160	0,080
$800 < N \leq 1250$	0,200	0,100
$1250 < N \leq 2000$	0,250	0,125
$2000 < N \leq 2240$	0,315	0,160



Figur 28. Bilden till vänster visar hur axelns radialkast mäts och bilden till höger var man mäter kopplingens kast. (Författarens bild)

4.2.4 Mjukfotskontroll

Mjukfotskontroll sker i samband med de förberedande mätningarna och är lika viktig som de andra skedena. För att uppriktningen skall avancera på rätt sätt skall maskinen stå stadigt på alla fötter. En maskin med fyra fötter där en inte vilar ordentligt på fundamentet ger upphov till brytningar vid fastspänning av maskinen och kan leda till en felaktig uppriktning eller också skada maskinen då dess form eventuellt förändras. En brytning i t.ex. växellådan kan i driften ge skador på axel, lager och kugghjul då den tvingas arbeta i ett onormalt läge. Det finns tre olika orsaker till mjuk fot:

- En av maskinens fötter når inte till fundamentet. Korrigeras genom att öka antalet shims under denna fot.
- Sned eller böjd maskinfot. Specialshims som är fasade kan användas eller så bearbetas foten för att få den rak.
- Maskinfundamentet kan vara felaktigt tillverkat. Korrigeras enligt föregående.

Mätningen utförs allra enklast med laserinstrumentets inbyggda ”*soft foot-check*” eller med indikatorklocka. Mätning med indikatorklocka görs då maskinens alla bultar är fastspända. Klockans mätpets placeras intill den bult man lossar och avläsningen görs medan maskinen är fastspänd och sedan då den är lösgjord. Proceduren fortsätter tills man granskat alla maskinfötter. Maskinen är klar för uppriktning då samtliga fötter är innanför 0,05 mm (2 mils). (Fixturlaser Dirigo handbok, 2007; An engineer’s guide, 2012).



Figur 29. Olika mjukfots situationer. (www.thealignmentblog.com).

4.2.5 Uppriktningstoleranser

För att veta vilka toleranser man skall använda vid uppriktning bör man ta reda på några saker först. Vilken typ av koppling används i maskinen och med vilken hastighet roterar axlarna. Avståndet mellan kopplingshalvorna mäts eftersom den kan ha inverkan på

noggrannheten av uppriktningen. De flesta kopplingstillverkare uppger toleranser för deras kopplingar men ibland vet man inte vem som tillverkat kopplingen och då måste man utgå från tabeller eller standarder. I Finland finns en standardiseringsförening vid namn PSK Standardisointiyhdistys ry som är grundat av företagsrepresentanter från olika industrigrenar i Finland. De upprätthåller gemensamma standarder för olika ändamål gällande processindustrin. I närmare 40 år har de utarbetat flera standarder som baserar sig på europeiska och världsomfattande produkters normer. Deras standard för axeluppriktning heter PSK 8301 Akselin linjaus/Shaft alignment och den innehåller en massa information om hur axeluppriktningen utförs och vad som bör beaktas. Denna standards riktlinjer kan alltid användas eftersom dess toleranser är utarbetade för att fungera med alla typer av kopplingar. Internationella standardiserings organisationen ISO och den amerikanska ANSI (The American National Standards Institute) har inte en standard för axeluppriktning. (PSK Standardisointi, 2007).

Tabell 3. Tillåtna uppriktningsfel hos olika kopplingar. (Översatt från finska, tabellen baserar sig på uppgifter från PSK Standardisointi:s uppriktningstoleranser som finns i standarden Akselien linjaus PSK 8301)

Kopplingsinformation		Tillåten avvikelser		
Kopplingsdiameter	Kopplingstyp	Parallell-avvikelse Δr	Vinkel-avvikelse Δb	Axialmått Δa
100 - 250 mm (4 - 10")	Stel koppling	0,02 mm (0,8 mil)	0,01 mm/100 mm (0,4 mil/100 mm)	0,02 mm (0,8 mil)
	Kuggkoppling	0,05 mm (2 mil)	0,03 mm/100 mm (1 mil/100 mm)	0,05 mm (2 mil)
	Elastisk koppling	0,10 mm (4 mil)	0,05 mm/100 mm (2 mil/100 mm)	0,10 mm (4 mil)
250 - 500 mm (10 - 20")	Stel koppling	0,02 mm (0,8 mil)	0,02 mm/100 mm (0,8 mil/100 mm)	0,02 mm (0,8 mil)
	Kuggkoppling	0,05 mm (2 mil)	0,05 mm/100 mm (2 mil/100 mm)	0,05 mm (2 mil)
	Elastisk koppling	0,10 mm (4 mil)	0,10 mm/100 mm (4 mil/100 mm)	0,10 mm (4 mil)

Tabell 4. Uppriktningstoleranser baserade på rotationshastighet. (Översatt från finska, tabellen baserar sig på uppgifter från PSK Standardisointi uppriktningstoleranser som finns i standarden Akselien linjaus PSK 8301)

Rotationshastighet	Parallellfel		Vinkelfel	
	Bra	Acceptabel	Bra	Acceptabel
rpm	mm	mm	mm/100 mm	mm/100 mm
0000 - 1000	0,07	0,13	0,06	0,1
1000 - 2000	0,05	0,1	0,05	0,08
2000 - 3000	0,03	0,07	0,04	0,07
3000 - 4000	0,02	0,04	0,03	0,06
4000 - 5000	0,01	0,03	0,02	0,05
5000 - 6000	<0,01	<0,03	0,01	0,04

4.2.6 Val av uppriktningsmetod

Då förberedelserna är utförda väljer man metod för axeluppriktning. Uppriktningsmetoden väljs efter hurdana toleranser maskinerna och dess komponenter förutsätter med beaktande på rotationshastigheten. Det förekommer i princip tre metoder av axeluppriktning:

- Mekaniska mätverktyg och ögonmått som instrument
- Axeluppriktning med indikatorklocka
- Med laserinstrument

Vid användning av mekaniska mätverktyg såsom ställinjal, bladmått och vinkelhake gör man enbart okulär bedömning av mätningen. Metoden går att använda som grovuppriktning innan annat instrument används eller vid uppriktning av maskiner med låga varvtal och flexibla axelkopplingar. Metoden med indikatorklocka är noggrannare och kan användas på alla slags maskintyper. Metoden kanske kan kallas föråldrad i.o.m. dagens laserteknik som gör mätningarna exakta och lätta. Dessutom tar uppriktningen betydligt längre tid om den ska göras noggrant då man själv måste räkna matematisk förändringarna för att nå ett gott resultat. Risken finns att man bedömer fel visarens utslag och att faktorer som dåliga ytor på kopplingar och axlar ger avvikelser i mätningen då mätpetsarna är fysiskt i beröring med delarna.

Idag görs de flesta axeluppriktningar med laser eftersom det är en säker metod där den mänskliga faktorn inte påverkar resultaten i så hög grad. Repeterbarheten på mätningarna är goda och noggrannheten utmärkt. Laseruppriktningen är lämplig vid alla slags maskinuppriktningar, från små till stora maskiner, från långsamt roterande axlar ända upp till axlar med höga varvtal. Vid inledning av axeluppriktning skall noggrannheten för laseruppriktningsinstrumentet vara känt eller också kalibrering vara utförd. Vanligtvis skall instrumentet kalibreras årligen för att uppfylla kraven. (Moblely, 2004; PSK Standardisointi, 2007).

4.3.1 Indikatorklockans precision

Mätningar som görs med mekaniska instrument ger alltid upphov till större eller mindre mätfel eller osäkerhet. Indikatorklockornas, också kallade mätur, noggrannhet varierar från märke till modell och från analogt eller digitalt. Mätaren finns att få med olika skalor och mätområden.

Tabell 5. Olika indikatorklockors mätområden och toleranser. (Uppgifterna hämtade från Mitutoyo:s katalog)

Tillverkare	Modell	Mätområde	Skala	Upplösning	Repeterbarhet
Mitutoyo	2044 SB (analog)	5 mm	0 - 100 (100 - 0)	0,01 mm	0,003 mm
Mitutoyo	2952 SB (analog)	30 mm	100 - 0	0,01 mm	0,003 mm
Mitutoyo	2109 SB-10 (analog)	1 mm	0 - 100 - 0	0,001 mm	0,001 mm
Mitutoyo	2119 SB-10 (analog)	5 mm	0 - 100 - 0	0,001 mm	0,0015 mm
Mitutoyo	543-270 B (digital)	12 mm	-	0,01 mm	0,02 mm
Mitutoyo	543-464 B (digital)	50 mm	-	0,01 mm	0,04 mm
Mitutoyo	543-250 B (digital)	12 mm	-	0,001 mm	0,003 mm
Mitutoyo	543-460 B (digital)	50 mm	-	0,001 mm	0,006 mm



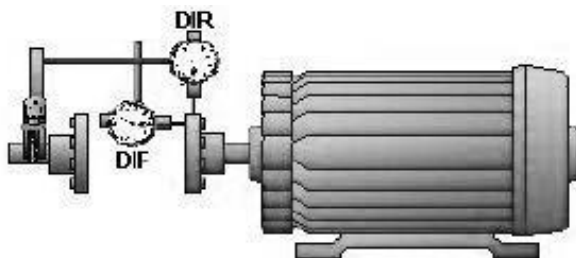
Figur 30. Några indikatorklockor av märket Mitutoyo. (www.mitutoyo.se).

4.3.2 Axeluppriktning med indikatorklocka – Rim and Face

De engelska namnen för de olika indikatorklockametoderna dyker upp i flera sammanhang då axeluppriktning diskuteras. Med *Rim and Face* - metoden använder man två indikatorklockor fäst på ett stativ som är fastmonterat på den rörliga maskinens axel. På

svenska pratar man om avläsning på ändplanet och periferin. Mätspetsarna på indikatorklockorna är riktade mot den fasta maskinens koppling så att den ena spetsen är i beröring med dess kant i radiell riktning och den andra mot kopplingens yta i axiell riktning. Indikatorklockorna nollas vid positionen kl. 12.00, alltså då de är riktade rakt uppåt. Man roterar den ena rörliga maskinens axel ett halvt varv, till kl. 06.00 så att klockorna blir under axeln. Avläsning görs i denna position och eventuella korrigeringar utförs, antingen under de tassor som är närmast kopplingarna eller de som är i maskinens bakkant. Dessa skeden utförs tills klockan inte längre ger märkbara utslag. Då borde maskinen vara riktad i vertikalled. Samma förfarande utförs med indikatorklockorna i positionen kl. 03.00 och kl. 09.00 för att få den riktade i horisontellt led. Denna metod ger inget exakt resultat och baserar sig mest på prövning fram till resultat. Därför borde metoden inte användas där snäva uppriktningstoleranser krävs. Felkällor som sviktande stativ hos indikatorklockorna gör att mätningarna inte är korrekta och feluppriktning kan uppstå.

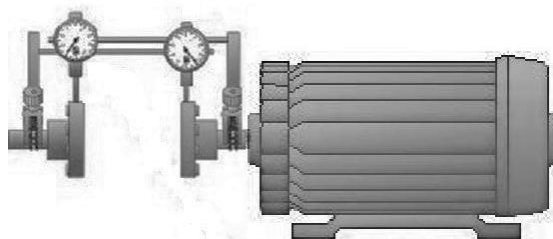
För att få en tillförlitligare uppriktning med samma instrument kan man använda sig av addition och subtraktion och beräkna de felkällor som uppkommer med metoden. För att veta storleken på sviktningen kan stativet med klockorna i samma utformning som vid axeluppriktning monteras på ett stabilt rör. Man vrider röret med klockorna monterade och mätspetsarna placerade mot rörets yta. Visarna skall vara nollade i position kl. 12.00 och vid position kl. 06.00 avläses värdet. Det värde man får är hur mycket mätutrustningens stativ ger efter. Då man nu vet detta kan man kompensera värden som man får vid uppriktningen med denna faktor. (Pumphandboken, 2007; An engineer's guide, 2012).



Figur 31. Ändplan och periferimetoden (Rim and Face). (www.reliabilityweb.com).

4.3.3 Axeluppriktning med indikatorklocka – reverserande indikatorklockametoden

Den andra metoden att rikta maskiner med indikatorklocka är den reverserande indikatorklockametoden. Den är pålitligare än den föregående då axiella rörelser i maskinerna inte påverkar mätningen. Vid mätningen har man två indikatorklockor som är fixerade på vardera axeln med stativ. Kopplingarna kan sammanbindas med gängstång eller liknade tillämpning för att få samtidig rörelse av dem.

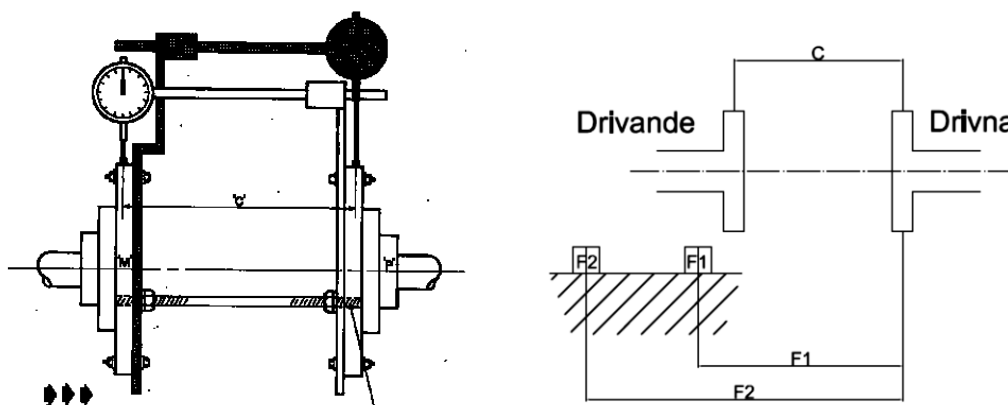


Figur 32. Reverserande metodens indikatorklocksuppställning. (www.reliabilityweb.com).

Nedan följer instruktion om axeluppriktning med reverserande indikatorklockametoden eller också kallad periferimetoden där uppgifterna är tagna från Pumphandboken, 2007:

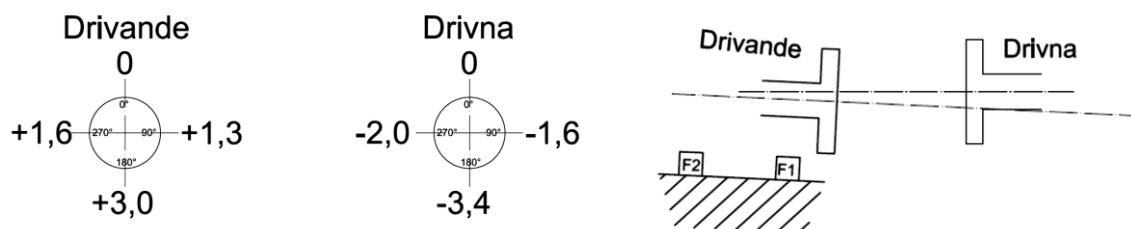
Vertikal axeluppriktning:

1. Då maskinerna är grovinriktade monteras indikatorklockorna enligt nedanstående figur. Mätspetsarna skall vara parallellt fixerade. Stativets nedböjning granskas före montering.



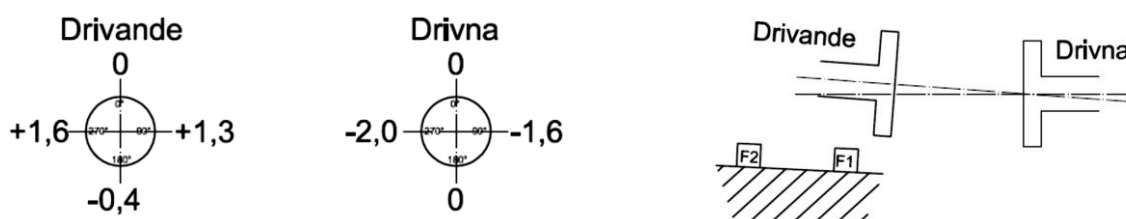
Figur 33. Uppställning av mätinstrument för uppriktning av maskiner. Observera var måtten C, F1 och F2 mäts från. (vänstra bilden: (www.pumpportalen.se) högra bilden: (Författarens bild)).

2. Naven märks med 90° intervall från indikatorklockornas nollposition, alltså då de är rakt ovanför kopplingarna.
3. Indikatorklockorna nollställs. Axlarna roteras långsamt runt och avläsning görs vid varje $\frac{1}{4}$ -varv, se figuren under. Avläsningen sker alltid från samma håll.



Figur 34. Avläsningen sker i 90° intervaller. Axlarnas centrumlinjer efter första mätningen. (Författarens bild).

4. Nu har man fått värden på maskinernas avvikelse i vertikalt och horisontellt läge. Det ser ut som att drivande maskinen är snedställd i förhållande till den drivna och tvärtom. Man justerar ändå bara den ena maskinen.
5. Man börjar rikta maskinen vertikalt, d.v.s. i höjddled. Avläsningarna gav följande värden: *Drivande* vid $0^\circ = 0$ mm och vid $180^\circ = 3,0$ mm; *Drivna* vid $0^\circ = 0$ mm och vid $180^\circ = 3,4$ mm.
6. Den drivna vid 180° ligger $-3,4$ mm vilket betyder att drivande ligger $3,4 \text{ mm}/2 = 1,7$ mm för lågt. $-3,4$ mm är det verkliga axelkastet. Om man höjer drivande sidan med $1,7$ mm genom att placera shims under maskinens fötter *F1* och *F2* bildas ett nytt läge, se figur nedan. Man väljer ändå att inte göra justeringen ännu. Man noterar enbart måttet $1,7$ mm.



Figur 35. Efter att drivande maskinen höjts $1,7$ mm ändras värdena enligt följande och en ny centrumlinje hittas vilken man kan se från den nedre bilden. (Författarens bild).

7. Om motorn skulle ha höjts med 1,7 mm skulle man kunna göra samma avläsning som figur 35 visar.
8. De mått som har betydelse för mätningens slutförande är måttet C mellan kopplingarna samt måtten $F1$ och $F2$ som är från maskinens fötter till drivna maskinens koppling. I detta fall är de: $C = 155$ mm, $F1 = 236$ mm, $F2 = 472$ mm.
9. Motorns lutning per mm blir enligt följande formel:

$$\frac{\text{Drivande vid } 180^\circ}{C} = \frac{0,4\text{mm}}{155\text{ mm}} = 0,0013\text{ mm/mm} = 0,13\text{ mm}/100\text{ mm}$$

(1)

10. För vidare uträkning av shimsplacering multipliceras $F1$ och $F2$ med motorns lutning/mm:

$$F1 \cdot 0,0013\text{ mm/mm} = 236\text{ mm} \cdot 0,0013\text{ mm/mm} \approx 0,3\text{ mm} \quad (2)$$

$$F2 \cdot 0,0013\text{ mm/mm} = 472\text{ mm} \cdot 0,0013\text{ mm/mm} \approx 0,6\text{ mm} \quad (3)$$

11. För att uppnå korrekt lutning av maskinen måste 0,3 mm shims tas bort under fotpar $F1$ och 0,6 mm under fotpar $F2$. Beräkningarna gjordes utgående från att maskinens hade höjts med 1,7 mm vilket ger de slutliga shimstjocklekarna:

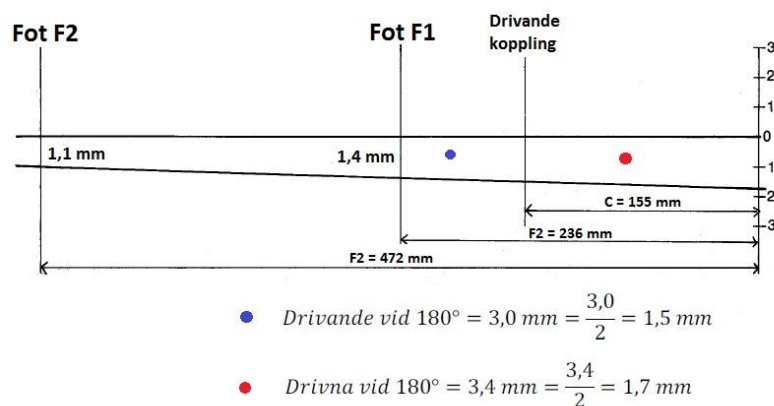
$$F1 = 1,7\text{ mm} - 0,3\text{ mm} = 1,4\text{ mm} \quad (4)$$

$$F2 = 1,7\text{ mm} - 0,6\text{ mm} = 1,1\text{ mm} \quad (5)$$

12. Motorn höjs därmed enligt följande: Under fotpar $F1$ placeras 1,4 mm shims och under fotpar $F2$ 1,1 mm shims.

Horisontal axeluppriktning:

1. Efter att vertikal uppriktning är avklarad görs den horisontella uppriktningen av motorn. Beräkningen utför på samma sätt som vid vertikala metoden. Här använder man positionen *drivande vid 90°* och *270°* och för drivna samma. Indikatorklockan används då man gör justeringarna för att direkt se resultaten.
2. Då uppriktningen är klar kontrollerar man avståndet mellan axeländarna och kollar kopplingstillverkarens måttabell. Om allt gjorts efter föreskrifterna skall en kontrollmätning utföras varefter maximala kastet skall vara 0,1 mm. Om kravet är mindre kast än detta görs ytterligare finjustering.



Figur 36. Man kan också göra en grafisk bild för att bedöma shimsen storlek. (Pumphandboken, 2007).

4.4.1 Laserinstrument

Det mångsidiga mätverktyget för axeluppriktning med laser består vanligtvis av tre delar. En skärmenhet för grafisk och numerisk visning med knappar för inmatning av värden samt två skilda mätdetektorer som vardera placeras på maskinernas axlar. Maskinerna kallas ofta som *MTBM* samt *MTBS*. *MTBM* är en förkortning av de engelska orden *Machine To Be Moved* och motsvarande för *MTBS* är *Machine To Be Stationary*. Typiskt för mätdetektorerna är att dom kan vara märkta med dessa förkortningar eller då enbart med "M" och "S". Utgående från namnen vet man på vilken maskin man placerar dem vid uppriktning. *MTBM* placeras på den maskinen som är flyttbar och *MTBS* på den fasta eller

stationära maskinen. Mätdetektorerna fästs på axlarna med kedfixtur eller magnetfäste beroende på vilken metod som lämpar sig bäst. Olika tilläggsadapttrar finns ofta att komplettera med. Vardera mätdetektor har en laserstrål som riktas mot den andra detektorns måltavla. Man riktar strålen med ställskruvar så att de prickar mitt i måltavlan varefter måltavlorna fälls åt sidan. (Mobley, 2004; Fixturlaser handbok, 2012).



Figur 37. Kedfixtur med mätdetektor monterad samt displayenhet till höger. (www.fixturlaser.se).

4.4.2 Axeluppriktning med laser

Axeluppriktning med laser påminner till stor grad om den reverserande metoden med indikatorlocka. Systemet bygger i grunden på samma mätprincip där parallellfel och vinkelfelen söks. Man kan göra uppriktningen i varmt eller kallt tillstånd. Med varmt tillstånd menar man att proceduren sker i maskinens normala driftstemperatur och med kallt tillstånd den rådande temperaturen vid installationen. Vanligtvis görs uppriktningen i det senare tillståndet eftersom det är svårt att göra varmuppriktning eftersom maskinen inte är ordentligt uppriktad och klar för drift eller så är driftstemperaturen omöjlig att uppnå. Om man väljer lasermetoden till uppriktningen och har gjort alla förberedelser ordentligt borde uppriktningen löpa smidigt. Beroende på vilken tillverkares instrument som används kan små skillnader finnas mellan mjukvaran eller mätdetektorernas utförande, men de påminner mycket om varandra. Fixturlaser har ett antal olika instrument för uppriktning. De flesta modellerna lämpar sig för alla normala axeluppriktningar där man sysslar med

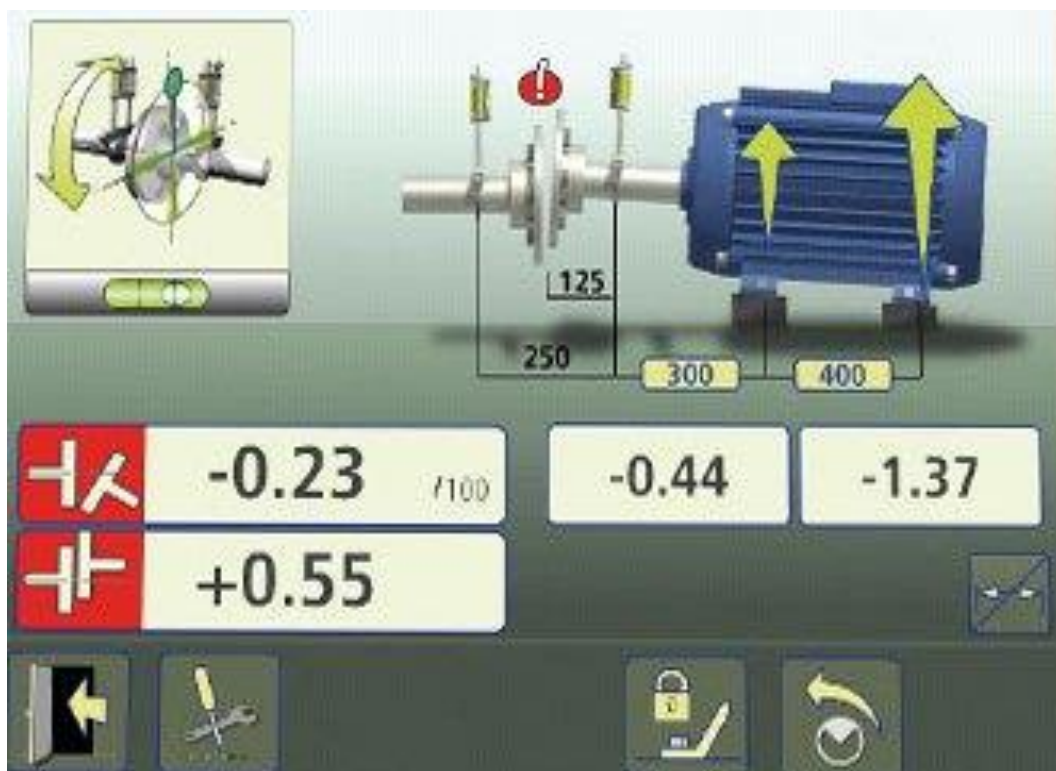
horisontell eller vertikal uppriktning. De mera avancerade instrumenten har utöver de tidigare beskrivna funktionerna även applikationer för uppriktning av maskintåg, parallellt förskjutna maskiner där kardanaxlar används, ”soft foot” – kontroll, Runout - kontroll och ”offline – to – run” mätning. Runout – metoden kontrollerar kastet i axeln eller böjningen. *Offline – to – run*, även förkortad som *OL2R*, är en metod där man mäter positionsförändringar hos maskinerna då de är i drift. Metoden beskrivs i ett senare kapitel. De äldre modellerna av mätdetektorerna ansluts med kablar till skärmenheten men idag finns trådlösa versioner som fungerar med Bluetooth-teknik. Kablarna kan ibland störa mätningarna då de fastnar eller begränsar rotation på axlarna. De riskerar också gå sönder i den kanske tuffa miljön arbetet görs i. Mätdetektorn kan vara utrustad med inbyggd inklinometer som mäter lutningen. Då axlarna roteras tar den i beaktande sin egen position och lutning vilket gör mätningen mera exakt.

Tabell 6. Laserinstrumentens tekniska specifikation. (Uppgifterna från tillverkarnas broschyrer.)

Tillverkare	Modell	Max avstånd	Noggrannhet parallellt	Noggrannhet vinkel	Genomsnittlig noggrannhet
SKF	TKSA 80	10 m	-	-	$\pm 0,005 \text{ mm} \pm 0,5 \%$
PRÜFTECHNIK	SHAFTALIGN®	10 m	-	-	> 98 %
PRÜFTECHNIK	ROTALIGN® Ultra iS	10 m	-	-	> 99 %
PRÜFTECHNIK	OPTALIGN smart RS	10 m	-	-	> 98%
Hamar Laser	S-680T	10 m	< 0.15 %	< 0.75 %	-
Fixturlaser	Go Basic	5 m	-	-	$\pm 0,007 \text{ mm} \pm 0,3\%$
Fixturlaser	XA Ultimate	10 m	-	-	$\pm 0,007 \text{ mm} \pm 0,3\%$



Figur 38. Horisontal- och vertikal axeluppriktning med laserinstrument. (www.fixturlaser.se).



Figur 39. Vy från Fixturlaser XA vid en horisontaluppriktning. (www.fixturlaser.se).



Figur 40. Fixturlaser XA:s skärmbild vid maskintågs uppriktning. (www.fixturlaser.se).

4.5 Dokumentation på utförd mätning

Då en axeluppriktning utförs skall mätningen och resultaten redovisas i en rapport. För rapportering finns färdiga blanketter att få från uppriktningensstandarden PSK 8301 men även egna blanketter kan användas. Det som måste framgå i rapporten är:

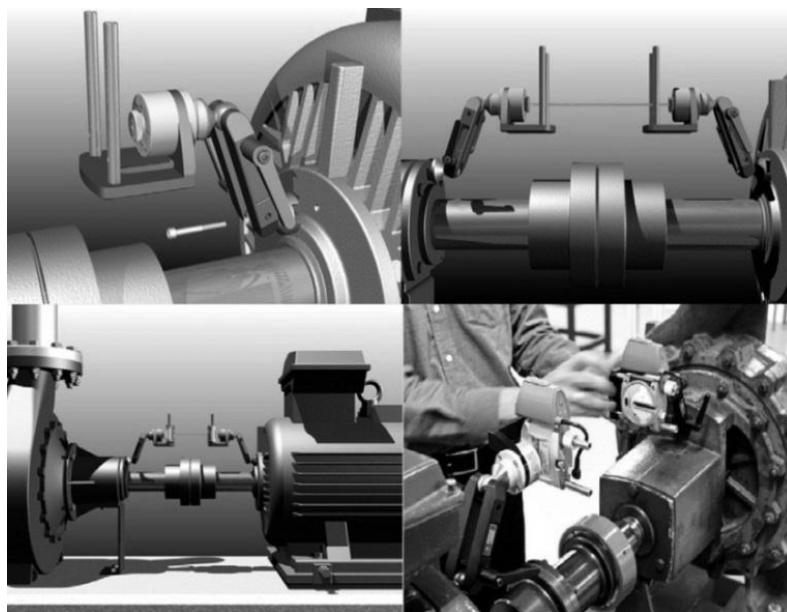
- Beställarens namn/företag
- Projekt/arbetsnummer
- Datum för uppriktning
- Drivna/Drivande maskinens tekniska uppgifter (t.ex. tillverkare, maskintyp, tillverkningsnummer, positionsnummer)
- Driftsförhållanden: temperatur, rotationshastighet, fundamentets typ
- Klimatförhållande vid uppriktning: Temperatur, applikationens specialfunktioner
- Axelkopplingens tillverkare och typ
- Uppriktningstoleranser: parallell-, vinkel- och axialfel
- Mätmetod
- Utförarens uppgifter
- Godkännarens uppgifter

Då en ordentlig rapport görs vid uppriktningen är det lätt att i ett senare skede kontrollera vad mätningen visat och samtidigt kunna jämföra dem med aktuella värden. Rapporten kan sparas elektroniskt eller som pappersversion. Dagens laserinstrument innehåller funktion för att grafiskt kunna spara mätresultaten samt tillägga kommentarer för utförandet. (PSK Standardisointi, 2007).

4.6 OL2R – från stillastående till drift

De flesta maskiner utvecklar värme då de är igång och det leder till formförändringar i konstruktionen. Maskinerna genererar vridmoment och stötar som också ger upphov till dynamiska förändringar. Pumpar utsätts för tryckskillnader och temperaturförändringar i det medie de transporterar. Detta leder till att en god axeluppriktning som gjorts i kallt tillstånd inte längre är lika bra och kanske t.o.m. så mycket utanför toleranserna att den ger upphov till skador och andra problem. Det är omöjligt att uppnå en perfekt uppriktning överlag, den går att få inom toleranserna, och ännu svårare är det att få den att stämma med förhållande vid uppriktning tills maskinen är i drift.

Om man däremot misstänker att axeluppriktningen inte håller måttet vid drift finns en metod med laserinstrument som utför mätningen. Det går visserligen att mäta traditionellt med uppriktninglasers men maskinen hinner svalna innan eventuella skydd är borttagna, maskinen elektrisk fränkopplad och instrumenten monterade på axeln. Dessutom får man inte med maskinens övriga rörelser i mätningar då den står stilla. Med OL2R – metoden monteras en sensor på vardera maskinens stomme, så nära axeln som möjligt. De riktas in var för sig så att rätt position erhålls. Instrumentet mäter först i kallt tillstånd då maskinen står still varefter mätningen görs då maskinen går. Instrumentet gör beräkningar där det framgår hur mycket maskinen rört sig och åt vilka håll. (Piotrowski, 2007; Fixturlaser XA handbok).



*Figur 41. OL2R-metoden. Den påminner om vanlig axeluppriktning till sitt utförande.
(www.fixturlaser.se).*

5. Mätteknik

Mätteknik är brett område där man använder olika storheter och mätinstrument. Enheterna har inte alltid varit så självklara. Enheten fot som betecknar längd har haft stor variation genom tiden. Mätningen var aldrig exakt eftersom den definierades olika i olika länder. Nuförtiden har den en internationellt fastställd längd, 0,3048 meter. Idag är alla enheter standardiserade och följer SI-systemet som fick sin början under franska revolutionen år 1790. Metersystemet blev internationell standard i Paris år 1875 då flera länder anslöt sig till Meterkonventionen. SI-systemet fastställdes år 1960 i Frankrike. De enheter som fastslogs då bestående av sju grundenheter används idag i stor utbredning. Inom axeluppriktning stöter man redan på flera begrepp:

Storheter och deras enhet:

- T = temperatur (K)
- n = rotationshastighet (rpm)
- L = längd (m)
- α = vinkel (grader, minuter, sekunder)
- F = kraft (N eller kgm/s^2)
- M = vridmoment (Nm)

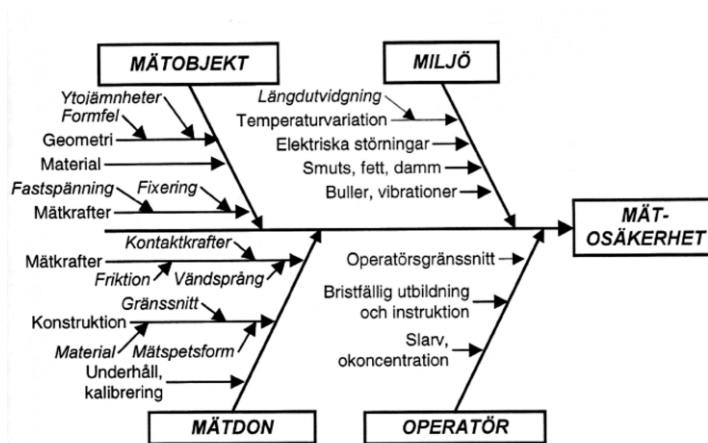
Mätinstrument:

- Termometer
- Stroboskop, pulsgivare, takometer
- Måttband, skjutmått, mikrometer, lasermätinstrument
- Analoga och digitala vinkelmätare, kombinationsvinkel
- Med givare eller med hjälp av beräkningar
- Genom beräkningar eller olika mätinstrument

Precisionen för olika instrument varierar och beroende på vilka toleranser som krävs för uppgiften väljer man motsvarande instrument och mätmetod. Dagens produkter som tillverkas kräver mera noggrannhet hela tiden och det gör att mätmetoden utvecklats med fart och mätningarna blivit exaktare. (Carlsson, 1999).

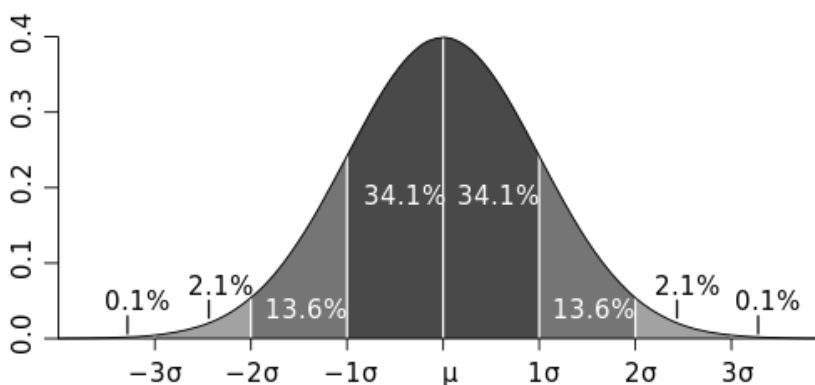
5.1 Mätosäkerhet

Vid mätning förekommer alltid olika faktorer som påverkar noggrannheten. Vid mätning av någon fysisk komponent med mekaniskt mätinstrument kan felkällorna härstamma från miljön, mätobjektet, mätverktyget och personen som utför mätningen. Dessa är tydligt presenterade i Ishikawa-diagrammet.



Figur 42. Vanliga orsaker till mätfel bildas av de enskilda påverkarna. (Carlsson, 1999).

Om man enbart mäter en gång får man inte tillräcklig noggrannhet men med flera mätningar kan man matematisk söka medelvärdet och samtidigt minska spridningen av det. Som resultat får man en mindre osäkerhet på mätvärdet. Med normalfördelningskurvan (Gauss-kurva) ser man spridningen av mätningen. Det är en statistisk metod att presentera mätningens säkerhet. Metoden används också inom andra områden. (Carlsson, 1999).



Figur 43. Normalfördelningskurva. Formen är alltid hög på mitten. Toppen kan förskjutas i sidled beroende på medelvärdet. Standardavvikelsen däremot ändrar formen på den. En låg standardavvikelse ger en hög och smal kurva och en hög standardavvikelse ger låg och bred kurva. (Carlsson, 1999).

5.2 Fysikaliska faktorer som påverkar mätning

De vanligaste elementen som inverkar på mätosäkerheten är tre: temperaturen, mätobjektets geometriska form och mätkraften. Temperaturen, eller omgivningens förhållande, påverkar stort både mätinstrumentet och mätobjektet. Mätinstrumenten visar korrekt vid en referenstemperatur på 20°C (293,16 K), lufttrycket skall vara 0,101325 MPa (normalatmosfär) och den relativa luftfuktigheten kring 35 – 55 %. Vid axelupprikning befinner man sig ofta i en industrihall med varm eller kall luft och varierande luftfuktighet. Man kan beakta dessa förändringar vid mätningen genom användning av längdutvidgningskoefficienten för gällande material och temperaturvariation. Längdutvidgningskoefficienten betecknas $1/^\circ\text{C}$ eller $1/\text{K}$. Då temperaturskillnader förekommer kan man undgå mätfel genom användning av mätverktyg i samma material som mätobjektet och sträva till att vardera har samma temperatur. (Carlsson, 1999).

Tabell 7. Längdutvidgningskoefficienter för några vanliga material.

Material	Längdutvidgningskoefficient $10^{-6}/\text{K}$
Aluminium	23,8
Glas	8
Granit	8,3
Guld	14,4
Hårdmetall (K,M)	5,5
Hårdmetall (P)	5,5 - 6,5
Invar	0,2
Koppar	18,5
Kvarts	0,3 - 0,5
"Ljus i luft"	ca. 1
Mässing	18,5
Nickel	13,1
Silver	19,7
Stål	11,5
Tenn	23
Zink	26,7

Som exempel kan man ta en stålaxel i en maskin som har längden $L = 850,00$ mm i 20°C . Under drift i en växellåda når axeln driftstemperaturen 65°C via uppvärmning genom friktion och härmed blir $\Delta T = 45^{\circ}\text{C}$. Observera att ökning av temperatur med 1 K motsvarar en ökning med 1°C . Enligt formeln för längdutvidgning: $\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T$, får man följande uträkning:

där: $\Delta L =$ Längdförändring
 $L =$ Ursprunglig längd
 $\alpha =$ Längdutvidgningskoefficient
 $\Delta T =$ Temperaturförändring

$$\Delta L = 850,00 \text{ mm} \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 45^{\circ}\text{C} = 0,439875 \text{ mm}$$

Svar:

Axeln utvidgas med 0,44 mm vid $\Delta T = 45^{\circ}\text{C}$ varvid den nya längden blir 850,44 mm.

5.3 Deformation av mätverktyg eller objekt

Då man mäter med mekaniska verktyg använder man en viss kraft för att reglera mätverktyget. Den kraften kan antingen vara för liten eller för stor för mätverktyget och kan resultera i felaktigt mätvärde. Vid mätning av ihåliga konstruktioner som t.ex. rör kan en deformation uppstå då mätverktygets kontaktytor kläms mot mätobjektet. Då man gör axeluppriktning med indikatorklocka monteras klockan på ett stativ där längden mellan stativets fot och mätspetsen kan vara upp till flera tiotals millimeter. Vid sådana fall uppstår en nedböjning som ger fel i visade mätvärdet. Även vibrationer i omgivningen kan leda till felaktiga mätresultat. Ibland sker mätningarna genom att mätspetsen kommer i beröring med mätobjektet med för hög hastighet. Då kan hysteres- eller vändsprångfel uppstå vilket är vanligt för mekaniska mätinstrument med visare. Mätspetsen på indikatorklockor har en viss form, särskilt den del som är i beröring med axeln. Oftast har den formen av en halvsfär. Om mätobjektets yta har en gropig yta, hack eller andra skador kan mätspetsen lätt falla i dessa och bidra till fel i mätvärden. (Carlsson, 1999).

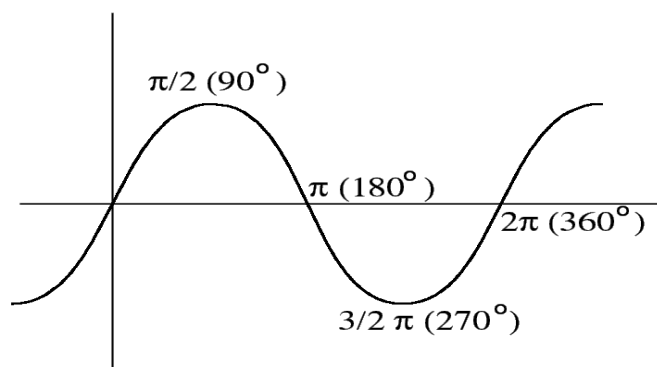
6. Vibrationsteknik som verktyg i underhållet

Om en maskin ger upphov till vibrationer kan det vara skadligt för den själv och för omgivningen. Vibrationer berättar mycket om maskinens allmänna tillstånd men det är inte alltid så lätt att tyda detta. Vibrationerna kan vara orsakade av att maskinen är dåligt fastspänd på fundamentet eller obalans i rotern. Det kan vara fråga om kuggskador, lagerbanor eller rullelement i lager som blivit skadade. Den vanligaste orsaken är ändå feluppriktade maskiner och de ger grund till andra skador. Vibrationsmätning har funnits flera år och används inom industrin som verktyg i förebyggande underhåll där man gör regelbundna tillståndskontroller på maskiner. (Mobley, 1999; Lindholm, 1995).

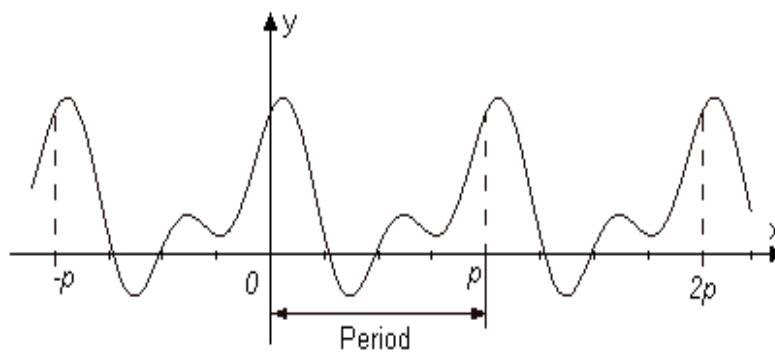
6.1 Vibrationsanalys och givarplacering

Mätning av vibrationer görs med vibrationsgivare som är monterade på maskinen eller med portabla instrument. Med dessa mäter man vibrationens frekvens (Hz) och amplitud (A). Dessa uttrycks i frekvensen $f = \text{cykler/tidsenhet}$ och amplituden $A = \text{avvikelsen från viloläget}$. Vibrationen som är periodisk repeterar sig själv efter viss tid. Tiden kallas period. Vibration som är harmonisk kan beskrivas som t.ex. sinuskurva, den har konstant frekvens och amplitud. Då kast i axeluppriktningen förekommer uppstår en harmonisk vibration som ger utslag vid frekvensen $nx1$ och $nx2$ men även multiplar kan förekomma beroende på kopplingstypen. Med $nx1$ menas att under ett varv som axeln roterar uppstår en pik och motsvarande med $nx2$ där det sker två gånger per varvtal. Också beroende på om det är vinkelfel eller parallellfel är utslagen olika. Vid vinkelfel uppstår axiella krafter som ger pulserande effekt på axeln. Vid radialkast kommer lagret att ta emot de stötar som skapas. Lagren tar i de båda fallen emot de största stötarna. Då stora uppriktningfel förekommer kan vibrationer som har samband med kopplingsbultarnas antal och varvtalsfrekvensen dyka upp. Olika kopplingstyper kan ha varierande vibrationsutslag förutom $nx1$ och $nx2$.

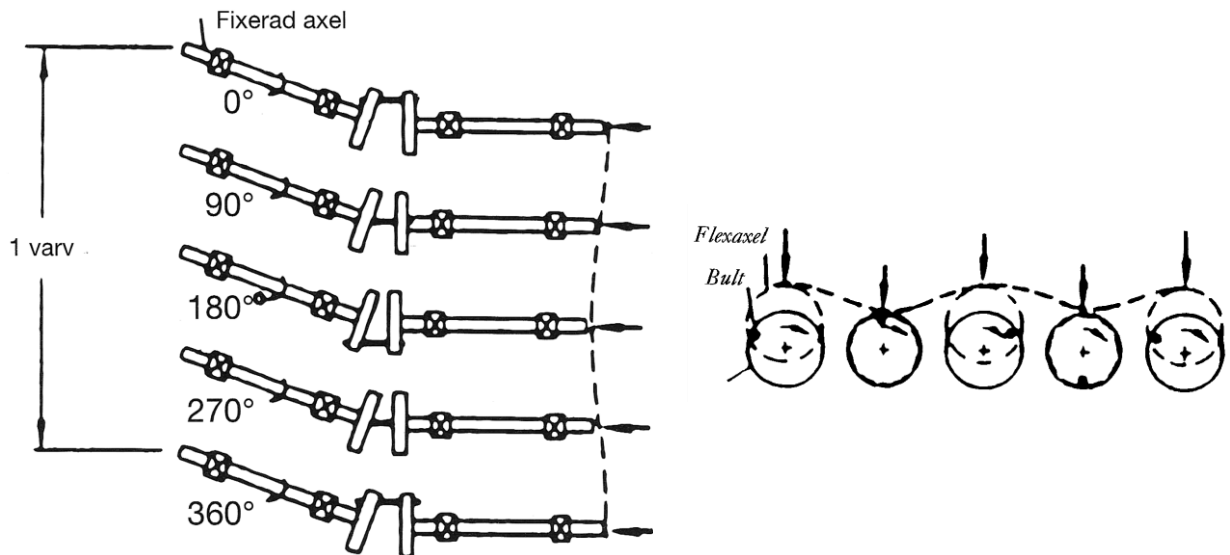
Givarna är de väsentliga delarna som monteras direkt på maskinen. På horisontellt monterade maskiner räcker två vibrationsgivare för att mäta vibrationer. Då är dessa placerade horisontal- och vertikalposition på lagerhuset eller i lagrets direkta närhet. Vill man öka säkerheten för mätningen kan ännu en givare i axialled monteras. (Mobley, 1999; Lindholm, 1996; Sofronas, 2012).



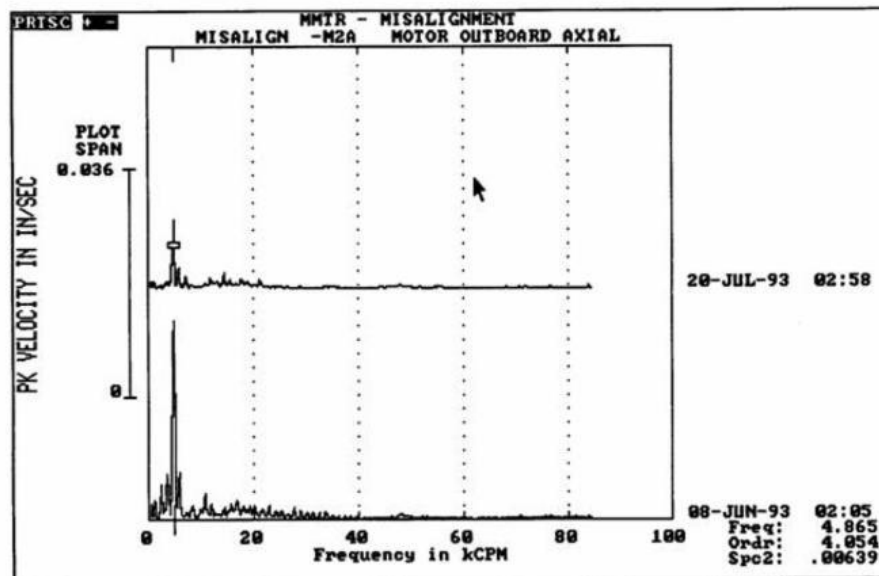
Figur 44. Harmonisk kurva i form av sinusvåg. (www.birkastaff.eu).



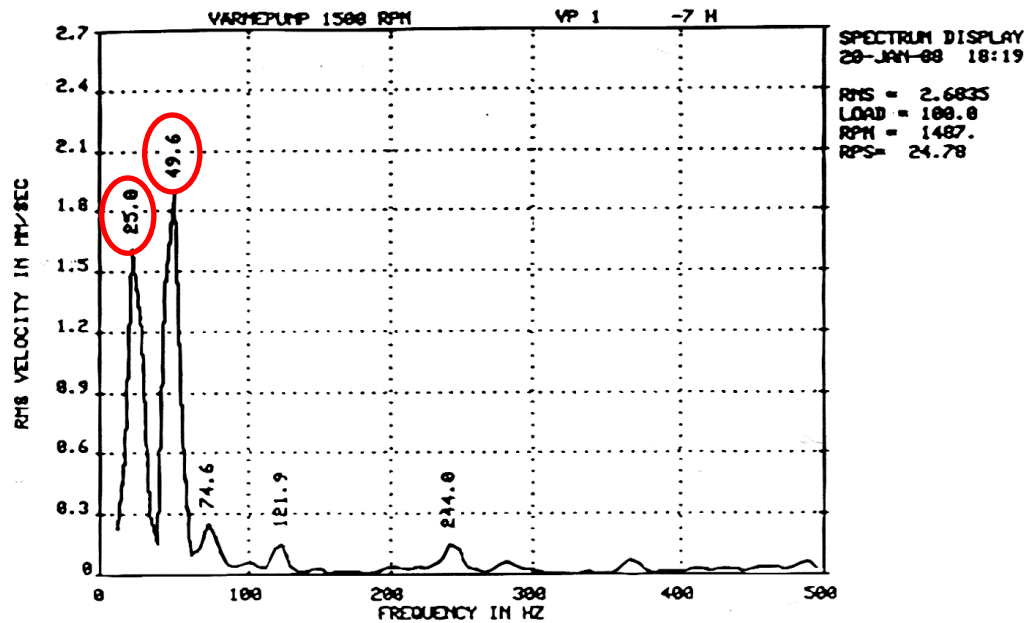
Figur 45. Periodisk kurva där samma mönster inom en period repeterar sig själv. (www.matmin.kevius.com).



Figur 46. Vinkelfel i upprikningen ger axiella vibrationer (figur till vänster). Radialfel i upprikningen ger radiella vibrationer (figuren till höger). (Lindholm, 1996).



Figur 47. FFT-diagram (Fast Fourier Transform) som visar läget före en axelupprikning gjorts och efter. Notera toppen vid 4,8 Hz. I detta fall handlar det om felupprikning i horisontalled av en motor/växellåda arrangemang med rotations hastigheten ca 290 varv/minut. Felupprikningen låg på 0,61 mm vilket är väldigt högt. (www.pcmseng.co.uk).

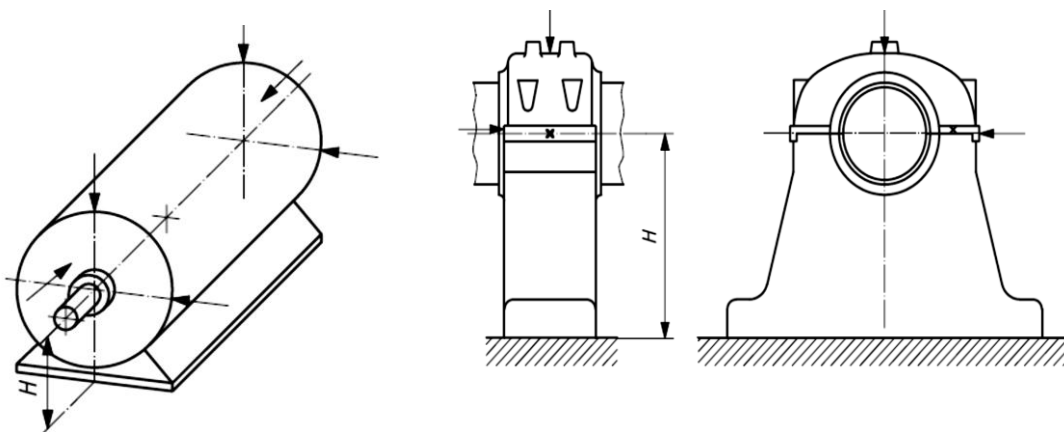


List of Spectral Peaks

Machine: () VARMEPUMP 1500 RPM
 Meas. Point: VP 1 -7 H --> MOTOR DRIVSIDA HORISONTELLT
 Date/Time: 20-JAN-88 18:19:28 Amplitude Units: MM/SEC RMS

PEAK NO.	FREQUENCY (Hz)	PEAK VALUE	ORDER VALUE
1	24.99	1.6473	1.01
2	49.57	1.9777	2.00
3	74.63	.2590	3.01
4	244.03	.1683	9.85

Figur 48. I detta FFT-diagram förekommer både obalans och uppriktningsfel. Man ser tydliga toppar vid $nx1$ och $nx2$, 24,99 Hz och 49,57 Hz.. (Lindholm, 1996).



Figur 49. Placering av givare på maskiner. Givaren monterad nära ett lager i horisontell-, vertikal- och axialled. (Suomen standardisoimisliitto).

7. Bristfällig axeluppriktning leder till defekter

En axeluppriktning som är bristfälligt gjord ger alltid följdfel. Dessa kan vara enbart låga, irriterande vibrationer som känns i omkringliggande utrymmen. Ibland blir skadorna mera omfattande och då leder de till höga reparationskostnader. Eftersom maskinens roterande delar får ett större motstånd att rotera ökar också energiförbrukningen i viss mån.

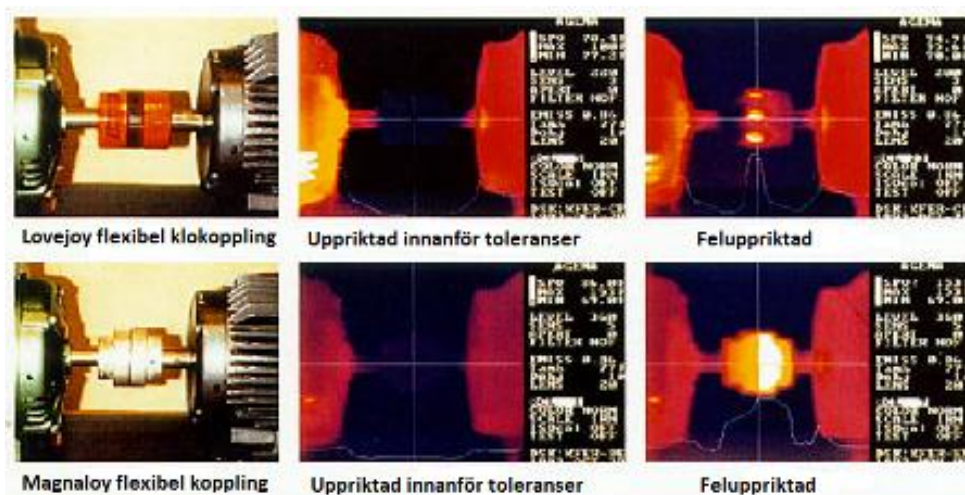
7.1 Skador på maskinen och fundamentet

Vanliga skador som förekommer vid dåligt uppriktade maskiner är kopplingar som går sönder, axlar som brister, skador i lagrens rullelement o.s.v. Ett vanligt förekommande fel är läckor i axeltätningar. En axel som är feluppriktad skavar mot ett visst ställe på axeltätningen vilket orsakar friktion. Efter en tid börjar tätningen läcka. Tätningar kan vara svåra att byta utan att demontera en massa komponenter från maskinen vilket ofta tar mycket tid. Maskinens fastsättningsbultar kan bli lösa efter en tid då snedställningen medför en viss rörelsepåkänning mellan fundamentet och maskinen. Fundamentet löper också risk att få skador i form av losskakning eller sprickor. Maskinens fastsättningsbultar kan gå av då de utsätts för regelbundna krafter.

Den komponent som utsätts mest vid feluppriktade maskiner är axeln och kopplingen. Vid stora kast kan axeln gå av eller få en bestående deformation som leder till obalans även om maskinen senare riktas upp ordentligt. Vid axelbrott skadas ofta även andra delar av maskinen än enbart axeln. Kugghjul, pumphjul och maskinstomme är några exempel på delar som riskerar ta skada av ett axelbrott. Kopplingen är den kraftöverförande komponenten som överför vridmoment men samtidigt tar upp snedställning mellan maskinerna. Vissa axelkopplingar klarar av stora radial- och vinkelfel då andra kopplingar nästan inte alls accepterar fel. En kuggkoppling som roterar under feluppriktade förhållanden kan märkas genom att smörjmedel med metallspån finns under kopplingen. Orsaken är friktion som ger upphov till värme och leder till att smörjmedlet rinner ut från kopplingen som därmed går torr. Nötning av kuggar i en torr, osmörjad koppling bildar spån. (Lindholm, 1996).

7.2 Energiförluster

Då feluppriktning existerar mellan två maskiner ger det upphov till högre energiförbrukning eftersom maskinen roterar under ett större motstånd. Energiförlusterna ger sig till känna i kopplingen som utvecklar värme. I en artikel i magasinet "Uptime - the magazine for maintenance reliability professionals" i december 2011/januari 2012 berättar Alan Luedeking om en studie som gjorts av Infraspection Institute i New Jersey USA. Studien gjordes 1993 i Miller Brewing Company och gick ut på att analysera energiförluster vid feluppriktade maskiner. Med värmekamerateknik gjordes kontrollerade mätningar där man körde samma maskiner med godkänd uppriktning samt gjorde en ändring så att uppriktningen inte längre var innanför toleranserna. Resultaten var intressanta eftersom man kan tydligt se värmeutveckling i kopplingen då den arbetar i feluppriktat läge. Den energin som går åt till det måste komma någonstans ifrån och det är direkt från roterande maskinens arbete. Man räknade att en feluppriktad maskin förbrukar ungefär 4 % mera energi än en som är innanför toleranser. Fyra procent låter inte mycket men stora maskiner tar mycket effekt och detta blir flera i kWh i året. Dessutom kostar skador på kopplingar, lager och tätningar en hel del. Då man tillägger servicetid och eventuella skador på produkter blir summan stor. (Luedeking, 2012).



Figur 50. Vid feluppriktning sker en värmeutveckling i kopplingen som kan ses med värmekamera. (www.vibrotech.co.uk).

8. FNsteel:s valsverk i Dalsbruk

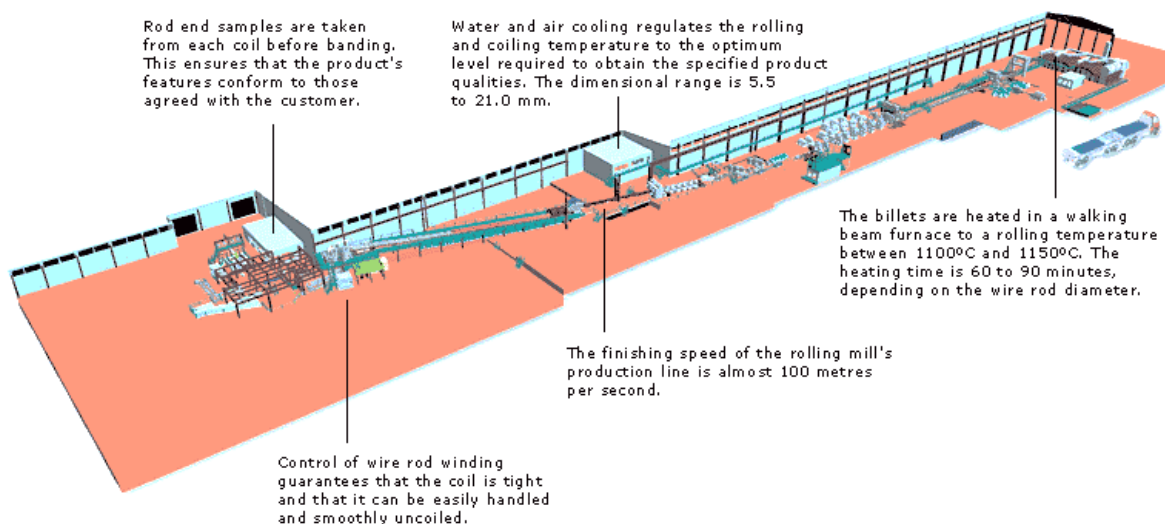
I Dalsbruk på Kimitoön finns ett trådvalsverk som tillverkat ståltråd med olika legeringar och dimensioner. Diametern på tråden var mellan 5,5 mm och 21,0 mm på den färdiga produkten. Stålframställningen har en lång historia på orten då grunden sattes år 1686 och en masugn började byggas. Naturrikedomar som skog, träsk och hamn med goda förbindelser fanns nära vilket utgjorde en bra möjlighet för ståltillverkning. År 1860 var bolaget i Wolter Ramsays ägo och ett lov för att bygga valsverk fick. Då sattes grunden till det som fortsatte till våra dagar och har gett arbete för flera generationer. Då FNsteel gick i konkurs juni 2012 var dryga 180 personer anställda i Dalsbruk och i Koverhar på Hangö-udd omkring 350 – 400.



Figur 51. Industriområdet i Dalsbruk. (Fundias marknadsföringsmaterial).

8.1 Trådframställning

Ett trådvalsverk är en fabrik som tillverkar ståltråd av varierande dimensioner och legeringar. Som grundmaterial används billets (i Dalsbruk var den 160 mm x 160 mm och 7,2 m lång, vikten 1400 kg) eller göte som värms till temperatur över 1000°C i en ugn. Ugnen rymmer flera billetsar samtidigt. Då temperaturen är nådd skickas billetsen ut på rullbana till valspar för att valsas till klenare och rundare form. I Dalsbruks valsverk valsades den i ett reversibelt duovalspar fem gånger innan den skickades till den speciella maskinen som fogade ihop hetan. Billetsen kallas heta då den är uppvärmd och klar för



Figur 52. Layout över valsverket i Dalsbruk. (Fundias marknadsföringsmaterial).

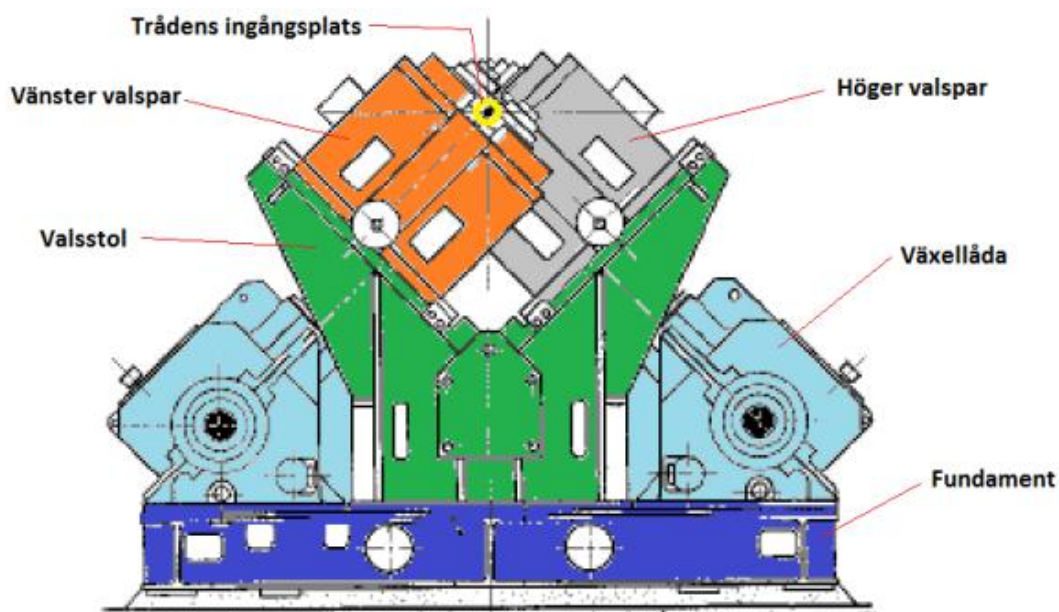
valsning. Hopfogningsmaskinen kallad EBROS (Endless Bar Rolling System) använde sig av metoden för stuksvetsning då ändarna svetsades ihop på hetan. Hetan går vidare till flera duovalspar varvid det emellan klipps bort en stump av hetan i fram- och bakändan. I Dalsbruk finns en linje på 24 st. duovalspar efter den första som är reversibel. Då tråden lämnat de sista valsparen kommer den i en kylsträcka på några meter som kyl tråden varefter den går genom haspeln eller också kallat läggare där den läggs i ring på en kylrullbana. Efter rullbanan faller tråden ner på dorn som är en stor tapp där all tråd samlas. Då hetorna svetsas ihop klipps de av till lämplig storlek på detta ställe. Från dorntappen flyttas trådringen på hakbanans krokar och transporteras till kompaktorer som packar den färdiga produkten. Tråden är nu klar för leverans till kunder som vidareförädlar produkten till det som vi vanliga konsumenter ser. Bult, spik, champagnekorkens tråd o.s.v. är några exempel på vad som görs av tråden.



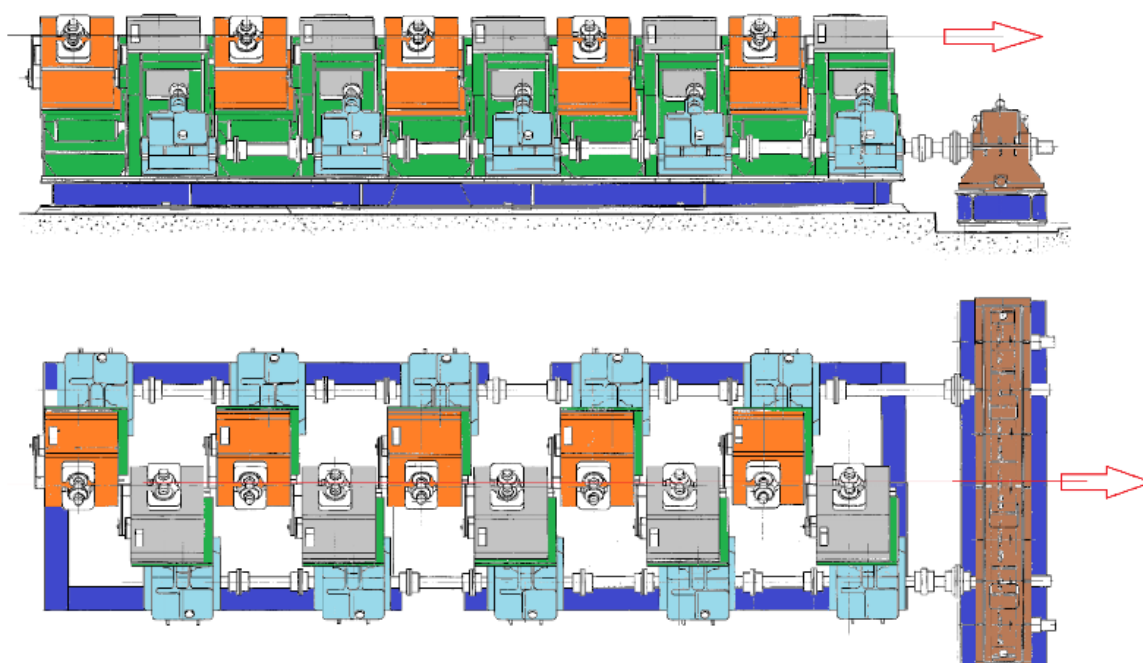
Figur 53. Valstråd klar för leverans till vidareförädling. (Fundias marknadsföringsmaterial).

8.2 Trådblockets uppbyggnad

Trådblocket som består av tio valspar med olika sluthastigheter är den sista stora maskinhelhet som ger den slutliga finishen på tråden. Beroende på vilken diameters tråd som valsas använder man olika antal valspar. Den klenaste tråden på 5,5 mm innebar att alla tio valspar var i drift. Valsparen får sin kraft av en egen växellåda som igen drivs av stor synkronväxellåda med två stora elmotorer. Valsparens växellådor ligger är monterade som ett maskintåg med fem växellådor på vänster sida och motsvarande på höger sida. Valsparet och växellådan är vertikalt monterade. Växellådan ligger horisontellt på fundamentet och valsparet är monterat på s.k. valsstol där den ligger i 45° lutning. Växellådorna är horisontellt monterade och samma gäller elmotorerna och synkronväxellådan. Trådblockets maskiner är ett verkligt bra exempel på där flera olika typers installation skall sammanbinda flera maskiner till en helhet. Dessutom gör temperaturförändringen, krafter då tråden sticker i valsaren och de höga rotationshastigheterna området till ett utmanande projekt att installera. Axeluppriktningen i detta maskineri är av helt egen klass då sträckan från elmotorns koppling till den sista växellådans koppling är nästan nio meter.



Figur 54. Trådblocket sett från trådens ingångsända. Färgerna markerar gränser för maskiner. (FNsteels ritningar över trådblock).



Figur 55. Trådblocket sett från högra sidan samt uppifrån. Den bruna växellådan är synkronväxellådan. Två elmotorer finns på andra sidan synkronväxellådan men de syns inte på bilderna. Mellan växellådorna finns mellanaxlar. Man kan se att det finns en förskjutning mellan vänster och höger sidas valspar och växellådor. Pilen betecknar materialets riktning. (FNsteel:s ritningar över trådblock).

8.2.1 Beslut om fundament- och valsstolsbyte

Trådblocket var en del av en modernisering som gjordes år 1980 – 81 då valsverkets produktionsvolymerna ökades. Trådblocket installerades och togs i bruk då. Under 2000-talet började fundamentet vara korroderat och flera förstärkningar hade redan gjorts. Rosten hade gjort konstruktionen svag och man upplevde att vibrationerna ständigt ökade i området. Valsstolarnas ytor där valsparen vilade mot hade också fått en grov yta och rostig yta. Problemet med att denna yta blir dålig är att den fungerar som en referensyta då valspaketet monteras. Ytan på valstolen och valspaketets botten är bearbetade så att inga shims skall användas. Då ytan blir skadad lyckas inte installationen längre och feluppriktning blir följden. På hösten togs beslut om att förnya hela fundamentet och de tio valsstolarna för att säkra driften.

8.2.2 Planering och genomförande

På basen av de gamla tillverkningsritningarna beställdes motsvarande konstruktioner från den ursprungliga tillverkaren Davy Ashlow som numera heter Siemens Vai. Fundamentet och valsstolarna tillverkades i Italien under vintern 2009 och levererades inför sommarstoppet i juni till Dalsbruk. Fundamentet som är gjort i två delar av rejäla stålbalkar och de tio valsstolarna tillverkade av tjock stålplåt var nu klara för montering. En specialist från Siemens Vai i England anlätades för att ge råd med installationen. En inhemsk firma specialiserat på maskininstallation med en mätkarl från ett annat finskt företag utförde installationen och uppriktningen av växellådorna.



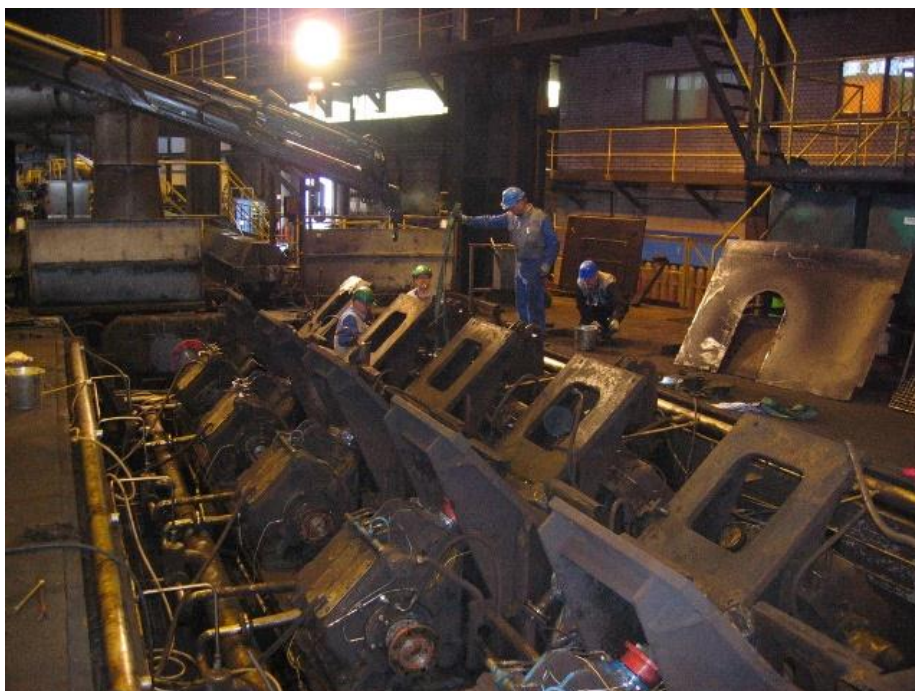
Figur 56. Nya fundamentet och valstolarna anländer från Italien. (Författarens bild).

8.2.3 Demontering av maskiner och fundament

Projektet inleddes måndag 22.6.2009 med att flytta bort valsparen från valsstolarna och alla oljerör, kylvattenutrustning och tillhörande slangar demonterades. Trådblocket har durkgolv gjord av durkplåt med stålramar under som togs bort i nästa skede. Då växellådorna med mellanaxlar och de tillhörande oljerören rivits bort var enbart fundamentramen kvar och de gamla valsstolarna. Man utgick från att de gamla fundamentbultarna skulle sparas och användas för att förankra den nya fundamentramen.

Efter inspektion märkte man att bultarna som var av gängstång och ingjutna i s.k. bultfickor hade alltför dåliga gängor eftersom de hade rostat under åren. Enda var att bränna av dem och försöka borra med diamantsåg upp de gamla bultarna med bultfickor. Bultfickorna var djupt in i betonggolvet, upp till 800 mm:s djupmåste man ner till och med en diamantsåg med 400 mm diameter. Sammanlagt fanns 21 st. bultfickor som skulle åtgärdas.

Efter att sågningen var utförd försökte man knäcka de cylindriska betongbitarna men de var för stora och man var tvungen att avbryta. Efter flera diskussioner beslöt man att använda sig av vattenpikning med högt tryck för att söndra betongen. En underleverantör som utförde industritvätt kallades till hjälp med utrustning som skär betong med vattentryck på 3000 bar. Sammanlagt 32 timmar gick åt att pika bort betongen från alla 21 ställen. Då rivningsskedet var avslutat tvättades område grundligt från betongbitar, smörja och metallslagg.



Figur 57. Rivningsskedet var utmanande och flera personer deltog i arbetet. På bilden ser man de gamla komponenterna som finns kvar på platsen. (Författarens bild).

8.3.1 Fastgjutning av nya fundamentbultar

Nya fundamentbultar av M36 gängstång tillverkades som försågs med förankringsjärn för bättre fäste i betongen. På lördag fjärde juli monterades bultarna fast i nya fundamentet varefter hela konstruktionen sänktes ner på sin ungefärliga plats. Med teodolit och utgående från mätpunkter riktades fundamentet i både höjd- och sidled. Metallshims lades mellan betongen och fundamentet för att palla upp den. Dessa blir ingjutna då eftergjutningen görs. Då positionering var gjord göt man betong i de stora hålen i golvet så att bultarna skulle sitta stadigt fast. Specialbetong användes som har minimal krympning. Då betongen hade härdnat gjordes kontrollmätning och små justeringar på fundamentet. Bultarna har enbart dragits åt lite i detta skede. Då gjutningen var gjord kunde inte arbetet fortsätta på fundamentet förrän härdningen hade uppnått en viss grad.



Figur 58. Gamla fundamentbultarna var ingjutna i en bultficka. Dessa borrades bort med dimantsåg och därefter söndrades gamla betongen genom vattenpikning. (Författarens bild).



Figur 59. Nya fundamentet lyfts ner på plats efter att fundamentbultarna monterats. (Författarens bild).



Figur 60. Fundamentet på plats och grovuppriktat. (Författarens bild).

8.3.2 Montering av nya valsstolar och uppriktning av växellådor

På onsdagen 8.7 kunde fundamentet belastas lite mera och valsstolarna placerades på fundamentet och inriktningen kunde påbörjas. Valsstolarna riktades med hjälp av raka stålstänger som placerades i hyllan på valsstolen. Vänster och höger valsstol har en egen hylla som är bearbetad och stålstängerna fördes framåt i den varefter man mätte avståndet mellan dem. Också teodolit användes för noggrann placering av valsstolarna.

Då valsstolarna var klara installerades växellådorna utgående från synkronväxellådan som varit orörd under projektet. Som tolerans för uppriktning användes de från leverantören angivna värden, alltså Siemens Vais toleranser. Uppriktningen startades från den växellåda som var närmast synkronväxellådan på vardera sidan. När alla växellådor monterats spändes fundamentbultarna till det angivna värdet för M36 8.8 bult som är 2280 Nm. Projektet fortsatte med att montera tillbaka oljerör, mellanaxlar och de övriga som tagits bort vid demonteringen. Vissa delar förnyades också.



Figur 61. Valsstolarna riktas in med hjälp av två raka axlar. De syns i "hyllan" på de nya, blåa delarna. (Författarens bild).

8.3.3 Uppriktning av valspar

Då valsparen monterades märkte man ganska fort att något var fel. Vid de första valsparen gick bultarna inte i hålen då uppriktningen var bra mellan växellåda och valspar. Också i mitten var ett fel som påminde om att valsparet var för högt i förhållande till korrekt plats. Man beslöt att utföra en on-site bearbetning av bulthålen och gjorde dem avlånga så bultarna skulle gå på plats. Man oroade sig över hur tråden skulle bete sig då man valsar eftersom den skulle gå i en rak linje mellan valsarna i samtliga tio valspar. Allting lyckades ändå bra och projektet blev klart i tid innan produktionen skulle startas igen.



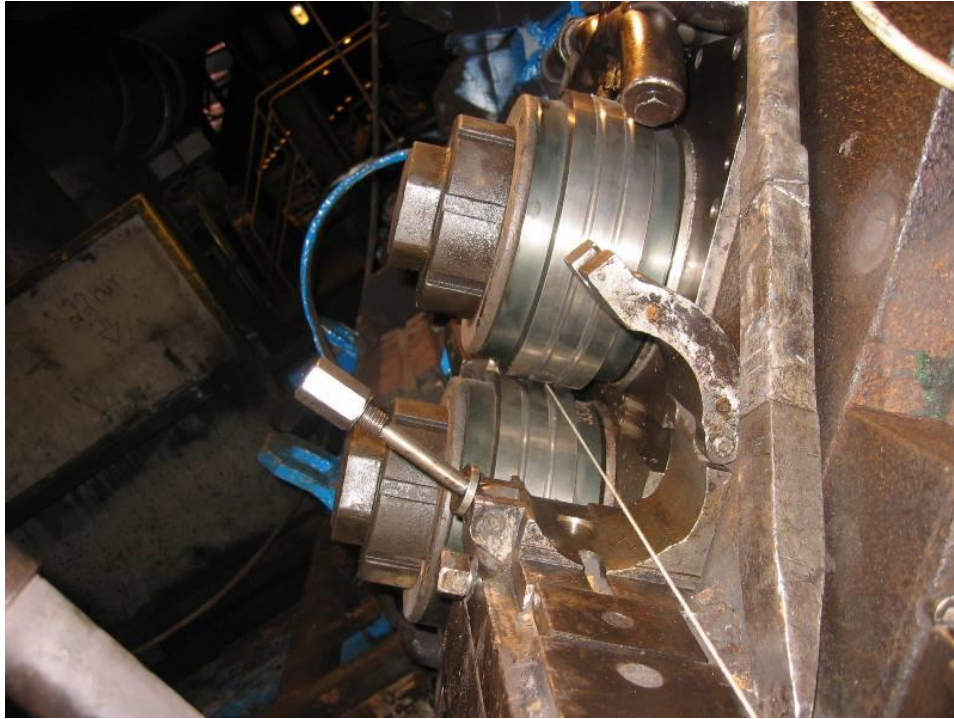
Figur 62. Växellådorna är uppriktade och mellanaxlarna monterade. Rören har också lagts tillbaka. (Författarens bild).



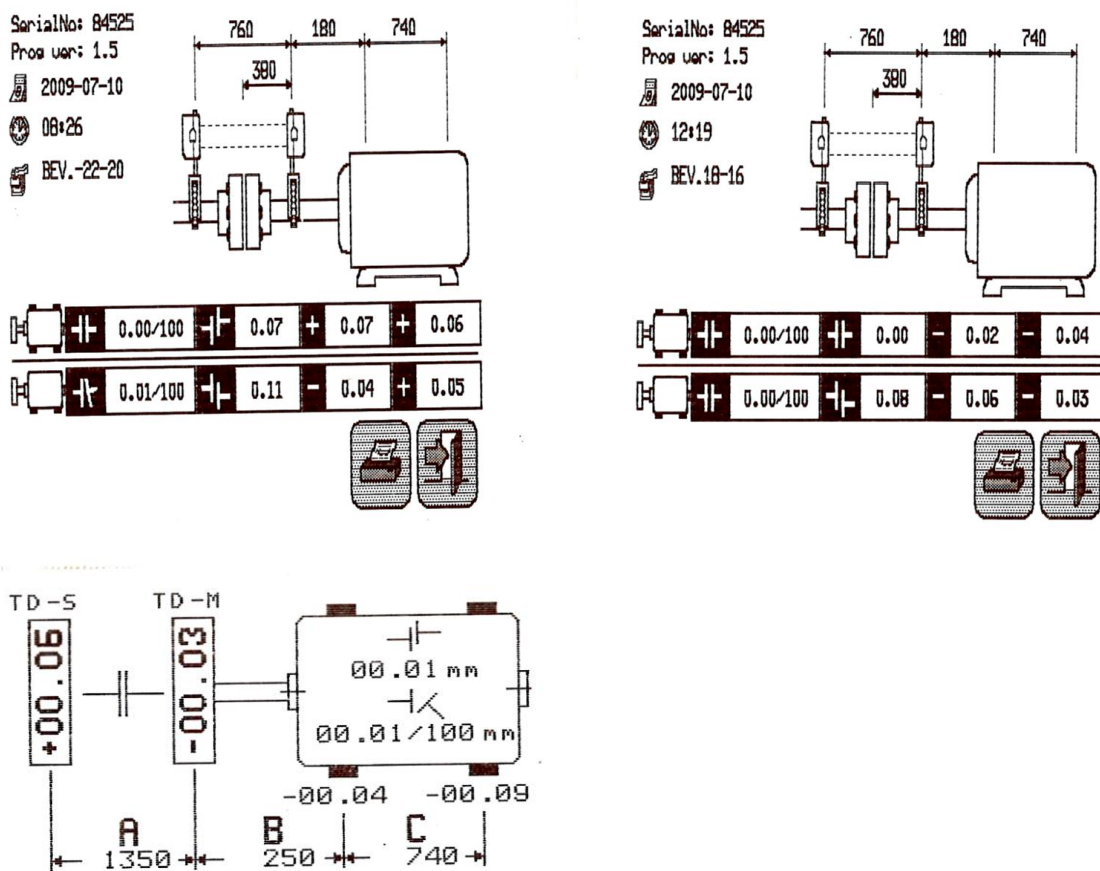
Figur 63. Trådblockets alla delar monterade. Valsparen och valsarna som formar den färdiga produkten är på plats. Dagen före produktionen startade såg det ut såhär. (Författarens bild).

8.4.1 Onormalt slitage på rull-ledare i valspar

Då man producerat tråd i några månader märkte man att rull-ledarna som styr tråden mellan valsaren slets på kort tid. Slitaget var ovanligt stort och gav ibland defekter på den färdiga produkten. Tankar kring uppriktningen av växellådorna oroades med tanke på problemen vid monteringen av valsaren. Också valsstolarnas precision ifrågasattes eftersom deras höjd aldrig bestämdes exakt. De monterades direkt på fundamentet utan shims och kunde därmed vara på fel höjdnivå i förhållande till varandra. Också hålens plats kan ha varit fel i dem. Då inga kopplingsskador märktes utgick man från att uppriktningen var innanför toleranser och det bevisade också märprotokollet.



Figur 64. Valsningslinjen kollas med hjälp av linjetråd. (Författarens bild).



Figur 65. Mät rapporter från uppriktning laser. (Blomqvist, 2009).

8.4.2 Ny mätning av trådblocket

Efter många spekulationer sökte man en underleverantör som är specialist på noggranna mätningar. På våren 2011 påbörjades en diskussion om precisionsmätningar med ett finländskt företag specialiserat på mätningar i pappersbruk. Specialtillverkade mätadaptar tillverkades så man kunde mäta valslinjen, linjen där tråden går, för att se om kast fanns. Man kunde konstatera att flera valspar var utanför denna linje men vad det exakt berodde visste man inte i detta skede. För att komma åt detta var man tvungen att mäta från fundamentet och söka valsstolarnas korrekta plats. Också valsstolarnas lutning måste mätas eftersom detta kunde ha en stor inverkan på helheten.

8.4.3 Mätresultat visade fakta

På sommaren 2012 skulle en ny uppriktning göras. Mätningarna visade att de två växellådslinjerna styrde fel. Närmast synkonväxellådan var måtten mellan axlarna 2060 mm och vid de första hade måttet växt med 2,6 mm. Då mätningen av vänster sida gjordes genom att kolla uppriktningen av den första växellådan och synkronväxellådan kunde man se att de inte var i linje utan ett kast på närmare 5 mm fanns. Detta märktes inte annars då mellan dem fanns fyra växellådor som kompenserade felet. Detta fel kunde härstammade från att mellan varje växellåda fanns ett litet vinkelfel som hade samma riktning hos varje växellåda. Den summerade sig och blev stor då man mätte mellan första och sista.

Också mätningarna av valsstolarna visade intressanta resultat. Valsstolarna hade en viss snedställning och höjdskillnader som orsakade brytningar. Dessa fel tillsammans bildade en stor skillnad från de ritningsmått som fanns att tillgå.

8.5 Orsaken till felet var många

Analys av mätdata påbörjades för att reda ut varifrån felet härstammade och vilka åtgärderna skulle vara för att återställa maskinerna på sina exakta platser. En bidragande orsak till felet mellan växellådorna var att man riktat in dem i följd, alltså från första till andra o.s.v. Man borde ha tillämpat maskintåguppriktning och kollat uppriktningen mellan första och sista växellådan och därefter riktat de som var mellan dem. Vad som beträffar valsstolarnas fel blev oklart då projektet avbröts i samband med konkursen juni 2012. Man hade enbart tankar kring orsakerna vid avslutningen men de förblir ett frågetecken om inte valsverket får en ny ägare och trådblocket åter skall sättas igång. (Blomqvist, 2009).

9. Sammanfattning

Detta examensarbete har behandlat de allmänna begreppen för maskininstallation och vilka komponenter som påverkas då axeluppriktning utförs bristfälligt. Arbetet har gett mig ny information och en massa bra källor som beskriver ämnet ytterligare. En viktig del av underhållsarbetet är felsökning med hjälp av vibrationsteknik. Personligen skulle jag ha varit intresserad att fortsätta med vibrationsmätteknik men då det som ämne är stort skulle det blivit svårt att avgränsa det till ett rimligt avsnitt i detta arbete. Vibrationsmätningen i sig själv innebär stor förståelse för en massa olika variabler som svängningar, amplituder, kritiska varvtal och många andra fenomen. Vibrationsmätteknik kunde vara ett bra ämne för kommande examensarbeten och lämpar sig såväl för studerande med inriktning på maskinteknik eller automation.

Examensarbetet har behandlat många enskilda områden inom maskininstallation, mätteknik och vibrationsteknik samtidigt som jag själv fått bekräftelse över hur alla skeden påverkar slutresultatet vid montering av maskiner. Allt från att en bra grund görs till de sista mätningarna där maskinen slutgiltigt riktas in påverkar hur driftsäker maskinen kommer att vara. Uppriktningsverktygens utveckling har också varit intressant att bekanta sig med.

Terminologi

- Maskin** – Växellåda, elmotor, pump, kompressor etc. Maskinen kan vara drivande eller driven.
- Koppling** – Den kraftöverande komponenten hos maskiner. Kuggkoppling, kardanaxel, klokoppling är några exempel.
- Axeluppriktning** – Skede där maskiner riktas in så centrumlinjen för rotation erhålls antingen parallellt eller koncentriskt.
- Tolerans** – Noggrannheten för uppriktningen. Tillverkarens föreskrifter eller efter standard.
- Vinkelfel** – Två maskiner rotationscentrum ligger i fel vinkel. Brytning uppstår.
- Parallellfel** – Axlarnas centrumlinje är förskjuten så att de är parallella med varandra. Vid användning av kardanaxlar rekommenderas detta.
- Fundament** – Ram eller konstruktion som maskinen monteras på.
- Shims** – Mellanlägg som placeras mellan fundament och maskin för höjdjustering.
- Mjukfot** – Tillstånd då maskinens alla fåtter inte når till fundamentet eller då en fot är sned.

Källförteckning

- An engineer's guide. (2012).
http://www.pruftechnik.com/fileadmin/user_upload/COM/Machinery_Service/PDFs/EngineersGuide2012.pdf (hämtat: 19.2.2013)
- Ansaharju, T. (2009). *Koneenasennus ja kunnossapito*. Helsingfors: WSOY Oppimateriaalit Oy
- Ansaharju, T. m.fl. (2002). *Maskinmontering*. Tammerfors: WSOY
- Blomqvist, M. (2009). *Blockprojekt S09DB*. Opublicerat verk för trådblocksprojektet i Dalsbruks valsverk.
- Carlsson, T. (1999). *Verkstadsmetteknik*. Borås: Liber Ab
- Fixturlaser Dirigo handbok. (2007). [http://www.fixturlaser.se/\\$-1/dirigo-manual-sve-version-2-1.pdf](http://www.fixturlaser.se/$-1/dirigo-manual-sve-version-2-1.pdf) (hämtat 19.2.2013)
- Fixturlaser XA handbok sjätte utgåvan
- Kivioja, S. (1997). Akseleiden liittäminen toisiinsa. Ingår i Airila, M. m.fl. *Koneenosien suunnittelu*. Borgå: WSOY
- Kivioja, S. (2009). *Konetekniikka 898*. Helsingfors: Otatieto/Gaudeamus Helsinki University Press
- Kleimola, M. (1997). Materiaalinvalinta. Ingår i Airila, M. m.fl. *Koneenosien suunnittelu*. Borgå: WSOY
- Lindholm, G. (1995). *Vibrationer i maskiner, del 2 – vibrationsmätning*. Stockholm: Mentor Communications i samarbete med Vibrationsteknik AB
- Lindholm, G. (1996). *Vibrationer i maskiner, del 7 – balansering och upprikning*. Stockholm: Mentor Communications i samarbete med Vibrationsteknik AB
- Luedeking, A. (2012). *Shaft Alignment, Soft Foot & Energy Savings*.
http://www.ludeca.com/casestudy/energysavings_uptime1211.pdf (hämtat 19.2.2013)
- Mobley, R. K. (2004). *Maintenance fundamentals second edition*. Burlington USA, Oxford UK: Elsevier Butterworth-Heinemann
- Olsson, K-O. (2006). *Maskinelement*. Stockholm: Liber Ab
- Piotrowski, J. (2007). *Shaft alignment handbook third edition*. Boca Raton, Florida USA: Taylor & Francis Group LLC
- Pumphandboken. (2007). <http://www.pumpportalen.se/pumphandbok/> (hämtat 19.2.2013)
- Ranta, A. (1987), Materiaalit. Ingår i Käkimäki, M. (toim.) *Koneenosat*. Borgå: WSOY
- Ranta, A. (1997). Koneenosien lujuuslaskenta. Ingår i Airila, M. m.fl. *Koneenosien suunnittelu*. Borgå: WSOY
- Sofronas, A. (2012). *Case histories in vibration analysis and metal fatigue for the practicing engineer*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Ullman, E. (2003). *Materiallära, Karlebo-serien*. Stockholm: Liber Ab

Figurförteckning

- Figur 1. An engineer's guide. (2012).
http://www.pruftechnik.com/fileadmin/user_upload/COM/Machinery_Service/PDFs/EngineersGuide2012.pdf (hämtat: 19.2.2013)
- Figur 2. www.kiinnikekolmio.fi (hämtat: 20.11.2012)
- Figur 3. www.rubberdesign.nl (hämtat: 20.11.2012)
- Figur 4 – 5. Ansaharju, T. (2009). *Koneenasennus ja kunnossapito*. Helsingfors: WSOY Oppimateriaalit Oy
- Figur 6. Ullman, E. (2003). *Materiallära, Karlebo-serien*. Stockholm: Liber Ab
- Figur 7, 12. Kivioja, S. (1997). Akseleiden liittäminen toisiinsa. Ingår i Airila, M. m.fl. *Koneenosien suunnittelu*. Borgå: WSOY
- Figur 8. www.ruland.com (hämtat: 4.1.2013)
- Figur 9, 24. www.directindustry.com (hämtat: 4.1.2013)
- Figur 10. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spline-shaft_section.png?uselang=sv (hämtat: 9.1.2013)
- Figur 11. www.sks.fi (hämtat: 12.1.2013)
- Figur 13, 14. www.ktr.fi (hämtat: 16.1.2013)
- Figur 15. www.jens-s.se (hämtat: 11.1.2013)
- Figur 16. www.gknservice.com (hämtat: 17.1.2013)
- Figur 17. Olsson, K-O. (2006). *Maskinelement*. Stockholm: Liber Ab
- Figur 18, 19. www.ntnamericas.com (hämtat: 17.1.2013)
- Figur 20. www.kullager.se (hämtat: 18.1.2013)
- Figur 21. tuotteet.etra.fi (hämtat: 18.1.2013)
- Figur 22. www.lovejoy-inc.com (hämtat: 23.1.2013)
- Figur 23. www.mikipulley.co.jp/en/product (hämtat: 23.1.2013)
- Figur 25, 26. www.freepatentsonline.com (hämtat: 25.1.2013)
- Figur 27. www.shimstainless.com (hämtat: 18.2.2013)
- Figur 28. Författarens bild.
- Figur 29. <http://thealignmentblog.com/blog/2011/08/26/soft-foot-problem/> (hämtat: 18.2.2013)
- Figur 30. www.mitutoyo.se (hämtat: 23.2.2013)
- Figur 31, 32. http://reliabilityweb.com/index.php/articles/rim_face_alignment_method/ (hämtat: 22.2.2013)
- Figur 33. Vänstra bilden: www.pumpportalen.se/pumphandbok/ (hämtat: 19.2.2013); Högra bilden: Författarens bild.
- Figur 34, 35. Författarens bild.
- Figur 36. Pumphandboken. (2007). <http://www.pumpportalen.se/pumphandbok/> (hämtat 19.2.2013)

- Figur 37 - 41. www.fixturlaser.se (hämtat: 23.3.2013)
- Figur 42, 43. Carlsson, T. (1999). *Verkstadsätteknik*. Borås: Liber Ab
- Figur 44. www.birkastaff.eu/matte/index.htm (hämtat: 28.2.2013)
- Figur 45. <http://matmin.kevius.com/period.php> (hämtat: 28.2.2013)
- Figur 46, 48. Lindholm, G. (1996). *Vibrationer i maskiner, del 7 – balansering och uppriktning*. Stockholm: Mentor Communications i samarbete med Vibrationsteknik AB
- Figur 47. www.pcmseng.co.uk/Vibration-Analysis-Applications-In-Precision-Machine-Tools-p164.html (hämtat: 28.2.2013)
- Figur 49. Suomen standardisoimisliitto SFS-ISO 10816-3
- Figur 50. www.vibrotech.co.uk/files/downloads/shaft_alignment_presentation.pdf (hämtat: 8.2.2013)
- Figur 51 – 53. Fundias marknadsföringsmaterial. (1999 - 2005).
- Figur 54, 55. Layout från Fnsteels:s trådblocks ritningar. (1981)
- Figur 56 – 64. Författarens bilder. (2009)
- Figur 65. Blomqvist, M. (2009). *Blockprojekt S09DB*. Opublicerat verk för trådblocksprojektet i Dalsbruks valsverk.