

En teknisk och ekonomisk analys av tillståndsövervakning

Jakob Ringström

Copyright © Jakob Ringström

Företagsekonomiska institutionen
Ekonomihögskolan, Lunds universitet
Box 7080, s-221 07

Sammanfattning

- Titel:** En teknisk och ekonomisk analys av tillståndsovervakning
- Författare:** Jakob Ringström
- Handledare:** Robert Bjärnemo, Professor, avdelningen för maskinkonstruktion, Institutionen för Designvetenskaper, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.
Christer Kedström, Universitetslektor, Företagsekonomiska Institutionen, Ekonomihögskolan, Lunds Universitet.
Nils Wendestam, Teknisk Chef Homogenization & High-Pressure Pumps, Tetra Pak.
- Problem:** På Tetra Pak Processing Components är man intresserade av att ta reda på om det är ekonomiskt hållbart att utföra tillståndsovervakning på deras homogenisator, med målet att göra den mer tillförlitlig och underlätta underhåll. För att ta reda på detta behövs först begreppet tillståndsovervakning redas ut. För- och nackdelar, ekonomiska konsekvenser, förändringar i underhållsarbetet, tekniska möjligheter, vad gör övriga industrin? mm är saker som bör utredas för att förstå helheten i problemet. Det saknas idag en bra överblick över vad resten av Tetra Pak gör inom tillståndsovervakning därför bör detta undersökas för att ta reda på vilka möjligheter till samordning som finns. Sedan måste ett övervakningssystem på homogenisatorn tas fram utifrån kritiska delar i maskinen för att kunna göra de ekonomiska utvärderingarna. Det framtagna systemet måste slutligen anpassas efter vad som är ekonomiskt rimligt och en bedömning görs om det kan skapa något kundvärde.
- Syfte:** Denna utredning har som uppgift att kartlägga, analysera och ordna upp begrepp inom tillståndsbaserat underhåll. Målet är att ta fram en modell för analys av beslutssituation för att kunna fatta beslut om införandet av nya produktversioner med inbyggt tillståndsovervakningssystem. Modellen skall sedan tillämpas för att ta reda på vad som kan tillståndsovervakas på en homogenisator.
- Metod:** I detta arbete har jag använt mig av en abduktiv ansatsmetod vilket innebär att jag kontinuerligt växlat mellan teori och empiri. Min datainsamling har bestått av litteratur, ostrukturerade ickestandardiserade intervjuer och teknisk dokumentation från Tetra Pak. En feleffektanalys har genomförts för att finna kritiska

delar i homogenisatorn och ekonomiska beräkningar har gjorts för att lösa problemet.

Slutsatser: I min undersökning av homogenisatorn visade det sig att det fanns flera delar i maskinen som skulle kunna övervakas för att öka tillförlitligheten. I dagsläget är kostnaderna för övervakning av många av dessa delar alldeles för dyrt enligt de ekonomiska beräkningar som utförts. Kostnadseffektivt att övervaka var: kylvatten, oljenivå i vevhus och växellåda, oljetemperatur i vevhus och växellåda, ventiler, inloppstryck produkt, kolvar, packningar och homogeniseringsspalten. Anledningen till att övriga delar blev för dyrt att övervaka beror bl a på dyr och dåligt utvecklad mätutrustning som ger svårtolkad mätdata. Övervakningstekniken behöver även tillämpas i större utsträckning ute på mejerierna än på bara homogenisatorn för att det skall bli kostnadseffektivt. Inom Tetra Paks övriga produkter är det bara på separatorn det går att köpa till ett övervakningssystem. I övriga industrin är tillståndövervakning sakta på frammarsch men tekniken behöver bli billigare, bättre och lättare att använda.

Nyckelord: Driftsäkerhet
Feleffektanalys
Investeringsbeslut
Kostnadseffektivitet
Kundnytta
Kundvärde
Tillståndövervakning
Underhåll
Utveckling

Förord

Detta arbete har utförts som avslutning på min civilingenjörsutbildning i Maskinteknik vid Lunds Tekniska Högskola men även som C-uppsats på Ekonomihögskolan i Lund. Projektet har genomförts på Tetra Pak i samarbete med avdelningen för Maskinkonstruktion på Lunds Tekniska Högskola och Företagsekonomiska institutionen på Ekonomihögskolan i Lund.

Jag vill härmed framföra ett varmt tack till min handledare på Tetra Pak, Nils Wendestam, som stått för den uppbackning som krävts under arbetets gång. Många intressanta diskussioner och värdefulla råd på vägen som har underlättat arbetet. Jag vill även tacka personalen på avdelningen Homogenizers & High-Pressure Pumps för ett mycket vänligt och hjälpsamt tillmötesgående och för värdefull information som bidragit till detta arbete.

Ett stort tack riktas även till mina handledare på Lunds Universitet, Robert Bjärnemo och Christer Kedström, som bidragit med utomordentlig vägledning och många kloka idéer.

Lund 2005-03-08

Jakob Ringström

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Problemdiskussion	3
1.3	Syfte	4
2	Metodik.....	5
2.1	Forskningsansats	5
2.2	Metodval	5
2.2.1	Kvantitativ och kvalitativ metod	5
2.2.2	Intervjuer	6
2.3	Analys av homogenisatorn.....	7
2.4	Reliabilitet och validitet.....	8
3	Kundnytta, kundvärde och underhåll	9
3.1	Kundnytta ur ett maskinkonstruktionsperspektiv.....	9
3.1.1	Tillförlitlighet	10
3.2	Kundvärde, kundnytta ur ett kundperspektiv	11
3.3	Underhåll	12
3.3.1	Förebyggande underhåll	12
3.3.2	Balanserat underhåll.....	13
3.3.3	Avhjälpan underhåll	13
3.4	Underhållsstrategier	14
3.5	Olika underhållskoncept	15
3.5.1	Totalt produktivt underhåll (TPU)	15
3.5.2	Reliability centered maintenance (RCM).....	15
3.6	Uppordning av underhåll	15
3.7	Summering	16
4	Tillståndövervakning	17
4.1	Grundläggande om tillståndövervakning	17
4.2	Mätmetoder vid tillståndövervakning	19
4.3	Marknaden för mätutrustning	19
4.4	Signalhantering	20
4.4.1	Handburen mätutrustning	20
4.4.2	Loggning	21
4.4.3	Stationära system.....	21
4.4.4	Överföring av data.....	21
4.4.5	Processanslutning	22
4.4.6	Röd - gul - grön ett lätt sätt att förstå mätdata.....	23
4.4.7	Mätintervall	24
4.5	Summering	24
5	Ekonomi och implementering av tillståndövervakning	25
5.1	Ekonomiska aspekter med tillståndövervakning	25
5.2	Tillståndövervakning kräver organisatoriska förändringar	26
5.3	Hur man inför tillståndsbaserat underhåll.....	27
5.4	Framtagning av mätpunkter med hjälp av feleffektanalys	29
5.4.1	Förberedelser	29

5.4.2	Genomförande.....	30
5.4.3	Värdering.....	31
5.4.4	Bearbetning	31
5.5	Ekonomisk analys	32
6	Vad gör övriga industrin?.....	35
6.1	Information från tidigare undersökningar	35
6.1.1	Användandet av tillståndsbaserat underhåll i svensk industri.....	35
6.1.2	Uppfattningen hos dem som redan använder tillståndövervakning.....	36
6.2	Exempel på vad andra har gjort	37
6.3	Några slutsatser om användandet av tillståndövervakning.....	38
7	Företags- och produktbeskrivning.....	39
7.1	Tetra Pak	39
7.2	Tetra Pak Processing Systems	40
7.2.1	Tetra Pak Processing Components	40
7.3	Homogenisatorn.....	40
7.3.1	Teknisk beskrivning av Tetra Paks homogenisator.....	42
7.3.2	Reparation och service av homogenisatorn idag.....	44
7.4	Tillståndövervakning som erbjuds på Tetra Paks övriga maskiner	45
7.4.1	Vad gör övriga Tetra Pak inom tillståndövervakning?.....	45
7.4.2	Tillståndövervakning på separatorn.....	46
8	Övervakningssystem på Homogenisatorn	48
8.1	Framtagning av ett övervakningssystem på homogenisatorn	48
8.2	Övervakningsförslag på homogenisatorn.....	49
8.3	Sammanfattning av feleffektanalys och förslag på åtgärder	52
8.3.1	Motor.....	52
8.3.2	Kuggar i växellåda	52
8.3.3	Ingångsaxlar i växellåda och för lågt inloppstryck.....	52
8.3.4	Kopparrör för kylning i växellåda.....	53
8.3.5	Oljekvalité i växellåda.....	53
8.3.6	Oljenivå i växellåda.....	54
8.3.7	Oljetemperatur i växellåda	54
8.3.8	Lager i växellåda	54
8.3.9	Oljenivå i vevhus.....	54
8.3.10	Kopparrör för kylning i vevhus	55
8.3.11	Rullager i vevhus.....	55
8.3.12	Glidlager.....	55
8.3.13	Kolvar.....	55
8.3.14	Kolvtätningar.....	56
8.3.15	Ventiler.....	56
8.3.16	Homogeniseringshuvud.....	56
8.3.17	Kylvatten	57
8.3.18	Dämpare	57
8.3.19	Rör.....	58
8.3.20	Hydraulaggregat	58
8.4	Förslag på mätmetoder.....	59
8.4.1	Övervakning av glidlager och oljekvalité	59

8.4.2	Övervakning av oljenivå och temperatur i växellåda och vevhus.....	59
8.4.3	Övervakning av rullager i vevhus, lager och kuggar i växellåda.....	59
8.4.4	Övervakning av produktens inloppstryck och kylvatten.....	60
8.4.5	Övervakning av varvtal och driftstid.....	60
8.4.6	Övervakning av dämparna.....	60
8.4.7	Övervakning av ventilerna.....	60
8.4.8	Övervakning av kolvar och packningar.....	61
8.4.9	Övervakning av homogeniseringshuvud och hydraultryck.....	62
8.5	Förslag på leverantörer och ca pris på mätutrustning.....	63
8.6	Payback analys för Tetra Pak och kostnader för kunden.....	64
8.6.1	Val av beräkningsobjekt.....	64
8.7	Kostnadseffektivt eller inte kostnadseffektivt.....	65
8.7.1	Tillvägagångssätt vid utvärdering av diagram.....	66
8.7.2	Resultat av utvärderingen med kommentarer.....	66
8.8	Förslag på övervakningssystem.....	68
8.9	Systemets bidrag till kundvärdet.....	69
9	Slutsatser.....	71
9.1	Tekniken idag.....	71
9.2	Homogenisatorns möjligheter.....	71
9.3	Tillståndövervakning i ett större perspektiv.....	72
9.4	Framtiden.....	73
9.5	Slutkommentarer och framtida studier.....	73

Referenser

Bilaga 1, Feleffektanalys

Bilaga 2, Ekonomiska beräkningar

Bilaga 3, Mätmetoder och givarens uppbyggnad

1 Inledning

Detta kapitel börjar med att ge en bild av bakgrunden till examensarbetet och fortsätter sedan med de frågeställningar som ligger till grund för undersökningen under rubriken problemdiskussion. Sist i kapitlet presenteras syftet med undersökningen.

1.1 Bakgrund

Det har blivit allt mer tydligt att industriella organisationers överlevnad är starkt beroende av att kunna erbjuda produktionssystem som för kunden är långsiktigt kostnadsreducerande.¹ Detta beror i hög grad på hård konkurrens på den industriella marknaden. Företag måste kontinuerligt producera till låga kostnader eftersom intensiv konkurrens har lett till pressade priser och minskade ekonomiska marginaler. Ofta är stora mängder kapital uppbundet i produktionsanläggningar som måste producera för att skapa ett kontinuerligt kassaflöde. Öväntade fel på produktionsutrustning som leder till stillestånd kan snabbt skapa förluster. Därför är investerare i processutrustning noggranna, de ser till att köpa sådan utrustning som har hög tillförlitlighet. Målet är att skapa hög tillgänglighet, processutrustningen skall kunna användas "när helst önskas" och problemfritt.

Industriella producenter har kommit till insikt om att det går att öka sina intäkter genom att koncentrera produktionen till ett fåtal större produktionsenheter med mindre personal per producerad enhet. Historiskt sett så har trenden inom industrin gått mot större produktionsanläggningar och mindre bemanning. Mejeribranschen genomgår även den en snabb strukturförändring.² De tio största mejeriföretagen i Europa stod 1995 för ungefär en fjärdedel av EU:s mjölkproduktion, idag 2005 står de för nästan en tredjedel. Denna tydliga trend kommer med all sannolikhet enligt svensk mjölksektors rapport Vision 2010 att fortsätta. Utvecklingen leder till att mejerierna blir allt större, dessa skall i sin tur effektiviseras och människor ersätts av avancerade övervakningssystem för att minska personalkostnader. En annan tydlig trend är att producenterna i livsmedelsindustrin alltmer försöker utnyttja sina processanläggningar till det yttersta.³ Genom att köra en maskin dygnet runt flera dagar i veckan så kan de öka produktionstiden och i sin tur avkastningen på investerat kapital. Att använda processutrustningen på detta sätt ställer höga krav, slitaget ökar och därmed risken för haveri och stillestånd. Kostnaden för serviceåtgärder och i värsta fall reparationer vid ett haveri kan bli väldigt höga. Detta vill man självklart undvika.

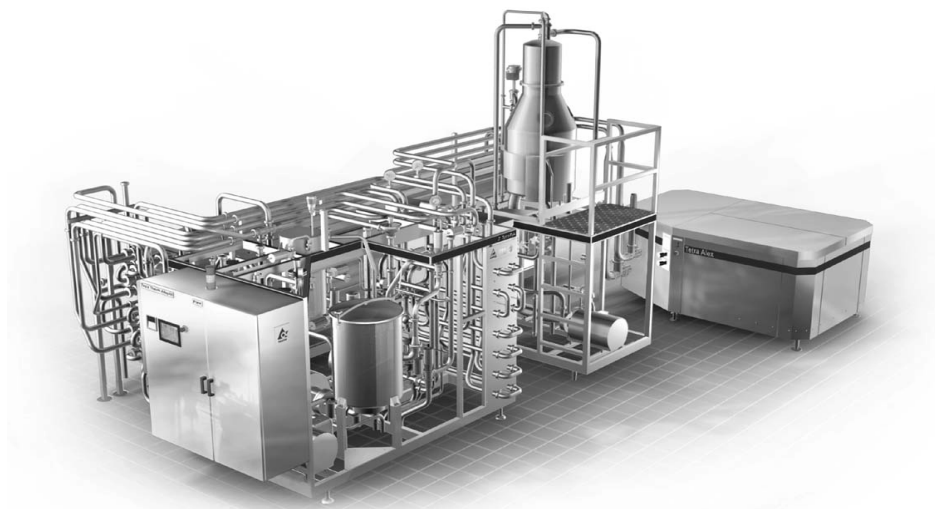
¹ Shrivastav O, Al-Najjar B, *Condition monitoring and diagnostic engineering management* (2003)

² Andersson B, Arvidsson E, *Vision 2010* (2000)

³ Avdelningen: Homogenizers & High-Pressure Pumps

Ett sätt att öka kontrollen av och tillförlitligheten hos en maskin är genom tillståndsövervakning. Detta är en metod som i många fall har lett till mindre stillestånd och längre serviceintervaller. Tillståndsövervakning används för att kunna mäta, utvärdera och fatta beslut om tillståndet hos olika delar i maskiner. Detta för att tidigt kunna upptäcka störningar i maskiner innan dessa orsakar problem, såsom maskinstopp, men även för att kunna planera underhåll som t ex lagerbyten, smörjning, balansering mm. Detta görs genom att sätta på givare på maskinen och mäta t ex vibrationer, temperatur, ljud mm och försöka upptäcka avvikelser från det normala tillståndet. Syftet med tillståndsövervakning är att undvika produktionsförluster och reducera kostnaderna för underhåll.

Tetra Pak Processing Components AB i Lund tillverkar bland annat homogenisatorer, vilket är en maskin som används för att minska storleken på fettpartiklar i olika livsmedel, framförallt mjölk. Detta görs genom att pressa produkten genom en liten spalt med hjälp av ett tryck mellan 100 till 400 bar. Maskinen finns i olika utförande från att vara liten som en Smart Car till att vara stor som en Volvo V70. I maskinen finns det en viss mängd mekaniska delar. Som med alla mekaniska och rörliga delar förekommer det även i homogenisatorn slitage. Detta slitage måste åtgärdas med hjälp av serviceåtgärder. Det kan också hända att onormalt slitage uppstår vilket är svårt att upptäcka och följderna kan bli att delar går sönder och maskinen blir obrukbar. Kostnaden för reparationsåtgärder är inte välkomna hos Tetra Paks kunder och även höga servicekostnader i övrigt är något som kan få kunder att välja andra tillverkare i framtiden om dessa kan erbjuda en homogenisator med lägre underhållskostnader och ökad tillförlitlighet.



Figur 1.1 Processutrustning för mjölk med homogenisatorn längst till höger

Idag är Tetra Paks homogenisatorer väldigt konkurrenskraftiga speciellt de lite större modellerna där det bara finns ett begränsat antal aktörer på marknaden. På Tetra Pak har man självklart som mål att behålla denna position och framförallt stärka den ytterligare. För att göra detta så bedrivs en ständig utveckling med målet att ligga steget före sina konkurrenter och med kundernas önskemål i fokus.

Denna uppsats har sin bakgrund i behovet att utreda om tillståndsövervakning kan öka homogenisatorns tillförlitlighet och skapa en bättre produkt för kunden, förutsatt att det är ekonomiskt lönsamt. För att ta reda på detta så krävs det en mängd information vilket diskuteras nedan.

1.2 Problemdiskussion

Homogenisatorn är en liten del av en hel processanläggning som säljs av Tetra Pak. På Tetra Pak vill man helst sälja hela kompletta anläggningar med livsmedelstillverkning och förpackningsmaskiner i en sammanfogad distributionslinje. Skulle tillståndsövervakning införas på homogenisatorn så skulle det kanske vara intressant att integrera detta med Tetra Paks övriga utrustning i ett gemensamt system. För detta krävs en undersökning som talar om vad övriga Tetra Pak gör inom området tillståndsövervakning. Det är även intressant att se vilka andra övervakningssystem, som t ex processtyrningssystem, kontrollpaneler, givare mm, som används. Det går kanske att ta lärdom av vad som gjorts tidigare. Eftersom det idag inte finns någon kontrollpanel på homogenisatorn för presentation av mätdata så bör möjligheten att koppla in sig på systemet som används för att styra den övergripande processen undersökas, där det redan finns kontrollpaneler med färdiga användargränssnitt.

Vad gör övriga industrin inom tillståndsövervakning? Det är intressant att studera hur övriga industrin agerar, vad gör de och hur tänker de? Åt vilket håll är utvecklingen på väg? Om användandet av tillståndsövervakning är snabbt växande kan detta leda till större efterfrågan hos kunderna. Även andra branscher än livsmedelbranschen bör undersökas eftersom tekniska lösningar snabbt sprider sig mellan olika branscher. Jag skall även försöka få ett grepp om i vilken typ av företag tillståndsövervakning har varit framgångsrikt för att få en bild av var tekniken lämpar sig. Vilka företag använder tillståndsövervakning och i vilket syfte? Vilken typ av företag har haft en lyckad ekonomisk vinning av systemet och hur har de kunnat spara pengar på att använda sig av det?

Nästa undersökningsområde är hur ett eventuellt tillståndsövervakningssystem på homogenisatorn skulle kunna vara uppbyggt. Vad skulle kunna mätas, hur skulle detta kunna mätas, var skall mätdata presenteras och hur skall mätdata presenteras? Här måste man försöka bedöma vilka delar som är viktiga att övervaka, var uppstår kritiska fel mm. En annan aspekt med tillståndsövervakning är att signalerna från givarna måste tas omhand på rätt sätt. För bara genom att sätta på givare på maskinen så åstad kommer man inte mycket. Det måste vara någon som kan ta emot signalen

och se när ett fel är på väg att inträffa och vidta åtgärder. Så för att tillståndövervakning skall fungera önskvärt är det viktigt att underhållsarbetet anpassas efter systemet. Vilka organisatoriska förändringar måste göras för att tillståndövervakning skall bli ett användbart verktyg i servicearbetet och vem skall ta emot larm och mätdata?

Den undersökning som blir den mest avgörande för om det skulle vara intressant med tillståndövervakning på homogenisatorn avser att ta reda på vilket kundvärde ett sådant system skulle skapa, alltså vilka upplevda fördelar skapas för kunden såsom produkt-, service-, relations-, och imagefördelar? Även vilka upplevda uppoffringar kunden känner att han eller hon behöver göra. Vad skulle de ungefärliga kostnaderna bli för tillståndövervakning och kommer kunden vara intresserad av att köpa systemet? Blir ett övervakningssystem lönsamt för kunden trots en större initial kostnad vid köp av homogenisatorn? Kan systemet förbättra tillgängligheten och säkerheten i maskinen så pass mycket att det bli ekonomiskt motiverat att införa systemet? Kommer systemets fördelar att väga tyngre än dess nackdelar, t ex kostnaden för inköp och risktagande? Detta är frågor som bör utredas för att få ordentligt med underlag för ett eventuellt beslut om fortsatt arbete inom området.

I denna rapport skall jag försöka ge svaret på dessa frågor och skall även ge uppslag och underlag för ett eventuellt beslut om införandet av tillståndövervakning på Homogenisatorn. Rapporten skall även tydliggöra tillståndsbaserat underhåll och ge en överblick av viktiga faktorer och ekonomiska konsekvenser vid införandet av övervakningssystemet.

1.3 Syfte

Denna utredning har som uppgift att kartlägga, analysera och ordna upp begrepp inom tillståndsbaserat underhåll. Målet är att ta fram en modell för analys av beslutssituation för att kunna fatta beslut om införandet av nya produktversioner med inbyggt tillståndövervakningssystem. Modellen skall sedan tillämpas för att ta reda på vad som kan tillståndövervakas på en homogenisator.

2 Metodik

Detta kapitel behandlar olika teoretiska synsätt och begrepp inom forskningsmetodik. Examensarbetets metodval presenteras och motiveras utifrån dessa teoretiska synsätt och begrepp. Under reliabilitet och validitet för jag en kritisk diskussion kring mina källor och undersökningsmetoder.

2.1 Forskningsansats

Valet av tillvägagångssätt bör väljas med utgångspunkt i studiens problem och syfte. Det sätt jag har valt att arbeta på är en kombination av deduktiv och induktiv metod, nämligen abduktiv metoden.⁴ En abduktiv studie utgår från deduktiv metod, där relevanta teorier appliceras på ett fall. På detta sätt skapas en bättre känsla för problemets karaktär och bättre förutsättningar att vidareutveckla studien. Undersökningen tar sedan vid ur ett induktivt tillvägagångssätt, där jag i teorin försökt finna grund för mitt empiriska material. Sedan har arbetet fortsatt att kontinuerligt växla mellan teori och empiri. Genom att först läsa in mig på ämnet, tillståndsovervakning, har en teoretisk grund skapats och utifrån denna har uppgiften angripits. Efterhand som arbetat med att lösa uppgiften fortlöpt har jag behövt hämta mer kunskap från teorin och även försökt finna stöd för mina lösningar och resultat. Detta har gjorts både utifrån muntliga och litterära källor.

2.2 Metodval

”En metod är ett redskap, ett sätt att lösa ett problem och komma fram till ny kunskap. Allt som bidrar till att uppnå dessa mål är en metod. Det behöver för den saken inte innebära att alla metoder är lika bra eller användbara. Vid val av metod skall man välja en metod som ger goda förutsättningar att studera det formulerade problemet”⁵

2.2.1 Kvantitativ och kvalitativ metod

I detta arbete har både det kvalitativa och kvantitativa angreppssättet använts.⁶ De kvalitativa data som har använts har till stor del kommit från de personer som intervjuats under arbetets gång. Det har handlat om hur personer har uppfattat olika saker, såsom kundkrav, problem med produkten mm. Jag har även tagit del av en större mängd kvantitativ data som avdelningen byggt upp under fler års tid, såsom teknisk data, serviceintervaller, prisinformation mm.

⁴ Björklund, Persson, *Att skriva, presentera och opponera* (2000)

⁵ M Holme I, K Solvang B, *Forskningsmetodik* (1997)

⁶ Ibid.

För att ta reda på vilka delar i maskinen som var intressanta att övervaka så genomfördes en feleffektanalys vilken börjar med en kvalitativ datainsamling i form av intervjuer, där jag fick reda på olika feltyper som kunde inträffa i homogenisatorn. Vidare genomfördes en kvantitativ undersökning där olika feltyper värderats efter en numerisk skala.

2.2.2 Intervjuer ⁷

Ett sätt att skilja mellan olika typer av intervjuer är att dela upp dem i standardiserade och icke-standardiserade intervjuer. En standardiserad intervju genomförs utifrån ett frågeformulär med frågor och ordningsföljd bestämd på förhand. Vid genomförandet av icke-standardiserade intervjuer kan frågeformulering samt ordningsföljd väljas mer fritt så länge informationsbehovet täcks.

Det går även att göra en indelning av intervjuer beroende på hur fria respektive strukturerade svar som önskas av respondenten. Vid strukturerade intervjuer har respondenten endast möjlighet att välja mellan på förhand uppställda svarsalternativ. Vid ostrukturerade intervjuer har respondenten möjlighet att formulera sina svar själv. Syftet med den strukturerade är att få svar på i förväg bestämda frågor som formulerats för att systematiskt täcka det specifika området. Medan syftet med den friare intervjun är att fånga respondentens idéer och värderingar av situationer, åsikter och attityder.

Stora mängder av de data och undersökningsunderlag som samlats in kommer från ostrukturerade och icke-standardiserade intervjuer utförda på homogenisatoravdelningen på Tetra Pak. Eftersom jag kunnat sitta på avdelningen under undersökningens gång så har möjligheten att ställa frågor och följdfrågor efter behov varit stor. Detta har inneburit en bredare datainsamling än om endast intervjuer genomförts på enstaka tillfällen. I uppsatsen presenteras information så som tekniska lösningar, allmänna kommentarer mm. Denna information har sitt ursprung i insamlad data från Tetra Pak.

Fördelen med strukturerade intervjuer är att det är lätt att jämföra olika respondenters svar eftersom frågor ställs och sammanställs på samma sätt för samtliga respondenter. Nackdelen är att strukturerade intervjuer är tidskrävande och ger ingen möjlighet att utveckla frågor eller ytterligare förtydliga.

Den ostrukturerade intervjun ger stora möjligheter att anpassa intervjun efter respondenten. Den har även fördelen att det går att förklara oklarheter i frågor. Ostrukturerade intervjuer har dock den nackdelen att det är svårt att jämföra svaren mellan olika respondenter och det kan vara svårt att få ett entydigt svar.

⁷ Lundahl U, P-H Skärvad, *Utredningsmetodik för samhällsvetare och ekonomer* (1999)

När det gäller mitt val av respondenter på Tetra Pak har min handledare på Tetra Pak hjälpt mig att välja ut de personer som är intressanta för min undersökning. Han har även själv varit en av huvudkällorna till min datainsamling. För intressanta respondenter utanför Tetra Pak har mina handledare på skolan gett förslag på experter som lämpat sig för min utredning.

Berörd personal på avdelningen har även ta del av den information som jag fått från böcker, andra litterära källor och personer utanför avdelningen för att skapa ett effektivt utbyte av information. Genom att förmedla denna information har oftast väldigt bra och användbar information återfåts.

2.3 Analys av homogenisatorn

Nedan presenteras hur analysarbetet av homogenisatorn gått till:

- För att få reda på vad som eventuellt skulle kunna övervakas på homogenisatorn har, som nämnts tidigare, en feleffektanalys genomförts, vilket är en metod för att ta reda på vilka delar i en maskin som har hög felintensitet och även hur alvarliga dessa fel är. De delar i homogenisatorn där fel kunde uppstå enligt feleffektanalysen studerades sedan ytterligare för att ta reda på om de är intressanta att övervaka eller om det finns andra bättre lösningar som t ex omkonstruktion. Detta gjordes med hjälp av intervjuer, litteratur och egna bedömningar. Skulle övervakning av felen bidra till större tillförlitlighet hos maskinen och därmed öka kundnyttan så valde jag att gå vidare med dessa fel och ge förslag på övervakningsmetoder.
- För övervakning av utvalda delar i maskinen behövs mätutrustning anpassad efter uppgiften. Information om vilken utrustning som behövs har jag fått genom att diskutera mätförslagen med olika leverantörer av mätutrustning. Dessa har gett en hyfsad bild av vad det är för utrustning som behövs och på ett ungefär hur mycket den kostar.
- Om införandet av ett övervakningssystem skulle vara ekonomiskt lönsamt har undersökts genom att en del uppskattningar gjorts, såsom uppskattade kostnader för införandet av systemet, utvecklingskostnader mm. Med denna information och hur mycket Tetra Pak skulle kunna få för varje sålt system, har investeringskalkyler genomförts.
- Sedan har även uppskattningar gjorts på vilka kostnader systemet medför för kunden. Detta har vägts mot de uppskattade besparingar som kunden skulle kunna göra med ett övervakningssystem, i form av mindre stillestånd, förlängning av serviceintervaller, ingen onödig service som riskerar att introducera nya fel i maskinen mm.

- De resultat som framkommit i undersökningarna har använts för att vidare undersöka om övervakning av homogenisatorn är kostnadseffektivt eller inte. Utifrån detta har ett förslag kunnat presenteras på ett tänkbart övervakningssystem. Tillsist undersöks om det framtagna systemet kan bidra till ökat kundvärde.

2.4 Reliabilitet och validitet

Hög reliabilitet har bl.a. säkerställts genom att flera olika personer har intervjuats inom samma område. För att ytterligare öka reliabiliteten så har anteckningar förts efter varje intervjutillfälle och det har visat sig att samma information har varit återkommande från flera olika personer. Att ha reliabilitet i en undersökning innebär att garantera att inga slumpmässiga fel uppstår.⁸ Skulle ett felaktigt eller olämpligt mätinstrument användas som undersökningsredskap kommer resultatet att innehålla både ett riktigt och ett felaktigt värde. Många gånger kan detta vara svårt att säkerställa. Tillförlitligheten vid intervjuer beror mycket på intervjuaren som gör tolkningar av de svar han eller hon får. Även sättet intervjuaren ställer sina frågor på påverkar svaren.

När det gäller validiteten i mina intervjuer så finns det risk för missförstånd mellan mig och respondenten, detta har tagits i beaktning och jag har sett till att få informationen bekräftad från respondenten ytterligare gånger och även från andra källor. Målet har varit att komma i kontakt med den mest lämpliga personen i varje situation. När det gäller de ekonomiska beräkningarna i denna uppsats så bygger dessa mycket på uppskattningar och detta medför att risken för fel ökar. Denna risk finns alltid när framtida investeringsbeslut fattas. Målet har även här varit att använda mig av personer med god ekonomisk kunskap inom området men trots detta bör man ha en kritisk hållning mot framtagna siffror. Validitet handlar om att verkligen mäta det som avses att mätas.⁹ Detta kan många gånger bli väldigt svårt när det handlar om undersökningar med människor som informationskälla.

⁸ Patel R, Davidson B, *Forskningsmetodikens grunder* (1994)

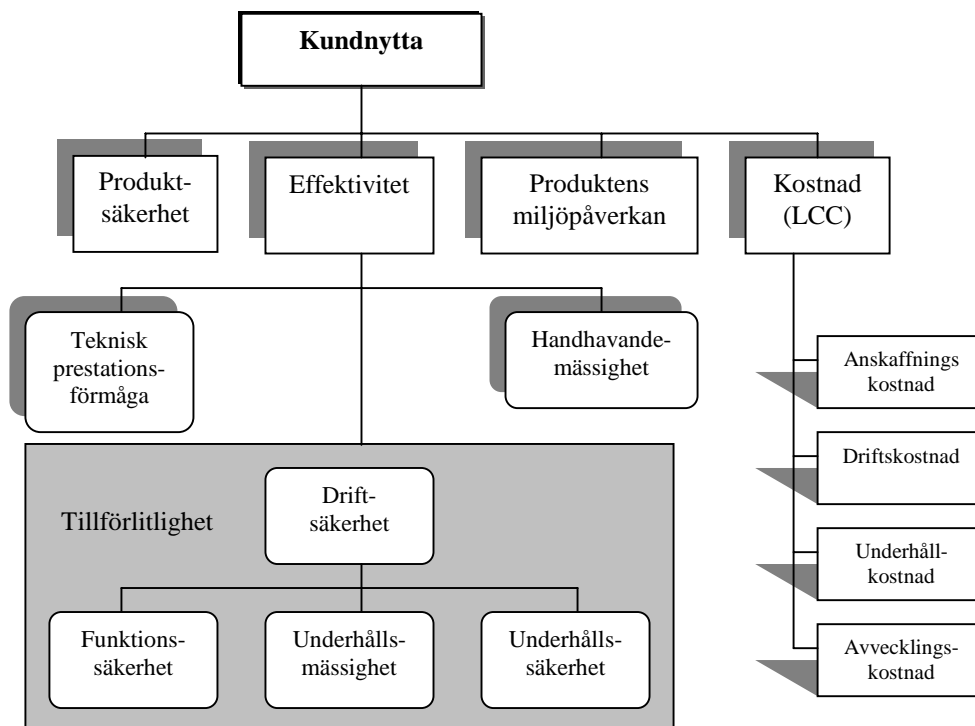
⁹ M Holme I, K Solvang B, *Forskningsmetodik* (1997)

3 Kundnytta, kundvärde och underhåll

Detta kapitel tar upp modeller och begrepp som lägger grunden för tillståndövervakning. Inledningsvis presenteras begreppet kundnytta och kundvärde som utgångspunkt för hur en bättre produkt skall skapas för kunden. Sedan presenteras olika typer av underhåll för att få ett grepp om hur underhåll bedrivs idag och även ge möjligheten att jämföra dessa med tillståndsbaserat underhåll.

3.1 Kundnytta ur ett maskinkonstruktionsperspektiv

Ofta definieras kundnytta som ett överordnat begrepp vid all utveckling, konstruktion och tillverkning.¹⁰ Under detta arbete ska fokus ligga på att skapa högsta möjliga kundnytta. Genom att tillverka en produkt med hög användarvänlighet som är lätt att serva och avveckla ökar kundnyttan (se Figur 3.1). Även produktens effektivitet samt den kostnad som kund och användare åsamkas i olika sammanhang påverkar kundnyttan. Egenskaper som produktsäkerhet och produkternas miljöpåverkan kan också relateras till kundnytta.



Figur 3.1 Hur kundnytta skapas

¹⁰ Holmberg G, Lönnqvist Å, *Säkra produkter* (1997)

Produktens effektivitet är beroende av den tekniska prestationsförmågan, dels av faktorer som tillförlitlighet och driftmässighet. Teknisk prestationsförmåga kan t ex vara mängden enheter en viss maskin kan producera per tidsenhet under full drift. Exempel på faktorer som kan påverka handhavandemässigheten för en maskin är att maskinen måste stängas av och skydd avlägsnas när material skall matas in.¹¹

3.1.1 Tillförlitlighet

Tillförlitlighet inkluderar flera sammanhängande begrepp, vilka är knutna både till en produkts konstruktion och till dess underhållsorganisation. Detta är begrepp som bör användas när man uttrycker sig om en konstruktions bestämda egenskaper. Men de bör endast användas i allmän betydelse. Dessa presenteras nedan:¹²

Driftsäkerhet

En produkts eller ett systems driftsäkerhet är dess förmåga att ge hög prestation – trots fel, störningar och andra funktionshinder. Driftsäkerheten bestäms alltså av det tekniska systemet (maskinen) och dels av hur snabbt underhållsfunktionen kan åtgärda uppkomna fel. Måttet på driftsäkerhet är tillgänglighet. Denna går att beräkna som kvoten mellan faktisk tillgänglig produktionstid och den planerade önskvärda produktionstiden. Summan av denna uträkning blir ett tal mellan 0 och 1. Sättet att beräkna denna storhet måste dock definieras med varje kund då alla har egna sätt att se på tillgänglighet. Men målet är att ligga så nära 1 som möjligt.¹³

Funktionssäkerhet

Ett systems funktionssäkerhet är till stor del beroende av konstruktionen samt inverkan av eventuellt förebyggande underhåll. Funktionssäkerhet definieras som egenskapen hos en enhet att kunna utföra angiven prestation under angivna betingelser med hänsyn tagen till prestationsnedsättning på grund av fel. Mätning av funktionssäkerhet görs vanligtvis som medeltiden mellan fel eller medeldistans mellan fel om mätning utförs på rörliga system, t ex motorer.¹⁴

Underhållsmässighet

Underhållsmässighet karakteriseras av en produkts anpassning att på ett lätt sätt avhjälpa driftstörningar, genomföra underhåll, felsökningar och reparationer. Dessa

¹¹ Holmberg G, Lönnqvist Å, *Säkra produkter* (1997)

¹² Ibid.

¹³ Ibid.

¹⁴ Ibid.

egenskaper bestäms av en produkts konstruktion. Så det gäller att anpassa sin konstruktion efter detta. Storheten för underhållsmässighet mäts i tid, medeltiden för reparation. För att kunna ställa krav på en produkts underhållsmässighet kan vissa kvantitativa krav framställas. Dessa är vanligen krav på tillåten tid för förebyggande och avhjälpande underhåll. Måttet på detta är vanligen användningen av tid, arbetsvolym och kostnaden.¹⁵

Underhållssäkerhet

Funktionssäkerhet och underhållsmässighet är båda egenskaper som byggs in i konstruktionen. Underhållssäkerheten är istället en egenskap hos underhållsorganisationen. Storheten för detta anges oftast i tid, antingen som den tid då inga underhållsåtgärder kan utföras på grund av väntan på erfoderliga underhållsresurser, körtid, administrativ väntetid, eller tid som åtgår för administrativt arbete mm medan aktiva underhållsåtgärder ej utförs. Underhållssäkerheten av ett system är beroende av reservdelar, dokumentation, verktyg, instrument, verkstäder, personal, utbildning, administrativa hjälpmedel och organisationen.¹⁶

3.2 Kundvärde, kundnytta ur ett kundperspektiv

Skillnaden mellan kundvärde och kundnytta är att kundvärdet skapas utifrån ett kundperspektiv medan kundnytta skapas utifrån ett maskinkonstruktionsperspektiv.

Marknadsorienterade företag fokuserar på att erbjuda ett högt kundvärde för att kunna behålla och skaffa nya kunder.¹⁷ Målet är att tillfredställa sina kunders behov bättre än konkurrenterna. Kundvärdet bestäms även av hur kunden uppfattar de fördelar som erbjuds och vilka uppostringar som måste göras i samband med köpet.

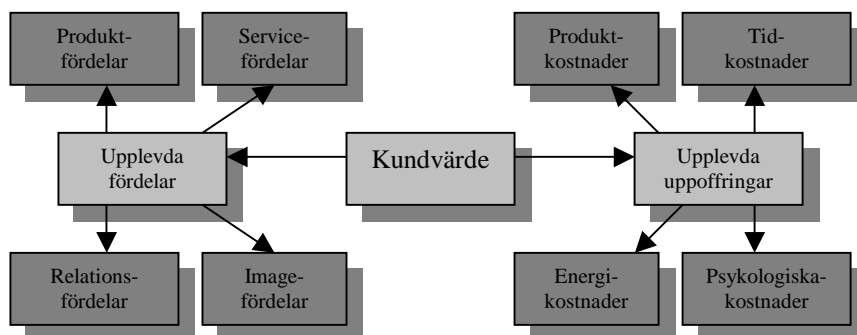
$$\text{Kundvärde} = \text{Upplevda fördelar} - \text{Upplevda uppostringar}$$

Kundvärde är alltså differensen mellan upplevda fördelar och upplevda uppostringar. Upplevda fördelar kan vara produktfördelar, bra image från företaget/produkten, servicefördelar och det kan även vara upplevda fördelar från en bra relation mellan säljare och kund (se Figur 3.2). Upplevda uppostringar är den totala kostnaden associerad med själva inköpet. Denna kostnad består inte bara av ekonomiska termer utan även den tid och energi som läggs ner för själva köpet. Den psykologiska kostnaden handlar om osäkerheten och risktagande i köpet.

¹⁵ Johansson K-E, *Driftsäkerhet och underhåll* (1997)

¹⁶ Ibid.

¹⁷ Jobber D, *Principles and practice of marketing* (2004)



Figur 3.2 Hur kundvärde skapas.

Vid köp av en produkt väger ofta kunden pris mot prestanda och försöker sedan välja den produkt eller tjänst som upplevs ge mest för pengarna. Detta bidrar till en kapplöpning mellan alla organisationer om att kunna leverera högst värde. De organisationer som utvecklar förmågan att kontinuerligt öka och vidmakthålla ett oöverträffat kundvärde kommer att kunna växa på sina konkurrenters bekostnad. På sikt kommer de organisationer som inte klarar att hänga med i kampen att slås ut.¹⁸

Oöverträffat kundvärde i nya system, produkter och tjänster förutsätter att kundernas framtida behov tolkas på rätt sätt och även att teknikens möjligheter utnyttjas på bästa sätt genom hela den kommersiella processen.¹⁹

3.3 Underhåll

Allt underhåll som genomförs idag på system, delsystem eller komponenter utgår ifrån två större underhållstyper, förebyggande och avhjälpande. Det går även att planera sitt underhåll så att avställningstiderna blir så korta som möjligt, s.k. balanserat underhåll. Med dessa typer av underhåll har det skapats olika underhållsstrategier som beskrivs i stycke 3.4. Det finns även olika underhållskoncept såsom Totalt produktivt underhåll och Reliability centered maintenance vilka beskrivs i stycke 3.5.

3.3.1 Förebyggande underhåll

Med förebyggande underhåll planeras underhållsarbetet in efter olika tidpunkter. Detta underhåll består i stor del av smörjning, reovering, byte av komponenter och

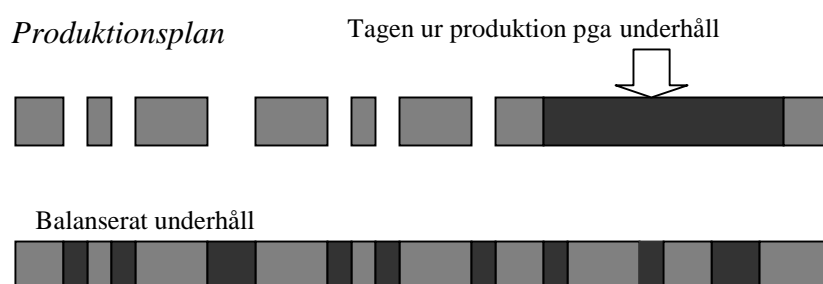
¹⁸ Lindstedt P, Burenus J, *Skapa oöverträffat kundvärde* (1999)

¹⁹ Ibid.

inspektion. Vid förebyggande underhåll tar man för givet att felbeteendet i en maskin är statistiskt eller på annat sätt känt, från t ex experiment eller erfarenhet. Förebyggande underhåll innebär ofta mindre eller större avstängningar av ett system för inspektioner eller schemalagda åtgärder på fungerande utrustning. Principen för denna typ av underhåll är att man vill förhindra större systemfel genom att t ex byta ut komponenter i regelbundna intervaller precis innan man tror att fel eller störningar skall uppstå.²⁰

3.3.2 Balanserat underhåll

Istället för att som vid förebyggande underhåll utföra underhåll vid mindre eller större avstängningar så kan underhållet delas upp i mindre delar. Detta gör att underhållet kan utföras på tidpunkter då systemet inte är i normal drift (se Figur 3.3). Följden blir att avstängningar på grund av förebyggande underhåll minskar.²¹



Figur 3.3 Fördelen med balanserat underhåll

3.3.3 Avhjälpande underhåll

Avhjälpande underhåll är reparationer som inte planeras i förväg. Istället utförs det när ett uppenbart funktionsfel upptäcks eller vid haveri. Själva underhållsarbetet utförs genom byte av komponenter eller reparation för att återställa ett system till specificerad prestanda och skick. För sådan utrustning som inte är kritisk för systemet kan man avvakta och planera in tillsammans med det planerade underhållet. Men skulle ett fel inträffa som är kritiskt för systemfunktionen så måste akut avhjälpande underhåll utföras.²²

²⁰ Yam, R. C. M. et.al, *Intelligent Predictive Decision Support System for Condition-Based Maintenance* (2001)

²¹ Keckland, L, *Underhållsstrategier och säkerhet på en avreglerad elmarknad* (2004)

²² Yam, R. C. M. et.al, *Intelligent Predictive Decision Support System for Condition-Based Maintenance* (2001)

3.4 Underhållsstrategier ²³

Jag kommer här att beskriva några olika underhållsstrategier, vilka alla bygger på de olika typer av underhåll som redan beskrivits och därför kommer dessa bara att nämnas kort.

Dagligt underhåll	Det dagliga underhållet kan bestå av mindre avhjälpande underhåll t ex byte av smutsig olja. Annars består det dagliga underhållet mest i att städa, diska, tvätta och även vissa tillståndskontroller.
Akut underhåll	Fel som är kritiska för en produkts funktion måste så fort som möjligt åtgärdas. Efter det att en maskin havererat så tillkallas personal som kan åtgärda felet. De skall i sin tur utvärdera felet, hitta reservdelar och åtgärda felet. Sedan bör man testa maskinen så den fungerar som önskat igen.
Planerat underhåll	Denna underhållsstrategi bygger på alla typer av förebyggande underhåll men inkluderar även avhjälpande underhåll som inte är akut. Fel som inte är kritiska för funktionen åtgärdas tillsammans med övrigt underhåll enligt plan.
Lätt underhåll	I det lätta underhållet utförs underhåll med enklare resurser och utan att påverka ett systems produktivitet. Detta kan bestå av både avhjälpande – och förebyggande underhåll. De avhjälpande underhållet kan vara aktiviteter för oplanerade åtgärder som t ex något som fastnat och måste plockas bort. De förebyggande underhållet kan bestå av t ex filter byten.
Tungt underhåll	Detta underhåll kräver att ett system sätts ur produktion under en viss tid och det är oftast för att laga eller byta ut större enheter i systemet.
Tillståndsbaserat underhåll	Med hjälp av tillståndskontroller kan man undvika akuta fel och utföra underhåll, utifrån uppmätta felsymptom. Vid enklare system kan en operatör utföra tillståndskontroller och sedan rapportera till serviceorganisationen. Blir systemet däremot mer komplicerat kan det behövas sofistikerade och automatiserade mät- och analysverktyg. Tillståndsbaserat underhåll förkortas TBU.

²³Allström R, Bengtsson M, *Tillståndsbaserat underhåll* (2002)

3.5 Olika underhållskoncept

Underhållskoncept handlar om att sätta upp riktlinjer för underhållsarbetet. Valet av underhållskoncept är beroende av vilken typ av produktion eller process som bedrivs.

3.5.1 Totalt produktivt underhåll (TPU)

Målet med TPU är att effektivisera företaget genom att förändra attityder, förbättra skickligheten hos all personal från chefen till operatören och även förbättra utrustningen genom ökat ansvar. I TPU utför operatören en stor del av det förebyggande underhållet för sin del av systemet och denna strävar hela tiden efter att öka produktiviteten. TPU har som utgångspunkt att se till systemets tillförlitlighet, skapa maximal effektivitet och minimera livscykelkostnader på systemets komponenter. Delegering av ansvar kräver hög kompetens hos operatörer vilket fordrar utbildning och även klara och motiverade mål för de anställda.²⁴

3.5.2 Reliability centered maintenance (RCM)

Dagens komplexa och många gånger obemannade produktion ställer höga krav på konstruktörer. En del konstruktörer vet för lite om underhåll för att kunna skapa utrustning med hög underhållsmässighet. RCM strävar efter att öka tillförlitligheten hos de komponenter eller delsystem som är kritiska för systemet och fokusera underhållsinsatser på dessa. Reliability centered maintenance kan översättas till tillförlitlighetsstyrt underhåll på svenska och detta går ut på att använda tillståndsovervakning på ett system, då detta är motiverat av säkerhetsskäl eller av ekonomiska skäl. För att RCM skall vara tillämpligt måste följderna av ett fel vara tydligt märkbara, framförallt gällande säkerhet men även för höga kostnader till följd av stillestånd eller underhåll. Genom att ingenjörer från konstruktion, underhåll och driftsäkerhet samarbetar skapas ofta en bättre helhetslösning. Överföring av teknisk information mellan olika enheter i ett företag kan skapa synergieffekter. Genom att göra arbetet tekniskt intressant kan underhåll förbättras och nya lösningar skapas. Dokumentation från företag visar att det på lång sikt ger klara kostnadsbesparingar.²⁵

3.6 Uppordning av underhåll

Jag skall här visa sambandet mellan de olika underhållstrategierna, underhållstyperna och underhållskoncepten som presenterats. Detta görs i form av en matris som först visar en underhållsstrategi och sedan vilken/vilka underhållstyp eller -typer denna består av och tillsist visas vilket underhållskoncept underhållsstrategin kan ingå i.

²⁴ Johansson K-E, *Driftsäkerhet och underhåll* (1997)

²⁵ Ibid.

Tabell 3.1 Sambandet mellan underhållsstrategier, underhållstyper och olika underhållskoncept.

Underhållsstrategier	Underhållstyp	Underhållskoncept
Dagligt underhåll	Avhjälpande underhåll	TPU (kan bestå av det)
Akut underhåll	Avhjälpande underhåll	TPU (kan bestå av det)
Planerat underhåll	Avhjälpande underhåll Förebyggande underhåll	TPU (kan bestå av det)
Lätt underhåll	Avhjälpande underhåll Förebyggande underhåll	TPU (kan bestå av det)
Tungt underhåll	Avhjälpande underhåll Förebyggande underhåll	TPU (kan bestå av det)
Tillståndsbaserat underhåll	Balanserat underhåll	RCM

3.7 Summering

I detta kapitel har begreppen kundnytta, kundvärde och underhåll presenterats. Detta har gjorts med hjälp av modeller och underordnade begrepp. Begreppen kundnytta och kundvärde ligger till grund för hur man skapar en bättre produkt, kundnytta ur ett maskinkonstruktionsperspektiv och kundvärde ur ett kundperspektiv.

Sedan har olika underhållstyper, underhållsstrategier och underhållskoncept presenterats. Detta har gjorts för att skapa en förståelse om vilka olika underhållsmöjligheter som finns och för att kunna jämföra tillståndsbaserat underhåll med annat underhåll för att kunna se för- och nackdelar med det. Sist i kapitlet presenteras ett samband som jag tagit fram mellan olika underhållsstrategier, underhållstyper och underhållskoncept för att göra det mer lätt förståeligt.

4 Tillståndsövervakning

I detta kapitel beskrivs tillståndsövervakning utifrån ett tekniskt- och ett användarperspektiv. Först presenteras grundläggande teori om tillståndsövervakning därefter kommer olika mätmetoder för övervakning. Principen för hur en givare fungerar kommer sedan fölgt av hur marknaden för givare förändras. Som avslutning presenteras olika möjligheter att ta emot signaler från givare och presentera mätdata.

4.1 Grundläggande om tillståndsövervakning

Tillståndsövervakning har använts för roterande maskiner inom industrin i över 30 år.²⁶ Mätinstrument och programvara har utvecklats kontinuerligt och under de senaste åren har system utformats med stor användarvänlighet och hög prestanda.

När en maskin blir allt för komplex installeras mätutrustning, givare, för att få information om maskinens tillstånd. Mätdata från givarna presenteras sedan på en display. På displayen kan personal se om något är fel eller på väg att inträffa med maskinen.

Förr i tiden betraktades underhåll som en oekonomisk handling och utfördes endast när ett fel uppstod, dvs. avhjälpande underhåll. I dag är det uppenbart att genom förebyggande underhåll så undviks dyra driftstopp och följdskador vid ett eventuellt haveri. Ett problem med förebyggande underhåll är att veta när det skall genomföras. Tillståndsövervakning används för att ta reda på vilket tillstånd ett systems komponenter befinner sig i och ger möjlighet att planera in underhåll vid lämpliga tillfällen, s.k. Balanserat underhåll.

Målet med tillståndsövervakning är att se om maskinen arbetar normalt eller om något avviker. Genom att tidigt upptäcka avvikelser kan följdskador och driftstopp undvikas. Idag utförs underhåll på ett sådant sätt att det ofta renoveras och "fixas" för mycket i maskinerna, på detta sätt riskerar man att introducera nya fel, t ex installations fel. Följden blir höga kostnader och minskad tillförlitlighet.

²⁶ Shrivastav O, Al-Najjar B, *Condition monitoring and diagnostic engineering management* (2003)

Tillståndsövervakning kan delas upp i två delar²⁷

1. Subjektiv tillståndsövervakning som innefattas av:

- Se
- Lyssna
- Känna
- Lukta

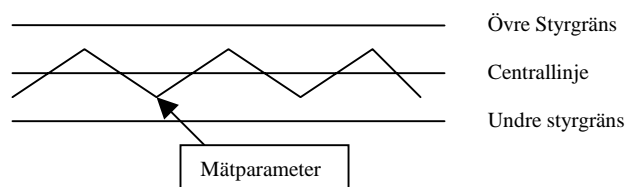
2. Objektiv tillståndsövervakning

Givare och mätsystem ger mätvärden för antingen direktbedömning eller också erhålles underlag för trendanalys.

Det är viktigt med båda typerna av övervakning. I och med ökad komplexitet hos maskiner och lägre bemannad produktion har den objektiva tillståndsövervakningen blivit allt viktigare. Kärnkraftverk är ett bra exempel i industrin som använder sig av objektiv tillståndsövervakning och inom bilindustrin var BMW först med att använda sig av tekniken.²⁸

Vidare när jag talar om tillståndsövervakning så kommer detta syfta till objektiv tillståndsövervakning.

Principen för tillståndsövervakning är enkel, genom att mäta en parameter (t ex temperatur) och registrera variationer så kan fel upptäckas. Styrdiagram är ett sätt att registrera variationer eller avvikelser. I ett styrdiagram skall variationen ligga mellan två styrgränser och styrdiagrammet ger även larm om derivatan skulle bli för brant.²⁹



Figur 4.1 Styrdiagram för övervakning

Enligt Johansson (1997) bör följande krav hos ett system vara uppfyllda för att det skall gå att utföra tillståndsövervakning:

- Systemet bör vara realtidsmetodbaserat, skall gå att göra direkta avläsningar.
- Systemet skall ha hög driftsäkerhet.

²⁷ Johansson K-E, *Driftsäkerhet och underhåll* (1997)

²⁸ Ibid.

²⁹ Bergman B, Klefsjö B, *Kvalitet från behov till användning* (2001)

- Att på ett tidigt stadium tala om var ett fel håller på att bildas så att åtgärdande av felet kan ske på tid då tillverkning ej är planerad.
- Om ett fel har inträffat, snabbt identifiera felet samt ge information om var felet är beläget.
- De larm som erhålles skall kunna indelas i olika nivåer beroende på felets art. Vid ett larm som bedömes som allvarligt skall maskinen automatiskt stoppas av systemet.
- Larmet som presenteras skall kunna förstås av personal som arbetar vid maskinen samt av underhållspersonalen.
- Tillståndsövervakningssystemet bör vara utformat så att anslutning kan ske till överordnad dator.

4.2 Mätmetoder vid tillståndsövervakning ³⁰

Det finns en rad olika parametrar som går att mäta vid tillståndsövervakning och för dessa finns flertalet metoder. Några exempel är mätning av rotationshastighet, vridmoment, vibrationer, ljud, temperatur och oljespektrometriska analyser. Dessa och hur en givare fungerar presenteras mer ingående i **Bilaga 3**.

4.3 Marknaden för mätutrustning

Utvecklingen inom mikrosystem, MST eller *microsystems technology*, symboliseras idag av höga utvecklingskostnader och stora investeringar i processutrustning.³¹ Målet är att kunna tillverka stora volymer av t ex givare för att minska tillverkningskostnaden per enhet. När detta lyckas kommer nya kundgrupper anamma teknologin och försäljningen tros accelerera allt eftersom priserna sjunker.

Vilka hot och möjligheter utgör då MST-teknologin ur ett konkurrens perspektiv? MST kan i många fall innebära ett ”diskontinuerligt” tekniskifte. Vilket innebär att konventionella komponenter och tillverkningsprocesser snabbt byts ut i ett drag. Eftersom MST-tekniken i många fall leder till förbättrad prestanda och lägre kostnader så kan tekniken vara ett hot för etablerade företag som inte använder tekniken. Förutsättningarna för hela branschen kan på kort tid förändras, kunskaper och tekniker som tidigare sågs som tillgångar blir föråldrade och måste snabbt bytas ut. Ett skifte av denna karaktär kan många gånger vara svårt att bemästra. Det är oftast inga problem att inför nya tekniker och förändringar i arbetssätt när man vet hur branschen kommer att utvecklas. Men för att klara av detta så måste man hela tiden förbereda sig på olika scenarier, försöka förutspå i vilken riktning branschen utvecklas och i förväg förbereda sig på olika tänkbara lösningar. Som

³⁰ Johansson K-E, *Driftsäkerhet och underhåll* (1997)

³¹ Andersson G, Winkler D, *Mikrosystem- möjligheternas teknik* (2000)

fördjupningsstudie i detta kan Grooves bok "Only the Paranoid survives" rekommenderas.

Teknikskiftet innebär som sagt både möjligheter och hot. Det är osäkert när en viss teknologi tar fart och når ut till alla. "Timingen" för införande av MST-teknologin är viktig ur två synpunkter. Förtidigt införande kan leda till att man väljer en MST-lösning som inte blir livskraftig i längden. Idag finns det många olika system att välja mellan men ingen vet vilket av dem som kommer att bli den dominerande standarden i framtiden. Den andra synpunkten är att om man väljer att införa den nya tekniken först efter konkurrenterna riskerar man förlora i konkurrenskraft. Så det är en svår fråga men det bästa är ändå att försöka förbereda sig på förändringar och antingen vara först ut med att erbjuda sina kunder MST-teknologi eller vara så pass förbered att direkt kunna svara på sina konkurrenters erbjudande.

4.4 Signalhantering

Det finns idag en rad olika möjligheter att utföra tillståndsövervakning. Hos försäljarna av tillståndsövervakningsutrustning går det att köpa allt från handburen mätutrustning för rodning till fastmonterade övervakningssystem för kontinuerlig övervakning som kan sända vidare uppmätt data via t ex Internet, Ethernet eller trådlöst till en dator för analys. Det finns även andra möjligheter att utföra mätningar och ta hand om data, fler exempel kommer att ges i detta avsnitt.

4.4.1 Handburen mätutrustning

Med hjälp av handburen mätutrustning kan man vid önskat tillfälle ta "stickprov" på olika delars tillstånd i en maskin. Givare placeras ut på bestämda mätpunkter på maskinen och en mätning görs. Efter mätningen tar man bort givarna från maskinen för att mäta på nästa maskin. Detta blir ett relativt billigt sätt att mäta på eftersom samma utrustning kan användas på flera maskiner. Dessa mätningar görs för att på ett enkelt sätt se om något är på väg att gå sönder, utan att behöva stanna maskinen eller plocka isär den. Skillnaden att mäta så här jämfört med att mäta med ett stationärt övervakningssystem som kontinuerligt läser av maskinens tillstånd blir att larm för akuta åtgärder kan missas. Om det inte mäts tillräckligt ofta med det handburna systemet så kan ett snabbt uppkommet fel vara svårt att upptäcka. Risken för ett oförutsägbart haveri ökar när intervallerna för mätning ökar eftersom fel som utvecklas snabbt lätt missas.³²

³² Shrivastav O, Al-Najjar B, *Condition monitoring and diagnostic engineering management* (2003)

4.4.2 Loggning

Det är möjligt att utrusta maskiner med permanenta givare som kopplas till en logger placerad på eller i närheten av utrustningen som sparar mätdata, tagna vid jämna mellanrum. Med en bärbar dator kan man koppla upp sig mot loggern, tanka över värdena till datorn för att sedan genomföra en analys av mätdata. Eftersom det idag inte är några problem att skicka mätdata direkt till en dator för analys och lagring så kan det verka onödigt komplicerat. En anledning till att använda logger kan vara att man endast vill gå in och hämta mätdata då något speciellt har inträffat. Det kan underlätta hanteringen av data om den finns lagrad i en logger på maskinen istället för en databas som måste kopplas in med antingen en kabel eller ett trådlöstsystem.³³

4.4.3 Stationära system

De flesta stationära övervakningssystem som finns att köpa idag är relativt lika avseende uppbyggnad och funktion. Systemen har kanaler för både analoga och digitala givare, antalet kanaler varierar mellan systemen men det går i stort att hitta system som har den mängd kanaler som önskas. Enheten kan monteras antingen på maskinen eller i anslutning till den maskinen som övervakas. Det är viktigt att systemet klarar av den i många fall krävande industrimiljön de används i. Systemet måste vara pålitligt och inte ge falsklarm. För varje mätpunkt skall det gå att ställa in individuella larmnivåer. Vid behov så går det att återkoppla en del system för åtgärd vid larm, t ex att maskinen stänger av om risk för personskada eller allvarliga fel uppstår. Stationära system används för det mesta till on-line övervakning och enligt Fredrik Larsson (SKF) fungerar on-line tillståndsövervakning nästan bara på maskiner med konstanta parametrar som t ex pappersmaskiner. På maskiner med varierande parametrar blir risken för falsklarm alldeles för stor. Då rekommenderas istället handburen utrustning.

4.4.4 Överföring av data

Det finns flertalet sätt att överföra data från systemet till en PC för analys. Här presenteras några av dessa möjligheter:

Internet

Det finns flera sätt att koppla upp sig mot Internet, exempelvis via modem, adsl eller bredband.³⁴ Med modem och adsl så går det att komma åt Internet från det vanliga telefonnätet. Med bredband så krävs det att ett bredbandsnät är tillgängligt på övervaknings platsen. Det som är viktigt med uppkomling mot Internet och

³³ Ibid.

³⁴ Shrivastav O, Al-Najjar B, *Condition monitoring and diagnostic engineering management* (2003)

överföring av data här är att data måste skyddas. Data skall inte vara tillgänglig eller påverkbar av utomstående. Säkerheten kan ökas med hjälp av kryptering av data som gör den oläsbar för andra och brandväggar som hindrar andra datorer att koppla upp sig mot systemet.

Ethernet

Ethernet är ett lokalt nätverk (LAN, Local Area Network) som endast är tillgängligt för dem som ingår i detta nätverk. Det är enkelt förklarad som ett antal egna kablar dragna mellan ett antal datorer för kontakt. Detta är ett säkert sätt att skicka data, då ingen utomstående har tillgång till nätet. Nackdelen är att det är ofta väldigt lokalt och det går inte att skicka data till avlägsna mål.

Trådlös kommunikation

Som tidigare nämnts så går det att skicka data via modem och adsl som är uppkopplat mot telenätet. Det går även att skicka data med enbart trådlös telekommunikation. Det finns framförallt en hel del trådlösa alternativ som t ex går det att skicka data över det vanliga GSM nätet (Global System for Mobile communication) men även över 3G nätet som är tredje generationens mobilnät. Ett användbart sätt att skicka information till mobiltelefoner är i form av SMS. Även Bluetooth som är en relativt ny metod att skicka data går att utnyttja. Bluetooth använder sig av radiovågor, vilka kan ta sig genom fysiska föremål. Räckvidden är på mellan 10 till 100 meter. WLAN (Wireless Local Area Network) är ytterligare ett alternativ på trådlös kommunikation. Möjligheterna är i stort sätt obegränsade gällande trådlösöverföring.

4.4.5 Processanslutning

En möjlighet är att samla data för övervakning i det system som styr processen i fabrikena. Maskinens egna styrsystem, PLC-system, är en lokal enhet som alltid är anpassad efter en central enhet, en så kallad processterminal.³⁵ De allra enklaste lokala enheterna erbjuder endast möjlighet till datainsamling och styrning. De lite mer avancerade systemen kan separera datainsamlingen ifrån den kommunikation som sker med centralsystemet.

Programvaran till mindre enkla enheter är ofta ganska okomplicerad. De större lokala enheterna har däremot mer avancerade programsystem som inte skiljer sig nämnvärt från dem som finns i ett centralsystem. Precis som PLC-system så har mindre lokal

³⁵ Cegrell T, Sandberg U, *Industriella Styrssystem* (1994)

enheter inget operativsystem, funktionerna byggs istället in i ett enda stort program. Större lokala enheter utrustas med realtidsoperativsystem för t ex hantering av fler avbrottsnivåer, program med prioritet samt flera parallella aktiviteter. För dessa system finns det ofta en monitor för presentation av data och möjlighet att göra lokala inställningar och avläsningar.

I den lokala enheten finns möjlighet till insamling av analoga och digitala signaler samt utmatning av dessa båda signaltyper utförs av de delar av lokalenheten som benämns in/ut- (I/O) enheter. Både In/ut-enheterna måste vara okänsliga för störningar på insignalerna. Transienter, spännings- och strömpulser får ej orsaka skador på komponenterna i in/ut-enheterna, utan skall elimineras i skyddskretsar och överlagrat brus måste filtreras bort.

Inkanalen till en lokal enhet omfattar normalt:

- datainsamling
- filtrering av insamlade data
- signalhantering av olika slag
- tidsmärkning av data
- registrering av olika händelser kopplade till analoga eller digitala insignaler

Utkanalen omfattar oftast:

- utmatning av diskreta styrsignaler med de digitala utgångarna
- utmatning av börvärden via de analoga utgångarna eller som ett digitalt kodord via de digitala utgångarna

För att kunna installera givare i det lokala styrsystemet så krävs olika antal in- och utgångar. För flexibilitet i detta avseende så används ofta ett modulariserat uppbyggnadssätt, där möjligheten att variera de funktionella anpassningarna är stor.

4.4.6 Röd - gul - grön ett lätt sätt att förstå mätdata

Resultatet som presenteras från övervakningen skall vara lätt att förstå, även av personer som inte är experter. Allt för ofta så skapas det en liten grupp som endast de kan förstå övervakningsprogrammet. På detta sätt begränsas möjligheterna för förståelse och nytänkande från övrig personal. För att undvika missförstånd och andra komplikationer skall resultatet vara tydligt och lätt överskådligt. Ett vanligt sätt att visa tillståndet hos en maskin är genom en grön- gul-röd skala. När det visar grönt så är maskinens tillstånd bra, vid gult så börjar fel att uppstå och vid rött så är det kritiskt och maskinen bör stängas av. Det är när det visar gult som service ska planeras in på nästa planerade stopptillfälle.³⁶

³⁶ Shrivastav O, Al-Najjar B, *Condition monitoring and diagnostic engineering management* (2003)

4.4.7 Mätintervall

Enligt Johansson (1997) så bör övervakning av olika parametrar anpassas efter vilken felutveckling mekanismen har. Som exempel:

- En snabb felutveckling 0 – 10 s mellan övervakningstillfällena
- En långsam felutveckling 0 s – 15 min mellan övervakningstillfällena

Han säger också, för att kunna använda signalen från en givare för direkt tillståndövervakning fodras, förutom hög funktionssäkerhet hos givaren, att den mätparameter som studeras kartläggs mycket noggrant. Eftersom undersökningar av samma mätparametrar hos exakt lika maskiner har visat sig vara maskin unik. Detta försvårar arbetet med att sätta larmgränser. Ny teknik håller på och har till viss del utvecklats, så kallad "self learning", där olika situationer av maskinen spelas in och den skapar själv ett börvärde och sätter ut larmgränser. Denna utveckling sker till stora delar i Japan. Dessa system är alldeles för komplexa och dyra för en produkt som homogenisatorn. Tre av dessa metoder är Fussy logic, Neurala nätverk och Generiska algoritmer.³⁷

För att automatisk övervakning av en parameter skall vara genomförbar måste vissa krav vara uppfyllda:

- Mätningen skall vara reproducerbar
- Parametern måste vara långtidsstabil
- Parametern måste uppvisa en gradvis förändring vid fel
- Mätning skall kunna pågå även under produktion
- Störningsnivån runtomkring mätstället får ej vara för hög

4.5 Summering

Detta kapitlet har bestått av:

- Grundläggande information om tillståndövervakning, så som historik, tillämpningar och mätmetoder.
- Hur man skall ta hand om signalen från givarna, nämnda exempel är handburen mätutrustning, loggning och stationära system.
- Olika sätt att överföra data från givare till en PC för analys på plats i fabriken eller på annan ort.
- En genomgång om hur man lätt skall kunna förstå mätdata och sätta larmgränser.
- Hur ofta man bör mäta beroende på hur snabbt ett fel utvecklas.

³⁷ Johansson K-E, *Driftsäkerhet och underhåll* (1997)

5 Ekonomi och implementering av tillståndsövervakning

I detta kapitel beskrivs ekonomiska aspekter och konsekvenser med tillståndsövervakning, vilka organisatoriska förändringar tillståndsbaserat underhåll kräver och en plan för hur man skall införa det. Det beskrivs även hur man gör en feleffektanalys för att ta fram kritiska delar i en maskin som bör övervakas och hur man gör en ekonomiskutvärdering om det är kostnadseffektivt att övervaka de framtagna delarna.

5.1 Ekonomiska aspekter med tillståndsövervakning

Många företag ser bara underhåll som en kostnad och inte som den potentiella guldgruva det kan vara. Ofta görs inte regelbundna utvärderingar av vad ett tillståndsövervakningssystem kan bidra till i ekonomiska termer. En vanlig företeelse är att man väljer att mäta för mycket, data blir för komplex och svår att analysera.³⁸

I många industriföretag är underhåll en signifikant kostnad och viktigt för företagets övergripande resultat. Problemet med underhåll ur ett ekonomiskt perspektiv är att underhåll ofta mäts som en kostnad medan intäkterna glöms bort, såsom möjligheten att undvika haveri. "Vi kan spara pengar genom att skära ner på underhåll" ett uttalande som ofta är fel. Nerskärningar i underhåll leder ofta till nya kostnader. Bra underhåll kan snabbt betala av sig t ex i form av mindre reparationer, mindre reservdelar och mindre produktionsstopp. Istället bör fokus ligga på att skapa ett så effektivt underhåll som möjligt och därmed göra ekonomiska besparingar.³⁹

Stora Enso uttrycker sin syn på underhåll så här:

"Sell machinetime with highest possible added value and lowest possible fixed and variable cost"

1988 utfördes en studie på 500 kraftverk i USA, UK, Kanada och Australien.⁴⁰ Denna studie konstaterade att införandet av tillståndsövervakning minskat underhållskostnaderna med 50 procent. Andra fördelar var:

- minskning av oplanerade stopp, haveri.
- minskat lager med reservdelar.
- längre körtider innan stopp.
- ökad maskinsäkerhet.

³⁸ Shrivastav O, Al-Najjar B, *Condition monitoring and diagnostic engineering management* (2003)

³⁹ Ibid.

⁴⁰ www.reliabilityweb.com, 050212

- ökning av utrustningens livslängd.
- bättre produktionsmarginaler.
- lättare att planera körtider och tillgänglighet.

Många gånger utförs underhåll efter ett tidschema som är skapade efter när ett fel skulle kunna uppstå. Detta underhåll kan i sig självt orsaka onödig stopptid och kostnader. Dels av den anledningen att servicearbetet tar tid och kostar pengar men även att risken för installationsfel och barnsjukdomar ökar till följd av onödiga byten eller reparationer av komponenter. När man minskar underhållskostnaden så ökar man också risken för produktionsförluster.⁴¹

På MoDo AB, Domsjöfabriken, införskaffades mätutrustning från Nåiden 1990. Det som köptes var vibrationsmätutrustning och personal utbildades för att kunna utföra analyser av mätdata. Mätningar på deras pumpar kom igång redan samma år. 1988-1990 utfördes ca 215 pumppreparationer per år. Under 1991 sjönk siffran till ca 170, en minskning med 20 procent. Under 1991 sjönk de direkta underhållskostnaderna på Domsjöfabriken med drygt 15 procent. Detta beror till stor del på införandet av tillståndsövervakning.⁴²

5.2 Tillståndsövervakning kräver organisatoriska förändringar

Många gånger har tillståndsövervakningssystem köpts utan att köparen har tänkt igenom vilka organisatoriska förändringar som måste göras för att ett sådant system skall bli lönsamt. Istället för att prioritera användningen av det nya systemet så blir det bara ett mindre använt komplement till tidigare underhållsarbete. För att införandet av tillståndsövervakning skall bli lönsamt så måste de bidra till att underhållningsarbetet anpassas efter systemet och då skall även nedskärningar i underhåll kunna göras.⁴³

Införandet av tillståndsbaserat underhåll har varit framgångsrik i de företag som lyckats integrera användning av utrustningen som en pålitlig källa i sitt underhållsarbete. Ledning måste tillåta förändring i prioriteringen av underhåll och låta dessa genomsyra hela underhållsarbetet och alla inom detta arbetsområde.⁴⁴

Tillståndsövervakning skall vara en viktig del i företagets underhållsstrategi, genom att förvarna när problem i maskinen håller på att utvecklas så kan underhåll utföras på planerade stopptid, Balanserat underhåll. Övervakningssystemet kan t ex tala om när ett kullager börjar närma sig beräknad livslängd eller också kan det mäta vilket skick de befinner sig i och informera om när det är dags att byta. På detta sätt går det att

⁴¹ Allström R, Bengtsson M, *Tillståndsbaserat underhåll* (2002)

⁴² Ibid.

⁴³ Shrivastav O, Al-Najjar B, *Condition monitoring and diagnostic engineering management* (2003)

⁴⁴ Ibid.

förbättra service och underhåll på ett kostnadseffektivt sätt. Övervakningssystemet kan öka möjligheten att snabbare finna källan till ett problem och onödigt felsökningsarbete går att minska.⁴⁵

När ett företag väl har valt att utrusta sina maskiner med tillståndsovervakning så bör de utveckla ett underhållsprogram som skall passa deras behov. Enligt Luis Econom och Doug Johnson (SKF) misslyckas nästan hälften av alla program att införa systemet efter 12 till 18 månaderna. Antingen så krävs det nyinvestering i ett nytt program eller också tappar företaget förtroendet för systemet för att de har fått för många oklara mätvärden som de inte kan tolka. Ett sådant bakslag kan leda till att personal på olika nivåer inom företaget skapar motstånd mot det tillståndsbaserade underhållet. Följden blir att systemet inte får den support som behövs för att bli en funktionell tillgång i företagsorganisationen.

Några av anledningarna till att en del företag misslyckas med införandet av tillståndsbaserat underhåll kan enligt Luis Econom och Doug Johnson bero på:

- Dålig utbildning av personal, vilket resulterar i att fel data mäts
- Personal tilldelas uppgiften att införa det tillståndsbaserade underhållet i organisationen utan rätta förberedelser och bristande ledarkunskap
- Personal som redan har fult upp får i uppgift att införa det
- Bristande dokumentation och saknaden av ett program för vilka olika åtgärder som skall genomföras vid larm
- Dålig uppföljning av reparations och serviceåtgärder
- Fel parametrar mäts och man tar inte hänsyn till omgivningens påverkan av maskinen
- En annan anledning kan vara att det saknas personal som ansvarar för tillgänglighet och produktivitet.⁴⁶ Fokus läggs istället på kortsiktiga kostnader.

5.3 Hur man inför tillståndsbaserat underhåll

Grundläggande för att undvika att misslyckas med införande av tillståndsbaserat underhåll är att noggrant planera, dokumentera och arbeta utifrån ett standardiserat sätt. Det finns ett flertal standarder som man kan utgå ifrån som t ex ASME, ASTM, publicerad militär tillgänglig standard såsom GMAP (General Machinery Assessment Program), ISO och andra tillgängliga program som finns för att kunna införa TBU på ett bra sätt. Alla dessa program är nästan lika till utförande och består av följande steg:⁴⁷

⁴⁵ Shrivastav O, Al-Najjar B, *Condition monitoring and diagnostic engineering management* (2003)

⁴⁶ Christer Kedström, 050213

⁴⁷ Econom L, Johnson D, *Managing the Life-Cycle of Your Reliability* (2002)

- Dokumentera maskinens karakteristik som t ex vilket varvtal den har, dimensioner på kullager mm.
- Se över alla tänkbara dynamiska effekter. Förutom vibrationer så kan flöden, temperaturer, matningshastigheter, tryck mm påverka varandra. Det är visserligen inte ekonomiskt eller taktiskt att övervaka alla parametrar till en början. Men det är ändå viktigt att se sambanden mellan de olika delarna för att undvika att bara få mätdata från en parameter när det ändå är tre andra parametrar som bidrar till samma fel.
- Ta fram en prioritering på vad som är viktigast att övervaka och utveckla en strategi för övervakning både tekniskt och hur ofta mätningar skall utföras.
- Ta fram en riktlinje för vad man vill uppnå, vilka förväntningar man har och vilka mål man vill uppnå. Ta sedan fram en plan för hur man skall nå dessa mål och förväntningar. Denna plan skall vara ett levande dokument som hela tiden kan uppdateras efterhand som nya möjligheter och förbättringar dyker upp.
- Ta fram en databas för värden som visar maskinens karakteristik. Detta görs för att få en riktlinje för vilka värden som maskinen sänder ut då den är ”frisk”. Avvikelse från dessa värden tyder på att ett fel är på väg att inträffa. Larmnivåer kan till en början användas från tillgängliga riktlinjer och efterhand så kan nya riktlinjer för larmnivåer skapas genom erfarenhet.
- Data skall samlas in tillräckligt ofta så att trendanalyser skall vara genomförbara. Istället för att utvärdera en maskin från enstaka data så ger trendanalyser ett säkrare underlag för analys.
- Utvärdera data med avseende på driftstopp och möjligheten att förlänga maskinens livslängd. Något som kan vara väldigt frustrerande vid införandet av tillståndsovervakning är att ofta identifierar systemet ett flertal larm i början och det kommer en lång lista på förslag till åtgärder. Detta kan bero på att larmgränserna är för snävt satta. Men larmgränserna skall inte ändras från man har tillräckligt med kunskap för detta. Det man skall göra är att börja med att se över de fem mest kritiska larmen och därefter ser man över nästa fem så man inte börjar med alla på en gång. På detta sätt uppnås två mål:
 1. De mest kritiska larmen är de som kommer att förstöra maskinen först om det nu är riktiga larm.
 2. På detta sätt utvecklas en metod för att se var begynnelse felet uppstår och följdfel kan undanröjas genom att fixa till dessa.

Efter det att man sett över felet så kan man ta ställning till om larmgränserna är för snävt satta.

- Dokumentera processen kontinuerligt med hjälp av diagnostiska verktyg. Vilka resultat har uppnåtts, vilka ekonomiska konsekvenser har systemet medfört mm. Utan ordentlig dokumentation så är det svårt att se vilka fördelar som uppnåtts och vad som går att göra ännu bättre.
- Utvärdera processen och den taktiska implementeringen.

5.4 Framtagning av mätpunkter med hjälp av feleffektanalys

För att ta reda på vilka delar i en utrustning som bör övervakas så kan en feleffektanalys genomföras.

I mitten av 50-talet utvecklades en analysmetod som heter FMEA, Failure Mode and Effect Analysis, på svenska kallad ”feleffektanalys”.⁴⁸ Metoden kom till som en del av åtgärderna för högre tillförlitlighet inom amerikansk flygindustri. Det var en rent kvalitativ bedömning av vilka potentiella felrisker som var förknippade med en konstruktionslösning.⁴⁹

Analysmetoden har under åren utvecklats till att innefatta även en riskvärdering, som oftast innebär att man värderar risken för att en felhändelse skall inträffa samt en värdering av konsekvenserna, då under antagandet att felet har inträffat.⁵⁰

Feleffektanalysen skall genomföras på ett systematiskt sätt. Blanketten som används vid analysarbetet är utformad på ett sådant sätt att den bidrar och underlättar systematiken. Själva analysarbetet skall genomföras av en analysgrupp som är sammansatt på ett sätt som gör att tillgänglig kompetens utnyttjas effektivt.⁵¹

Arbetsgången av analysarbetet går att dela in i tre delar:

- Förberedelser inför analysen
- Genomförande av själva analysen
- Bearbetning av analysresultatet

5.4.1 Förberedelser

Eftersom FMEA metoden bygger på att tillgänglig kompetens utnyttjas i ett grupparbete är därför valet av analysdeltagare en viktig del av förberedelserna. Personer som kan vara bra att ha med i analysarbetet är tillförlitlighets-/kvalitetstekniker, konstruktörer, underhållspersonal, produktutvecklare och

⁴⁸ Britsman C, Lönnqvist Å, Ottosson S-O, *Handbok i FMEA* (1997)

⁴⁹ Holmberg G, Lönnqvist Å, *Säkra produkter* (1997)

⁵⁰ Ibid.

⁵¹ Ibid.

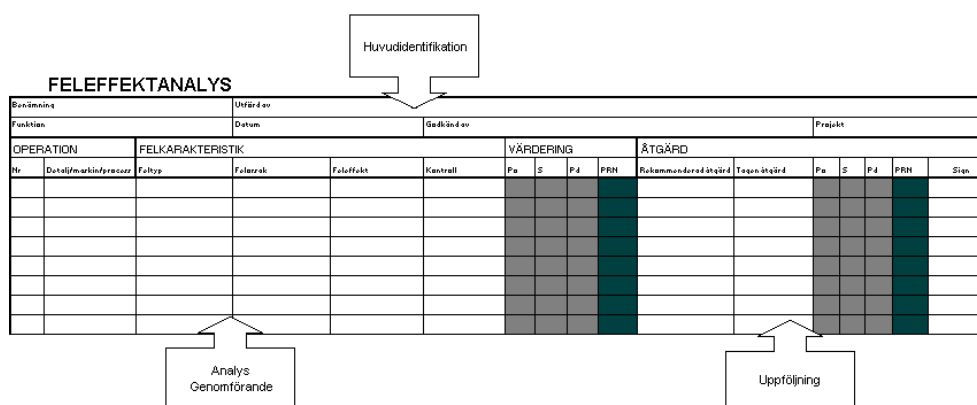
servicetekniker. För att beskriva omfattningen av analysen samt även vilken detaljnivå av komponenter som skall analyseras, kan man i förväg upprätta en komponentlista.⁵²

5.4.2 Genomförande

Analysen inleds med att gruppen går igenom funktionerna som skall analyseras så att alla i gruppen är väl insatta i analysobjektet. Blanketten som används fungerar både som ett stöd för arbetsgången och en dokumentation av analysen. Mindre variationer i utformningen av blanketten finns mellan olika användare/företag. Men i stort så är blanketterna lika till sin uppbyggnad.⁵³

Blanketten består av tre huvuddelar:

- Blankethuvud med uppgifter om analysobjektets status, deltagare vid analysen mm.
- Ett antal kolumner som används vid själva analysen som beskrivs längre fram.
- oftast några fält för uppföljning. Dessa fält är beroende på hur man inom företaget följer upp och utvärderar genomförda analyser.



Figur 5.1 Blankettuppbyggnad för feleffektanalys

I de vänstra kolumnerna fyller man i nummer och komponentens/processtegets benämning eller funktion. Sedan identifieras feltyp, felorsak och feleffekt. Feltyp är på det sätt vilket funktionen kan störas eller utebli. Varje feltyp har i sin tur en eller flera felorsaker och under feleffekt anges vilken konsekvens felet skulle kunna ha. I kontrollkolumnen så skall det stå vad som genomförs för att upptäcka dessa fel.⁵⁴

⁵² Holmberg G, Lönnqvist Å, *Säkra produkter* (1997)

⁵³ Britsman C, Lönnqvist Å, Ottosson S-O, *Handbok i FMEA* (1997)

⁵⁴ Ibid.

5.4.3 Värdering

För varje feltyp/felorsak görs tre värderingar, en för felintensitet (Po), en för allvarlighetsgrad (S) och en för upptäcktsannolikhet (Pd). Dessa tre multipliceras med varandra och ett risktal (RPN, Risk Priority Number) erhålles. I Tabell 5.1 presenteras skalorna till de tre olika värderingarna.⁵⁵

Tabell 5.1 Skalor till värdering av feltyper i en feleffektanalys

Kriterier för bedömning av felintensitet (Po)	Värdering
Osannolikt att fel kan uppträda	1
Mycket liten sannolikhet för fel	2-3
Låg sannolikhet för fel	4-5
Viss Sannolikhet för fel	6-7
Hög sannolikhet för fel	8-9
Mycket hög sannolikhet för fel	10

Kriterier för bedömning av allvarlighetsgrad (S)	Värdering
Ingen inverkan på produkten	1
Ringa inverkan på produkten	2-3
Risk för störd funktion	4-6
Risk för utebliven funktion	7-9
Stor risk för utebliven funktion	10

Kriterier för att upptäcka indikationer som kan leda till personskada eller haveri/stillestånd (Pd)	Värdering
Indikationer till fel upptäcks alltid	1
Ganska stor sannolikhet för upptäckt	2-4
Viss sannolikhet för upptäckt	5-7
Liten sannolikhet för upptäckt	8-9
Osannolikt att indikation till felet upptäcks	10

5.4.4 Bearbetning

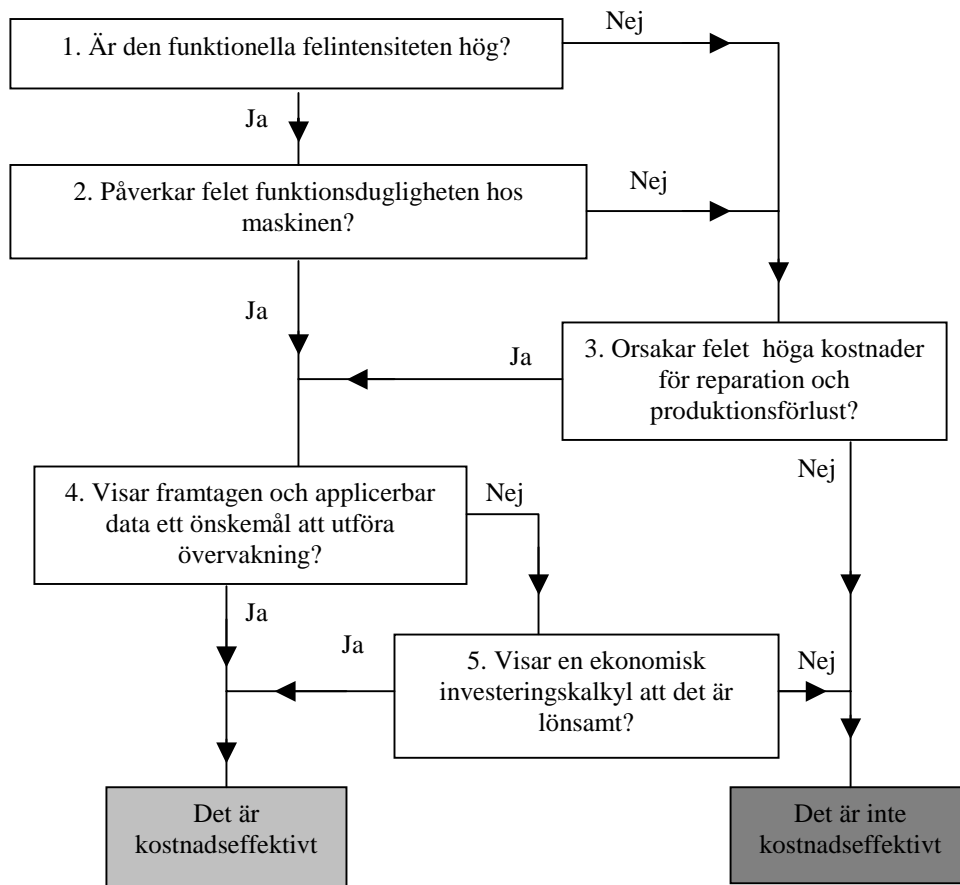
För att dra nytta av en genomförd analys bör analysen sammanfattas och dokumenteras på lämpligt sätt. Eftersom rutiner för dokumentation ofta är företagsspecifika kan detta ske på olika sätt. Det som är viktigt här är att analysen sammanfattas på ett sätt så att det som är viktigt framgår. Det behöver inte vara de delar som har högst RPN-tal som är det viktigaste utan det kan även vara de delar som t ex har en allvarlig konsekvens, dvs höga tal på allvarlighetsgrad (S).⁵⁶

⁵⁵ Holmberg G, Lönnqvist Å, *Säkra produkter* (1997)

⁵⁶ Ibid.

5.5 Ekonomisk analys

För att se om det skulle vara ekonomiskt lönsamt att övervaka utvalda delar framtagna ur feleffektanalysen så kan dessa utvärderas i diagrammet som visas i Figur 5.2. Detta är ett beslutsdiagram för att ta reda på om en uppgift är kostnadseffektiv eller inte tagen från www.reliabilityweb.com, vilket är en Internetsida som är sponsrad av ett flertal företag i USA som säljer tillståndövervakningsutrustning och tillståndövervakningstjänster. Artiklar publicerade på denna sida är noga granskade av branschfolk och på sidan garanteras även att innehållet av artiklarna inte kan påverkas av deras sponsorer eller något annat företag. Företaget bakom www.reliabilityweb.com publicerar även tidskrifter såsom RELIABILITY® Magazine.



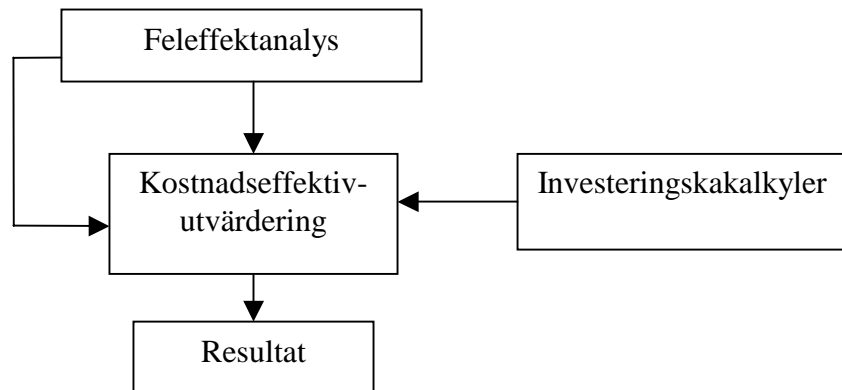
Figur 5.2 Utvärdering: om övervakning är kostnadseffektiv eller inte kostnadseffektiv

Den här modellen har jag vidareutvecklat genom att koppla ihop den med en feleffektanalys och en del ekonomiska beräkningar. På så sätt går det att ta reda på om tillståndövervakning är kostnadseffektivt eller inte. Ihop kopplingen presenteras nedan:

1. För utvärderingsruta ett skall feleffektanalysen användas genom att titta på Po-värdet (felintensiteten).
2. I ruta två skall feleffektanalysen användas genom att titta på S-värdet (allvarlighetsgraden av ett fel eller produktpåverkan som det står i feleffektanalysen)
3. I ruta tre måste man ta reda på om felet leder till ovanligt höga reparationskostnader och även kostnader som uppstår i samband med förlorad produktionstid. Detta kan man göra genom att räkna på reservdelar och reparationskostnader.

4. I ruta fyra får man ta hänsyn till både tekniska och ekonomiska undersökningar. Framgår det av dessa undersökningar att det både är ekonomiskt och rent funktionsmässigt genomförbart så bör övervakning genomföras.
5. I ruta fem i undersökningsdiagrammet skall en payback analys (Pb-tid = Investeringskostnad/besparing per år) genomföras för att ta reda på om uppgiften är ekonomisk lönsam.

Min framtagna modell för att ta reda på om tillståndsövervakning skall genomföras blir att först genomföra en feleffektanalys och utvärdera om övervakning är motiverat. Sedan gå vidare med de delar som visar sig intressanta att övervaka och med hjälp av ekonomiska beräkningar och feleffektanalysen ta reda på om det är kostnadseffektivt eller inte enligt tillvägagångssättet som presenteras på föregående sida, för att slutligen få ut ett resultat på vad som bör övervakas.



Figur 5.3 Framtagen utvärderingsmodell

6 Vad gör övriga industrin?

I detta kapitel presenteras resultaten från två tidigare genomföra undersökningar kring tillståndsbaserat underhåll för att få en inblick i hur andra företag ser på det här med tillståndsovervakning. Detta har även gjorts för att försöka förstå hur marknaden förändras och vad kunderna i framtiden kommer att kräva av industriella produkter. Här presenteras även några konkreta exempel på vad andra har gjort inom tillståndsovervakning.

6.1 Information från tidigare undersökningar

Om det visar sig att allt fler företag kommer att använda tillståndsovervakning så är det kanske även viktigt att Tetra Pak kan erbjuda sina kunder denna utrustning. Men av vikt är också att ta reda på om företag som redan använder sig av tillståndsovervakning har lyckats uppnå de mål de haft med införandet av ett sådant system.

Den ena undersökningen är en enkätundersökning som genomförts på Underhållsmässan 2004 i Sverige.⁵⁷ Denna undersökning hade som syfte att ta reda på hur svensk industri utför sitt underhållsarbete och hur de ser på tillståndsbaserat underhåll. Den andra undersökningen är utförd av CreateSurvey på beställning av Mechatronics department, Loughborough University i England år 2002.⁵⁸ I denna undersökning har det ställts en del frågor rörande tillståndsbaserat underhåll till företag som redan använder sig av tekniken. Resultatet av dessa undersökningar behöver naturligtvis inte vara representativt för hela industrin men det går ändå att dra vissa slutsatser.

6.1.1 Användandet av tillståndsbaserat underhåll i svensk industri

Detta är en enkätundersökning som representanter från 28 av Sveriges industriföretag har svarat på. Undersökningen är utförd av Marcus Bengtsson, doktorand på Institutionen för Innovation, Design och Produktutveckling, Mälardalens Högskola. Här är några av undersökningens resultat och kommentarer till dessa:⁵⁹

- 60 % av företagen svarade att deras underhållsarbete består till 70 % eller mer av avhjälpande åtgärder. Detta kan bero på att vissa delsystem och komponenter är vare sig kritiska eller dyra att byta. Med sådana förutsättningar är avhjälpande underhåll ofta att föredra. Enligt Marcus

⁵⁷ www.idp.mdh.se/forskning/amnen/produktprocess/projekt/cbm/publikationer/anvandandet%20av%20tbu.pdf, 041205

⁵⁸ www.plant-maintenance.com/articles/CBM-Survey-results.pdf, 041206

⁵⁹ www.idp.mdh.se/forskning/amnen/produktprocess/projekt/cbm/publikationer/anvandandet%20av%20tbu.pdf, 041205

Bengtsson är det dock inte rimligt att detta skulle förklara eller vara hela orsaken till detta utfall.

- Företagen ser ljus på framtiden och 75 % av företagen uppskattar att de avhjälpande underhållet om 2 år kommer att ligga på 50 % eller mindre. Alltså är avhjälpande underhåll något företagen försöker minska.
- Undersökningen visar också att det är endast 20 % av företagen som använder sig av tillståndsbaserade underhåll som förebyggande underhåll. I dessa företag så utgör det endast upp till 30 % av underhållsaktiviteterna.
- 54 % av företagen uppger att av deras förebyggande underhåll så kommer ungefär upp till 30 % av underhållsaktiviteterna att bestå av tillståndsbaserat underhåll om 2 år. Process- och verkstadsindustrin är de mest positiva och uppskattar att de kommer att fördubbla sitt tillståndsbaserade underhåll på en 2-årsperiod.
- Undersökningen visar att nästan hälften av företagen använder sig av någon form av utrustning för tillståndskontroller/tillståndsovervakning.
- På frågan hur mycket som investeras i forskning inom underhåll på företagens underhållsavdelningar (examensarbete och skolprojekt inräknat) så svara 43 % att de inte i någon utsträckning alls bedriver någon forskning inom detta område. Vanligast var det inom verkstads-, läkemedel- och energiindustrierna medan processindustrin sacker efter.

Detta är en väldigt liten undersökning, endast 28 företag, men det går ändå att dra några slutsatser. Det går att konstatera att användningen av tillståndsbaserat underhåll i svensk industri är ganska litet vilket även andra undersökningar har pekat på. Undersökningen visar dock att det i finns en positiv inställning till tillståndsbaserat underhåll då de flesta säger att de tänker öka detta. Det är bara en uppskattning och det är svårt att säga med någon säkerhet hur utfallet blir i verkligheten. Enligt undersökningen använder nästan hälften av de tillfrågade företagen någon form av utrustning för tillståndskontroller/tillståndsovervakning utan att tillståndsbaserat underhåll utförs, vilket leder till frågan: används tillståndsovervakning verkligen som ett verktyg i underhållsarbetet eller är det något man företar sig för att "man måste"? Detta kan också vara ett tecken på att de som inför systemen har bristande kunskap om metoder och arbetssätt för att bedriva tillståndsbaserat underhåll.

6.1.2 Uppfattningen hos dem som redan använder tillståndsovervakning

Denna undersökning vid Loughborough University har besvarats av 214 företag från i stort sätt hela världen som använder sig av tillståndsovervakning. Undersökningen har gått ut på att ta reda på om företagen har uppnått den ekonomiska avkastning som de önskat och även lite om hur de valt att gå tillväga vid införande av systemet mm.⁶⁰

- Ungefär 90 % av företagen säger att införandet av tillståndsovervakning beror på att de vill kunna förbättra sitt förebyggande underhåll.

⁶⁰ www.plant-maintenance.com/articles/CBM-Survey-results.pdf, 041206

- Så gott som alla företag i studien säger att de införde systemet för att kunna undvika oförutsägbara driftstopp.
- 85 % säger att de införde systemet även för att kunna spara pengar, vilket är en följd av ovanstående.
- 80 % påstår även att de införde systemet för att bli mer konkurrenskraftiga, vilket är en följd av att de minskar sina kostnader.
- Presentationen av avläst data varierade från grafer, alarm, numeriska värden och tabeller.
- 40 % hade kopplat upp systemet så det gick att läsa av på distans. Uppkopplingen för avlägsen avläsning sker antingen via intranät eller Internet eller på båda sätten.
- Endast 30 % hade integrerat tillståndsovervakningssystemet med maskinens styrsystem.
- Hälften av dem som infört systemet använde sig av intern personal. En liten del lät externa konsulter införa systemet eller företaget som sålde utrustningen. Resten använde sig av en kombination extern hjälp och egen personal.
- 75 % tyckte att systemet har uppnått deras förväntningar resten är neutrala och ett fåtal tycker inte att de uppnått förväntningarna.
- På frågan: ”tycker ni att initialkostnaden för införandet av systemet har betalt av sig”? är det ungefär lika många som tycker att det betalt av sig som anser att det inte har gjort det.
- De flesta av de tillfrågade företagen tycker att införandet av systemet har förbättrat deras underhållsplanering.

Det man kan se av denna undersökning är att nästan alla som inför systemet har som mål att minska sina kostnader och säkra sin produktion mot oförutsägbara stopp. Denna undersökning pekar också på att systemet bidrar till säkrare drift men det är inte i alla fall som kostnaden för införandet av systemet har kunnat betala sig. Det kostar många gånger väldigt mycket att utföra tillståndsovervakning speciellt på de delar som ger svår tolkad mätdata, som t ex kullager. Därför är det viktigt att väga de kostnadsbesparingarna som går att göra mot alla de nya kostnader som uppkommer vid införandet av systemet.

6.2 Exempel på vad andra har gjort

Scania investerade i en bearbetningsmaskin och genom att mäta vibrationer i maskinen så visade det sig att vibrationer var så stora att de var kritiska för många av maskinens komponenter, enligt Shivastav och Al-Najjar (2003). Detta lede till att försäljarna av maskinen fick förlänga sin garanti från 1 till 3 år och att de förbättrade maskinen och stod för all service under de 3 åren. Scania uppskattar att de sparade ca 500 000 SEK på detta. Med hjälp av övervakning av 8 andra maskiner så kunde Scania upptäcka fel på 6 stycken av dessa och leverantören av maskinerna fixade till felen själva och Scania sparade ca 1 000 000 SEK.

På Scantias fabrik i Falun startades ett projekt 2001 där målet var att öka tillgängligheten hos 10 maskiner. Detta gjordes genom att mäta vibrationer i maskinerna och förändringar av geometrin. För vibrationsmätningen användes handburen utrustning som kan läsa av frekvenser från 0 till 20 000 Hz. För geometriförändringar så användes laser sensorer, vilka är väldigt användbara för att se om axlar längre än 500 mm börjar gå ojämnt. Resultatet av det hela blev att de kunde öka maskinernas tillgängliga tid med 15 %.⁶¹

6.3 Några slutsatser om användandet av tillståndsövervakning

Efter att ha studerat rapporter, böcker och andra företag som använder tillståndsövervakning har jag kommit fram till att det oftast används på maskiner som utsätts för stora mekaniska påfrestningar och ofta ingår i en produktionslinje. Några av de vanligaste tillämpningarna är stora produktionsindustrier såsom pappersmaskiner, stål tillverkning, kraftverk mm. Detta är branscher där ett stillestånd i produktionen kostar miljoner och produktionen är beroende av att alla delar fungerar.

Användandet av tillståndövervakning växer långsamt men är än så länge för dyrt för att kunna tillämpa i bred utsträckning. Framtiden talar dock för tekniken, om priset på utrustning blir lägre och mer lättanvänd.

⁶¹ Shrivastav O, Al-Najjar B, *Condition monitoring and diagnostic engineering management* (2003)

7 Företags- och produktbeskrivning

Detta kapitel beskriver företaget Tetra Pak. Inledningsvis presenteras företagets historik, dess verksamhet idag och hur organisationen ser ut. Det talas även om på vilken av Tetra Paks avdelningar denna studie är utförd. Sedan presenteras homogenisatorn som är objektet för denna studie, hur den fungerar och hur den är uppbyggd. Sist beskrivs vad som görs inom tillståndsovervakning på Tetra Pak idag.

7.1 Tetra Pak

1951 bildades Tetra Pak i Lund som en av världens första tillverkare av förpackningsmaskiner för flytande livsmedel. Företaget grundades av Ruben Rausing och Erik Wallenberg som ett dotterbolag till Åkerlund & Rausing och företaget har vuxit till att idag vara en av världens största leverantörer av förpackningssystem för mjölk, juice och många andra produkter.⁶²

Tetra Pak utökade sin verksamhet 1991 med Processing Systems som tillverkar processutrustning för flytande livsmedel. Idag är Tetra Pak det enda företaget som kan erbjuda helhetslösningar med livsmedelstillverkning och förpackningsmaskiner i en sammanfogad distributionslinje. Tetra Pak har över 20 000 anställda och är verksamma på 165 marknader i världen.⁶³

Tillverkning och produktutveckling är uppdelat i tre organisationer:

- **Carton Ambient** tillverkar förpackningsmaskiner för icke kylda produkter.
- **Carton Chilled** tillverkar förpackningsmaskiner för kylda produkter.
- **Processing Systems** tillverkar hela processsystem för flytande livsmedel och ost.

Tetra Paks marknadsbolag är organiserade i elva kluster under Market Operations. Marknadsbolagen skall fungera som en slags leverantörskompetens på varje individuell marknad. Deras huvudsakliga ansvar är försäljning och marknadsföring men även genomföra marknadssegmentering och positionering på respektive marknad. Andra ansvarsområden är prissättning, tekniskservice, återförsäljarkontrakt samt relationsuppbyggnad med kunder.⁶⁴

⁶² www.tetrapak.com, 050215

⁶³ Ibid

⁶⁴ Ibid.

7.2 Tetra Pak Processing Systems

Tetra Pak Processing Systems är ansvariga för utveckling och tillverkning av processutrustning för mat. Huvudkontoret ligger i Lund och företaget har ca 3 100 anställda där hälften är verksamma på marknadsbolag runt om i världen.⁶⁵

7.2.1 Tetra Pak Processing Components

Inom Processing Systems finns Processing Components som är ansvariga för utveckling, tillverkning och tillhandahållande av vissa delar av processutrustningen.⁶⁶

Företaget är uppdelat i sex avdelningar där varje avdelning själva ansvar för sin produktgrupp:

- Homogenizers & High-Pressure Pumps
- Centrifugal Separators
- Heat Exchangers: PHE, THE and SSHE
- System Components
- Plant Components
- Control Panels

Det är på den första av dessa avdelningar, Homogenizers & High-Pressure Pumps, där detta arbete är utfört. Här tillverkas homogenisatorer vilket är objektet för min studie.

7.3 Homogenisatorn

Homogenisering är en mekanisk behandling av fettpartiklarna i mjölk. Homogenisatorn tvingar mjölk att passera genom en liten spalt under högt tryck, vilket resulterar i att fettpartiklarna slås sönder och deras diameter minskar. Före homogenisation så har fettpartiklarna en diameter på ca 3.5 mikrometer. Efter behandling så har fettpartiklarnas diameter minskat till ca 1 mikrometer. Skillnaden mellan homogeniserad och ickehomogeniserad mjölk är att i den ickehomogeniserade mjölken så kommer fettpartiklarna att flyta upp till ytan och bilda ett fettlager, detta fenomen beskrivs av Stokes lag.⁶⁷

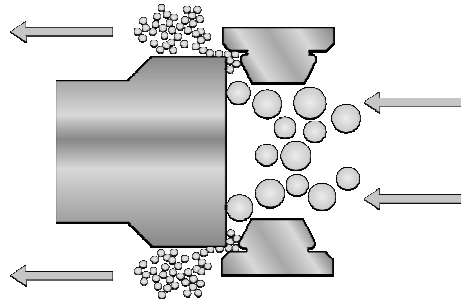
Den första homogenisatorn patenterades 1899 av Auguste Gaulin. Med åren har över 100 nya patent tagits fram, alla med målet att producera mindre fettpartiklar med så liten energiförbrukning som möjligt. Den senaste upptäckten inom området har gjorts

⁶⁵ www.tetrapak.com, 050216

⁶⁶ Ibid.

⁶⁷ *Dairy processing handbook* (2003)

av Fredrik Innings som har lyckats visa att fettpartiklarna inte bryts ner när de kommer in i gapet av spalten eller i själva spalten, utan att partiklarna blir deformerade av accelerationen in i spalten och passerar i ett deformerat, utsträckt, tillstånd. När fettpartiklarna lämnar gapet så bildas väldigt turbulent strömning och den utsträckta partiklen får då olika hastighetsgradienter och slits isär.⁶⁸



Figur 7.3 Hur fettpartiklarna minskar i storlek i homogeniseringsspalten

Fördelar med homogenisering:

- Mindre fettkulor leder till mindre grädd-formationer
- Vitare och aptitligare färg
- Minskad känslighet för fettoxidation
- Fylligare smak och bättre känsla i munnen
- Bättre stabilitet i mjölken

Nackdelar med homogenisering:

- Ökad känslighet mot ljus vilket kan påverka smaken
- Mjölken kan vara mindre lämplig för produktion av medelhårda och hård ostar.

⁶⁸ <http://neworbis.tetrapak.com/>, 041203

7.3.1 Teknisk beskrivning av Tetra Paks homogenisator

Tetra Paks homogenisatorer finns i olika utförande beroende på kapacitet och produkt. De olika modellerna går under det gemensamma namnet Tetra Alex. Serien består av TA 2, TA 5, TA 15, TA 20, TA 25, TA 30, TA 350 och TA 400.



Bild 7.1 En TA 2 till vänster och en TA 400 till höger

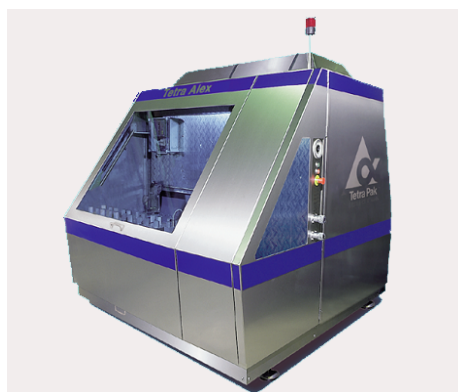
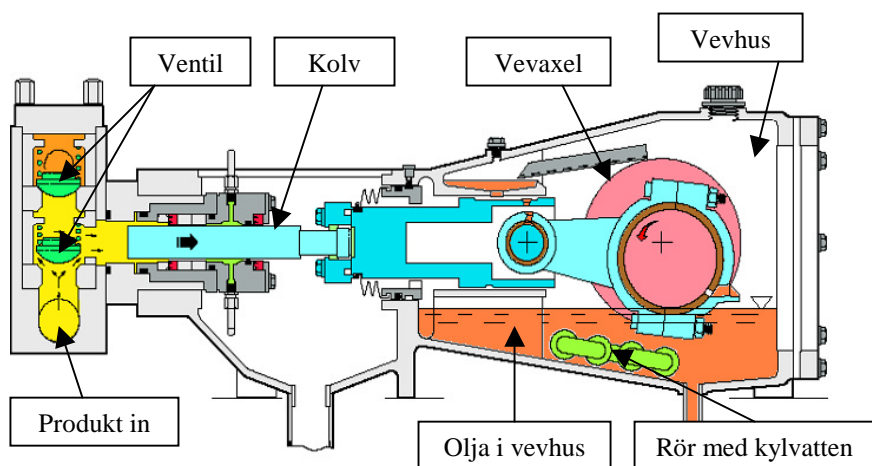


Bild 7.2 TA 350

Principen för alla Tetra Paks homogenisatorer är i stort sätt samma. De drivs av en elmotor som antingen direkt eller via en växellåda driver en vevaxel (se Bild 7.4) Rotationen i vevaxel överförs till kolvarna som utför en horisontell rörelse (se Figur 7.3). När kolven går tillbaka så fylls utrymme som den skapar genom att ventiler öppnar sig och fyller på produkt. När kolven vänder så stänger ventilerna och produkten pressas genom homogeniseringspalten (se Figur 7.5).



Figur 7.3 Principskiss för hur homogeniseringsmaskinen fungerar

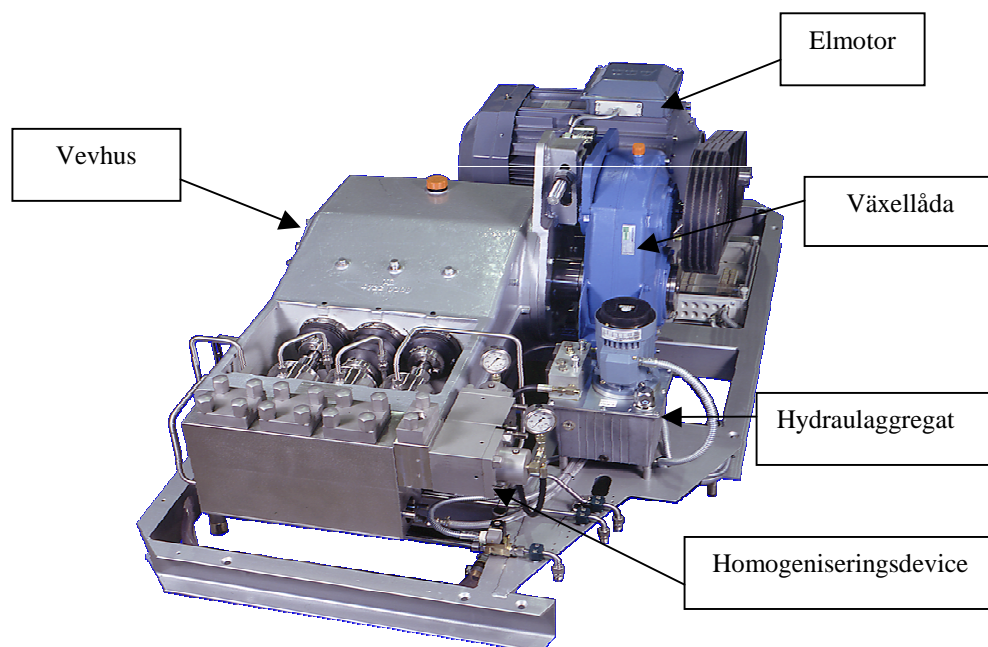
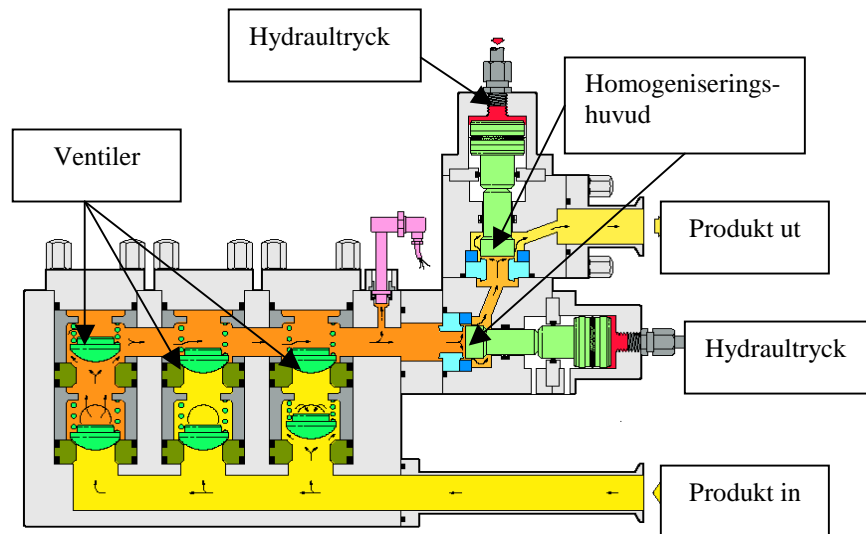


Bild 7.4 Homogenisator utan plåtskal



Figur 7.5 Två stegs homogenisering

7.3.2 Reparation och service av homogenisatorn idag

När ett fel uppstår så upptäcks det för det mesta av en maskinoperatör som dagligen ser över maskinen.⁶⁹ Vid uppkomst av fel lagar maskinoperatören felet om det inte är för allvarligt. Kan inte han laga felet så hör han av sig till Tetra Paks marknadsbolag som samarbetar med homogenisatorgruppen och försöker lösa problemet. Homogenisatorgruppen försöker ge råd och om detta inte fungerar får de åka ut till kunden och titta på problemet själva. När det gäller det vanliga servicearbetet så utför kunden det mesta själva även byte av olika delar.⁷⁰ Tetra Pak kan utföra arbetet mot en kostnad, Tetra Pak Plant Care. Intervallerna för service utförs efter en förutbestämd serviceplan som tagits fram genom flera års erfarenhet, s.k. planerat underhåll.

⁶⁹ Thomas Carlsson, 050114

⁷⁰ Christer Andersson, 050114

7.4 Tillståndövervakning som erbjuds på Tetra Paks övriga maskiner

Som jag nämnt tidigare så finns det flertalet sätt att utföra mätningar som t ex mätningar med handburen utrustning, system på anläggningarna mm. Om en eventuell övervakning skulle införas på homogenisatorn så måste signalen från mätningen ”fångas upp” och bearbetas för åtgärd hos någon. Eftersom det idag inte finns någon monitor på homogenisatorn för presentation av mätdata men det finns monitorer på många av Tetra Paks övriga utrustning bör möjligheten att utnyttja denna utrustning för signalhantering undersökas. Det är även intressant att undersöka vad övriga Tetra Pak gör inom just tillståndövervakning för att se om det redan finns system som går att dra nytta av eller om det finns någon utrustning som används som skulle vara användbar på homogenisatorn. Framförallt så kan det vara intressant att höra vad det finns för framtidsplaner inom området och kanske även kunna dra nytta av andras kunskap.

7.4.1 Vad gör övriga Tetra Pak inom tillståndövervakning?

Det säljs idag ingen tillståndövervakningsutrustning på några av Tetra Pak maskiner förutom på separatorn. Det finns några ”eldsjälar” som har tittat på möjligheterna att utföra tillståndövervakning på Tetra Paks förpackningsmaskiner. Genom att mäta vibrationer och störningar i maskinernas servomotorer så skulle man kunna se när ett fel håller på att utvecklas. Mikael Nilenfelt som är en av dem som undersökt möjligheterna att använda sig av tillståndövervakning på Tetra Paks maskiner säger att det inte skulle vara några direkta problem att genomföra. Han tror också att det skulle löna sig i längden att införa tillståndövervakning på Tetra Paks förpackningsmaskiner. Men än så länge har det inte fattats något beslut om detta skall genomföras och det hela verkar vara lagt på is.

Rikard Carlsson som arbetar med verktygsstöd för serviceprodukter inom teknisk service på Tetra Pak bekräftar att det inte finns någon tillståndövervakning på de förpacknings maskiner som Tetra Pak säljer. Det som finns är ett loggsystem utvecklat i Italien på TPCA som heter PLMS (Packaging Line Monitoring System) som är ett system som registrerar maskinens effektivitet, stilleståndstider, detaljerad driftdata och tillgänglig kapacitet. Insamlad data kan användas till att jämföra olika maskiner i en produktionslinje och även till att maximera tillgänglig produktionstid. Systemet generera grafer eller rapporter vilka även går att använda till problemlösning när ett eventuellt fel uppstår. Detta system skiljer sig från det som skulle vara lämpligt för homogenisatorn och en uppkoppling här är inte intressant. Istället säger Rikard Carlsson att man skulle kunna skicka signalen från givare på homogenisatorn till anläggningens styrsystem (PLC), sedan måste signalen analyseras och skicka en ”trigger” till underhållspersonalen genom t ex styrsystemets monitorer.

På Tetra Paks processutrustning används idag ingen tillståndövervakning med undantag för separatorn, vilket jag kommer att ta upp i avsnitt 7.4.2. Det som händer

på processidan är att man håller på och utvecklar ett system som skall mäta antalet drifttimmar av motorer och antalet kolvslag så de kan se hur länge maskinerna varit i bruk och utifrån detta planera service och byte av olika komponenter.⁷¹ Detta är inte tillståndsbaserat underhåll utan snarare det som kallas planerat underhåll.

Jag har pratat med Lennart Karlsson som är serviceexpert på Plant Automation om möjligheterna att fånga upp signaler från givare i processens styrsystem för att sedan presentera larm eller mätdata i deras kontrollpanel. Han säger att detta är fullt möjligt. Det går att lägga in egna menyer för homogenisatorn i deras kontrollpaneler där larm och serviceåtgärder kan presenteras. Det skulle även vara möjligt med återkoppling vid larm som kan styra processen och slå av vid alvarliga larm.

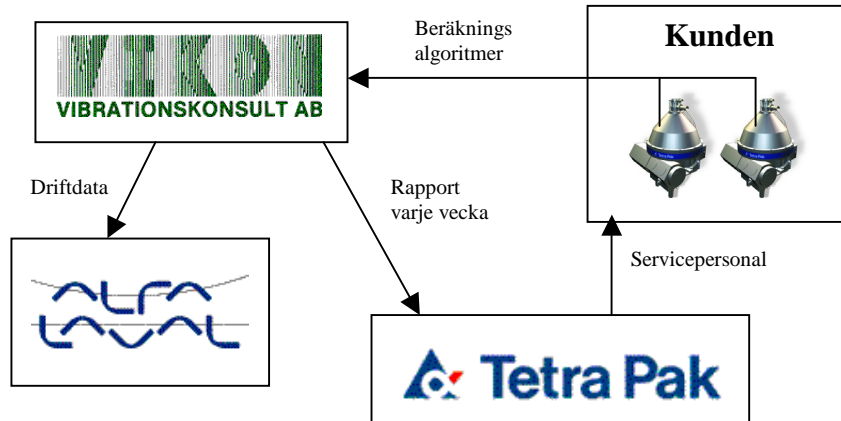
7.4.2 Tillståndsövervakning på separatorn

Tetra Pak köper in sina separatorer från Alfa Laval och säljer dem sedan vidare. Alfa Laval har tagit fram ett system för tillståndsövervakning tillsammans med Vikon.⁷² Tetra Pak säljer övervakningssystemet som ett tillval tillsammans med ett servicepaket. För servicepaketet betalar kunden ett fast pris. Kunden får på detta sätt inga oväntade kostnader och Tetra Pak har kunnat förlänga serviceintervallerna till nästan det dubbla med hjälp av tillståndsövervakning. Några av Tetra Paks danska kunder har investerat i övervakningssystemet för att deras försäkringsbolag har krävt det för att kunna teckna försäkringar mot oväntade driftstopp. Systemet används även för att förbättra personalsäkerheten ute på fabrikena.

Systemet som används på separatorn är ett on-line tillståndsövervakningssystem vilket utför mätningar dygnet runt. Signalen från mätningarna skickas via Internet till Vikon för analys (se Figur 7.6). Signalen skyddas av brandväggar för att undvika yttre åtkomst av data. Vikon rapporterar varje vecka till Tetra Paks serviceenhet och skulle ett larm uppstå så åker Tetra Paks servicepersonal ut till kunden för kontroll. Vikon skickar även driftdata till Alfa Laval så de kan se hur deras separatorer fungerar och öka kännedomen om sina produkter för vidare produktutveckling. Systemet kan informera om allt från tillståndet på enskilda lager till kvalitén på olja.

⁷¹ Rickard Svensson, 041215

⁷² Åke Ölund, 041204



Figur 7.6 Från signal till serviceåtgärd på separatorn

8 Övervakningssystem på Homogenisatorn

För att ta reda på vad som skulle kunna övervakas på homogenisatorn så har en feleffektanalys genomförts. En sammanfattning av denna finns i detta kapitel där det även framgår vad som rent tekniskt bör övervakas. Här finns även en ekonomisk utvärdering som talar om ifall det är kostnadseffektivt att övervaka framtagna mätområden från feleffektanalysen. Sedan presenteras det övervakningssystem som enligt undersökningarna visat sig vara både tekniskt och kostnadseffektivt att genomföra. Kapitlet avslutas med en beskrivning på hur övervakningssystemet kan bidra till ökat kundvärde.

8.1 Framtagning av ett övervakningssystem på homogenisatorn

- För att få reda på vad som eventuellt skulle kunna övervakas på homogenisatorn har en feleffektanalys genomförts. I feleffektanalysen har tidigare uppkomna fel på homogenisatorn utvärderats för att se hur kritiska, vanligt förekommande och allvarliga de är. Dessa fel har undersökts noggrannare för att se om det är fel som är intressanta att övervaka eller om det finns andra bättre lösningar som t ex omkonstruktion. Skulle övervakning av felen bidra till större tillförlitlighet hos maskinen och därmed öka kundnyttan så har jag valt att gå vidare med dessa fel och ge förslag på övervakningsmetoder.
- För varje övervakningsmetod behövs specifik utrustning. För information om vilken utrustning som skulle kunna användas har olika leverantörer av mätutrustning och experter inom området rådfrågats. Dessa har gett en hyfsad bild av vad det är för utrustning som behövs och på ett ungefär hur mycket den kostar.
- För att ta reda på om införandet av ett övervakningssystem skulle vara ekonomiskt lönsamt har en del uppskattningar gjorts. Uppskattade kostnader för införandet av systemet, utvecklingskostnader, har min handledare på Tetra Pak, Nils Wendestam hjälpt mig med. Med denna information och hur mycket Tetra Pak skulle kunna få för varje sålt system, har en payback analys genomförts för att se hur lång återbetalningstid införandet av systemet har för Tetra Pak.
- Sedan har även uppskattningar gjorts på vilka kostnader systemet medför för kunden. Detta har vägts mot de uppskattade besparingar som kunden skulle kunna göra med ett övervakningssystem, i form av mindre stillestånd, förlängning av serviceintervaller, ingen onödig service som riskerar att introducera nya fel i maskinen mm.

- De resultat jag fått fram från ovanstående undersökningar har använts för att vidare undersöka om övervakning av homogenisatorn är kostnadseffektivt eller inte enligt Figur 5.2. Utifrån detta har ett förslag på ett tänkbart övervakningssystem framkommit. Tillsist diskuteras vilket kundvärde det framtagna systemet kan skapa.

Upplägg av utvärdering

- Sammanfattning av feleffektanalysen och förslag på åtgärder
- Förslag på mätmetoder
- Förslag på leverantörer och ca pris på mätutrustning.
- Payback analys för Tetra Pak och kostnader för kunden
- Kostnadseffektivt eller inte kostnadseffektivt
- Kundvärde

8.2 Övervakningsförslag på homogenisatorn

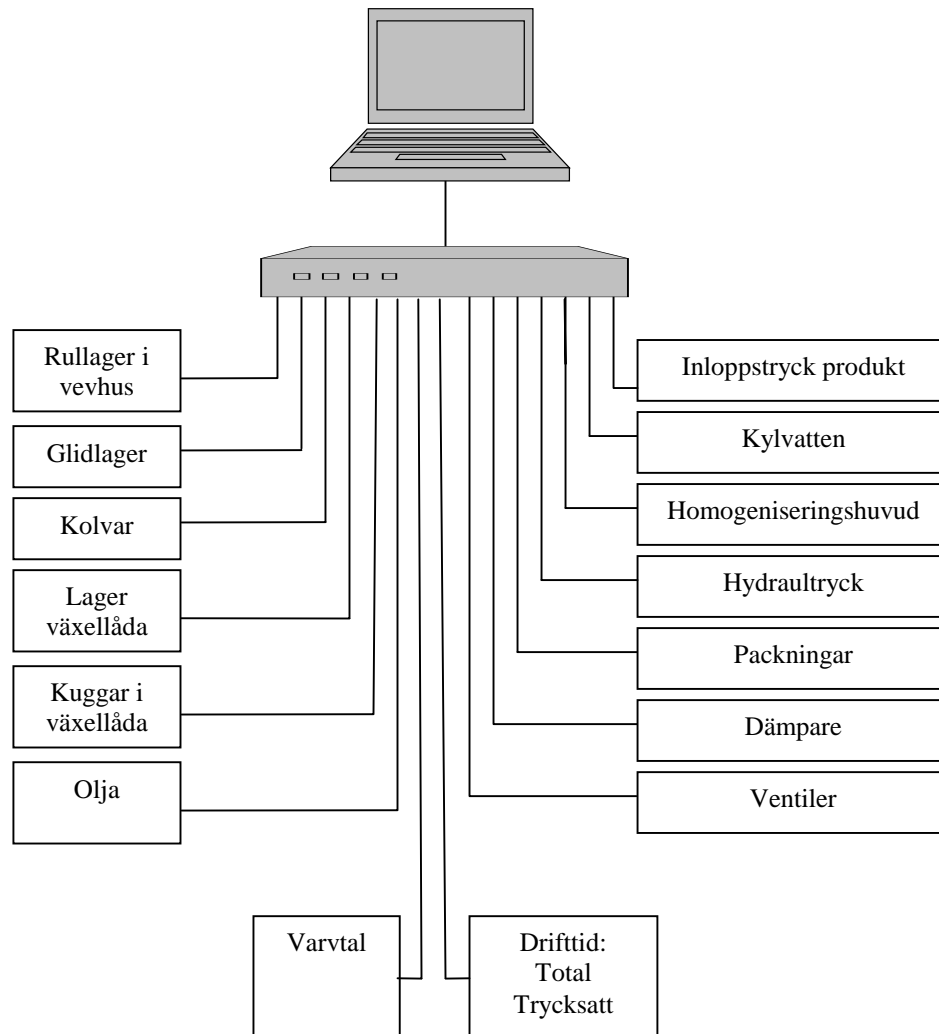
En feleffektanalys (se **bilaga 1**) har genomförts tillsammans med service-, utvecklings- och konstruktionspersonal från homogenisatoravdelningen. En del intervjuer med dessa personer har också genomförts för att få ett bra grepp om de framkomna felens karaktär och möjlighet till övervakning. Dessa intervjuer eller samtal har utförts kontinuerligt under undersökningens gång. Detta avsnitt börjar med att presentera var i homogenisatorn fel kan uppstå följt av vilka av dessa som bör övervakas. Efter detta kommer en sammanfattning av feleffektanalysen där det förklaras varför vissa fel bör övervakas och andra inte.

Delar i homogenisatorn där fel kan uppstå:

- Motor
- Kuggar i växellådan
- Ingångsaxel till växellådan
- För lågt inloppstryck
- Kopparrör för kylning av växellåda
- Oljekvalité i växellåda
- Oljenivå i växellåda
- Oljetemperatur i växellåda
- Lager i växellåda
- Oljenivå i vevhus
- Kopparrör för kylning i vevhus
- Rullager i vevhus
- Glidlager
- Kolvar
- Kolvtätningar
- Ventiler

- Homogeniseringshuvud
- Kylvatten
- Dämpare
- Rör
- Hydraulaggregat

På denna sida visas resultatet av vad som bör övervakas enligt sammanfattningen och utvärderingen av feleffektanalysen som kommer i nästa stycke. Här tillkommer även mätning av varvtal och drifttid. Dessa skall mätas för att man skall kunna se vid vilka driftförhållande olika fel uppstår, för framtida optimering av homogenisatorn.



Figur 8.1 Vad som bör övervakas enligt feleffektanalysen

8.3 Sammanfattning av feleffektanalys och förslag på åtgärder

8.3.1 Motor

Om lindningarna i motorn blir överhettad så ökar elförbrukningen dramatiskt och vid en tillräckligt hög temperatur så går en säkring i motorn vilket leder till att den stannar. Överhettningen beror oftast på för hög omgivningstemperatur men kan också bero på att motorn belastas för mer än den är anpassad. I feleffektanalysen framgår det att det finns en liten sannolikhet för att dessa fel kan uppstå men en väldigt liten sådan. Skulle det väl inträffa så innebär det att hela maskinen stannar. Detta leder inte till några följdfel på maskinen men till utebliven funktion vilket är allvarligt.

Åtgärd: Eftersom det är ett sällsynt fel och det redan finns en säkring i motorn så behövs här inte mer övervakning. Man skulle kunna tänka sig att mäta strömförbrukningen för att kunna upptäcka fel i maskinen. Detta är antagligen svårt eftersom det är så mycket som påverkar strömförbrukningen. Det skulle däremot vara intressant att övervaka motorn för att se hur mycket el den förbrukar i förhållande till dess temperatur men detta är ett annat område och arbete inom detta utförs redan på Tetra Pak.

8.3.2 Kuggar i växellåda

Nötning och utmatning är ett fenomen som kan uppstå i kuggar. Men detta sker nästan aldrig i homogenisatorns växellåda. Inte i den utsträckning att det skulle utgöra någon större risk för störd funktion eller haveri. Skulle väl ett fel uppstå så är det väldigt svårt att förutspå.

Åtgärd: Genom att mäta vibrationerna i växellådan kan fel upptäckas. Det är visserligen inte så stor risk för fel men eftersom ett fel kan leda till haveri så är det intressant att undersöka ytterligare.

8.3.3 Ingångsaxlar i växellåda och för lågt inloppstryck

Blir det för lågt inloppstryck i maskinen finns det risk för att det bildas kavitation i kolvhuset. Även lågt homogeniseringstryck kan vara en bidragande faktor till kavitation. Detta kan leda till att det uppstår stora krafter som går från kolvarna via vevhuset in i växellådan där det i sin tur kan resultera i utmattning på ingångsaxeln i växellådan. Går denna av, vilket händer väldigt sällan, blir konsekvenserna väldigt allvarliga, hela maskinen stannar och det kan uppstå följdfel. Det tar lång tid att reparera maskinen och delar som inte går att reparera måste bytas ut. Kostnaderna för ett sådant haveri blir väldigt höga. Att inloppstrycket blir för lågt beror på att tidigare utrustning i processen inte levererar rätt tryck. Anledningen till detta kan vara många,

t ex byte från produkt till vatten vid diskning eller fel på någon matningspump tidigare i processen.

Åtgärd: Det finns idag en del kunder som sätter på egna givare för att se om inloppstrycket till homogenisatorn är tillräckligt högt. Denna utrustning skulle Tetra Pak kunna erbjuda sina kunder. Mätutrustning skulle kunna fylla två funktioner den första är att den skulle kunna lagra värden som talar om att kunden inte haft det inloppstryck som krävs. På detta sätt kan Tetra Pak undvika att behöva betala ut dyra garantier för fel som kunden själva orsakat. Den andra funktionen och kanske den viktigaste är att med hjälp av tryckgivare som mäter inloppstrycket kan återkoppling ske som snabbt kan ta bort mottryck i homogenisatorn. Fungerar detta så kan dessa fel undvikas.

8.3.4 Kopparrör för kylning i växellåda

Enligt feleffektanalysen finns där ett stort problem med kopparrören i växellådan. Kopparrören har som funktion att transportera kylvatten genom växellådan och kyla oljan. Det kan hända att dessa rör ärgar sönder. Kommer det vatten i oljan minskar oljans viskositet och slitaget ökar kraftigt.

Åtgärd: Detta är ett konstruktionsproblem och genom att man numera använder sig av rostfritt stål istället för koppar så kommer detta problem att försvinna. Rostfritt stål ger lite sämre kylning än koppar. Det som går att övervaka är att kylvattnet verkligen kyler som det skall med hjälp av en termometer. För hög temperatur på oljan ger också låg viskositet. Även att det kommer kylvatten i oljan bör övervakas vilket jag kommer in på det senare.

8.3.5 Oljekvalité i växellåda

Oljan kan förstöras om det kommer ämnen i den som t ex metallpartiklar. Följden av detta blir slitage på kuggar och i värsta fall förstörs dessa. Det finns en viss sannolikhet för att dessa fel kan uppstå och enligt feleffektanalysen är detta ett kritiskt problem. Uppstår det fel är det besvärligt att laga och oftast får man sätta på en ny växellåda, vilket kan ta tid och det hela blir väldigt dyrt om man ser till förlorad produktionstid, arbetsinsats och kostnaden för den nya växellådan.

Åtgärd: Detta bör undersökas vidare för att se om där finns några lämpliga metoder att hålla koll på oljan, för att undvika onormalt slitage som kan leda till driftstopp.

8.3.6 Oljenivå i växellåda

Om oljenivån blir för låg i växellådan vilket kan bero på t ex dålig påfyllnad eller läckage så uppstår ett onormalt slitage på växellådans olika delar vilket kan leda till haveri. Det är inget jätte problem i homogenisatorn men det händer.

Åtgärd: Om det finns en billig mätgivare så är detta intressant att övervaka.

8.3.7 Oljetemperatur i växellåda

Skulle oljans temperatur i växellådan bli för hög på grund av dålig kylning försämras viskositeten i oljan som nämnts tidigare. Detta bidrar till onormalt slitage och det finns en risk för att kullagren skär sig.

Åtgärd: I och med byte av kopparrör till rostfria, finns det en risk för att kylningen av oljan blir sämre och vid höga varvtal så kan det bli för höga temperaturer. Därför är detta något som skulle kunna övervakas och ge larm om temperaturen överstiger ett visst värde. Att mäta temperatur är relativt billigt jämfört med andra mätmetoder.

8.3.8 Lager i växellåda

Det finns flera olika anledningar till att ett lager kan gå sönder som t ex dålig smörjning, vibrationer, för stor axiellast, felaktig montering och för låg viskositet i oljan. Detta är egentligen följderna av de tidigare nämnda felen i växellådan. Enligt feleffektanalysen så är detta en kritisk punkt i maskinen.

Åtgärd: Genom att övervaka denna del så kommer man kunna fånga upp nästan alla fel som kan uppstå i växellådan. Problemet blir att ta reda på vad det var som orsakar larmet, var det låg viskositet i oljan eller var det vibrationer som gjorde så att lagret börjat bli dåligt? Eftersom det är svårt att byta lager i växellådan så skulle man vid larm endast kunna förbereda för byte av växellåda och byta innan ett haveri uppstår. Detta bör undersökas vidare.

8.3.9 Oljenivå i vevhus

Skulle oljenivån i vevhuset bli för låg så leder detta till försämrade smörjning av glidlager och rullager i vevhuset. Dålig smörjning ökar slitaget kraftigt.

Åtgärd: Detta bör övervakas och inte bara om oljenivån sjunker utan även om den stiger för då har något kommit i oljan som kan förstöra den, t ex vatten.

8.3.10 Kopparrör för kylning i vevhus

Om kopparröret i vevhuset skulle gå sönder så kommer det in kylvatten i oljan och denna förstörs. Detta händer så gott som aldrig i vevhuset enligt feleffektanalysen.

Åtgärd: Eftersom sannolikheten för inträffande är så låg skall detta inte övervakas.

8.3.11 Rullager i vevhus

Precis som för lager i växellådan så kan rullager i vevhuset utsättas för flertalet felorsaker (se **bilaga 1**). Dessa felorsaker kan leda till försämrad drift och i värsta fall till haveri. Enligt feleffektanalysen så är det väldigt sällan fel på rullagern. Detta kan bero på att det idag utförs förebyggande underhåll på dessa, efter ett visst antal timmar så byts dessa mot nya s.k. planerat underhåll. Dessa byten är väldigt komplexa och blir relativt dyra på grund av förlorad produktionstid, kostsamma arbetsinsatser och att lagren byts innan deras fulla livslängd är förbrukad.

Åtgärd: Detta är något som skulle kunna tillståndsövervakas för att kunna förlänga serviceintervaller och gå från planerat underhåll till tillståndsbaserat underhåll vilket har den fördelen att underhåll utförs bara när det måste och rullagren kan utnyttjas till deras fulla livslängd. Skulle det mot förmodan uppstå ett fel på lagret innan ett planerat byte genomförs ger övervakningssystemet larm om detta och haveri undviks.

8.3.12 Glidlager

Glidlagren byts efter det att fel på dessa upptäcks. Det vanligaste felet brukar vara åldersrelaterat slitage annars är det onormalt slitage på grund av fel montering, dålig smörjning eller fel åtdragningsmoment. Felen upptäcks genom inspektioner när maskinen står stil. Bytet av glidlagret tar relativt låg tid och är ett ganska komplext arbete.

Åtgärd: Glidlager är intressanta att övervaka om det inte blir allt för avancerat. Skulle man på ett ganska enkelt och inte allt för dyrt sätt kunna övervaka denna del så skulle det underlätta för servicepersonal att veta när eventuella åtgärder skall vidtas.

8.3.13 Kolvar

Om ett fel uppstår på kolvarna skulle detta kunna leda till försämrad drift och att packningarna förstörs. Ett fel kan bero på dålig smörjning, felbelastning, vinkelfel (kolven går snett), produkten sliter på den eller att det är fel kvalitet på vattnet (hårt vatten) vilket också leder till onormalt slitage. Det händer ganska ofta att kolvarna måste bytas men detta går ganska fort och är inte så komplext att utföra. Slitna kolvar leder även till att packningarna går sönder.

Åtgärd: Kolvarna skulle kunna övervakas för att underlätta servicearbetet genom att tala om när ytan på kolvarna är så pass dålig att kolvarna börjar slita på packningarna. Ett övervakningssystem skulle också kunna varna för ett fel som kan leda till haveri men framförallt varna för när kolvarna börjar slita på packningarna och även när de är så dåliga att de försämrar maskinens drift. Detta bör undersökas närmre för att ta reda på om där finns någon teknisk och ekonomiskt hållbar lösning.

8.3.14 Kolvtätningar

Eftersom packningarna utsätts för väldigt höga tryck så händer det ganska ofta att dessa börjar läcka. Det kan även bero på andra saker såsom slitande produkt, luft i produkten eller kolvarna. Det kan också vara en kombination av de nämnda.

Åtgärd: Det är svårt att förutse när en packning kommer att börja läcka om inte alla de orsaker som kan bidra till läckaget mäts. Det går däremot att ha en larmfunktion som talar om när det börjar läcka så att åtgärder kan vidtas så fort som möjligt så inte massa produkt går förlorad.

8.3.15 Ventiler

Ventilerna kan börja läcka, då minskar kapaciteten på homogenisatorn. Detta kan bero på slitande produkt, luft i produkten eller kavitation. Den försämrade kapaciteten beror på att delar av produkten pressas tillbaka genom ventilerna där den kom ifrån istället för att passera genom homogeniseringsspalten. Ventilerna är en del som det utförs service på ganska ofta och även byte. Detta är inte komplext eller tar särskilt lång tid.

Åtgärd: Om ett övervakningssystem monteras på homogenisatorn så skulle här kunna ingå en givare som visar att ventilerna läcker eftersom det är omöjligt att se med blotta ögat och man vill inte köra maskinen med försämrad kapacitet.

8.3.16 Homogeniseringshuvud

Det kan hända att homogeniseringshuvudet går sönder i form av ett brott. Detta kan bero på fel i materialet eller att de utsätts för väldigt stora kraftpåfrestningar. Denna typ av fel är inte så vanligt förekommande. Det som är mer vanligt förekommande är att det blir kantslitage på homogeniseringshuvudet, kanterna rundas av och spaltstorleken ökar. Detta försämrar homogeniseringen, vissa av fettpartiklarna blir för stora. Kantslitaget kan bero på vilken produkt som används, olika produkter sliter olika mycket. Det kan även bero på kavitation eller att det kommit in luft i produkten, vilket leder till ökat slitage.

Åtgärd: Att övervaka för att kunna förutspå brott är nog inte möjligt eftersom det inte går att förutspå ett brott av denna karaktär och sannolikheten för inträffande är inte så stor. Däremot kan det vara viktigt att övervaka för att se om kantslitage uppstår för att vara säker på att önskvärd homogeniseringsgrad uppnås.

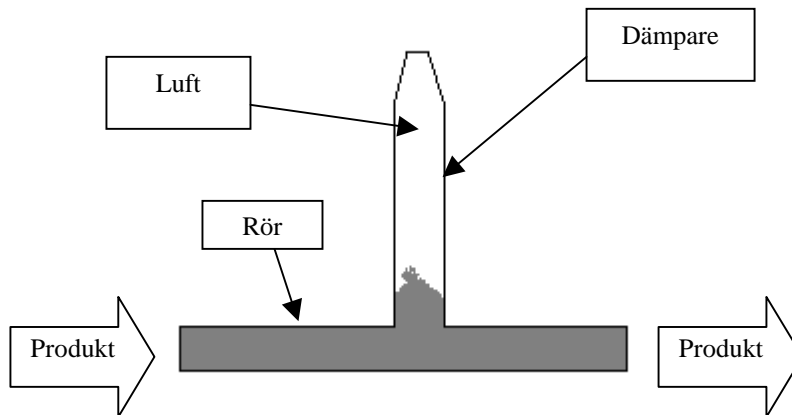
8.3.17 Kylvatten

Skulle där inte komma något kylvatten till maskinen så blir där ingen kylning av oljorna. Anledningen till att det inte kommer något kylvattenvatten kan bero på att läckage eller den mänskliga faktorn som t ex slarv med att vrida om kranen för vattentillförsel. Utan kylning ökar slitaget dramatiskt.

Åtgärd: Eftersom det är relativt billigt med denna typ av övervakning så skulle det vara ganska enkelt att lägga till i ett eventuellt övervakningssystem. Det räcker ju att maskinen körs utan vatten ett litet tag innan det upptäcks. Under denna tid kan slitage uppstå som leder till andra fel i framtiden som kanske inte förknippas med att maskinen kördes utan kylning under en kortare tid. Följden av detta kan vara att kunden tycker att maskinen som köpts inte alls levde upp till deras förväntningar. Det är väldigt svårt att hävda att maskinen gått sönder ovanligt fort för att kunden kört utan kylvatten för en månad sedan eller kanske mer, så det här bör övervakas.

8.3.18 Dämpare

Dämpare är placerad på homogenisatorns in- och utlopp av produkt. Dämparen har som uppgift att ta bort pulstrationer som finns i produkten. Hade där inte funnits någon dämpare så skulle de väldiga slag som bildats i produkten vid homogenisatorn kunna slå sönder maskinen. Från början är dämparen fylld med luft men efterhand så blir den fylld med produkt (se Figur 8.2). Blir dämparen full bildas väldiga vibrationer och det kan uppstå kraftspikar i maskinen och i värsta fall så kan detta leda till att något går sönder och maskinen havererar. När dämparna är fulla med produkt så måste maskinen stängas av och dämparna måste tömmas. Dämparen är ett ihålligt rör som är stängt i toppen. I dämparen finns luft som fungerar som en dämpande luftkudde.



Figur 8.2 Principskiss för dämparen

Åtgärd: Detta är egentligen ett fel som borde konstrueras bort. Det finns bättre dämpare men de har inte testats med produkt ordentligt. Dämparen behöver provas ute på mejerierna men det är ingen kund som gett sitt tillåtande än. Det är ganska enkelt att kolla om dämparen är full men det krävs att personal är på plats vid maskinen. Finns det något enkelt sätt att övervaka dämparen som kan ge larm till personal i kontrollrummen istället så varför inte.

8.3.19 Rör

Det kan med mycket liten sannolikhet hända att rören som transporterar produkt till och från homogenisatorn går sönder eller är för dåligt infästa.

Åtgärd: Detta är sällsynt och bör därför inte övervakas.

8.3.20 Hydraulaggregat

Om hydraulaggregatet skulle tappa sitt tryck så försämras homogeniseringen. Detta kan bero på för låg oljenivå i hydraulaggregatet, trasig säkerhetsventil, oljan har låg viskositet (kan ha kommit in vatten i oljan eller för hög temperatur i oljan), pumpen är trasig eller axelkopplet har gått sönder.

Åtgärd: På samma sätt som för homogeniseringshuvudet så är det viktigt att homogeniseringsgraden inte försämras. Genom att mäta hydraultrycket så kan man se om något fel uppstått i hydraulaggregatet.

8.4 Förslag på mätmetoder

Innan jag skall gå vidare och ta reda på om framtagna mätpunkter är kostnadseffektiva att övervaka så har förslag på mätmetoder tagits fram. Genom att ta reda på vilken metod som kan användas för att övervaka utvalda bitar får man också en uppfattning om vilken utrustning som krävs och kan i sin tur ta reda på kostnaderna för uppgiften.

8.4.1 Övervakning av glidlager och oljekvalité

När jag har letat efter mätmetoder för de olika problemen så har det visat sig att glidlager är mycket svårt att övervaka. Det som är möjligt att övervaka är oljan till glidlagret enligt Fredrik Larsson (SKF), vid ett slitage så ökar mängden partiklar i oljan. Problemet i det här fallet är att samma olja används även till smörjning av rullager. Så det finns inget som säger att partiklarna skulle komma från glidlagret och rullager övervakas bäst med vibrationsmätningar. Enligt Basim Al-Najjar professor i systemekonomi på Växjö universitet och en av de mest kunniga inom tillståndsbaserat underhåll i Sverige så skulle det för denna uppgift bli väldigt svårt att identifiera de olika partiklarna med en givare och framförallt väldigt dyrt. Han säger att det som går att göra är att ta oljeprov för analys. Det går också att använda filter där partiklarna fastnar och partiklarna kan sedan undersökas i mikroskop. Enligt Basim AL-Najjar så går det att sätta på en givare som räknar antalet partiklar och vid en ökning så får servicepersonal gå in och ta ett oljeprov för analys på labb och ta reda på vilken del av maskinen partiklarna kommer ifrån.

8.4.2 Övervakning av oljenivå och temperatur i växellåda och vevhus

Temperaturen mäts med en termistor och oljenivån med en nivågivare för både låg och hög oljenivå. För övervakning om det kommer vatten i oljan så borde nivågivaren kunna ge larm för detta genom att nivån stiger. Annars finns det givare som kan känna av vatten i oljan och även en konduktivitetsgivare skulle kunna känna av vatten i oljan.

8.4.3 Övervakning av rullager i vevhus, lager och kuggar i växellåda

Vibrationsmätning är den metod som lämpar sig bäst för att övervakning av rullager i vevhuset och även lager och kuggar i växellådan. Genom att sätta på givare med en piezoelektrisk accelerometer så kan man läsa av vilka frekvenser dessa ger upphov till och se avvikelser när fel uppstår.

8.4.4 Övervakning av produktens inloppstryck och kylvatten

Inloppstrycket på produkten mäts med en hygienisk tryckgivare som placeras på maskinens anslutning av produkt. Kylvattnet övervakas antingen med en flödesvakt som informerar om det kommer något kylvatten eller inte, alternativt av en flödesmätare som talar om hur mycket kylvatten som kommer.

8.4.5 Övervakning av varvtal och drifttid

Varvtalet kan övervakas med en elektronisk räknare eller en mekanisk mätare. Drifttid kan registreras i den processor som fångar upp signalerna från de olika givarna. Det som är intressant att mäta är den trycksatta tiden eftersom det är då det största slitaget äger rum.

8.4.6 Övervakning av dämparna

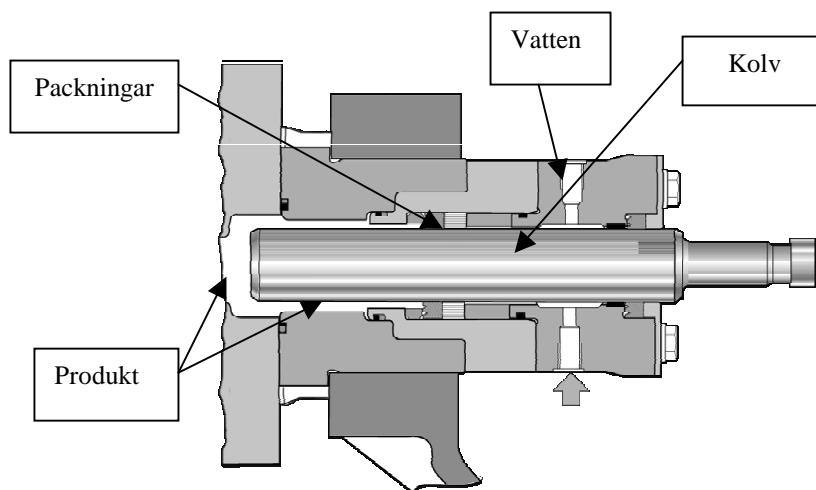
För övervakning av dämparna har jag ingen riktigt bra lösning. Men en vakt som ger larm när dämparen rör sig för mycket skulle räcka. Detta skulle kunna vara en elkrets som bryts när vibrationerna blir tillräckligt stora. Problemet med detta är att vibrationer kan komma från andra delar av maskinen och en sådan krets skulle vara väldigt känslig. Vanlig vibrationsmätning kostar för mycket och resultatet kan vara svår tolkat.

8.4.7 Övervakning av ventilerna

När kolven rör sig så pressar den undan en viss volym produkt, slagvolym. Denna volym produkt ska passera genom homogeniseringsspalten men på grund av det höga trycket komprimeras några procent av volymen. Skulle då inte hela denna volym minus några procent komma ut ur maskinen så har produkt pressats tillbaka genom ventilen som antagligen är trasig. Genom att mäta flödet ut ur maskinen och jämföra det med kolvens slagvolym så skulle man kunna upptäcka om ventilerna läcker. Det skulle kanske även kunna upptäckas med en väldigt säker tryckgivare som märker att trycket ändras antingen innan ventilen där produkt pressas tillbaka eller efter.

8.4.8 Övervakning av kolvar och packningar

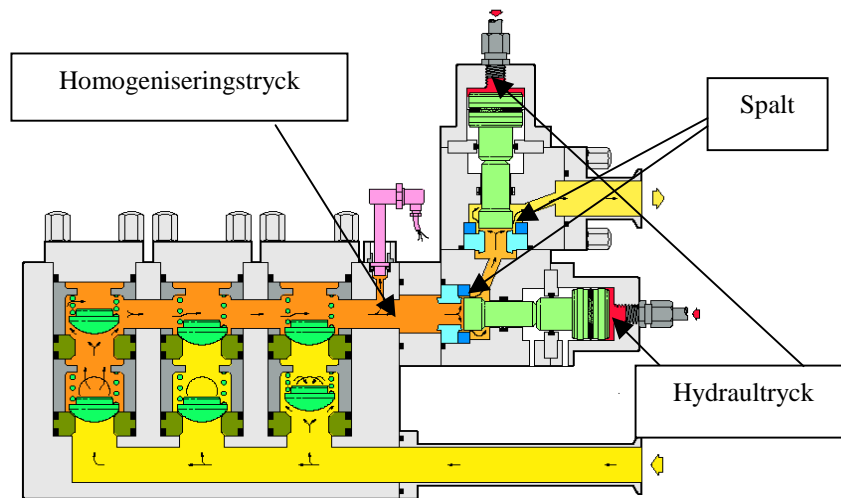
Det finns i dag inget bra sätt att övervaka om kolvarna är på väg att bli dåliga. Följden av dåliga kolvar blir att packningarna slits och det blir läckage. Eftersom personalen på fabrikerna idag alltmer vill övervaka produktionen från kontrollrum så finns det risk för att läckage inte upptäcks lika lätt som när personalen ständigt springer runt bland maskinerna. Därför så kan givare varna för läckage och vid ett larm så byts packningarna och kolvarna undersöks och byts efter behov. Genom att mäta konduktiviteten på vattnet som kyler kolvarna så kan man se om det kommit produkt i vattnet. Detta görs med hjälp av en konduktivitetsgivare. Det skulle eventuellt kunna göras med en termometer. Om det kommer produkt i vattnet så ökar temperaturen eftersom produkten har mycket högre temperatur än vattnet. Temperaturmätning kan bli svårt eftersom temperaturen beror på vattnets temperatur in i maskinen och hur varm kolven är vilket kan variera. Så det kan bli svårt att sätta larmgränser.



Figur 8.3 Kolv och packning

8.4.9 Övervakning av homogeniseringshuvud och hydraultryck

För att ta reda på om det är något fel på homogeniseringshuvudet så går det att mäta produktrycket före homogeniseringshuvudet (homogeniseringsstrycket) och mottrycket (hydraultrycket) för att hålla homogeniseringshuvudet på plats. Det finns redan framtagna värden för hur förhållandet mellan dessa skall vara. Skulle homogeniseringshuvudet gå sönder eller slitas ojämnt så att det minskar i area så måste mottrycket ökas för att få kraftjämvikt. När detta mottryck blir väldigt högt så kan man dra slutsatsen att något är fel på homogeniseringspalten.



Figur 8.4 Övervakning av homogeniseringshuvud och hydraultryck vid två stegs homogenisering

8.5 Förslag på leverantörer och ca pris på mätutrustning

Efter att ha tagit fram lämpliga metoder för att övervaka de olika delarna så har jag tagit reda på vilken utrustning som behövs och varit i kontakt med några olika leverantörer av tilltänkt utrustning. Detta har gjorts för att få en bra prisbild av kostnaden för inköp av utrustningen. Är en mätpunkt väldigt komplex att mäta så blir det ofta väldigt dyrt både avseende nerlagd arbetstid och kostnaden för övervakningsutrustning.

Tabell 8.1 Leverantörer och priser på mätutrustning

Mätområde	Förslag på mätmetod	Tänkbar leverantör	Ca pris
Rullager i vevhus Lager i växellåda Kuggar i växellåda	Vibrationsmätning	Ifm electronic Entek SKF Commtest SPM Instrument Vikon	6000- 10000 Kr/givare
Glidlager	Oljeanalys på labb	Shell	2000 Kr/gång
Oljekvalité	Partikelräkningsgivare	Hydac, Colly	100 000 kr
	Konduktivitetsgivare	Endress+Hauser	8000 Kr
	Vatten i olja	Pall, Hydraul syd	10 000 Kr
Kolvar Packningar	Konduktivitetsgivare	Endress+Hauser	8000 Kr
Inloppstryck produkt	Tryckgivare	Endress+Hauser	3000-4000 Kr
Kylvatten	Flödesvakt	Kobold	500-3000 Kr
	Flödesgivare	Endress+Hauser	9000 Kr
Homogeniseringstryck Hydraultryck	Tryckgivare	Tempress Endress+Hauser	3000-5000 Kr
Ventiler	Flödesgivare	Endress+Hauser Kobold	3000-4000 Kr
Oljenivå i vevhus och växellåda*	Nivågivare		
Oljetemperatur i vevhus och växellåda*	Termister		
Dämpare			
Varvtal*			
Drifttid	Klocka i styrsystem		

* Finns redan givare som går att koppla elektroniskt som option eller standard på vissa homogenisatorer. Därför finns det redan leverantör och utrustning att tillgå. Dessa bör ingå i ett eventuellt mer automatiserat övervakningsprogram.

8.6 Payback analys för Tetra Pak och kostnader för kunden

För att ta reda på om införandet av ett övervakningssystem skulle vara ekonomiskt lönsamt har payback analyser genomförts där rimliga ekonomiska uppskattningar har kunnat göras. För denna ekonomiska utvärdering av kostnader för kunden har ett program som heter TPMS (Tetra Pak Maintenance System) studerats. Detta är ett program som visar mellan vilka intervaller service och byte av olika delar på homogenisatorn skall genomföras, hur lång tid det tar och vilka delar som eventuellt skall bytas. Det visar även dagliga kontroller och kontroller med längre intervall. TPMS har utvecklats med hjälp av flera års kunskap. Med hjälp av detta program och en prisbok så har det gått att få en bra bild av vad underhåll och byte av olika delar kostar. Ekonomiska beräkningarna presenteras i **Bilaga 2**.

Enligt Basim Al-Najjar professor i systemekonomi så går det att få en bra bild av om investeringen är lönsam om ”hyfsade” uppskattningar utförs.

Ekonomiska uppskattningar:

- Hur många system skulle kunna säljas per år?
- Vad skulle systemet kosta att köpa in för Tetra Pak?
- För hur mycket skulle systemet kunna säljas till kunden?
- Vad skulle utvecklingskostnaden bli för Tetra Pak att införa, prova och kvalitetssäkra systemet?
- Om ett fel kan leda till driftstopp, vad skulle det kosta kunden?
- Vad kostar det att underhålla systemet för kunden?
- Hur stora är övriga kostnader som kan tänkas uppstå?
- Vilka driftsfördelar ger systemet kunden?

8.6.1 Val av beräkningsobjekt

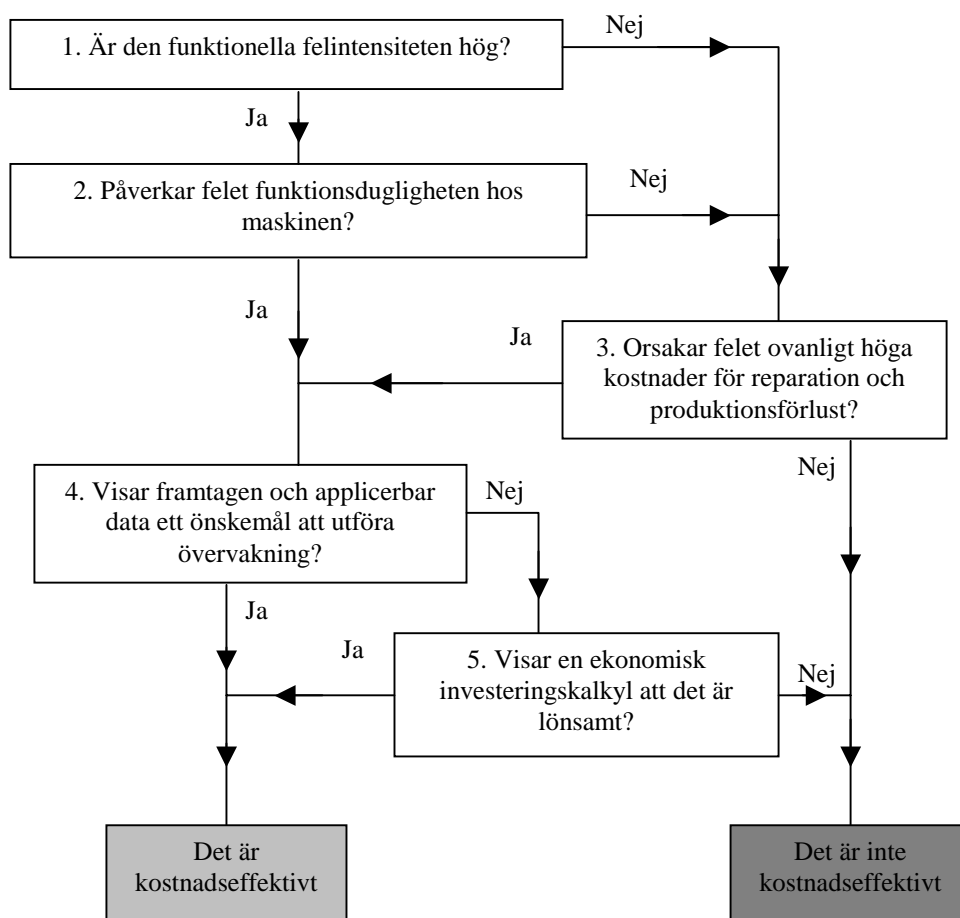
Beräkningarna som har utförts i **Bilaga 2** är för en acceptisk Alex 400. Detta är den största och dyraste homogenisatorn och skulle lättast kunna bära kostnaderna för ett övervakningssystem, därför har denna valts som beräknings objekt och även av den anledningen att fel som uppstår på denna maskin är både dyra och kritiska för produktion då den har väldigt hög kapacitet. Skulle det inte löna sig att införa ett övervakningssystem på denna så kan man utesluta de mindre maskinerna också.

På de delar där det redan finns givare som används såsom givare för oljenivå, oljetemp och varvräknare har inga ekonomiska utvärderingar genomförts då dessa redan finns. Även på dämparen har ingen ekonomisk utvärdering genomförts eftersom det saknas en bra övervakningsmetod.

Beräkningarna som finns i **Bilaga 2** har använts för att ta reda på vilka övervakningsmetoder som är kostnadseffektiva eller inte kostnadseffektiva.

8.7 Kostnadseffektivt eller inte kostnadseffektivt

Med hjälp av alla tidigare gjorda undersökningar så har de olika mätmetoderna utvärderats i Figur 8.5. Detta har resulterat i att övervakningen antingen är kostnadseffektiv eller att den inte är kostnadseffektiv. Är inte övervakning kostnadseffektivt, skall det inte genomföras och är det kostnadseffektivt bör man överväga att utföra övervakning.



Figur 8.5 Utvärderingsdiagram om övervakning är kostnadseffektivt eller inte

8.7.1 Tillvägagångssätt vid utvärdering av diagram

Så här har utvärderingen gått till i de olika rutorna i diagrammet, ruta:

1. Genom att titta i feleffektanalysen och även diskutera med personal på homogenisatoravdelningen hur hög felintensiteten är har en kvalitativ bedömning gjorts på om det är hög felintensitet eller inte.
2. Om felet påverkar funktionsdugligheten av maskinen framgår av feleffektanalysen under rubriken feleffekt. Även samtal med personal på avdelningen har genomförts.
3. Här har det undersökts vad kostnaderna blir om ett fel inträffar. Kostnader såsom reparation, förlorad produktionstid, följd fel, nya delar mm. Dessa kostnader framgår i **Bilaga 2**.
4. I ruta fyra görs en sammanfattning av alla undersökningar, feleffektanalys, intervjuer och ekonomiska beräkningar. Bedömningen är rent kvalitativ och genom att väga de olika resultaten mot varandra har en uppfattning om det är lönsamt att tillståndövervaka framtagna delar.
5. I ruta 5 har de ekonomiska investeringskalkylerna i **Bilaga 2** fått avgöra om det är kostnadseffektivt eller inte att utföra övervakning.

8.7.2 Resultat av utvärderingen med kommentarer

Tabell 8.2 Resultatet från utvärdering, kostnadseffektivt eller inte kostnadseffektivt

Mätområde	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 4	Ruta 5	Resultat
Rullager i vevhus Lager i växellåda Kuggar i växellåda	Nej		Ja	Nej	Nej	Inte kostnadseffektivt
Glidlager Oljekvalité	Nej		Ja	Nej	Nej	Inte kostnadseffektivt
Vatten i olja	Nej		Ja	Nej	Nej	Inte kostnadseffektivt
Kolvar Packningar	Ja	Ja		Ja		Kostnadseffektivt
Inloppstryck produkt	Ja	Ja		Ja		Kostnadseffektivt
Kylvatten	Nej		Ja	Ja		Kostnadseffektivt
Homogeniseringstryck Hydraltryck	Ja	Ja		Ja		Kostnadseffektivt
Ventiler	Ja	Ja		Ja		Kostnadseffektivt

Rullager i vevhus, lager och kuggar i växellåda

Enligt feleffektanalysen så är den funktionella felintensiteten inte hög (se **Bilaga 1**). Fel orsakar däremot ovanligt höga kostnader om de inträffar men enligt feleffektanalysen, ekonomiska beräkningar (se **Bilaga 2**) och en payback analys är övervakning inte kostnadseffektivt.

Glidlager och oljekvalité

Den funktionella felintensiteten är inte hög. Fel kan innebära stora ekonomiska förluster, t ex om ett glidlager skulle haverera. Detta är ovanligt och de ekonomiska beräkningarna talar inte för övervakning. Alltså inte kostnadseffektivt.

Vatten i oljan

Ingen hög funktionell felintensitet. Felet kan leda till haveri i värsta fall, vilket blir väldigt dyrt. De ekonomiska beräkningarna tyder inte på att det skulle bli särskilt lönsamt med övervakning då nivågivaren är billigare och skulle kunna upptäcka vatten i oljan. Det är heller inte säkert att en ”vatten i oljan givare” skulle kunna klara av att upptäcka vattnet i en så stor oljebehållare som vevhuset. Därför är det inte kostnadseffektivt.

Kolvar och packningar

Dessa delar har relativt hög felintensitet och fel påverkar funktionsdugligheten hos maskinen. Ekonomiska beräkningar tyder på att övervakning skulle kunna vara kostnadseffektivt.

Inloppstryck produkt

Felintensiteten är relativt hög och felet kan påverka funktionsdugligheten hos maskinen. Eftersom det redan finns de kunder som sätter på egen utrustning för mätning av inloppstrycket så tyder detta på att det finns önskemål om att utföra övervakning. Även de ekonomiska kalkylerna talar för att det är kostnadseffektivt.

Kylvatten

Den funktionella felintensiteten är inte hög men felet kan leda till höga kostnader i form av överdrivet slitage och i värsta fall haveri. De ekonomiska beräkningarna visar att det är relativt billigt att övervaka och är därför kostnadseffektivt.

Homogeniseringstryck vs Hydraultryck

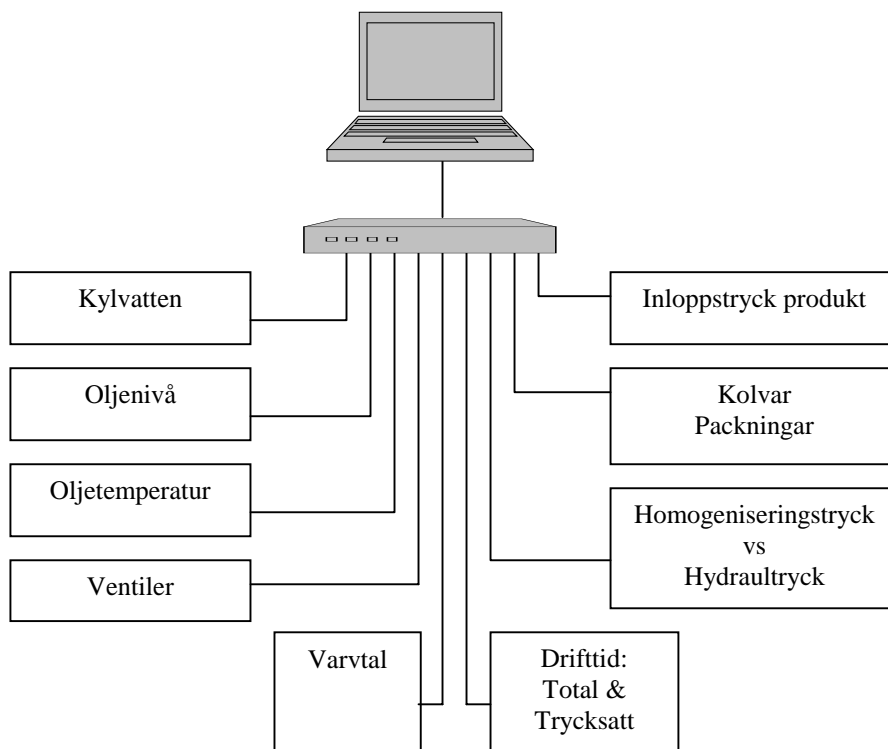
Den funktionella felintensiteten är relativt hög och förstörs homogeniseringsspalten påverkas funktionsdugligheten. Ekonomiska beräkningar visar att övervakning är genomförbart och resultatet blir att det är kostnadseffektivt.

Ventiler

Här är det också en relativt hög felintensitet. Felet påverkar maskinens kapacitet och därmed också funktionsdugligheten. Ekonomiska beräkningar talar för att övervakning är möjlig. Det är kostnadseffektivt.

8.8 Förslag på övervakningssystem

Det som visat sig kostnadseffektivt att övervaka enligt undersökningarna är följande:



Figur 8.6 Framtaget övervakningssystem

8.9 Systemets bidrag till kundvärdet

Hur kan då det framtagna övervakningssystemet skapa ett bättre kundvärde? Vilka upplevda fördelar skapas för kunden såsom produkt-, service-, relations- och imagefördelar?

De produktfördelar som skapas är framförallt bättre kontroll över maskinen och högre tillgänglighet, eftersom ventiler, homogeniseringshuvud och kolvar idag endast går att kontrollera när maskinen står still då dessa är inbyggda. Med ett övervakningssystem går det att kontrollera dessa delar medan maskinen arbetar. Detta innebär att homogenisatorns tillgänglighet ökar och man får reda på om maskinen arbetar tillfredställande. Systemet visar även att homogeniseringen fungerar som den skall och ventilerna inte läcker. Kontrollen av maskinen ökar ytterligare genom hjälpfunktioner som t ex larm när det inte kommer något kylvatten, vid läckage eller andra fel. Systemet kan också varna när maskinen används felaktigt. Detta lär användaren hur maskinen skall hanteras och fel som uppstår på grund av för lågt inloppstryck av produkten kan undvikas genom ökad kontroll. Allt detta bidrar till ökad tillförlitlighet hos maskinen.

Det finns även en del servicefördelar som t ex att service bara behöver genomföras vid larm eller varningar. Servicepersonal behöver inte heller öppna upp maskinen eller ägna sig åt onödigt skruvande för att kontrollera t ex homogeniseringsspalten. Genom att samla resultatet från övervakningen på ett överskådligt sätt på en monitor kan de framtagna övervakningspunkterna kontrolleras väldigt enkelt och framförallt utan att homogenisatorn behöver var ur drift. Detta minskar onödig stopptid vilket kunderna idag klagat på, detta innebär ökad tillgänglighet och därmed ekonomiska fördelar. En annan fördel är att det går att kontrollera maskinen från ett kontrollrum så personalen slipper stå vid maskinen. På detta sätt kan personal minskas, färre personer kan kontrollera fler maskiner.

Vilka image- och relationsfördelar bidrar övervakningssystemet till? Genom att erbjuda sina kunder nya lösningar före sina konkurrenter visar Tetra Pak att de är ledande inom utvecklingen av homogenisatorer. Detta fångar kundernas uppmärksamhet och skapar kommersiella fördelar. Medan de företag som inte har något nytt att komma med visar brister i sitt utvecklingsarbete och sänder ut signaler som bristande kompetens och låg kreativitet inom området. Så genom att erbjuda sina kunder nya lösningar skapar Tetra Pak goda imagefördelar. Med god image följer också relationsfördelar, företag vänder sig hellre till dem som visar att de arbetar för att hjälpa kunden, vilket övervakningssystemet har som uppgift att göra. Genom ökad kontakt med kunderna kan även en bättre kundrelation skapas.

Det som bidrar till minskat kundvärde är de upplevda uppoffringar kunden känner att han eller hon behöver göra. Detta är inte bara ekonomiska uppoffringar, såsom kostnader för inköp av systemet, utan även den osäkerhet och risktagande kunden gör när de införskaffar systemet. Det finns alltid en risk att systemet inte lever upp till kundens förväntningar. Systemet måste vara pålitligt annars kommer inte kunden

våga ändra sina dagliga rutiner och istället för att lita på övervakningssystemet så fortsätter servicepersonal som tidigare. Då är systemet en onödig investering och kunden tappar förtroende för säljaren, Tetra Pak. Priset på övervakningssystemet måste vara tydligt motiverat. Systemets fördelar måste väga tyngre än kostnaderna för inköpet annars kommer det framstå som att Tetra Pak säljer systemet för egen vinning. Så skall ett övervakningssystem säljas måste det vara kvalitetssäkrat och Tetra Pak måste stå bakom systemet och själva tro på det fullt ut.

9 Slutsatser

I detta kapitel framhävs de slutsatser som dragits från analyser i samspel med de mål som rapporten haft. Det börjar med en presentation av hur tekniken ser ut idag och vad som krävs i forskningsvägg. Sedan kommer en genomgång av homogenisatorns möjligheter följt av en diskussion om tillståndsövervakning ur ett bredare perspektiv och slutligen avslutas kapitlet med vad som bör göras i framtiden, några slutkommentarer och förslag på framtida studier.

9.1 Tekniken idag

Under flera år har teknik och verktyg utvecklats för att kunna utföra tillståndsbaserat underhåll. Man har kommit en bra bit på vägen men det kvarstår ändå mycket forskning inom området för att tekniken skall få ordentlig genomslagskraft. Under arbetets gång har jag framförallt insett att det måste bli mycket lättare att analysera mätdata. Som det ser ut idag så behövs det många gånger expertkompetens för att kunna analysera mätdata och sätta ut larmgränser. Detta gäller särskilt för vibrationsmätning (se 4.2.3) som idag är den mest använda metoden för att upptäcka mekaniska fel. I framtiden måste övervakningssystemen bli mer självlärande och själva klara av att sätta larmgränser. Detta kräver mycket forskning och det lär ta ett tag innan dessa system kan bli ekonomiskt tillämpbara i bred utsträckning inom industrin.

9.2 Homogenisatorns möjligheter

Med hjälp av den framtagna modellen i kapitel 5 (se Figur 5.3) har jag kunnat utvärdera vad som bör tillståndsövervakas på homogenisatorn. Modellen skall även kunna användas för att ta reda på om tillståndsövervakning bör genomföras på vilken maskin som helst.

I min undersökning av homogenisatorn visade det sig att det var flera delar i maskinen som skulle kunna övervakas för att öka tillförlitligheten. I dagsläget är tyvärr kostnaderna för övervakning på många av dessa delar alldeles för höga enligt de ekonomiska beräkningar som utförts.

Det som låg till grund för denna undersökning var om övervakning av lager på homogenisatorn var ekonomiskt hållbart. På Tetra Pak misstänkte man att det skulle bli väldigt dyrt att övervaka dessa men tyckte att det kunde vara intressant att genomföra en undersökning för att ta reda på om så verkligen var fallet. De ville även ta reda på om där fanns fler delar i maskinen som skulle kunna övervakas på ett kostnadseffektivt sätt.

I denna rapport framgår det att övervakning av lager kräver väldigt stora ekonomiskainsatser. Eftersom varje lager sänder ut unika frekvenser så måste varje homogenisator utvärderas individuellt och individuella larmgränser måste sättas. Detta blir alldeles för dyrt och det kan bli svårt att garantera säkerheten i dessa larmgränser.

Det har däremot under studiens gång dykt upp andra saker som visat sig mer kostnadseffektiva att övervaka såsom:

- Kylvatten
- Oljenivå i vevhus och växellåda
- Oljetemperatur i vevhus och växellåda
- Ventiler
- Inloppstryck produkt
- Kolvar och Packningar
- Homogeniseringstryck vs hydraultryck (Homogeniseringsspalten)

Sedan bör man också mäta trycksatt drifttid och varvtal för att förbättra kunskapen om när olika fel tenderar att uppstå. Vissa av de framtagna delarna övervakas redan på en del homogenisatorer (se tabell 8.2) men man bör kanske gå ett steg längre. Se över de nya mätpunkterna som presenterats här och göra noggrannare studier på dessa. Sedan bör man överväga möjligheten att koppla upp övervakningssystemet mot processutrustningens monitor, vilket visat sig vara möjligt. Det finns utrymme i dessa monitorer för homogenisatorn att ha egen meny där larm och mätresultat kan presenteras. Att koppla upp sig mot denna utrustning öka även möjligheterna att utveckla ett återkopplande system som kan vidta åtgärder vid larm som t ex vid för lågt inloppstryck på produkt.

9.3 Tillståndsövervakning i ett större perspektiv

Det har under senare år skapats en allt större medvetenhet inom industrin där vikten av bra underhåll uppmärksammas. Detta har bidragit till att allt fler företag har infört tillståndsbaserat underhåll. Av olika anledningar har alla företag inte varit lika framgångsrika i sitt arbete med att implementera tillståndsbaserat underhåll, vilket presenterats tidigare i rapporten. De som har lyckats göra stora ekonomiska besparingar med hjälp av tekniken är ofta stora industriföretag såsom pappersbruk, stål tillverkare och energikraftverk. I dessa företag har hela produktionsanläggningar kunnat övervakas, stora investeringar har gjorts, personal har utbildats och tillståndsbaserat underhåll har kunnat ersätta det traditionella underhållet. Det finns en stor skillnad mellan homogenisatorn och dessa stora industrier.

Ett av mina mål med denna studie var att ta reda på vad övriga Tetra Pak gör inom tillståndsövervakning och det visade sig att tekniken endast används på separatorn. Möjligheten att utföra tillståndsövervakning på Tetra Paks förpackningsmaskiner har

undersökts men inga beslut har än så länge fattats om att gå vidare. För att tillståndsbaserat underhåll skall kunna bli kostnadseffektivt krävs det att hela anläggningar använder sig av tekniken. För det kostar för mycket att ha experter för analys av mätdata för endast ett fåtal maskiner. Det är detta som skiljer homogenisatorn från de stora industriföretagen som lyckats. Homogenisatorn är en för liten tillämpning för att kunna genomföra mätningar med svårtolkad data. Det är därför det blev för dyrt att övervaka homogenisatorns lager. Övervakning som däremot ger lätt tolkad data såsom t ex för hög temperatur i växellådan och övriga framtagna övervaknings förslag som visat sig vara kostnadseffektiva i denna rapport kräver inga experter. Ett enkelt övervakningssystem kan ge viktig information till underhållspersonal utan att expertkompetens behövs. Idag kan ett lite enklare övervakningssystem bidra med väldigt värdefull information. I separatorns fall utförs tillståndövervakning av lager inte bara på grund av kostnadsbesparingar utan även av säkerhetsskäl vilket inte går att väga ekonomiskt, homogenisatorn kräver inte samma säkerhet. För att mer avancerad övervakning skall gå att genomföra så måste detta antagligen samköras med hela Tetra Pak för att bli ekonomiskt lönsamt.

9.4 Framtiden

Processindustrin är inte så långt komna med tillståndövervakning men det verkar finnas ett ökat behov av att förbättra underhållet och öka tillgängligheten av processutrustningen. Mejerierna blir större, mer automatisering, driftspersonal minskas och maskinerna körs längre innan stopp. Det finns mycket som talar för övervakningstekniken. Så i framtiden bör man hålla ett öga på utvecklingen av tekniken. Det lär med all sannolikhet komma bättre teknik och förhoppningsvis blir systemen även billigare. Det bör även göras en grundligare undersökning på de mätförslag som framkommit som kostnadseffektiva enligt denna studie. Det finns god kompetens på avdelningen och bara genom att låta genomföra denna studie visar att man är väl medvetna om en ökad fokusering på tillståndövervakning inom industrin.

9.5 Slutkommentarer och framtida studier

Det är inte säkert att det framtagna systemet i denna rapport är det som bäst lämpar sig för homogenisatorn men rapporten borde ändå ge en god bild av vad som är kostnadseffektivt eller inte. Resultatet i rapporten bör naturligtvis studeras ytterligare innan några beslut om att implementera systemet fattas. Jag kan själv vara lite tveksam till om läckande packningar skall övervakas, energi och pengar skall kanske istället läggas på att förbättra packningarna, vilket inte visat sig var helt enkelt.

En annan framtida studie på Tetra Pak som kan vara intressant att genomföra är möjligheten till ett gemensamt tillståndövervakningssystem på en hel förpacknings- och processlinje som Tetra Pak säljer.

Det som även bör undersökas är hur de olika mejerierna ser på tillståndsbaserat underhåll. Är de beredda att satsa på denna typ av underhåll eller föredrar de sitt traditionella underhåll?

Som nämnts tidigare så behövs det mycket forskning för att tillståndsövervakningsutrustning skall bli användbar i bred utsträckning. Även spridningen av information om tekniken till industrin behövs för att få igång företag att se till möjligheten att förbättra sitt underhåll med hjälp av tillståndsövervakning.

Referenser

Litteratur

Allström, R. & Bengtsson, M. (2002) *Tillståndsbaserat underhåll- en överblick av underhållsteorin samt teknikens möjligheter på spårfordon*. Examensarbete. Västerås.

Andersson, B. & Arvidsson, E. (2000) *Vision 2010*. Svensk mjölksektor. Stockholm.

Andersson, G. & Winkler, D. (redaktör) (2000) *Mikrosystem – möjligheternas teknik*. Mediaprint Udevalla AB. Udevalla.

Andersson, I. (1999) *Den uppenbara verkligheten*. Studentlitteratur. Lund.

Bergman, B. & Klefsjö, B. (2001) *Kvalitet från behov till användning*. Studentlitteratur. Lund.

Björklund, M. & Paulsson, U. (2003) *Att skriva, presentera och opponera*. Studentlitteratur. Lund

Liber Ekonomi. Malmö. Första upplagan.

Britsman, C. & Lönnqvist, Å. & Ottoson, S-O. (1997) *Handbok i FMEA*. Kristianstads Boktryckeri AB. Kristianstad.

Cegrell, T. & Sandberg, U. (1994) *Industriella Styrssystem*. Responstryck. Borås.

Dairy processing handbook (2003) Second, revised edition. Tetra Pak Processing Systems AB.

Fraden, J. (1996) *Handbook of modern sensors: physics, design and index*. Springer-Verlag. Ann Arbor.

Holmberg, G. & Lönnqvist, Å. (1997) *Säkra produkter*. Tryckeri AB Småland. Jönköping.

Jobber, D. (2004) *Principles and practice of marketing 4th edition*. McGraw International (UK) Ltd. Berkshire.

Johansson, K-E. (1997) *Driftsäkerhet och underhåll*. Studentlitteratur. Lund. Andra upplagan.

Keckland, L. (2004) *Underhållsstrategier och säkerhet på en avreglerad elmarknad*. SKI rapport. 2004:40.

Lindahl, P-E. & Sandqvist, W. (1996) *Mätgivare – Mätning av mekaniska storheter och temperatur*. Studentlitteratur. Lund.

Lindstedt, P. & Burenus, J (1999) *Skapa ööverträffat kundvärde, hur du praktiskt går till väga*. Del 2 i värdeserien. Nimba. Ödeborg.

Lundahl, U. & Skärvad, P-H. (1999) *Utredningsmetodik för samhällsvetare och ekonomer*. Studentlitteratur. Lund. Tredje upplagan.

M Home, I. & K Solvang, B. (1997) *Forskningsmetodik*. Studentlitteratur. Lund. Andra upplagan.

Patel, R. & Davidson B. (1994) *Forskningsmetodiekns grunder*. Studentlitteratur. Lund. Andra upplagan.

Shrivastav, Om P. & Al-Najjar, B. (redaktör) (2003) *Condition monitoring and diagnostic engineering management*. Intellecta Docusys. Göteborg.

Artiklar

Econom, L. & Johnson, D. (2002) Managing the Life-Cycle of Your Reliability, Program to Keep It On Track. *SKF News*. 1-877-SKF News.

Yam, R. C. M. et.al. (2001) *Intelligent Predictive Decision Support System for Condition-Based Maintenance*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2001:17:283-391.

Elektroniska källor

www.tetrapak.com, 050203

www.reliabilityweb.com, 050120

neworbis.tetrapak.com/, Tetra Paks intranät, 041203

www.idp.mdh.se/forskning/amnen/produktprocess/projekt/cbm/publikationer/andrandet%20av%20tbu.pdf, 041205

www.plant-maintenance.com/articles/CBM-Survey-results.pdf, 041206

Muntliga källor

Al-Najjar, Basim. Professor i systemekonomi. Växjö universitet.

Andersson, Christer. Engineering & Development. Homogenization & High Pressure Pumping. Tetra Pak Processing Components AB.

Carlsson, Rikard. TB3 Webcom & Customer Tech Info Platform. Tetra Pak Technical Service AB.

Carlsson, Tomas. Engineering & Development. Homogenization & High Pressure Pumping. Tetra Pak Processing Components AB.

Evander, Dick. Marketing. Homogenization & High Pressure Pumping. Tetra Pak Processing Components AB.

Johansson, Claes-Göran. Engineering & Development. Homogenization & High Pressure Pumping. Tetra Pak Processing Components AB.

Jönsson, Henrik. XD 71 Innovation & Industrialization. Tetra Pak Dairy & Beverage Systems AB.

Karlsson, Lennart. Plant Automation. Tetra Pak Processing Systems AB.

Larsson, Fredrik. SKF. Condition Mointoring

Malmberg, Rolf. Engineering & Development. Homogenization & High Pressure Pumping. Tetra Pak Processing Components AB.

Nilenfelt, Mikael. TB11 Maintenance Project. Tetra Pak Technical Service AB.

Persson, Lars-Göran. Engineering & Development. Homogenization & High Pressure Pumping. Tetra Pak Processing Components AB.

Rosenius, Margareta. Manager. Marketing. Homogenization & High Pressure Pumping. Tetra Pak Processing Components AB.

Svensson, Rickard. Plant Automation. Tetra Pak Processing Systems AB.

Valtersson, Lars. XD 71 Innovation & Industrialization. Tetra Pak Dairy & Beverage Systems AB.

Wendestam, Nils. Manager. Engineering & Development. Homogenization & High Pressure Pumping. Tetra Pak Processing Components AB.

Ölund, Åke. Manager. Technical & Developpment. Centrifugal Separation. Tetra Pak Processing Components AB.

Bilaga 1 - Feleffektanalys

En teknisk och ekonomisk analys av tillståndövervakning

Benämning		Utvärdering		Gärskand av		VÄRDERING	
Funktion		Datum		Kontrolldag		Pa S Pd	
OPERATION		FELKARAKTERISTIK		Felfeffekt		Pa S Pd	
Nr	Marktyp	Detaljmarktyp	Feltyp	Felorsak	Felfeffekt	Pa	S Pd
1	a, b, c	Motor	Överhettning	Dålig kylning	Motor stannar	6	9 3 162
				För stor belastning	Motor stannar	3	6 7 126
				För hög omgivningstemp.	Motor stannar	4	9 3 108
				För liten motor	Motor stannar	3	6 7 126
2	b, c	Kuggar i växellåda	Onormalt slitage	Nötning	Dålig drift	4	6 6 144
				Utmattning	Haveri	3	6 9 162
3	b, c	Ingångsaxlar i växellåda	Brott	Kraftspik på grund av för lågt inloppstryck	Haveri, följdfel	8	6 7 336
4	b, c	Kopparrör för kylning i växellåda	Årgar sönder	Högt flöde, årmen i vatten	Kommer kylvatten i lollan	6	8 8 384
5	b, c	Olja i växellåda	Onormalt slitage	Partiklar i oljan	Förstörda kullager	5	6 5 150
6	b, c	Oljenivå i växellåda	Onormalt slitage	Dåligt påfyllt, läcka	Haveri	5	6 5 150
7	b, c	Oljetemp. i växellåda	Onormalt slitage	Dålig kylning	Haveri	5	6 5 150
8	b, c	Lager i växellåda	Onormalt slitage	Dålig smörjning	Försämrad drift, haveri	6	6 9 324
				Vibrationer	Försämrad drift, haveri	6	6 9 324
			Ytutmattning	Dålig smörjning	Försämrad drift, haveri	6	6 9 324
			Skallning	För stor axellast	Försämrad drift, haveri	6	6 9 324
				Felaktig montering	Försämrad drift, haveri	6	6 9 324
			Smetning	Glidande rullkroppar	Försämrad drift, haveri	6	6 9 324
				För låg viskositet i oljan	Försämrad drift, haveri	6	6 9 324

En teknisk och ekonomisk analys av tillståndövervakning

Benämning		Utvärld av		Gedkänd av		VÄRDERING			
Funktion		Datum		Kontrollidag		P ₀ S P ₄			
OPERATION		FELKARAKTERISTIK		Felteffekt		P ₀ S P ₄			
Nr	Maskintyp	Duall/maskin/pressor	Feltyp	Felorsak	Fel-effekt	P ₀	S	P ₄	PRN
9	b,c	Oljekvalitet i växelåda	Siltage på lager	Intryckningar av partiklar	Försämrad drift, haveri	6	6	7	252
			Siltage på kuggar	Nötning	Försämrad drift, haveri	6	6	7	252
				Brott	Haveri	6	6	7	252
10	a,b,c	Oljenivå i vevhus	Försämrad smörjning	Läckage	Ökat siltage, Haveri	4	6	6	144
				Dålig tyllnad	Ökat siltage, Haveri	4	6	6	144
11	a,b,c	Kopparrör för kylning i vevhus	Ärgar sönder	Högt töde, ännen i vatten	Kommer kylvatten i oljan	3	4	4	48
12	a,b,c	Rullager i vevhus	Siltage	Dålig smörjning	Försämrad drift, haveri	2	6	8	96
				Fel monterat	Försämrad drift, haveri	2	6	8	96
				Vibrationer	Försämrad drift, haveri	2	6	8	96
				Fel belastning	Försämrad drift, haveri	2	6	8	96
			Sprickor	Fel belastning	Försämrad drift, haveri	2	6	8	96
			Ytutmatning	Dålig smörjning	Försämrad drift, haveri	2	6	8	96
			Smethning	Glidande rullager	Försämrad drift, haveri	2	6	8	96
				För låg viskositet	Försämrad drift, haveri	2	6	8	96
13	a,b,c	Glidlager	Siltage	Fel monterat	Sämr drift, haveri	3	6	8	144
				Dålig smörjning	Sämr drift, haveri	3	6	8	144
				Fel åtdragningsmoment	Sämr drift, haveri	3	6	8	144
									0
									0

En teknisk och ekonomisk analys av tillståndövervakning

Benämning	Utvärld av	Gedkänd av	VÄRDERING	
			P _a	P _d
Funktion	Datum	Kontrollidaq	VÄRDERING	
OPERATION		Felersak	P _a	P _d
Nr	Maschintyp	Dosallfmarhinhressoz	Fel-effekt	FRN
FELKARAKTERISTIK				
		Feltyp		
14	a,b,c	Kolvar	Dålig smörjning	6 6 7 252
			Fel belastat	6 6 7 252
			Går snett, vinkel fel	6 6 7 252
			Sittande produkt	6 6 7 252
			Fel vattenkvalitet (hårt vatten)	6 6 7 252
15	a,b,c	Kolvätningar	För högt tryck	8 6 6 288
			Nötning från kolv	8 6 6 288
			Sittande produkt	8 6 6 288
			Luft i produkten	8 6 6 288
16	a,b,c	Ventiler	Sittande produkt	6 6 7 252
			Läckage	6 6 7 252
			Luft i produkten	6 6 7 252
			Kavitation	6 6 7 252
17	a,b,c	Homogeniseringshuvud	Material fel	4 7 5 140
			För stora påkänningar	4 7 5 140
			Kantslitage	6 6 6 216
			Luft i produktion	6 6 6 216
			Kavitering	6 6 6 216
				0
				0

En teknisk och ekonomisk analys av tillståndövervakning

Benämning		Utvärld av																	
Funktion		Datum																	
OPERATION		FELKARAKTERISTIK	Felorsak	Felfeffekt	Kontrollåtg														
Nr	Maskintyp	Driftinformation	Feltyp	Felorsak	Felfeffekt	Kontrollåtg													
18	a,b,c	Inloppsventilen	Inget kylvatten	läcka	Dålig kylning olja, dålig viskositet														
				Ingen tillförsel av vatten	Dålig kylning olja, dålig viskositet														
					Ingen kölv spolning eller kylning av kondensat														
19	a,b,c	Dämpare	Full med produkt	Full med produkt	Vibrerar, kraftspikar, haveri														
20	a,b,c	Rör	Löst i infästning	Dåligt monterat	Läckage produkt														
				Trasigt	Läckage produkt														
21	a,b,c	Lågt inloppstryck	Kavitation och kraftspikar	Fel från tidigare utrustning	Ventilen och homogeniserings- huvud silts, kolvtätningar kort livslängd														
				Läckage	Läckage av produkt														
22	a,b,c	Hydraulikaggregat	Tappars trycket	Låg oljenivå	Dålig homogenisering														
				Trasig säkerhetsventil	Dålig homogenisering														
				vatten i oljan, låg viskositet	Dålig homogenisering														
				Hög temp oljan, låg viskositet	Dålig homogenisering														
				Pump trasig	Dålig homogenisering														
				Axelkoppel sönder	Dålig homogenisering														

Maskininfo

a = TA 5, TA 15, TA 2

b = TA 20, TA 25, TA 30

c = TA 350, TA 400

Kriterier för bedömning av felintensitet (Po)	Värdering
Osannolikt att fel kan uppträda	1
Mycket liten sannolikhet för fel	2-3
Låg sannolikhet för fel	4-5
Viss Sannolikhet för fel	6-7
Hög sannolikhet för fel	8-9
Mycket hög sannolikhet för fel	10

Kriterier för bedömning av allvarlighetsgrad (S)	Värdering
Ingen inverkan på produkten	1
Ringa inverkan på produkten	2-3
Risk för störd funktion	4-6
Risk för utebliven funktion	7-9
Stor risk för utebliven funktion	10

Kriterier för att upptäcka indikationer som kan leda till personskada eller haveri/stillestånd (Pd)	Värdering
Indikationer till fel upptäcks alltid	1
Ganska stor sannolikhet för upptäckt	2-4
Viss sannolikhet för upptäckt	5-7
Liten sannolikhet för upptäckt	8-9
Osannolikt att indikation till felet upptäcks	10

Bilaga 2 – Ekonomiska beräkningar

Payback analys vibrationsmätning: Rullager, kuggar och lager i växellåda

Utrustning: ca 5 givare

Pris/givare: ca 6000 Kr

Pris för utrustning: ca 30 000 Kr

Försäljnings pris Tetra Pak: ca 45 000 Kr

Utvecklingskostnader Tetra Pak (Provning, larmgränser, ändrig i konstruktion, ritningar, kvalitetssäkring mm): ca 500 000 Kr

Antal sålda system per år: ca 3 (Eftersom efterfrågan idag inte är så stor)

Payback: $500\,000 / (3 * 15\,000) = 11.1$ år

Kostnad stillestånd på grund av lager- eller växellådehaveri: ca 500 000 Kr

Inträffar kanske: 1 gång på 10 år

Alternativ 1: Kostnad att ta hand om mätdata via konsult: ca 200 000 Kr/år

Alternativ 2: Kostnad om Tetra Pak har personal som kommer ut en gång per vecka och genomför mätningar med handburen utrustning: ca 300 000 Kr/år

Alternativ 3: Att kunden sköter mätningarna själva och sätter larmgränser vilket kräver utbildning av personal och tid till analys av data: ca 100 000 Kr/år

Livslängd Homogenisator ca 12 år

Kostnad Alex 400: ca 1 500 000 Kr

Kostnad Alt 1: $(12 * 200\,000 + 45\,000) - 500\,000 = 1\,945\,000$

Kostnad Alt 2: $(12 * 300\,000 + 45\,000) - 500\,000 = 3\,145\,000$

Kostnad Alt 3: $(12 * 100\,000 + 45\,000) - 500\,000 = 745\,000$

Det skall tilläggas att detta är bara om ett haveri uppstår på grund av att växellåda eller ett lager går sönder och det är väldigt sällsynt.

Övervakning för att förlänga serviceintervaller på lager och kuggar

Rullager i vevhuset byts efter 60 000 timmar vilket innebär att de endast byts mellan 1 till 2 gånger per maskin. Ett rullager kostar ca 40 000 kr och det finns fyra i maskinen. Att minska ett sådant byte skulle kanske kunna spara kunden 160 000 kr + arbete men det kommer ändå inte i närheten av vad det kostar att övervaka. Det är inte heller säkert övervakning skulle kunna minska antalet lager byten då det kanske ändå bara genomförs ett byte och om det är efter halva maskinens livslängd eller två tredjedelar av maskinens livslängd spelar ingen roll.

När det gäller lager i växellåda och kuggar så byts dessa aldrig förutom vid haveri vilket nästan aldrig inträffar och då byts hela växellådan. Men det blir helt för dyrt att övervaka med tanke på hur ovanligt det är med fel.

Övervakning av oljekvalité och glidlager

Givare för partikelräkning: ca 100 000 Kr

Glidlager kostar 2437 Kr/st, det finns 5 st som byts med intervaller om 24 000 timmar och varje byte tar 6 timmar. Eftersom det är väldigt ovanligt att en maskin havererar på grund av att glidlager går sönder så skulle man kunna misstänka att dessa byts med god marginal tills det att de skulle ha gått sönder. Därför skulle det vara intressant att övervaka för att kunna förlänga bytes intervallerna. Övervakning skulle kanske kunna leda till 2 minskade byten det skulle innebära en besparing för kunden på 24370 kr + 12 timmar arbetstid = ca 35 000 kr vilket inte är i närheten av de 100 000 Kr som utrustningen kostar.

Det som går att göra är att lämna in ojeleprov till labb undersökning hos oljebolag som t ex shell för att ta reda på oljans kvalité och partiklarna i den mm men detta ligger utanför Tetra Paks utvecklingsarbete.

Givare för vatten i oljan: ca 10 000 Kr

Konduktivitetsgivare: ca 8000 Kr

Givaren är dyr och skulle det komma vatten i oljan så stiger nivån i vevhuset och en nivågivare är betydligt billigare. Skulle priset minska så är det kanske intressant men idag är givaren för dyr. Detta gäller även konduktivitetsgivare som skulle kunna upptäcka vatten i oljan.

Kolvar och Packningar

Konduktivitetsgivare: ca 8000

Eftersom det relativt ofta kan uppstå läckage så är det önskvärt att ha koll på detta utan att behöva stå vid maskinen. Givaren är inte jätte dyr och önskar kunden att kunna övervaka maskinen från ett kontrollrum så varför inte.

Inloppstryck

Tryckgivare: ca 3000 – 4000 Kr

Eftersom ett för lågt inloppstryck kan leda till stora skador på maskinen som kostar mycket mer än en tryckgivare som kan förhindra detta så bör man använda en sådan.

Relativt låga kostnader för Tetra Pak att införa givaren på maskinen.

Kylvatten

Flödesvakt eller flödesgivare: ca 500 - 9000 Kr

Eftersom givaren är billig i förhållande till kostnaderna som uppstår om man kör utan kylvatten så är det helt klart värt investeringen.

Låga kostnader för Tetra Pak att införa givaren på maskinen.

Homogeniseringstryck och Hydraultryck

Tryckgivare: ca 3000-4000 Kr

För att mäta detta krävs 2 tryckgivare och ett enkelt dataprogram som kan hålla reda på förhållandet mellan dessa. Priset för utrustning blir ca 8000 Kr och utvecklingskostnader och provning för Tetra Pak blir mellan 100 000 – 200 000 Kr. Tetra Pak skulle kunna sälja detta övervaknings system inklusive programvara för 15 000. Det skulle kanske gå att sälja mellan 5 och 10 system per år.

Payback: $150\ 000 / (7000 * (5 \text{ till } 10)) = 2.1-4.3 \text{ år}$

Kunden sparar snabbt in de 15 000 Kr om ett fel skulle kunna undvikas eller om man kan undvika att köra maskinen med försämrad homogeniseringsgrad.

Ventiler

Flödesgivare: ca 9000 Kr

För utveckling av dataprogram och testning av utrustning ca 100 000 Kr.

Kostnad till kund 15 000 Kr.

Antal sålda system per år: 5-10 st

Eftersom som maskinen tappar i kapacitet om ventilerna felar och detta är svårt att upptäcka så är inte 15 000 Kr mycket för att hålla koll på detta i 10 till 15 år.

Payback: $100\ 000 / (6000 * (5 \text{ till } 10)) = 1.7-3.3 \text{ år}$

Bilaga 3 – Mätmetoder och givarens uppbyggnad

Mätning av rotationshastighet

För mätning av rotationshastighet kan man använda stroboskop. Detta är ett blixtaggregat där blinkfrekvensen noggrant justeras tills dess att den rörelse som belyses synes stå stilla. Det är blinkfrekvensen som anger varvtalet. Rotationshastighet går även att mäta med elektroniska räknare och mekaniska mätare. Vid mätning med elektronisk räknare fäster man en reflekterande tejp på axeln. Reflektionen från tejp registreras i ett instrument och varvtalet går att läsa av direkt på en display. Genom att koppla två elektriska varvräknare i en differentialekrets och läsa av skillnaden i varvtal så går det att avläsa slirning och varvtalsskillnader. Mekanisk mätning sker direkt mot axeln och resultatet avläses direkt på en skala.

Mätning av vridmoment

Det finns både portabel och fast utrustning för att mäta vridmoment. Båda två klarar av att mäta vridmomentet hos en axel. Genom att induktionsspolar känner av den av vridningen orsakade ändringen i axelns magnetostriktion så går det att kontaktlöst läsa av vridmomentet i alla stålaxlar. Utan att behöva demontera dessa.

Mätning av vibrationer

Det har visat sig att mätningen av vibrationer är en av de effektivaste parametrarna att mäta vid tillståndsövervakning. Fördelen med denna metod är att den i ett mycket tidigt skede kan ge information om något är på väg att hända. Portabel analysutrustning används främst inom processindustrin.

Stötpulsmetoden (SPM) har under många år används för att övervaka rull- och kullager. Givaren för detta är uppbyggd kring en piezoelektrisk accelerometer och arbetar vid resonansfrekvensen 32 kHz. Givaren är ansluten till en adapter där larmgränser går att ställa in.

Det är viktigt att vid montering av givare att dessa placeras så att de inte störs av annan utrustning och att larmgräns ställs in på ett sådant sätt att falsklarm inte inträffar.

Den utrustning som monteras på maskinerna idag har bredbandig vibrationsmätning med frekvensanalys och bredbandig acceleration mellan 2 och 20 kHz. Genom att täcka ett betydligt större frekvensomfång så kan utrustningen detektera begynnande skador väldigt tidigt. För en korrekt analys av mätvärdena krävs både teoretisk och praktisk kunskap.

Flertalet av de förändringar som kan uppstå i en maskin, mekaniskt och elektroniskt, ger upphov till förändringar av vibrationer. Här är några exempel på faktorer som kan ge upphov till förändringar av vibrationer:

Rotorer

- Obalans
- Lösa delar
- Böjd axel
- Sprickor
- Iskärningar mot fasta delar
- Uppriktningsfel
- Förlust av rotordelar

Glidlager

- Lagerinstabilitet, whirl och whip beroende på för låg lagerlast i förhållande till lagerspelt och smörjning.

Rullager

- Uppriktningsfel (montagefel)
- Dålig smörjning
- Slitage
- Skador på rullar, rullytor
- Sliten rullhållare

Växlar

- Kuggskador, slitage
- Excentricitet
- Obalans
- Uppriktningsfel (montagefel)

Elektriska maskiner

- Exentrisk rotor
- Feluppriktat luftgap
- Rotorstavbrott
- Osymmetriska lindningar (lindningsfel, anslutningsfel)

Genom vibrationsövervakning kan kostnader för underhåll många gånger reduceras. BP-raffinaderiet i Göteborg utförde tidigare traditionellt underhåll på sina pumpar. Normalt hade de ca 40 haveri på pumparna per år. Efter införandet av vibrationsövervakning gick haverierna ner till noll och det gick även att skära ner på det förebyggande underhållet eftersom de direkt kunde se vilket skick pumparna befann sig i. De sparade 1 miljon i underhållskostnader och en halv miljon i personalkostnader per år.

Vid kartläggning av en maskin krävs ofta en hel del mätningar. Dessa mätningar är frekvensanalyser i tre olika vinkelräta riktningar på alla lager eller lagerliknade

punkter. Mätpunkterna bör helst ligga i maskinens symmetriktningar respektive delningsplan. En del olika fel har snarlika symtom och en säker identifiering kräver ofta ett gott samarbete med de som dagligen arbetar med maskinen.

Mätning av ljud

För mätning av ljud finns det akustiska givare som vanligtvis är elektromagnetiska mikrofoner som tar upp de vibrationer som transporteras i luften eller i konstruktionerna. De kan känna av olika frekvenser inom det hörbara området och ultraljudsområdet. Det förekommer på vissa givare även att avstämbart filter så att vibrationens storlek för varje frekvens kan avläsas.

Det förekommer även ljudnivåmätare som mäter den genomsnittliga ljudenergin i decibel inom olika frekvensområden.

Mätning av temperatur

En termistor består av ett litet känselement vars resistans visar stor variation med temperaturen. Känsligheten kan registrera upp till delar av en grad och den ger snabba utslag. Det finns även infraröd temperaturmätare som känner av den IR-strålning som varje uppvärmt objekt utstrålar. Detta pistolliknande instrument anger omedelbart temperaturen på en liten fläck på flera meters avstånd. Instrumentet kan läsa av temperaturer från +50 till +4000°C.

Temperaturkänsliga kriterier, färger, tabletter, lappar används för att se så att inte utrustning överskrider viss temperatur. Föremålen blir oförändrade till dess att en viss temperatur uppnås, då sker en färgväxling eller att föremålet smälter. När temperaturen går ner igen så kvarstår färgen. Detta är en väldigt billig men säker metod.

Oljespektrometrisk analys

Då rörliga delar i en maskin kommer i kontakt med varandra bildas friktion och slitage. Genom smörjning minskas slitaget, men mikroskopiska metallpartiklar kommer alltid att slitas av från materialen och blandas med oljan.

Genom att spåra förekomsten av olika grundämnen i oljan så går det att se vilka delar i systemet som håller på att gå sönder.

Oljeprover tas ofta efter i förväg bestämda intervaller. Vid provtagningen används en speciell provtagningsflaska. Mängden av olika grundämnen i oljan mäts av en atomabsorptionspektrofotometer i P.P.M (Parts Per Million), dvs. 1/1000 promille eller

antal viktdeklar grundämne per million viktdeklar olja. Det finns även givare som kan räkna antalet partiklar i oljan och ge larm när antalet ökar.

Sensorer och givare

Enligt Fraden (1996) så kan en sensor definieras som ”*en anordning som tar emot en signal eller stimuli och svarar med en elektrisk signal*”. Ordet sensor är amerikanskt och synonymt med det svenska ordet givare.⁷³ En givare i sig fungerar inte på egen hand utan är alltid en del av ett datainsamlingsystem vilket i sin tur ofta utgör en del av ett större övervakningssystem.⁷⁴ När en ingenjör skall välja lämpliga givare för övervakning måste han/hon alltid ställa sig frågan – ”Vilket är det enklaste sättet att upptäcka stimuleringen utan att det skall utgöra någon form av degradering av den övergripande systemfunktionen?”.

Varför skall man använda sig av givare? Vad är det som gör att en givare är så mycket bättre än en människa? Nedan följer några argument för att använda givare enligt Andersson och Winkler (2000).

Argument för att använda givare är att de:

- kan mäta saker som inte en människa klarar av
- är mer tillförlitliga och exakta än vad människor är – en människa gör alltid en subjektiv bedömning
- kan mäta i farliga och svåråtkomliga miljöer
- arbetar med hög hastighet
- inte blir trötta eller omotiverade
- kan göra monotona eller övervakande uppgifter till låg kostnad.

Det finns även ett antal krav eller önskemål man bör ställa på en givare enligt Andersson och Winkler (2000). Beroende på arbetsuppgiften och miljön skall den uppfylla kraven att vara:

- robust och pålitlig samt ha lång livslängd
- okänslig för svåra förhållanden, t ex höga temperaturer
- skonsam mot produkten när den utför mätningen
- hygienisk och lätt att rengöra
- steriliserbar
- billig
- enkel att integrera i en elektrisk krets

⁷³ Lindahl P-E, Sandqvist W, *Mätgivare* (1996)

⁷⁴ Fraden J, *Handbook of modern sensors* (1996)

- enkel att kalibrera, underhålla och använda
- snabb och kapabel att utföra realtidsmätningar
- miljö- och människovänlig.

Eftersom kraven på givaren varierar beroende på tillämpning bör ovanstående lista ses som exempel på viktiga egenskaper hos en givare. Att hitta en givare som uppfyller alla dessa kriterier till fullo är troligen omöjligt. Problemet idag är ofta att hitta givare med rätt prestanda och pris.

Givarens uppbyggnad

En givare kan beskrivas som bestående av tre funktionsblock⁷⁵ (se Figur 4.2) avkännare, givarelement och inre signalbehandlingskrets.

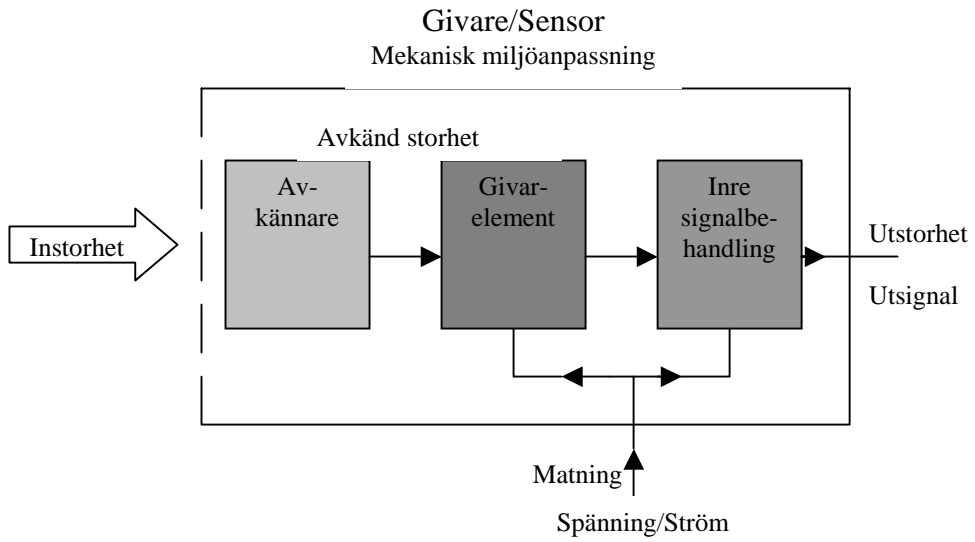
Avkännare är den del som påverkas direkta av instorheten. Den har som uppgift att omvandla den fysiska instorheten till en sådan form att den kan omvandlas till en elektrisk signal. I en tryckgivare kan avkännaren t ex vara ett membran som deformeras i proportion till trycket.

I **givarelementet** omvandlas avkännarens utstorhet till en elektrisk storhet. Det krävs här någon elektronisk komponent som är utförd så att dess karateristiska egenskap, såsom t ex emk eller resistans, är beroende av den fysiska storhet som påverkar avkännaren.

Den **inre signalbehandlingskretsen** är direkt ansluten till givarelementet och består av elektronisk utrustning. Det kan vara förstärkare eller liknade som kan behövas för att man skall få en användbar utsignal.

Givaren kan vara omsluten av ett hölje som skyddar de tre funktionsblocken mot den omgivande miljön, en **mekanisk miljöanpassning**.

⁷⁵ Lindahl P-E, Sandqvist W, *Mätgivare* (1996)



Mätgivarens blockschema