

JERNKONTORETS FORSKNING

Järn- och stålframställning

Underhåll och driftsekonomi

Jernkontorets utbildningspaket – del 5

Detta kapitel i Jernkontorets utbildningspaket bygger på ABB Handbok Industri och har sammanställts av Bergsingenjör Hans Gillberg och Civilekonom Niklas Brodd



Förord

Jernkontorets utbildningspaket är ett läromedel i tolv delar som täcker hela produktionskedjan vid stålframställning.

Utbildningspaketet vänder sig i första hand till anställda vid stålföretagen, elever vid gymnasie- och högskolor samt stålföretagens kunder.

Läromedlet är författat av experter inom nordisk stålindustri.

Delar av paketet har reviderats.

Utbildningspaketet omfattar följande områden:

Del	Titel	Senaste utgåva
1	Historia, grundläggande metallurgi	2016
2	Malmbaserad processmetallurgi	2000
3	Skrotbaserad processmetallurgi	2000
4	Skänkmetallurgi och gjutning	2000
5	Underhåll och driftsekonomi	2001
6	Analytisk kemi	1996
7	Energi och ugnsteknik	1997
8	Bearbetning av långa produkter	2015
9	Bearbetning av platta produkter	2015
10	Oförstörande provning	2007
11	Olegerade och låglegerade stål	1996
12	Rostfritt stål	2015

Detta kapitel i Jernkontorets utbildningsserie bygger på ABB Handbok Industri och har sammanställts av Bergsingenjör Hans Gillberg och Civilekonom Niklas Brodd

KAPITEL 5

UNDERHÅLL I JÄRN- & STÅLINDUSTRIN

Inledning	2
Underhållets Ekonomiska Betydelse	4
Framgångsrika underhållsstrategier och utvecklingstendenser	7
Livscykelkonceptet	11
Ekonomimodeller för driftsäkerhet och underhåll	12
Produktions- och kapitaleffektivitetens beroende av underhållet	15
Driftsäkerhetsteknik	19
Underhållsmetoder	21
Reservdelar	25
Planering, styrning och uppföljning	32
Egna eller köpta underhållsresurser	37
Underhållsmetoder i praktiken	39



Inledning

Alla är överens om att service och underhåll är självklara åtgärder för att trygga anläggningarnas långsiktiga funktion. De flesta erfarna konstruktörer och servicemän är också medvetna om att många driftstörningar och -avbrott grundlagts redan under projekterings- och konstruktionsfaserna. Alla har dock inte fullföljt tankekedjan genom ett konsekvent "Life Cycle Cost and Profit" –tänkande.

På samma sätt förhåller det sig när det gäller de ekonomiska konsekvenserna av mer eller mindre effektivt underhåll och hög driftsäkerhet.

Det är inte bara de iögonenfallande direkta underhållskostnaderna som har betydelse utan också de förlorade intäkterna på grund av produktionsbortfall samt de indirekta underhållskostnader, t.ex. övertid, energi, kassationer och skrotfall, som uppkommer på annat håll i verket.

Som bakgrund till ett mera totalekonomiskt servicearbete måste man därför se driftsäkerheten och underhållet med verkets huvudinriktning och lönsamhetskriterier för ögonen.

Nya synsätt på service- och underhållsarbete

Vanligen förknippar vi följande egenskaper med tekniskt underhåll:

- Underhållets säkerhetsfrämjande betydelse, dvs minskad risk för skador på person och material.
- Underhållets resursutnyttjande och produktionsbefrämjande betydelse, dvs ökad realkapitalutnyttjning och stigande produktionsvolym
- Underhållets livslängdsökande betydelse, dvs ökade serviceintervall och längre teknisk/ekonomisk livslängd före utbyte av komponent eller maskin.
- Underhållets kostnads- och intäktskonsekvenser, dvs allt underhåll kräver resurser och kostar pengar, men kan också öka intäkterna t ex genom förbättrad tillgänglighet och ökad kvalitet.

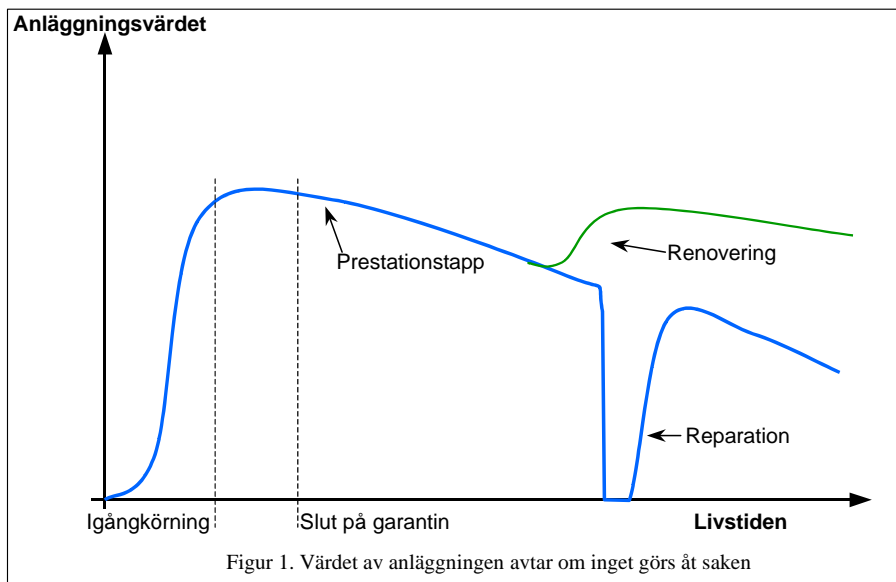
Förr betraktade man ofta service och underhåll som något nödvändigt ont, som bara kostade pengar och störde verksamheten. Idag ser man att dessa aktiviteter, insatta i sitt sammanhang i företaget, inte är en belastning utan i hög grad kan bidra till ökad produktivitet och lönsamhet.

Ett antal principiella modeller har utvecklats för att belysa detta. I det följande presenteras några av de grundläggande synsätten.

Underhållet i produktionssystemet

Stålprodukterna måste ha en kvalitet och fylla ett behov som gör att deras marknadspris minst förmår täcka kostnaderna för produktion, marknadsföring och investeringar. Ett överskott är också nödvändigt bl a för att utveckla nya produkter samt förnya och förbättra produktionsutrustningen. Därutöver krävs vanligen också en vinst som kan locka till sig det kapital som behövs för att expandera och finansiera verksamheten.

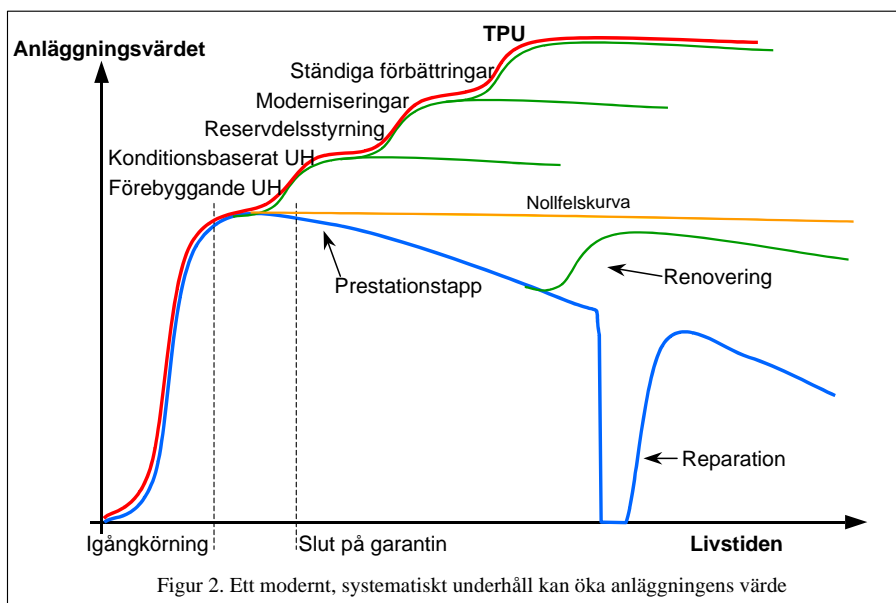
När man anskaffar en anläggning, t ex en ny ugn, tar det en tid innan den har det värde för produktionen som gjorde att den köptes. Sitt fulla värde når den efter igångkörning och intrimning. Därefter avtar värdet successivt med tiden. Ofta kan man under en kortare tid tolerera en viss nedgång i kapacitet och funktion, men vid nedre toleransgränsen måste utrustningen ses över och renoveras. Annars kanske ett större haveri riskeras, figur 1.



Försämringen av kapacitet beror vanligen på slitage eller tidens tand (korrosion mm). För elektronisk utrustning är det dock oftare ett "burn in"-test än drifttid som avgör komponentens egenskaper.

Det normala är att försämringarna beror på flera, ofta samverkande faktorer. Hit hör inte endast tid och produktionsmängd utan också miljö, skötsel, underhåll, utnyttjning, överbelastning etc.

Genom ett modernt, genomtänkt och systematiskt underhåll kan utvecklingen mot allt sämre prestanda motverkas och t o m en kontinuerlig förbättring uppnås, figur 2.



De nödvändiga ingreppen förorsakar;

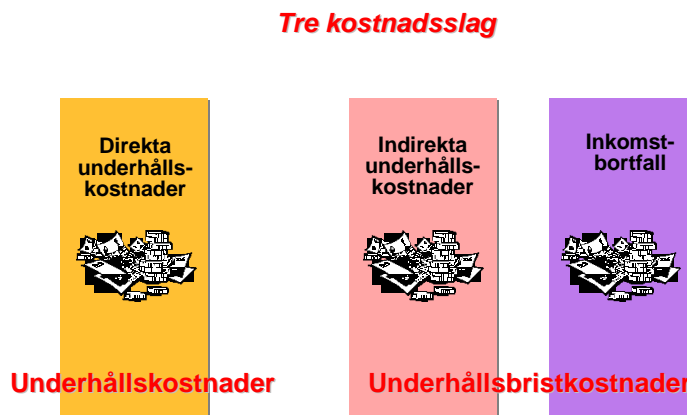
- Service- och underhållskostnader i form av rengöring, smörjning, inspektion, tillståndskontroll, renovering, felsökning, reparation och ibland ombyggnad
- Indirekta kostnader som kan hänföras till brister i underhåll och säkerhet
- Intäktsförluster för leveransbortfall under stopptiden för underhållet.

Underhållets Ekonomiska Betydelse

Underhållets kostnader och intäkter

De totala underhållskostnaderna är inte enbart de som redovisas inom underhållsavdelningen. Man brukar numera tala om tre olika typer av underhållskostnader, figur 3:

1. Direkta underhållskostnader = de kostnader som traditionellt redovisas som underhållskostnader
2. Indirekta kostnader = kostnader som påverkas av underhållet men som uppkommer på andra ställen i verket, t ex kassationer eller övertidsarbete för att ta igen förlorad produktion
3. Uteblivna/tappade intäkter = minskad försäljning beroende på stopp eller felaktig kvalitet pga brister i underhållet eller otillräcklig driftsäkerhet.



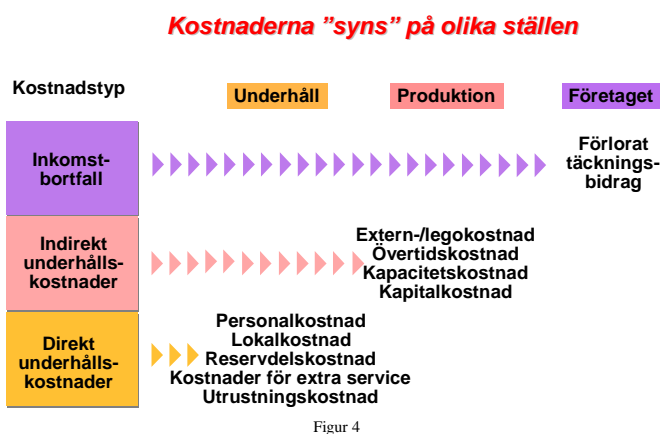
Det är inte säkert att alla enheter i företaget är medvetna om de olika kostnaderna. Oftast är de indirekta kostnaderna och inkomstbortfallet dolda. Alla berörda har dock i allmänhet god kunskap om de direkta kostnaderna. Därför är det inte ovanligt med ett överdrivet fokus på just dessa.

I figur 4 visas grovt var kostnaderna syns och vad de består av.

De direkta underhållskostnaderna är ju uppenbara och framgår tydligt i underhållsavdelningarnas redovisning och rapporter. Med kostnader för extra service avses t ex inkallande av, oftast externa, resurser i samband med storstopp och ombyggnader.

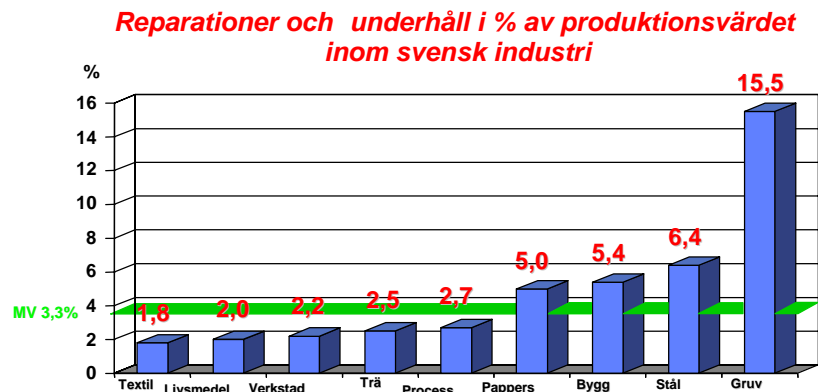
De indirekta kostnaderna syns förvisso, men då i produktionsenheternas redovisning. De kan t ex vara kostnader för att man måste leja extern personal för att skära skrot, övertidskostnader för att helslipa ämnesytor, kostnader för returkörning eller kapitalkostnader för att ha reservkapacitet tillgänglig. Oftast sätts dessa kostnader inte i samband med underhållet.

Det förlorade täckningsbidraget kan t ex bero på att man saknar stål att sälja eller att man måste sälja mer sekunda. I extremfallet kan man förlora kunder och marknadsandelar. Det är inte heller här vanligt att koppla ihop dessa förluster med underhållet.



Underhållskostnadernas storlek i järn- & stålindustrin

Undersökningar har visat att de direkta underhållskostnaderna utgör 6,4 % av stålindustrins omsättning, figur 5. Det har också visats att de indirekta kostnaderna är minst lika höga, så i realiteten ligger kostnaderna för underhåll - eller bristande underhåll - runt 13-14 % av stålets saluvärde. Med en snäv definition av stålindustri har de svenska bruken en omsättning på 45 miljarder. Det betyder att vi lägger ned omkring **sex miljarder kronor** på underhåll av den svenska stålindustrins anläggningar.



Figur 5

Underhållets betydelse i olika processled

Underhållets betydelse varierar givetvis beroende på produkter och processer. Det är ganska stor skillnad mellan t ex stålverkets och trädrageriets underhållsbehov. Det är många variabler som styr. Några av de viktigaste är:

1. Kapitalintensiteten – storleken av anläggningsinvesteringarna och automatiseringsgraden. I en mycket kapitalintensiv industri blir man extremt beroende av hög tillgänglighet och därmed ett effektivt underhåll.
2. Produktionssystem – seriellt produktionsflöde eller parallellt. Vid ett seriellt flöde kan ofta hela produktionen stanna upp om en enhet står still. Ett seriellt flöde är alltså mer beroende av snabbt underhåll än ett parallellt.
3. Tillverkningens art – tung, slitande eller lätt, skonsam produktion. En tuffare produktion kräver givetvis mer underhåll.
4. Driftform – kontinuerlig drift eller intermittent. Femsift kräver alert underhåll under hela dygnet och det finns få driftfria tidsfönster till underhållets förfogande.
5. Servicevänlighet – svårt eller lätt att underhålla. Om maskinerna är svåra att komma åt och befinner sig i en tuff miljö, ökar storleken av underhållsinsatserna.
6. Krav på kvalitetsförmåga. Det ställs allt högre krav på utrustningarnas kapabilitet med avseende på toleranser, renhet, finish etc och detta gör maskinerna mer komplexa med åtföljande krav på avancerat underhåll.
7. Möjligheter till buffertar och redundans. Ett sätt att hantera variationer i tillgänglighet och produktivitet är att buffra material mellan olika operationer. Det är oftast mycket dyrt men icke desto mindre vanligt. Ett annat sätt är att ha redundans i form av alternativa linjer eller maskiner. Om utrustningen är relativt billig, kan detta vara ett bra alternativ. Ett bra underhåll kan minska behovet av såväl buffertar som redundans.
8. Marknadsläget – hög eller lågkonjunktur – kvantitet eller precision. Vid högkonjunktur accentueras kravet att producera så många ton som möjligt – tillgänglighet och antal ton per timme blir viktigast. Under lågkonjunktur betonas oftare kraven på kvalitet, leveranstid och leveranssäkerhet. I båda situationerna spelar ett effektivt underhåll en avgörande roll.

De flesta enheter inom stålindustrin kännetecknas av hög kapitalintensitet, seriellt produktionsflöde, tung, slitande produktion och kontinuerlig drift. Dessutom är anläggningarna ofta svåra att underhålla och kraven på kvalitet ökar ständigt. Det är vanligt att arbeta med buffertar, vilket är mycket dyrt pga

materialvärdena, medan redundans sällan kan finansieras. Marknadsläget är oftast både och, dvs kunderna kräver både snabba leveranser och högsta möjliga precision.

Många bruk integrerar framåt mot kunderna med verksamhet som ofta kallas manufaktur och ju längre fram man kommit i processkedjan, desto mer liknar produktionen verkstadsindustrins. Där har då såväl arten som driftformen och servicevänligheten ändrats samtidigt som investeringsnivåerna minskat så att även viss överkapacitet kan löna sig.

Järn- & stålindustrin är alltså inte särskilt enhetlig sett i ett underhållsperspektiv. Det är därför svårt att tala generellt om hela branschen. Alla är dock eniga om att den som helhet är mycket krävande.

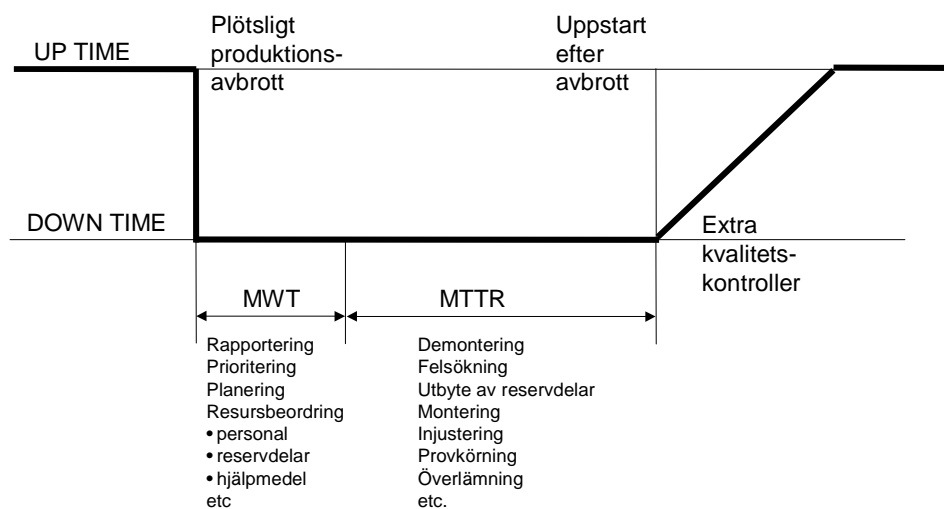
Underhållets betydelse för kvalitetsutfallet

När man strävar efter ökad produktions- och produktkvalitet finner man viktiga samband mellan driftsäkerhet/underhåll och kvalitet.

Som exempel kan vi tänka oss ett stångvalsverk där man av någon anledning drabbats av ett stopp. När problemen lösts och det är dags att starta upp igen, kan man inte komma upp i full produktion direkt. Oftast måste man köra både en och två och kanske flera bomheter för att få till alla inställningar. Dels gör man då sekunda eller skrot, dels kör man med lägre hastighet än den önskade. Det kan enkelt illustreras med diagrammet i figur 6.

Många stopp leder till många starter. Det betyder att kvalitetsutfallet är mycket beroende av hur ofta stopp inträffar. Ett eftersatt eller mindre bra underhåll leder alltså till försämrade kvalitet på färdigprodukterna.

I ett verk halverades stoppfrekvensen genom olika underhållsinsatser och det ledde till att kvalitetsindex - ett mått på verkets förmåga att pricka toleransintervallet - ökade med 23% och att kassationerna minskade med 18%.



Figur 6

Framgångsrika underhållsstrategier och utvecklingstendenser

Ökat behov av strategiskt fokus på underhåll

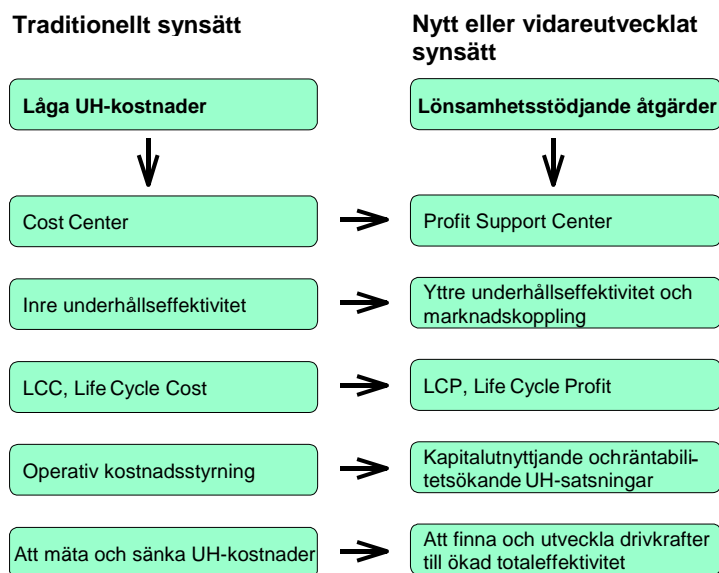
Det är inte svårt att inse att ett bruk som producerar med låg och kraftigt varierande effektivitet måste kompensera sig på annat vis än de som producerar med hög och jämn effektivitet. Företag med låg och varierande effektivitet tvingas därför bl.a. ha högre lager, lägre leveransprecision samt högre kostnader i form av extra investeringar, bemanning och kontroll. Produktionssäkerhet, dvs. stabil och planerbar effektivitet, är således en strategisk faktor för att bibehålla och öka lönsamheten.

Behovet av strategiskt arbete inom underhåll har dessutom ökat till följd av en allt snabbare förändringstakt i företagens omvärld. Följande förändringar har en direkt påverkan på underhållet:

- Nya produktions- och underhållsteknologier
- Ökande konkurrens och rationaliseringsbehov
- Snabba förändringar i produktionsvolymen
- Krav på minskad kapitalbindning
- Stigande kvalitetskrav
- Ökad konkurrens om välutbildad arbetskraft

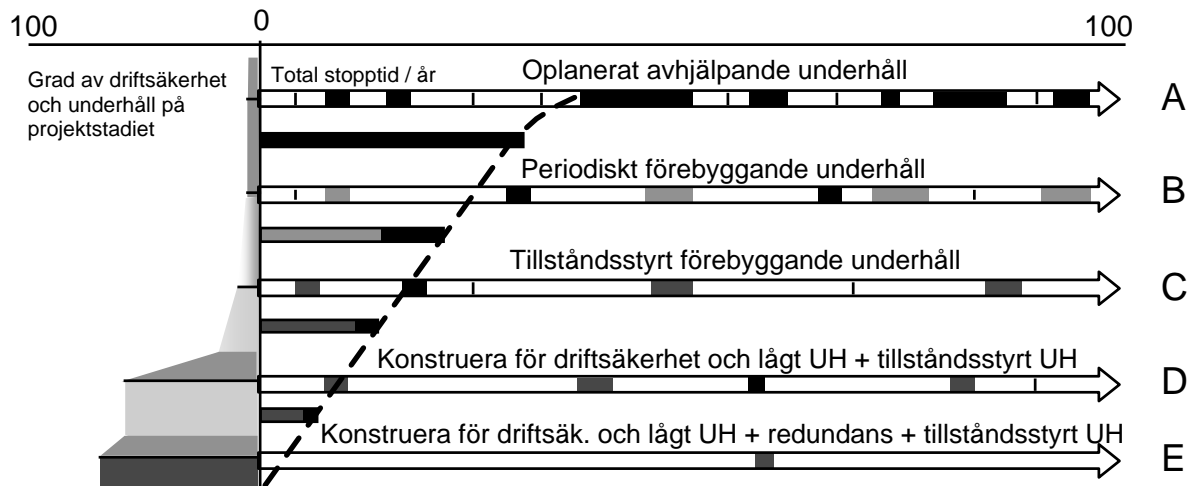
Allt mer utvecklade underhållsstrategier

Underhållets och driftsäkerhetens utveckling kan betraktas genom en återblick på hur man i framgångsrika företag ifrågasatt det traditionella synsättet och på punkt efter punkt i ersatt dem med nya synsätt som syftar mot mera totaleffektiva underhållsstrategier.



I en verklighet där förutsättningarna snabbt förändras är det viktigt att kunna eliminera så många osäkerhetsmoment som möjligt. Underhållsverksamheten betraktas ibland i dessa sammanhang som ett problemområde då verksamheten anses vara mindre planerbar. Främsta skälet till detta synsätt är naturligtvis att man inom många företag fortfarande riktar stor del av insatserna mot att avhjälpa redan inträffade fel. Om dessa fel dessutom har en produktionshinderande karaktär eller av andra skäl betraktas som akuta, blir underhåll en riktig brandkärsstyrka. Planerbarheten, dvs. tidsplanering av underhållets resurser blir då oftast mindre flexibel.

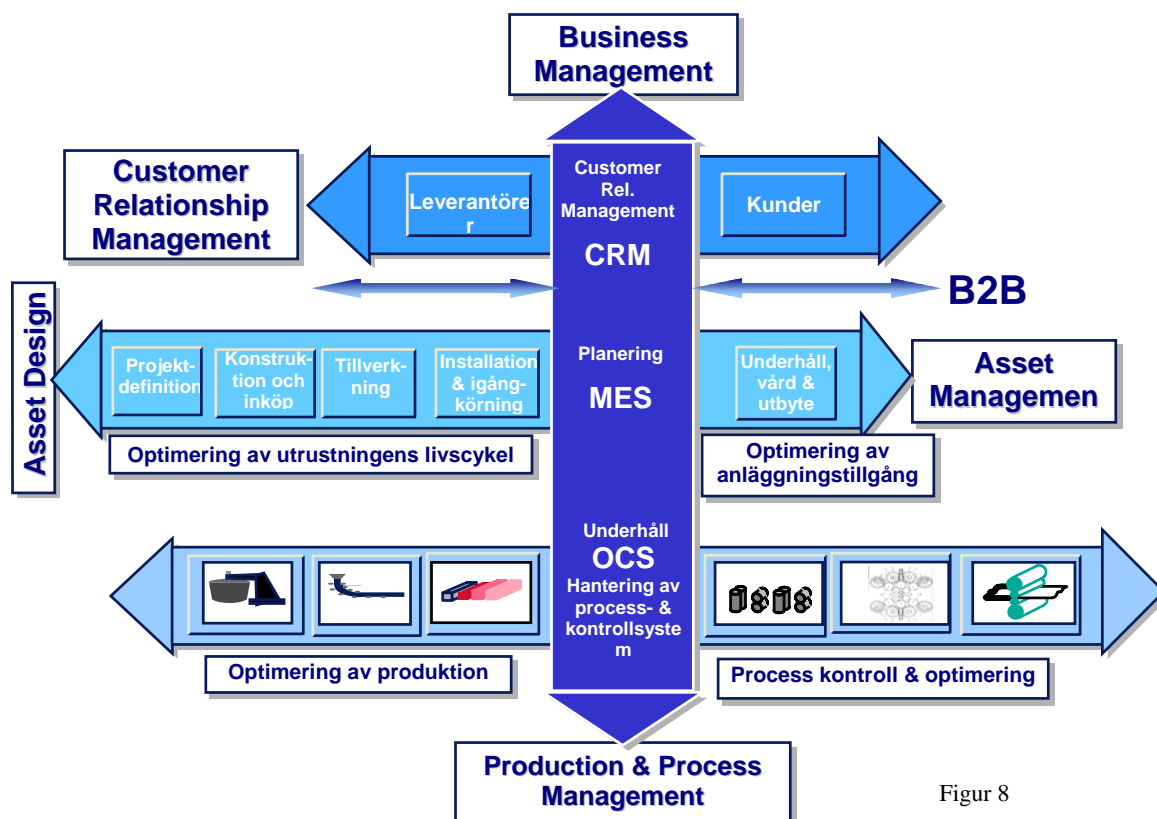
Genom att aktivt arbeta med att skapa störningsfria produktions-, underhålls- och administrativa processer kan man göra verksamheten mer planerbar. Figur 7 illustrerar framväxten av allt mer utvecklade underhållsstrategier. Att avhjälpa akuta och oplanerade stopp (steg A i figuren) innebär en låg nivå av planerbarhet medan ett proaktivt förhållningssätt till nykonstruktion och tillståndsbaserat underhåll (steg E i figuren) kräver betydligt mer planering, erfarenhetsåterföring och organisatorisk kunskap i form av noggrann analys och optimering av insatser.



Figur 7

Informations- och analyssystem

Möjligheten att öka planeringsgraden i underhållsarbetet är i hög grad förknippad med att ha tillgång till rätt information i rätt tid. Ett informationssystem som kan hantera kvalitetssäkrade data och uppgifter samt de rutiner vi har för sammanställning och analys blir här avgörande. Datoriserade underhållssystem spelar i detta sammanhang en central roll för effektiviteten. Planerbarhet förutsätter dock att all information kring störningarna insamlas, återkopplas och används som grund för ytterligare förbättring av arbetssätt och utrustningar. Tyvärr kan vi konstatera att många bruk har betydande brister i sin inrapportering av händelser och aktiviteter. Det medför att de inte har möjligheten att utföra kompletta sammanställningar och genomföra kvalitativa analyser. Därutöver kan vi också konstatera att användningen av och integrationen med andra system, t.ex. produktionens störningsuppföljning, ekonomiavdelningens kostnadsuppföljning etc, innebär ett mycket värdefullt informationsutbyte vid analys av underhållsfunktionen.



Figur 8

En total överblick av företagets värdekedja - från produktutveckling till leverans och service - förutsätter att vi kopplar ihop informationssystemen för tillverkningsprocessen och dess försäljnings- och distributionskedja.

Den horisontella integrationen ovan (Figur 8) innebär samordning och optimering av verksamhetsprocesserna hos leverantör, tillverkare och kunder. Vertikal integration innebär å sin sida samordning och optimering av all utrustning och alla processer, från sensorer till planeringssystem.

Hur påverkar då detta underhållets situation? Tänk dig ett företag som har fyra olika anläggningar. Helt plötsligt inträffar ett stort haveri vid en av produktionslinjerna som tillverkar ämnen. Vilken information behöver de i ett företag i det läget för att fortsätta att uppfylla sina skyldigheter gentemot kunderna? Först behöver de omedelbart få veta hur mycket av olika kvaliteter som produceras för vilka kunder och när leverans av slutprodukten ska ske. När de får den informationen måste de fastställa ämneskapaciteten hos sina fungerande enheter. Vilka kvaliteter kan de producera? Har de någon fri kapacitet att lägga om till annan produktion? Är någon av dem inplanerad för storstopp? Har någon av dem problem, t ex med en defekt motor så att anläggningen bara kan gå med reducerad kapacitet under de närmaste tre dagarna? Kan deras råvaruförsörjning klara de nya behoven? Vad för slags beställningar har de på gång? Hur snabbt kan deras underleverantörer öka sin kapacitet? Endast när de har fått all denna information kan de börja att omdirigera produktionen för att tillmötesgå sina kunder. Utan ett effektivt informationssystem skulle detta vara ett enormt arbete.

Tänk dig nu in i en annan situation där vi har en informationstekniklösning för e-auktioner. För att kunna ta en order behöver marknadschefen veta att han kan leverera x ton av en viss stålsort inom tio dagar till ett visst pris och med vissa toleranser. Den informationen är oftast inte tillgänglig i dagens värld men med hjälp av en genomtänkt strategi för e-handel skulle vi kunna skapa ett affärssystem för att få den informationen.

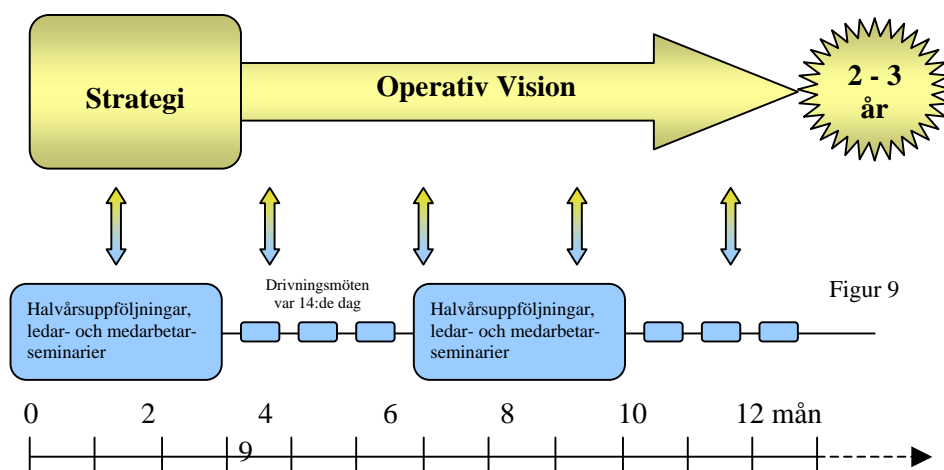
Det komplexa informationsflödet inom företaget - från kundorder till tillverkning och leverans - kan utformas med hjälp av modern informationsteknik. Förutsättningen är dock att samtliga av företagets komponenter och system är kompatibla med den övriga informationstekniklösningen. Förändringar sker dessutom så snabbt på detta område att plattformen måste stödja enkla och snabba tillägg av nya komponenter och uppgradering av system. Det sagda gäller alltså inte minst den del av informationssystemet som handhar underhållsverksamheten.

Ständiga förbättringar och lärande

En snabb omställningsförmåga krävs för att man inte snabbt skall bli fränkörd och överkörd på en tuff global marknad. En förutsättning för att lyckas är att man skapar en ledningsmodell som gör företaget snabbriktigt, smidigt och flexibelt. När nya möjligheter eller hot dyker upp så måste företaget snabbt kunna lägga om kursen och få alla i företaget att omedelbart förstå vad som står på spel.

Insikt och medvetenhet har dock aldrig ensamma förändrat ett företag. Det krävs även handling. För att ta tillvara allas engagemang och intelligens måste man sätta av tid så att alla kan delta och dammsuga företaget på idéer och möjligheter som kan förbättra och förändra. Efter att utvecklingsidéerna granskats och prioriteringar gjorts i handlingsplaner måste alla även få lite tid avsatt för att åtgärda de vardagsproblem och störningar som hindrar företaget att leva upp till de ständigt ökade kraven.

Den snabba omställning som krävs kommer naturligtvis inte av sig själv utan det ställs stora krav på ledarskapet, som måste stödja en kultur som stimulerar till kreativa förslag och nya idéer. Det måste skapas en miljö som uppmuntrar medarbetare att lägga fram och diskutera idéer och förslag, samt en



arbetsform som gör det möjligt att snabbt och beslutsamt lägga om kursen. Överallt och på alla nivåer måste man hjälpas åt. Manövrerbarheten kräver därför ett regelbundet återkommande forum där man kan diskutera och enas om vad som behöver hända. Ett exempel kan ses i figur 9, som visar hur man vid ABB arbetar med Verksamhetsutveckling.

Kunskap och kompetens har alltid varit en konkurrensfaktor men är det nu mer än någonsin. Kopplingen mellan de strategiska målen och kompetensutvecklingsplanen är därför mycket viktig inte minst eftersom det är omöjligt att genomföra alla de nödvändiga förbättringarna om man inte har kunskap om hur det skall genomföras. På en arbetsmarknad där det är brist på kvalificerad arbetskraft (potentiella medarbetare) gäller det att förvalta och förränta de tillgångar man har. De företag som lyckas bäst med kunskapshanteringen är därför de som fokuserar på att företagskulturen skall vara tillåtande till lärande samt arbetar aktivt med strategisk kompetensförsörjning

För att kunna vidareutvecklas måste UH-verksamheten på en mängd områden hålla sig ajour med ny kunskap och vad som är möjligt att uppnå med hjälp av teknologisk förändring, informationssystem, säkerhet, prestationsmätning, förbättringsarbete, chef-/ledarskaps-utveckling etc. Detta kräver jämförelser med dem som är bäst på en viss process, oavsett vilken bransch eller sektor de tillhör. Många bruk saknar ett strukturerat angreppssätt för hur de ska organisera och hantera arbetsuppgifter för att främja samarbete, initiativ, innovationer, organisationens kultur, flexibiliteten så att företagets behov kan tillfredsställas. Formella och informella mekanismer som skall stötta att olika kategorier av medarbetare når en hög arbets- och karriärrelaterad utveckling med ständigt lärande är även de sällsynta.

Bygga upp och utöka samarbeten med andra företag

Globaliseringen har medfört att flera spelare kommit in på marknader som tidigare var nationella spelplaner. Konkurrensen om kunderna har därmed ökat. Vikten av att vara i världsklass för att klara sig i konkurrensen får därmed inte underskattas. Inget företag kan dock hålla världsklass inom alla de teknologier och kompetensområden som krävs för att slutprodukten eller kundupplevelsen ska hålla världsklass.

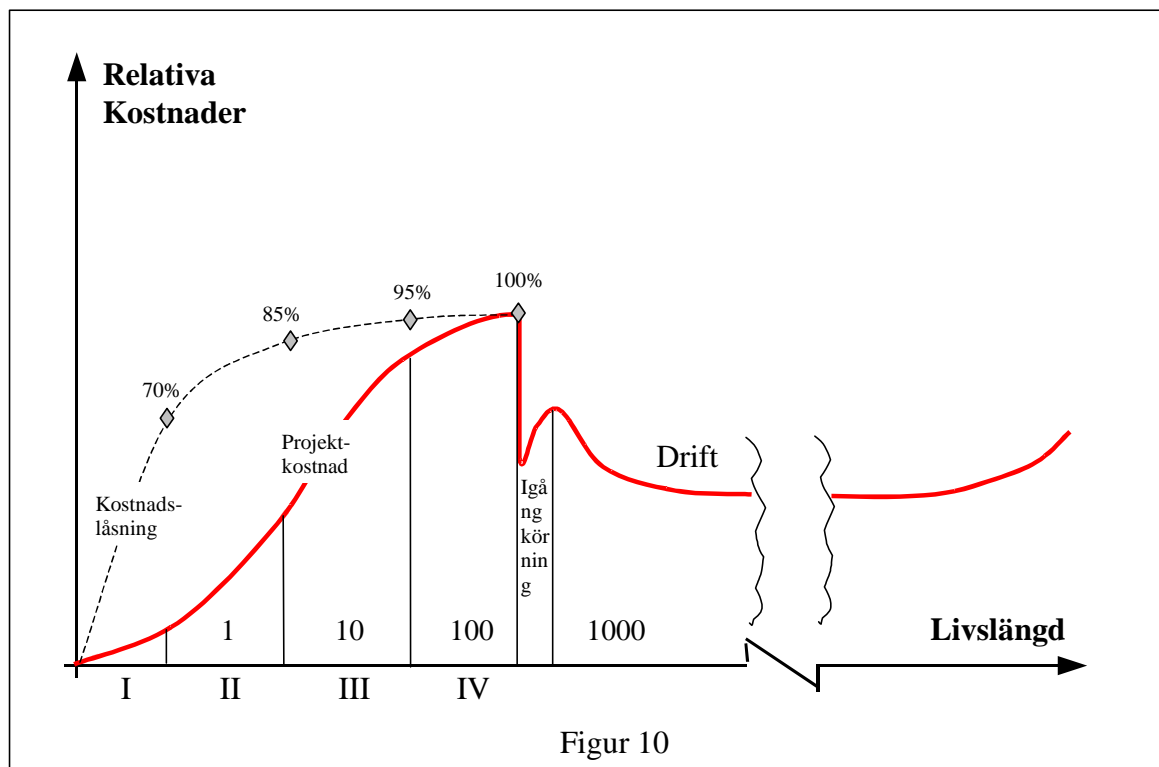
I en värld med allt snabbare utveckling blir det därmed allt viktigare att ingå allianser och partnerskap för att försäkra sig om att hänga med och få tillgång till kompetens, produkter och system av världsklass. I flera svenska bruk har man på senare år gått så pass långt att man låtit en långsiktig partner ta hand om hela underhållsansvaret. Att på detta vis liera sig med en partner av världsklass har i flertalet fall givit mycket goda resultat.

Livscykelkonceptet

Tre förhållanden har betydelse för den moderna synen på underhållet av teknisk utrustning

1. Kostnaderna och intäktsbortfallen för drift, underhåll och stillestånd under en anläggnings livstid överstiger ofta dess inköpspris.
2. Större delen av kostnaderna för driftunderhållet grundläggs redan under projekterings- och konstruktionsfaserna.
3. Ett antal teknisk-ekonomiska modeller har utvecklats som gör att man kan någorlunda förutsäga och tidigt påverka det ekonomiska utfallet under den framtida livslängden.

Den totala kostnaden för att äga och driva en anläggning under dess livstid är därför ett mer intressant mått än enbart anskaffningskostnaden. Det blir då naturligt att anpassa konstruktionen till en hög driftsäkerhet och låga underhållskostnader redan i projekteringsstadiet. Möjligheterna till inverkan är också mycket högre i tidigare skeden, innan utformningen och därmed kostnaderna låsts. Att ändra senare medför oftast förseningar och betydande kostnader. Som en tumregel brukar man säga att 70% av alla driftsproblem kan hänföras till brister i projekterings- och konstruktionskedena.



I figur 10 visas livscykelkonceptets beståndsdelar och den successiva kostnadsutvecklingen för en anläggning från idé till i full drift.

Fas I är skisstadiet med affärsidé, förstudie och förprojektering.

Fas II innehåller projektering och definiering av processen.

Fas III är själva konstruktionsskedet.

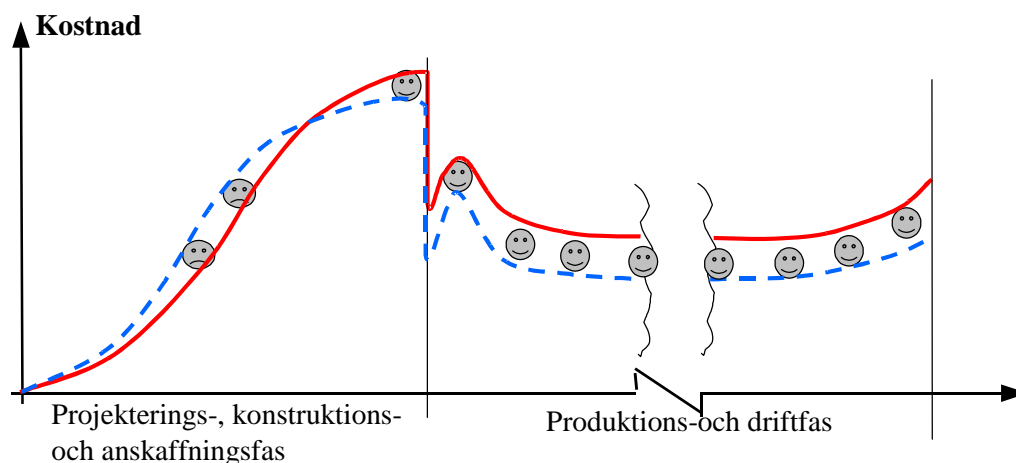
Under Fas IV sker tillverkning.

Ekonomimodeller för driftsäkerhet och underhåll

För att styra underhållet har ett antal ekonomimodeller utvecklats. De två som kommit att dominera är dels LCC/LCP-kalkylerna dels du Pont's ekonomimodell för produktion och drift.

Livslängdskostnadskalkyl LCC, Life Cycle Cost

LCC bygger på livscykelmodellen enligt ovan. Under projekterings- och konstruktionsfasen beräknar man de totala kostnaderna under hela livscykeln, dvs inte bara inköpskostnaden utan också underhålls-, dokumentations-, utbildnings-, skrotnings- m fl kostnader. Erfarenheter indikerar en besparing på 20-30% av totala kostnaderna med hjälp av LCC, figur 11.



Figur 11

Ägandekostnaden under livstiden, LCC består av följande delar:

$$LCC = I + U + D + S + R$$

I = Investering i primärutrustning + i underhållsresurser, t ex reservmaterial, verktyg, utbildning, dokumentation, förrådshållning, etc.

U = Underhållskostnader, t ex personal för avhjälpande UH (AU) och förebyggande UH (FU), reservdelskostnader, serviceavtal, andra underhållsresurser inklusive utbildning, uppföljning och dokumentation.

D = Driftkostnader inklusive eventuella framtida modifieringar.

S = Stilleståndskostnader vid driftbortfall eller effektreduktion.

R = Restvärde, som kan vara både positivt och negativt.

LCC omfattar alltså beslut som rör utformning, anskaffning, drift, service/underhåll, produktionsbortfall, mm av tekniska system, såväl hårdvara som mjukvara, och baseras på alla kostnader som är förenade med anskaffningsbeslutet.

LCC-kalkyler kan också användas för att

- beräkna användarens ägandekostnad
- minimera totala livslängdskostnaden
- analysera olika metoder och alternativ för underhåll
- övertyga kunder om den egna utrustningens fördelaktiga livstidskostnad jämfört med konkurrenternas.

Den största nyttan med LCC-tekniken är dock att den förenklar valet mellan olika offerter (eller komponenter) för en planerad investering eller mellan olika organisationer för service och underhåll.

Låt oss ta ett enkelt exempel:

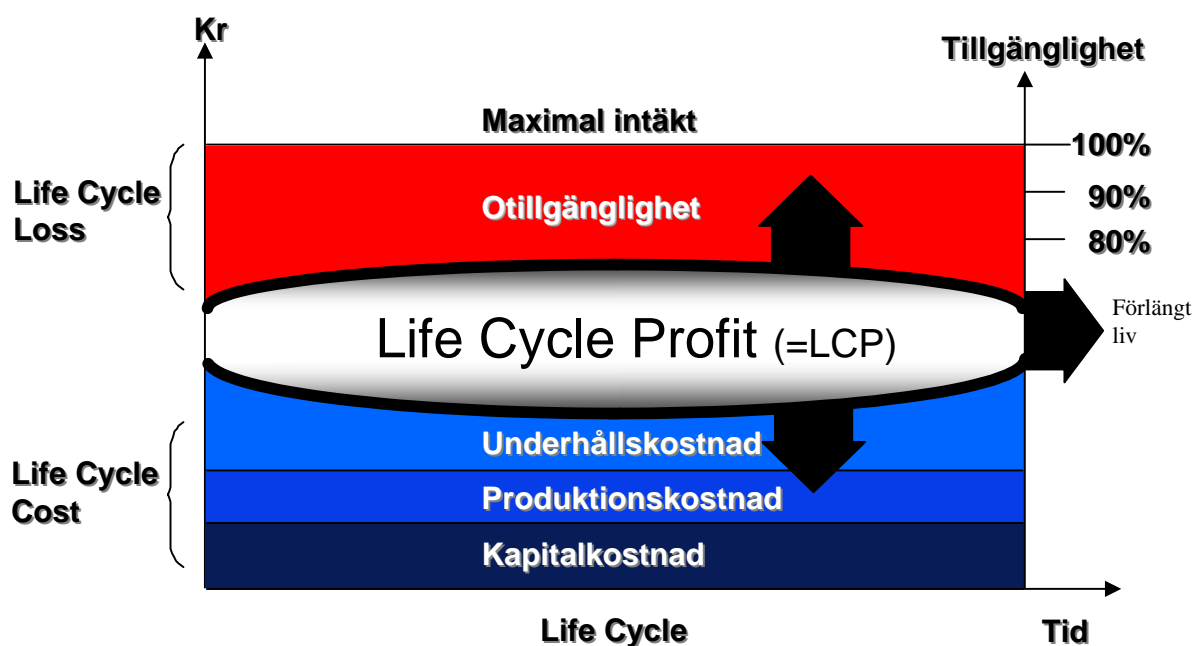
Antag att leverantören i sin offert angivit att ett filter som garanterar fullgod drift måste bytas varannan månad av leverantörens servicepersonal. En enkel överslagsberäkning visar att, om filtret kostar 125,-/st, restid, utbytestid och provkörning tar 6 timmar per gång à 350,- kr/tim så blir årskostnaden för filterbytet 9.750,- kr.

Om man istället går över till ett s k långtidsfilter, som visserligen kostar nästan 20 gånger så mycket, dvs 2.250,-, reduceras bytesintervallet till en ggr/år och motsvarande årskostnad blir nu 3.750,-, dvs en reduktion med 6.000,- kr/år.

Livstidsöverskottskalkyl LCP, Life Cycle Profit

Man kan säga att på samma sätt som en anläggning genererar en livstidskostnad skapar den också en livstidsintäkt. Skillnaden mellan dessa båda utgör livstidsöverskottet, Life Cycle Profit, LCP.

Det finns för anläggningen en teoretisk maxnivå på intäkterna som skapas när den är maximalt tillgänglig, går med full fart och producerar högsta kvalitet utan avbränna hela tiden. Ett sådant tillstånd uppnås dock bara ibland och vanligen minskas den maximala intäkten med kostnader som beror på brister i dessa avseenden, figur 12.



Figur 12. Underhållets uppgift är, bildligt talat, att dra i de grova, svarta pilarna, dvs att göra "vinstcigarren" både tjockare och längre.

Du Pont ekonomimodell i den operativa driften

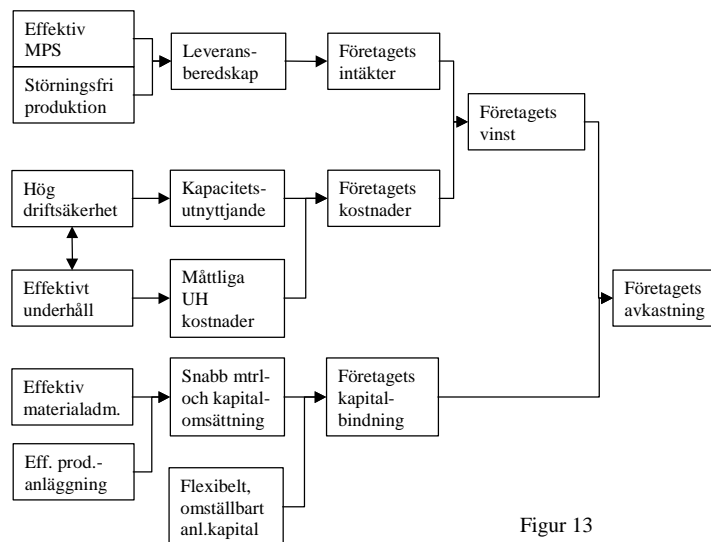
Redan efter första världskriget började den amerikanska koncernen du Pont använda sin ekonomimodell för att kunna styra verksamheten i en ny, starkt divisionaliserad organisation. Dess stora fördel är att den på ett enkelt sätt förklarar sambandet mellan produktion, underhåll och kapital i företagets strävan att skapa bästa möjliga resultat.

I figur 13 visas sambanden något förenklat. Med hjälp av denna bild kan man överföra tekniska driftsäkerhets- och underhållsdata till ekonomiska data.

Hög driftsäkerhet med måttliga underhållsinsatser kan erhållas genom t ex:

- att välja funktionssäkra komponenter
- att sätta samman komponenterna så att hög funktionssäkerhet föreligger
- att arrangera så att underhållskrävande komponenter blir lätt åtkomliga
- att investera i redundanta anläggningsdelar, t ex elutrustning
- att ha ett väl genomtänkt och organiserat förebyggande underhåll
- att låta UH-personal delta i ny- och ombyggnadsprojekt redan från projektstart
- att använda kasettidén för snabba byten av komponenter
- att förlägga underhållsresurser så att avstånden blir korta
- att dimensionera och organisera underhållsresurserna för att uppnå hög underhållssäkerhet
- att skapa arbetsformer som främjar samarbete mellan operatörer och UH-personal.

Du Pont-modellen möjliggör enkla simuleringar av konsekvenserna av olika typer av åtgärder. Vi återkommer till det längre fram.



Figur 13

Produktions- och kapitaleffektivitetens beroende av underhållet

Totalproduktivt underhåll, TPU och TAK

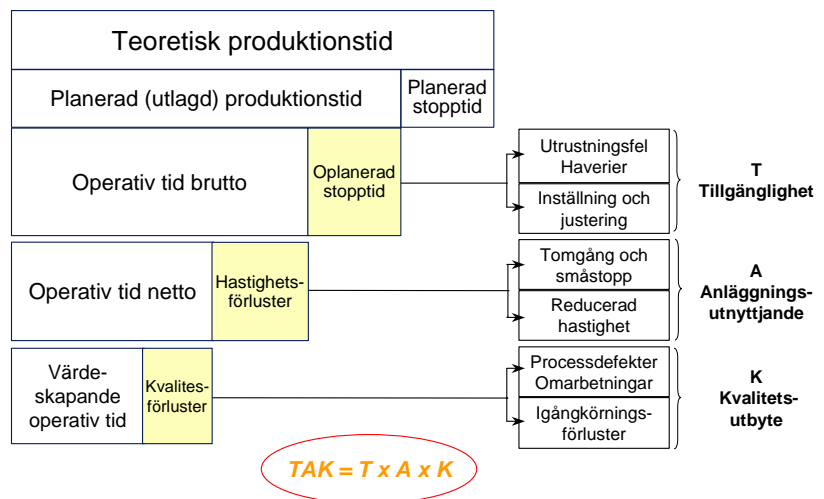
Bruket operativa prestation, mätt som antal ton/år, beror givetvis av dess kapacitet men också av den driftsäkerhet man uppnår. Med driftsäkerhet menar vi att anläggningarna fungerar på förväntat sätt, när vi vill att de ska göra det. Men det inte räcker med att åstadkomma ton, om dessa sedan till stor del måste kasseras. Den egenskap man mäter är kapabiliteten och avser anläggningarnas förmåga att innehålla begärd kvalitet i form av t ex analys, hållfasthet, måttoleranser, ytfinish etc.

Produkten av de tre faktorerna driftsäkerhet, kapacitet och kapabilitet ger alltså ett mått på produktionseffektiviteten. Detta sätt att mäta effektiviteten och att analysera de underhållsberoende förlusterna har länge varit teoretiskt kända. Det kom dock först till användning när man i Japan införde begreppet "Total Productive Maintenance", TPM, på svenska oftast TPU, Totalproduktivt Underhåll.

Effektivitetsmättet benämns TAK, som är en akronym för Tillgänglighet, Anläggningsutnyttjande och Kvalitet. Motsvarande engelska term är OEE, "Overall Equipment Effectiveness". Systematiken framgår tydligast om den beskrivs som i figur 14.

De sex underhållsberoende förluskällorna kan sammanföras till de tre definierade huvudfaktorerna: Tidstillgänglighet, Anläggningseffektivitet och Kvalitetsutbyte. Varje faktor kan beräknas ur data som hämtas från produktionen. Härvid gäller:

De sex underhållsberoende förluskällorna



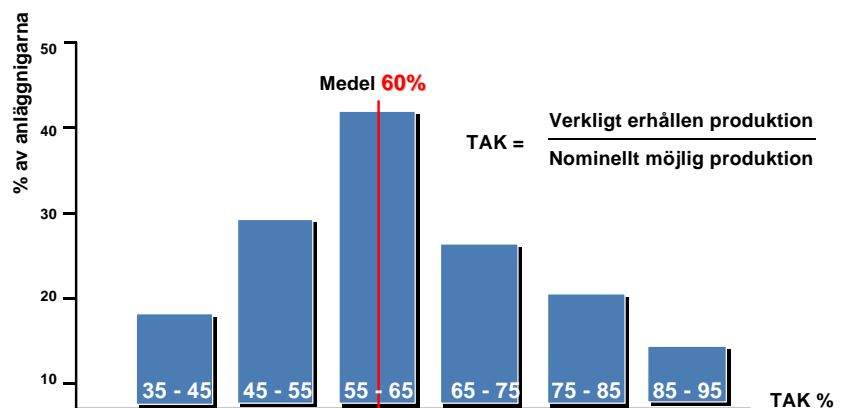
Figur 14 Definition av TAK

$$T = \frac{\text{Utlagd tid} - \text{Stopptid}}{\text{Utlagd tid}}$$

$$A = \frac{\text{Teor. cykeltid} \times \text{Tillverkade ton}}{\text{Operativ tid}}$$

$$K = \frac{\text{Tillverkade ton} - \text{defekta ton}}{\text{Tillverkade ton}}$$

Figur 15 Operativ verkningsgrad i svensk industri



Hur stor är den operativa verkningsgraden i järn- & stålindustrin?

Undersökningar har visat att den operativa verkningsgraden, TAK, fördelar sig så som figur 15 visar.

Inom svensk stålindustri ligger den operativa verkningsgraden, TAK, i medel runt 60 à 65 % men varierar mellan 35 och 90 %. Som tidigare sagts, kan skillnaden vara stor mellan de olika produktionsavsnitten inom ett och samma bruk.

Ju mer kontinuerligt flöde desto högre TAK-värde. Man kan därför också konstatera att den i det närmsta helt kontinuerliga petrokemiska processindustrin ligger på mycket höga TAK-värden, medan vekstadsindustrin med stora redundansmöjligheter och parallella flöden befinner sig i den lägre delen av området.

Med riktade, systematiska effektiviseringsåtgärder kan man ofta åstadkomma drastiska förbättringar av den operativa verkningsgraden. Vidstående enkla tabell visar resultatet från två bruk, det ena från början rätt normalt, det andra mindre bra.

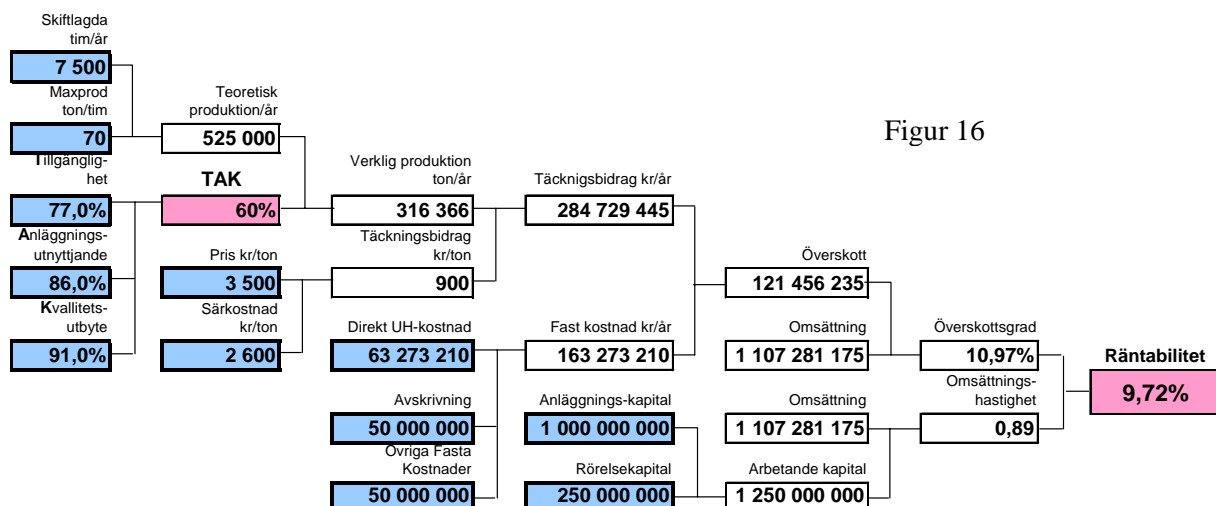
Tabell 1

Företag		T	A	K	TAK	Effektivitetsökning
X	Före	77%	86%	91%	60%	47%
	Efter	94%	98%	96%	88%	
Y	Före	68%	85%	79%	46%	82%
	Efter	92%	96%	94%	83%	

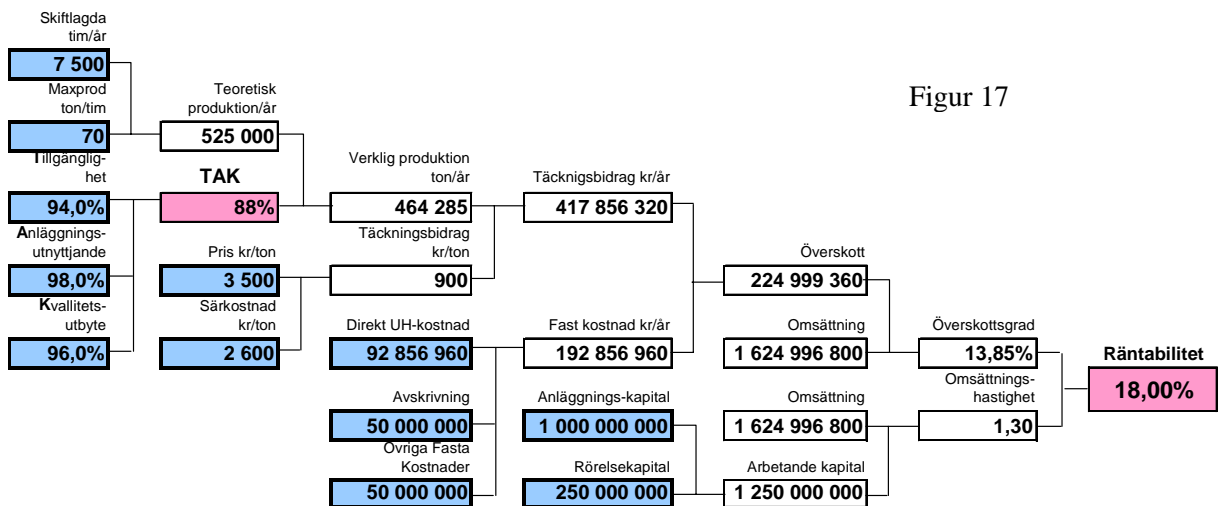
Vad kan ökad driftsäkerhet och effektivare underhåll betyda för hanteringen?

Låt oss pröva att använda du Pont-modellen för att skaffa oss en uppfattning om underhållets ekonomiska betydelse. Vi börjar med att titta på ett fiktivt valsverk för att sedan applicera modellen på hela vår industri.

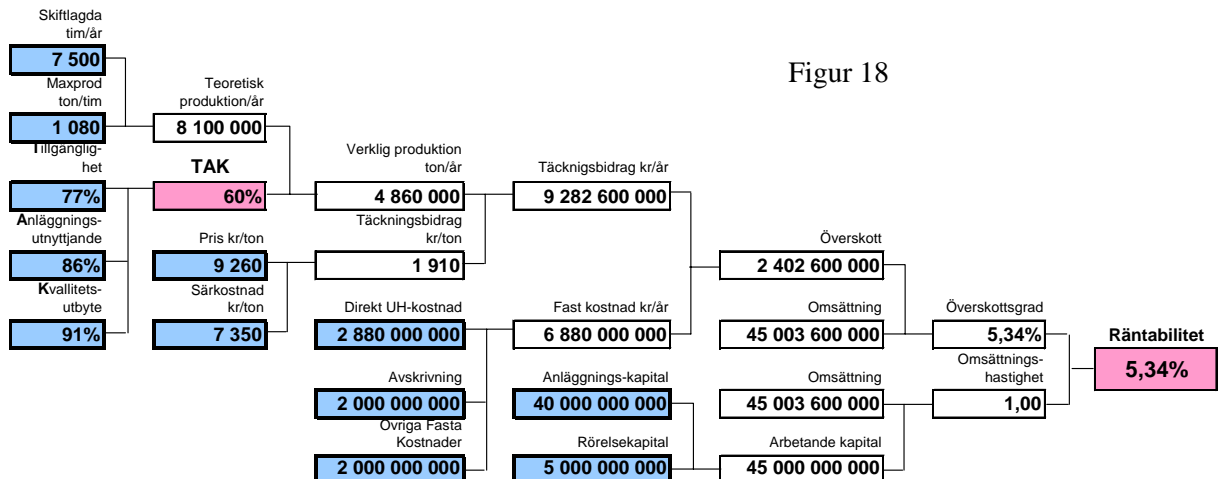
Om vi antar att valsverket har planerat 7500 timmars produktion under ett år, att man har samma TAK-värden som företaget X i Tabell 1 ovan, att de direkta underhållskostnaderna är 200:- kr/ton, att maxkapaciteten är 70 ton/tim, att priset för de färdiga produkterna är 3500:- kr/ton, de rörliga kostnaderna är 2600:- kr/ton samt att anläggningen kostat 1 miljard, att avskrivning räknas på 20 år och i övrigt enligt diagrammet nedan (figur 16).



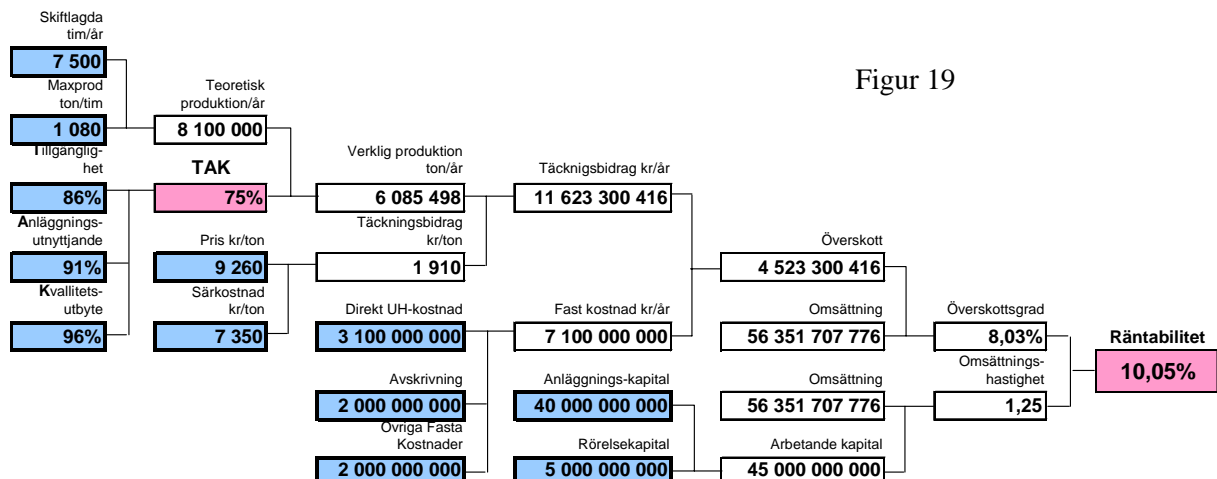
Då erhålls en räntabilitet för anläggningen som är knappt 10%, vilket bör ses som ett hyggligt värde.



Om vi nu lyckas öka TAK-värdet enligt Tabell 1, kommer du Pont-diagrammet att se ut som i figur 17. Vi har alltså lyckats öka räntabiliteten med drygt åtta procentenheter, och företaget har gått från ett relativt hyggligt läge till ett strålande!



Brukens direkta underhållskostnad är i snitt 6,4 % av omsättningen, som kan uppskattas till 45 miljarder kronor. Med ett antal grova antaganden och under observation att vi talar medelvärden för hela branschen, alltså både handelsstål, specialstål och rostfritt, kan man då ta fram ovanstående schema (figur 18).



Om vi kunde höja det genomsnittliga TAK-värdet från dagens 60 till säg 75%, skulle vi med mycket måttlig höjning av UH-kostnaderna öka brukens vinst och räntabilitet med mer än 80% enligt figur 19.

Som framgår ökar även kapitalomsättningshastigheten (eller kapitaleffektiviteten) med 25 %. Detta är särskilt positivt i en så kapitalintensiv verksamhet som järn- och stålindustrin.

Driftsäkerhetsteknik

Utveckling

Hög driftsäkerhet betyder, som sagts, att anläggningen fungerar på förväntat sätt när vi vill att den ska göra det.

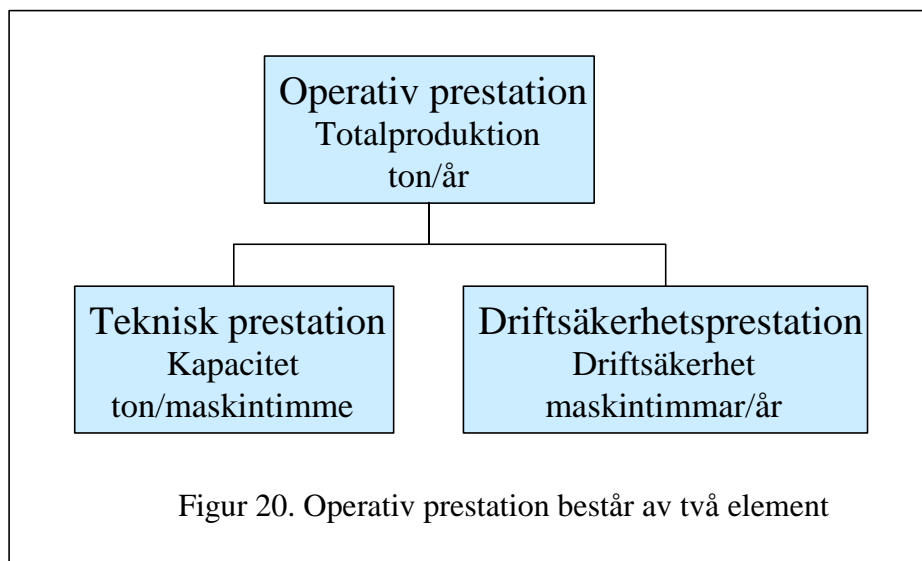
Underhåll är därför en del av driftsäkerhetsarbetet, men driftsäkerheten grundläggs redan vid planeringen av produktionssystemet. Driftsäkerhets- och underhållsegenskaperna byggs sedan in i systemet vartefter det utvecklas. Det operativa underhållet kommer in då systemet är färdigkonstruerat och taget i drift.

Teknisk prestation och driftsäkerhetsprestation

Eftersom all tillverkning genererar underhållsbehov har man alltid parallellt med det tekniska systemet också ett underhållssystem. Tillsammans genererar systemen operativa prestationer.

Den tekniska prestationen i en stålverksanläggning uttrycks oftast som ton/tim. Vanligen finns där en märkkapacitet som leverantören garanterat. Momentant kan prestationen både över- och understiga denna märkkapacitet.

Driftsäkerhetsprestationen bestäms av antalet verkligt erhållna anläggningstimmar per år, figur 20.



Härur framgår följande enkla samband

$$\frac{\text{ton}}{\text{maskintimme}} \times \frac{\text{maskintimme}}{\text{år}} = \frac{\text{ton}}{\text{år}}$$

Till denna operativa prestation kommer vi senare att knyta kvalitetsutbyte, operatörsprestation och operatörskompetens.

Driftsäkerhet

Driftsäkerheten hos en anläggning består av tre delar:

- Funktionssäkerhet, som anger risken för och tidfördelningen av fel och störningar.
- Underhållsmässighet, som brukar delas upp på *Reparerbarhet*, dvs. hur snabbt man kan återställa anläggningen i driftdugligt skick efter ett fel eller en störning, och

Försörjbarhet, som indikerar hur stora krav anläggningen ställer på underhållsresurser och -förmåga, dvs hur möjligt är det för oss att underhålla den.

- Underhållssäkerhet, som beskriver vår underhållsorganisations förmåga att tillhandahålla de resurser som erfordras för ett korrekt underhåll.

Mått på och beräkning av driftsäkerheten

Idag används allmänt begreppet tillgänglighet synonymt med driftsäkerhet. Den brukar förkortas T (eller A för Availability) och anges i %.

Funktionssäkerheten mäts som medeltiden mellan fel, MTBF (Mean Time Between Failures) i timmar

Underhållsmässigheten mäts som medelreparationstiden, MTTR (Mean Time To Repair) i timmar

Underhållssäkerheten mäts som medelväntetiden på underhåll, MWT (Mean Waiting Time) i timmar

Tillgängligheten kan nu beräknas som

$$T = \frac{\text{verkligt utnyttjad drifttid}}{\text{tillgänglig tid}} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR} + \text{MWT}}$$

Exempel

En travers har följande driftdata:

Medeltid mellan fel, MTBF = 360 timmar

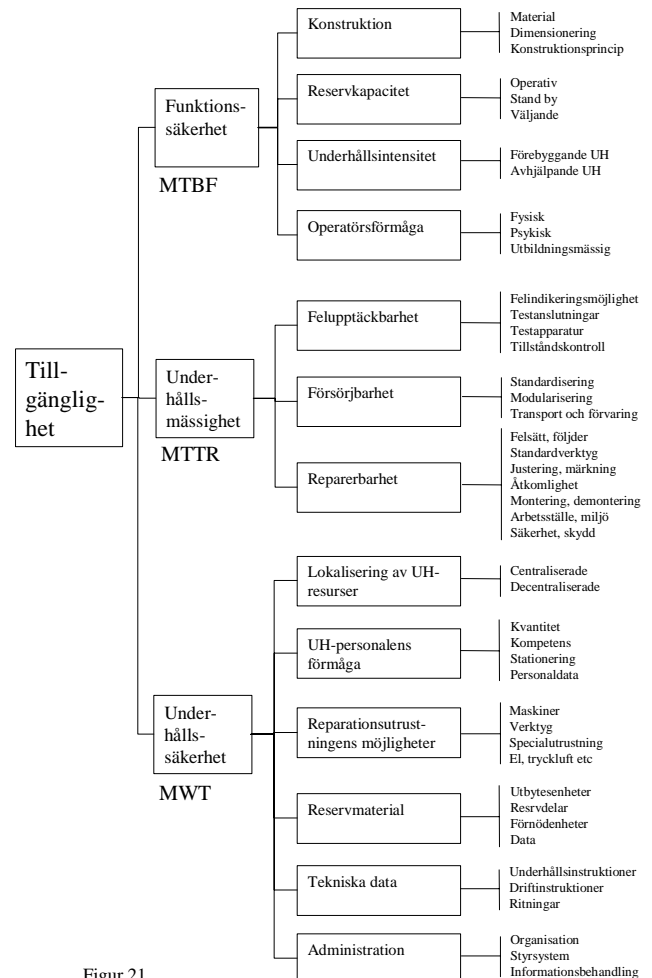
Medeltid för reparation, MTTR = 12 timmar

Medelväntetid på reparation, MWT = 1½ timmar

Det ger $T = 360 / (360 + 12 + 1,5) = 96,4\%$

Egenskapsmodell

Det kan underlätta förståelsen om driftsäkerheten bryts ned i en s.k. egenskapsmodell. Man ser då tydligare vilka tillgänglighetsökande och underhållsförberedande åtgärder som bör föras in under projekterings- och konstruktionsstadierna samt naturligtvis vilka insatser som kan vidtas under själva driftfasen, figur 21



Figur 21

Underhållsmetoder

Indelning av underhållsaktiviteter

Underhåll delas vanligen upp i förebyggande och avhjälpande underhåll. Det klassiska kostnads sambandet mellan dessa båda begrepp som tidigare användes för optimal balans till lägsta underhållskostnad har numer ersatts av ett LCP- och lönsamhetstänkande. Målet är nu att med bl a hjälp av förebyggande underhåll uppnå noll störningar och felfri produktion under samtidig ständig ökning av TAK-värdena.

Förebyggande underhåll - FU

I begreppet förebyggande underhåll ryms dels direkt FU (t ex planerade utbyten) dels indirekt FU (t ex tillståndsstyrt underhåll).

Normalt genomförs FU innan studerad komponent eller system upphört att fungera. Det hindrar inte de kan vara skadade eller förslitna i viss utsträckning, dvs. funktionen finns fortfarande kvar inom utsatta gränsvärden. Ett vanligt förfarande är att man regelbundet kontrollerar vissa signifikanta parametrar i en anläggning för att upptäcka om parameterinställningen ändrats eller fortfarande är den rätta för optimal drift.

Direkt FU

De former av underhåll som brukar hänföras till denna grupp är:

- Smörjning
- Planerade utbyten
- Rengöring
- Planerade reoveringar

Smörjning och rengöring

Detta är kanske den minst glamorösa formen av underhållsarbete men samtidigt är den bland de viktigaste. Ett fungerande underhåll med dessa åtgärder kan förhindra kostsamma insatser pga senare uppkomna fel. Idealet är att kombinera detta arbete med lämpliga former av tillståndskontroll så att den förebyggande insatsen blir heltäckande.

Planerade utbyten

På komponenter och system där denna underhållstyp är lämplig, görs planerade utbyten av enskilda delar eller i extremfall samtliga delar i samma utbytesomgång. Periodiciteten kan grunda sig på kalendertid, drifttid, producerade ton etc.

Normalt görs dessa utbyten innan någon tillstånds- eller funktionskontroll visat på behov av utbyte. Utbytestakten grundar sig på att driftstiden är förutsägbar.

Anledningar att använda denna form av planerade utbyten kan vara

- Tidsmässing vinst av att byta flera komponenter samtidigt
- Billiga komponenter
- Mycket hög stilleståndskostnad
- Säkerhetsaspekter
- Föreskrivna garantivillkor

Omfattningen, dvs. mängden utbytta komponenter i varje utbytescykel, bestäms oftast genom besparingsberäkningar. Ett klassiskt exempel är utbyte av lampor, speciellt om stegen behövs för att nå armaturerna. Tidsbesparingen kan vara av den storleken att utbyte av flera lampor lönar sig, när stegen väl är framtagen

Utbytet kan göras efter olika principer. Man skiljer mellan:

1. Utbyte av den felande komponenten
2. Som 1, med tillägget att utbyte sker av samtliga likadana enheter med en ålder/livslängd överstigande ett bestämt gränsvärde
3. Som 2 men utan gränsvärde. Alltså byts samtliga komponenter av samma typ då en fallerar.

Planerade reoveringar

Detta begrepp täcker vad vi normalt kallar service och översyn. Det är egentligen en underhållsinsats av både direkt och indirekt karaktär. Avsikten är att med utbyten av komponenter, rengöring, smörjning samt vissa tillstånds- och funktionskontroller återställa utrustningen i avsedd kondition.

Indirekt FU

Denna form av underhåll omfattar åtgärder av kontrollerande karaktär. Vi skiljer på:

- Tillståndskontroll, TK
- Funktionskontroll, FK

Att öka driftsäkerheten genom FU i form av periodiska utbyten har i vissa fall visat sig vara en varken tekniskt eller ekonomiskt framgångsrik metod. Tillståndsstyrt underhåll ersätter eller kompletterar nu i allt större omfattning de periodiska utbytena.

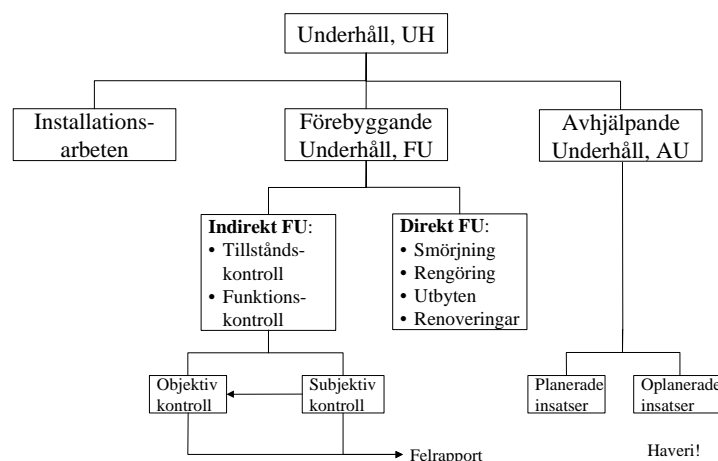
Avhjälpande underhåll - AU

Avhjälpande underhåll avser insatser för att återställa felande funktioner, alltså reparationer till följd av haverier såväl som upptäckter vid FU.

Dessa avhjälpande insatser är dock av olika karaktär. Haverier är oplanerade händelser, medan AU till följd av FU kan planeras. Det senare förutsätter dock att upptäckter rapporteras till UH-planeringen.

En samlande bild av underhållsarbetet

Vi kan nu sammanställa följande generella bild (Figur 22):



Figur 22

När rekommenderas olika underhållsinsatser?

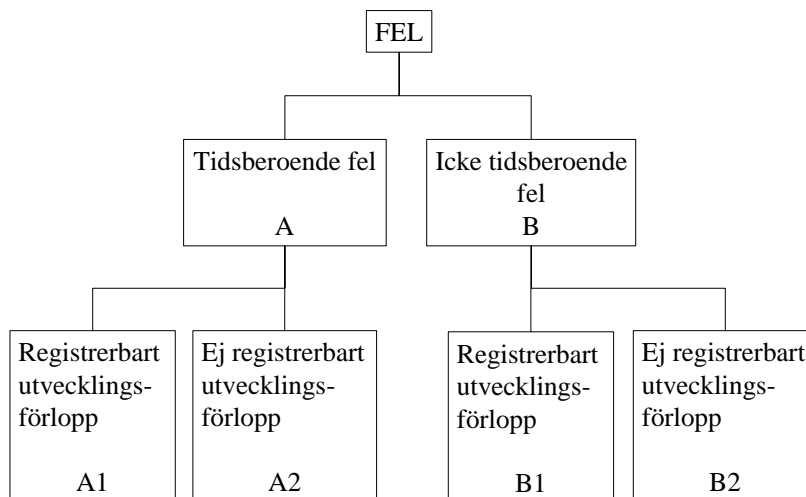
Fel och felutvecklingsförlopp indelas lämpligen i två huvudgrupper:

- Tidsberoende fel, t ex så kallade utslitnings- och åldringsfel (normal- eller betafördelade)
- Övriga fel, t ex fel i elektronisk utrustning (oftast exponentiellt fördelade)

Varje huvudgrupp kan sedan indelas efter utvecklingsförloppets karaktär:

- Fel med mätbart utvecklingsförlopp
- Fel utan mätbart utvecklingsförlopp

Det hela kan då illustreras som i Figur 23.



Figur 23

För de olika feltyperna rekommenderas följande UH-insatser:

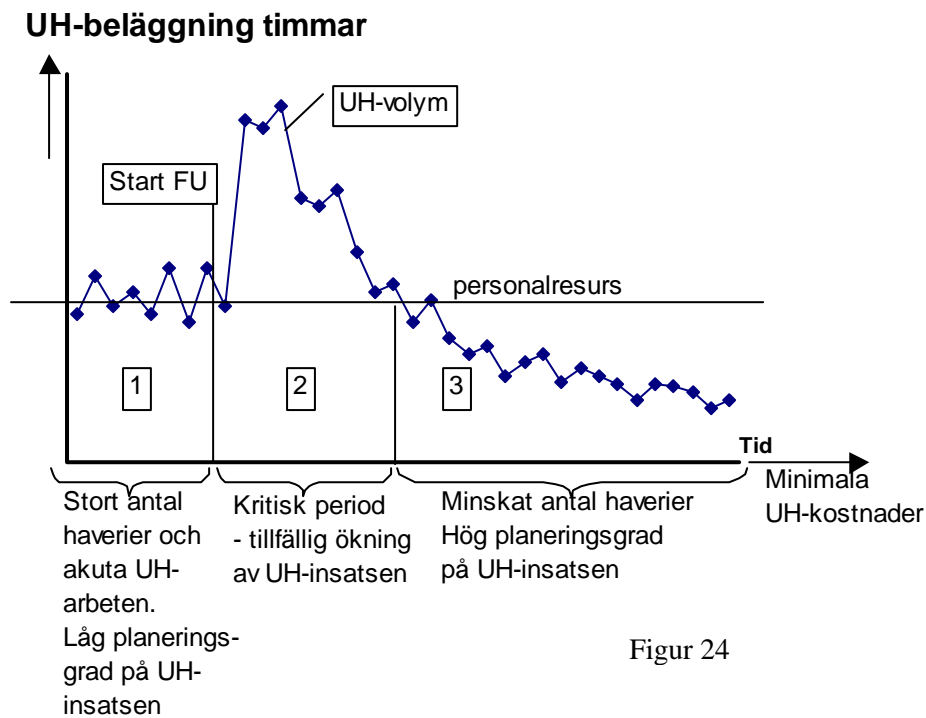
- A1 Tillståndskontroll
- A2 Periodiskt utbyte, i lönsamma fall renoveras utbytt komponent
- B1 Tillståndskontroll
- B2 Ingen FU-åtgärd

Vad eftersträvas med FU?

Om UH-arbetena till stor del utgörs av haverier och andra akuta insatser leder det till mycket låg planeringsgrad. Man kan förbättra den stora osäkerhet som då råder genom att eliminera fel med hjälp av FU-insatser. Då kan man hoppas på att uppnå följande resultat:

- Haverier minimeras
- Underhållsberoende stopptider och kostnader för följskador minimeras
- Ökad livslängd på maskiner och maskindelar
- Höjd UH-effektivitet genom planering
- Styrning av teknisk livslängd så att den i görligaste mån sammanfaller med den ekonomiska livslängden
- Att optimala parameterinställning, speciellt för elektronisk utrustning, bevaras
- Bättre reservdelsplanering
- Förbättrad dokumentation som bidrar till kontinuitet i underhållsarbetet.

Ett förebyggande underhåll bör naturligtvis införas i samband med att en ny utrustning tas i drift. Ofta är det dock så att FU installeras då problemen med stopptider, haverier och ökade UH-kostnader blivit för stora. Figur 24 visar vad som vanligen sker då systematiserat FU installeras i befintlig anläggning.



Först ökar UH-insatsterna och de därmed förbundna kostnaderna. Efter en tid, när programmet börjat verka, reduceras felintensiteten och underhållsbehovet, samtidigt som kostnaderna minskar.

Reservdelar

Beredskapsproblematik

En underhållsavdelning förbrukar i regel material till en kostnad av samma storleksordning som den totala lönekostnaden för underhåll. Att UH-material finns hemma när det behövs är därför ett viktigt krav. Men att anskaffa och lagrhålla reservmaterial innebär en betydande kostnad för företaget. Reservdelsstyrningens mål är att hålla kostnaderna för reservdelar så låga som möjligt. Däri ingår även att skapa enkla och effektiva processer. De totala reservdelskostnaderna innefattar lagrhållning, administration samt indirekta kostnader i form av produktionsförluster mm. En väg att minska kostnaderna är att angripa orsakerna till behov av reservdelslager. Effektiva åtgärder kan t ex avse:

- Standardisering
- Ett väl fungerande förebyggande underhåll
- Snabba och tillförlitliga leveranser av delar
- Snabba flöden genom den egna organisationen
- Minskning av bristkonsekvenserna
- Leverantörsägda lager
- Samlagring med andra användare
- Köp av pålitligare utrustning

Kostnaderna för reservdelshållningen måste ställas mot kostnaderna för att vara utan reservdelar när de skulle behövas. För att hantera dessa motstridiga krav tillämpas optimeringskalkyler.

Att genomföra optimeringsberäkningar för alla delar är mycket tidskrävande. Därför brukar man börja med att titta på de 20 procent av delarna som förorsakar de högsta kostnaderna (ABC-analys). Andra indelningskriterier kan vara:

- Godstyp
- Lagrets placering
- Leveranstid
- Konsumtion

Styrprinciper

Det gäller att upprätthålla avsedd servicenivå till lägsta möjliga kostnad – alltså att finna ut om man ska lagrhålla reservdelar eller ej. Styrprinciperna baserar sig på endera av följande förutsättningar:

1. Förbrukningen kan noteras så man får statistik till grund för beräkningarna.
2. Detaljers förbrukning eller livslängd är i förväg känd och kan ligga till grund för beräkningarna

När man granskar förutsättningarna finner man oftast en stor restpost artiklar där man varken kan få fram tillförlitlig statistik (förbrukningen är för låg) eller känner förbrukning eller livslängd på förhand. I några fall är underlaget bättre, ofta tack vare leverantörens leveransstatistik för reservdelar etc.

Om underlaget för beslut är ofullständigt, är det lätt att förstå varför reservdelsstyrning inte alltid ger önskat resultat.

Reservdelar brukar indelas i tre grupper:

- Förbrukningsmateriel
- Förbrukningsreservdelar
- Beredskapsreservdelar (utbytesenheter)

Förbrukningsmateriel

Denna grupp innehåller de egentliga volymvarorna som enligt den vanliga ABC-analysen har en förbruknings- och kostnadsnivå som medger att generella, statistiska inköps- och lagerstyrningsmetoder kan användas.

Förbrukningsreservdelar

Förbrukningsreservdelar är sådana som antingen kasseras efter utbytet eller kan repareras och återanvändas.

För många av dessa reservdelar gäller dessutom att uttagsfrekvensen är osäker, varför de i många fall bör behandlas med en bristkostnadsanalys (varom mera senare).

Beredskapsreservdelar

Denna grupp bör betraktas som en försäkringspremie mot oförutsedda händelser. Dessa reservdelar utgörs vanligen av reparerbara utbytesenheter.

Olika beredskapsmöjligheter

Brukets underhållsfunktion kan gardera sig mot oförutsedda händelser och avbrott genom såväl interna som externa åtgärder:

Interna åtgärder

- Organisation
- Skiftgång/jourtjänst
- Förebyggande underhåll/tillståndskontroll
- Egen verkstadskapacitet
- Reservdelar

Externa åtgärder

- Avtal med servicebolag eller direkt med produkt-/anläggningsleverantör. Ett avtal kan bl a innehålla garanterad tillgänglighet för alla kritiska reservdelar.
- Pool-lager av reservdelar tillsammans med andra användare av samma utrustningar.
- Olika typer av avbrotts- och riskförsäkringar

Grundläggande för behandlingen av beredskapsproblematiken är därför kunskap om vilka fel som kan inträffa på en maskin eller anläggning, deras uppkomst och utvecklingsförlopp samt deras konsekvenser.

Vi utnyttjar samma resonemang som i avsnittet "Underhållsmetoder" för att bestämma olika behov av reservdelshållning (se figur 23).

För fel av typen A (A1+ A2) planeras reservdelsanskaffning gentemot varje enskilt reparationstillfälle. Endast om leveranstid överstiger planeringstid erfordras egen lagerhållning av säkerhetsskäl.

För fel av typen B (B1+ B2) erfordras en hundraprocentig lagerhållning om man helt vill undvika följdverkningar. Optimerande sannolikhetskalkyler, med hänsyn till bristkostnader, gör det dock möjligt att reducera kraven med bättre lönsamhet som följd.

Lagerberäkning - förbrukningsmateriel

Enligt definitionen kan anskaffningen styras av förbrukningsstatistik. En möjlig och mycket vanlig metod är då att använda den enkla s k Wilson-formeln:

$$\text{Beställningskvantitet} = \sqrt{\frac{2 f b}{1}}$$

f = uttagsfrekvens (mängd / tidsenhet)

b = beställningssärkostnad (kr)

l = lagerhållningssärkostnad (kr / mängd och tidsenhet)

På samma sätt som för produktionslager kan servicenivån därefter läggas på en rimlig nivå med hjälp av ett säkerhetslager.

Lagerberäkning - förbrukningsreservdelar

Inom denna grupp finns behov av olika inköps- och förrådshållningsprinciper. En del av dessa reservdelar kan behandlas med samma metoder som gäller för förbrukningsmateriel, medan andra bör behandlas med bristkostnadsanalys.

Lagerberäkning - beredskapsreservdelar

Reservdelar kan grupperas längs hela skalan från låg till hög förbrukning. Beredskapsreservdelar tillhör den ena ytterligheten, låg uttagsfrekvens. Här gäller att ha eller inte ha i lager. Beslut fordrar ofta en bristkostnadsanalys. Den andra ytterligheten är reservdelar med hög uttagsfrekvens som närmar sig det rena förbrukningsmaterialet.

Bristkostnadsmodellen

En bristkostnadsanalys baserar sig på följande förutsättningar:

1. Sannolikheten för fel på en detalj kan beräknas/bedömas
2. Kostnadskonsekvensen av ett stopp kan beräknas i förväg
3. En anskaffad beredskapsreservdel antas ha sitt fulla värde under lagring
4. Vid inkurans såväl som vid normal användning förbrukas hela kapitalet som investerats i detaljen

Om dessa förutsättningar uppfylls, gäller:

En beredskapsreservdel ska lagerhållas om den sannolika kostnaden för produktionsbortfall under maskinens kvarstående livslängd överstiger den sannolika kostnaden för lagerhållning plus kostnaden för inkurans.

Om detta resonemang ska översättas till ett matematiskt samband måste följande faktorer vara kända:

- Detaljens felfrekvens
- Detaljens felfördelningsfunktion
- Detaljens pris eller alternativkostnad
- Kostnaden för produktionsbortfall
- Utrustningens kvarstående livslängd
- Tillämpad kalkylränta

Bristkostnad

Produktionsbortfallet vid fel orsakar en viss kostnad oavsett om aktuell reservdel finns tillgänglig i eget förråd eller ej. Ledtiden och därmed kostnaden blir givetvis högre om reservenheten först ska beställas och levereras, innan havererad maskin kan repareras.

Bristkostnaden kan beräknas med hjälp av följande underlag:

Efterfrågan på reservdelar som bör behandlas med brisckostnadsmodell är både lågfrekvent och spridd i tiden. Statistiskt beskrivs denna karaktär bäst av en Poisson-fördelning. Beräkning av sannolikheten för ett fel inom tidsperioden (0;t) kan tecknas

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (t > 0)$$

Där λ = felintensiteten = 1/MTBF.

Om resterande livslängd är T år gäller alltså att sannolikheten för behov av reservdel under denna tid är

$$P(T) = 1 - e^{-\lambda T}$$

Och sannolikheten för uteblivet behov är

$$P(T) = e^{-\lambda T}$$

Lagerhållningskostnad

I lagerhållningskostnaden ingår kostnaden vid köp (administration, upphandlingar etc.) och lagring (kapital, byggnader, hantering, registrering, kontroll etc.). Lagerhållningskostnaden är beroende av nämnda kostnadstyper samt reservdelens pris och omsättning.

Den kan delas upp på två fall:

1. Reservdelen används under den tekniska livslängden: $A * r_i / \lambda$ kr
där A = pris på reservdelen inklusive normala kostnader och r_i = internräntefaktorn.
2. Reservdelen behövs ej utan förblir outnyttjad: $A * r_i * T$ kr

Inkuranskostnad

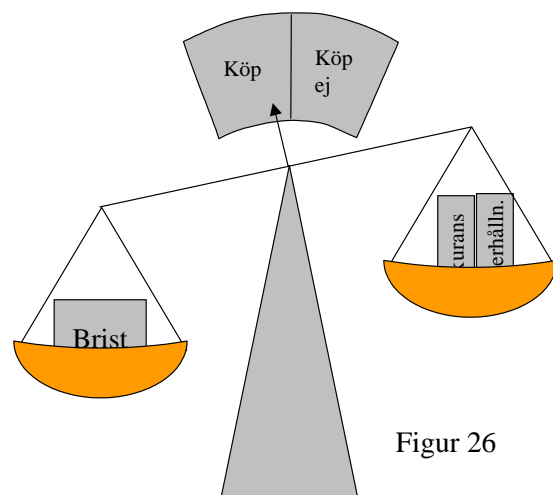
Denna kostnad baseras på reservdelens aktuella pris, eftersom fullt pris, A kr, får betalas om den inte finns i förråd.

På grundval härav kan följande uttryck uppställas när hänsyn tas till sannolikheten för respektive händelse:

Beräknad brisckostnad	$K_B * (1 - e^{-\lambda T})$
Beräknad lagerhållningskostnad	$A * r_i * (1 - e^{-\lambda T}) / \lambda + A * r_i * T * e^{-\lambda T}$
Beräknad inkuranskostnad	$A * e^{-\lambda T}$

För att ta beslut om lagerhållning eller ej vill vi veta om

Beräknad brisckostnad < Beräknad lagerhållningskostnad + Beräknad inkuranskostnad. Om så är fallet bör man inte hålla aktuell reservdel i lager. Detta fall inträffar t ex när man har stor överkapacitet i produktionsavsnittet. Om läget är det omvända, med avsevärt högre brisckostnad än inkurans- och lagerhållningskostnader, är det



klokt att lagerhålla aktuell reservdel. Se Figur 26.

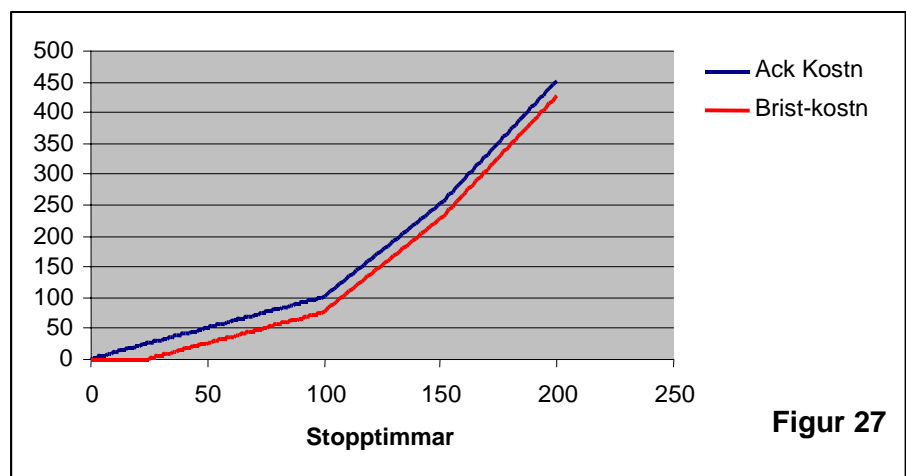
Matematiskt kan det uttryckas med följande olikhet:

$$K_B * (1 - e^{-\lambda T}) \leq A * r_i * (1 - e^{-\lambda T}) / \lambda + A * r_i * T * e^{-\lambda T} + A * e^{-\lambda T}$$

Som framgår av bl.a. figur 22 är bristkostnaden K_B starkt beroende av anskaffningstiden för reservdelen. Denna tid kan kortas ned även på annat sätt än genom egen lagerhållning, bl a

- Service-/reservdelsavtal med leverantör
- Poollager tillsammans med närbelägna företag med liknande utrustning. Ett sådant lager kan med fördel administreras av t ex ett logistikspecialiserat servicebolag.

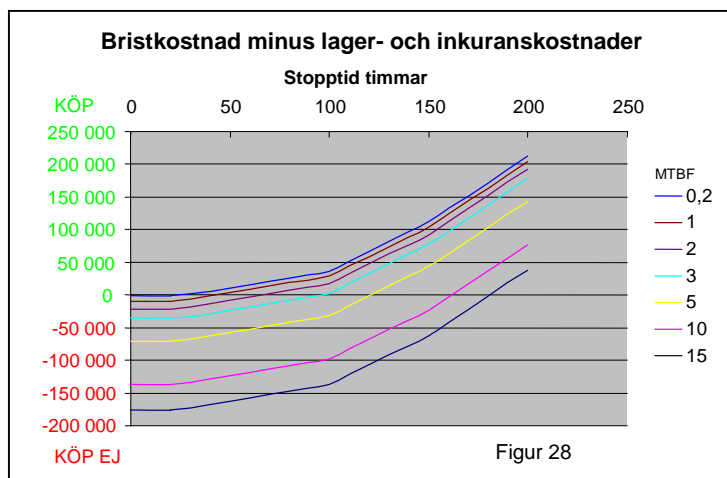
Det är ju inte alltid nödvändigt att ha reservdelen tillgänglig i samma ögonblick haveriet inträffar. Ofta räcker det om den finns på plats innan reparatörerna hunnit demontera den defekta delen. Figur 27 illustrerar värdet av kortare väntan på reservdelar. Där visas stilleståndskostnaden (angiven som enheter,



Figur 27

t ex tusenlappar) som funktion av antalet stopptimmar i ett tänkt verk. Reparationstiden är antagen till 24 timmar. Om stoppet blir längre på grund av reservdelsbrist, uppkommer bristkostnader. Kostnaderna varierar över tiden, t ex genom att buffertlagret efter verket räcker 80 timmar, varefter man måste köpa produkter externt. Efter 150 timmar inträder t ex leveransböter och andra marknadskonsekvenser.

Vidstående graf (Figur 28) visar ett beslutsunderlag för verket ovan. Kostnaden för stillestånd har satts till 500 kronor per timme. Om värdet är över noll, dvs bristkostnaden större än lagerhållnings- och inkuranskostnaderna, är det klokt att lagerhålla aktuell reservdel. Observera att stopptiden inkluderar hela stilleståndstiden, alltså såväl väntetid som reparationstid.



Figur 28

Följande tabell kan ge en översiktlig vägledning för val av optimal lagring av olika typer av reservdelar.

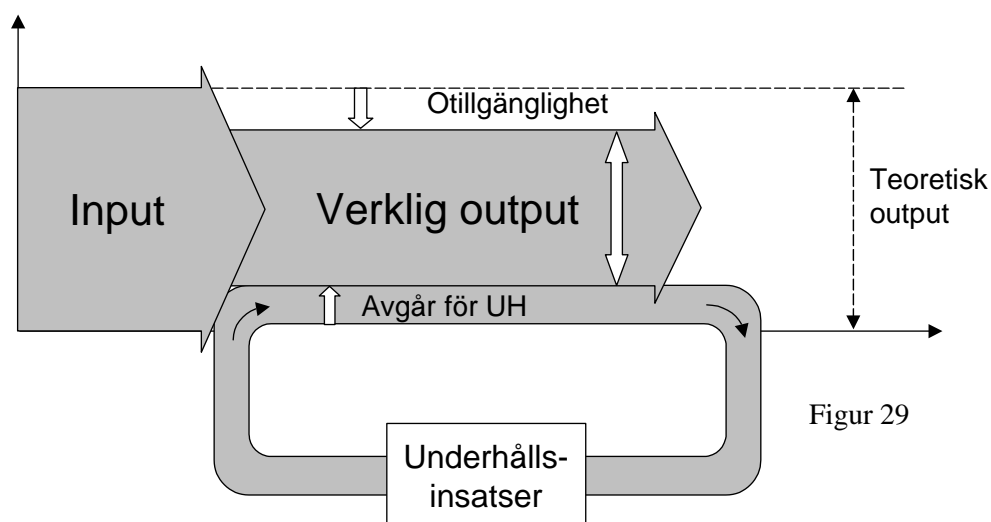
Styrande faktor		Kompletterande faktorer			
Typ av reservdel	Felfrekvens	Bristkostnad	Reservdelspris	Ledtid	Anm.
Försäkrings reservdelar	$\lambda < 2$	Ofta hög	Högt	Ofta lång	Stor strategisk betydelse. Utbytesenhet
Förbrukningsreservdelar	$2 \leq \lambda < 8$	Medelhög	Medelhögt	Medel	Normala reservdelar
Förbrukningsmateriel	$\lambda > 8$	Liten / medel	Låg / medel	Kort	Små / stora bulkmängder

Planering, styrning och uppföljning

Underhållsplanering

De flesta planeringsmetoder för underhåll bygger på några enkla systemtekniska grundprinciper.

Starkt förenklat kan produktionsprocessen i ett avsnitt inom ett järnbruk beskrivas med en schematisk input-/outputmodell enligt figur 29.



Figur 29

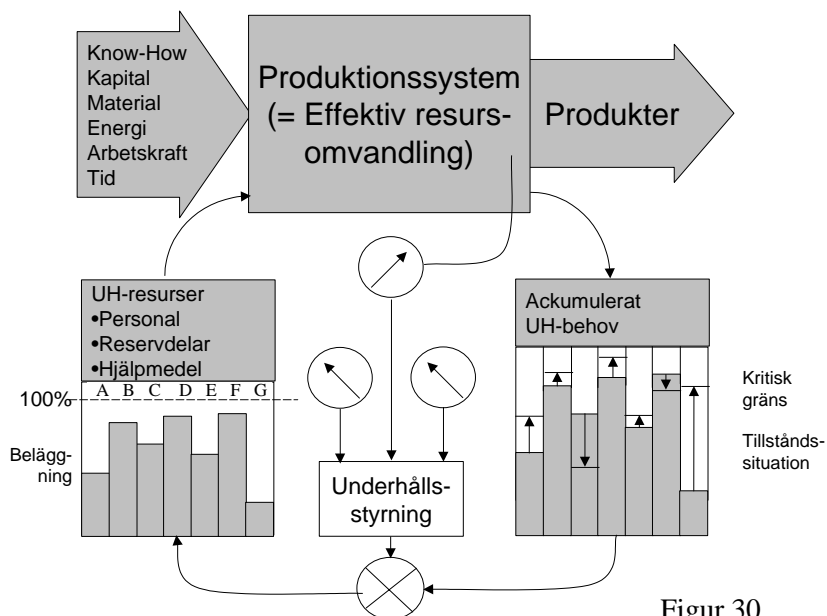
En hundra procentig omvandling av produktionsfaktorerna kapital, arbete, material, tillgänglig tid och know-how är sällan möjlig. En del av resurserna faller bort i processen och en del går åt för underhåll av produktionsapparaten. Man kan inte heller utnyttja all tillgänglig tid för tillverkning pga såväl planerad översyn som oförutsedda stopp. Modellen antyder även det viktiga sambandet mellan effektivt UH och ökad tillgänglighet.

Det är på basis av denna modell som de flesta system för underhållsstyrning är uppbyggda. Det framgår av den elementära planerings- och styrningsmodellen i figur 30.

Mätning av tillståndet i produktionsapparaten ger underlag för planering av UH-resurserna. Den slutliga styrningen tar dessutom hänsyn till aktuell produktions- och leveranssituation samt tillgängliga resurserns kompetens, beläggning och kvalitet.

Kombination av dessa grundmodeller ger ett komplett system för underhållsstyrning med, vanligen, nedanstående basmoduler:

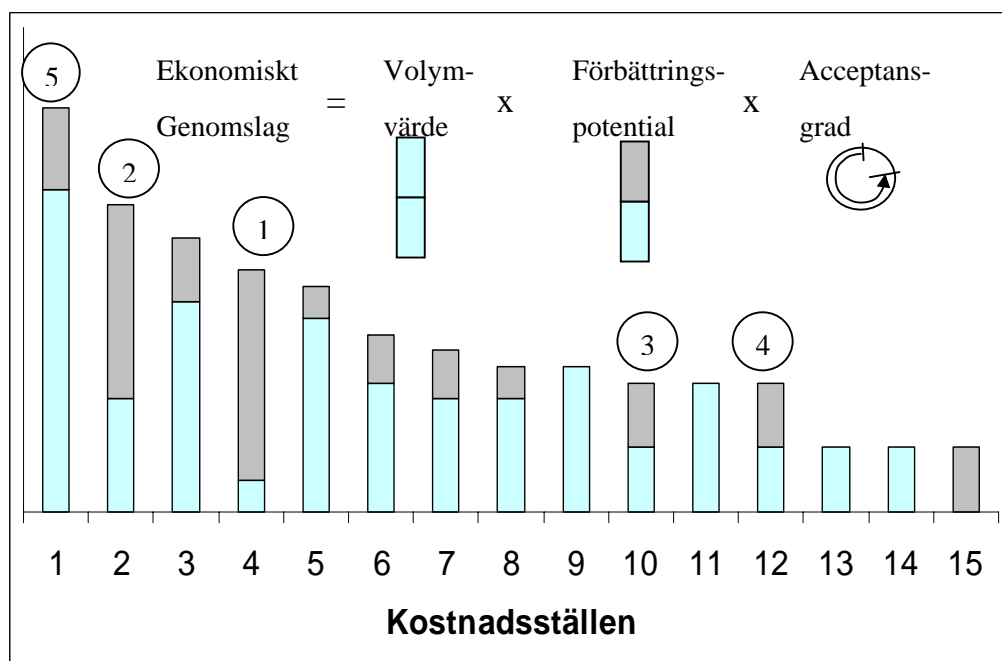
- Styrning av förebyggande underhåll
- Register över anläggningar, maskiner, ritningar, dokument etc.
- Inköp, förrådsstyrning och reservdelar
- System för teknisk och ekonomisk redovisning, analys och uppföljning



Figur 30

Information från inspektioner och tillståndskontroller samt ett bra maskinregister (utrustningsträd) ger underlag för datorprogrammet att planera förebyggande och avhjälpande underhåll och kostnadsuppföljning, som genom t ex en 10-i-topp-lista kan utvisa var de mest verkningsfulla insatserna kan göras.

Men lika viktigt som kostnadernas eller intäkternas volymvärde är bedömning av



förbättringspotentialen och graden av acceptans bland dem som blir berörda av förändringen. I exemplet i figur 31 kan man se hur ordningen enligt Pareto-diagrammet ändras av en sådan bedömning från 1,2,3... till 4,2,10,...

Figur 31

Effektivitets- och resultatuppföljning

Målet med uppföljningen inom underhållsfunktionen är att verifiera underhållets positiva betydelse för huvudverksamheten och lönsamheten. För att mäta och följa upp tillståndet i själva UH-funktionen finns en mängd tekniska och ekonomiska nyckeltal som kan ge besked om hur snabbt och effektivt den genomför sina insatser. Vill man däremot följa även den yttre effektiviteten ökar komplexitetsgraden och det krävs en betydande kunskap om samband och helheter i marknaden. Då måste man utvärdera såväl den tekniska effektiviteten i form av TAK (figur 13) som den ekonomiska i form av både direkta och indirekta underhållskostnader och tappade intäkter (figur 9 och 10).

Bristande underhåll påverkar leveranssäkerheten och ökar behovet av färdiglager, alltså en indirekt kostnad, men det påverkar även kundernas köprohet vilket leder till tappade intäkter.

Erfarenheterna kan summeras i följande viktiga synsätt:

Det mest effektiva sättet att minska den totala underhållsberoende kostnaden är att förskjuta fokus för effektivitetsinsatserna.

Detta innebär att man i första hand arbetar med att minska antalet störningar och förluster och först i andra hand försöker minska de direkta underhållskostnaderna. Man bör därför snarare tala om *underhållsbristkostnader* än underhållskostnader.

Mätmetoder och nyckeltal i underhållsarbetet

Mätningar av underhållets effektivitet kan med fördel struktureras på följande hierarkiska nivåer i stigande ordning:

- Mätning av underhållets resursförbrukning.
- Mätning av erhållet resultat i form av volymen underhållna och reparerade maskiner samt minskade stopptider – alltså ökad driftsäkerhet.
- Fullständig mätning av de tre effektivitetsfaktorerna tidsverkningsgrad, kapacitetsverkningsgrad och kvalitetsutbyte – alltså TAK.
- Mätning av underhållets totala lönsamhetspåverkan – alltså underhållets ekonomiska betydelse, UEB.

Figur 32 visar en sådan länkad fullständig modell för mätning av UH-effektiviteten. Den röda tråden kan följas antingen uppifrån och ned för att spåra orsakerna till dålig lönsamhet eller nerifrån och upp för att styra förbättringsåtgärder mot lönsamma mål.

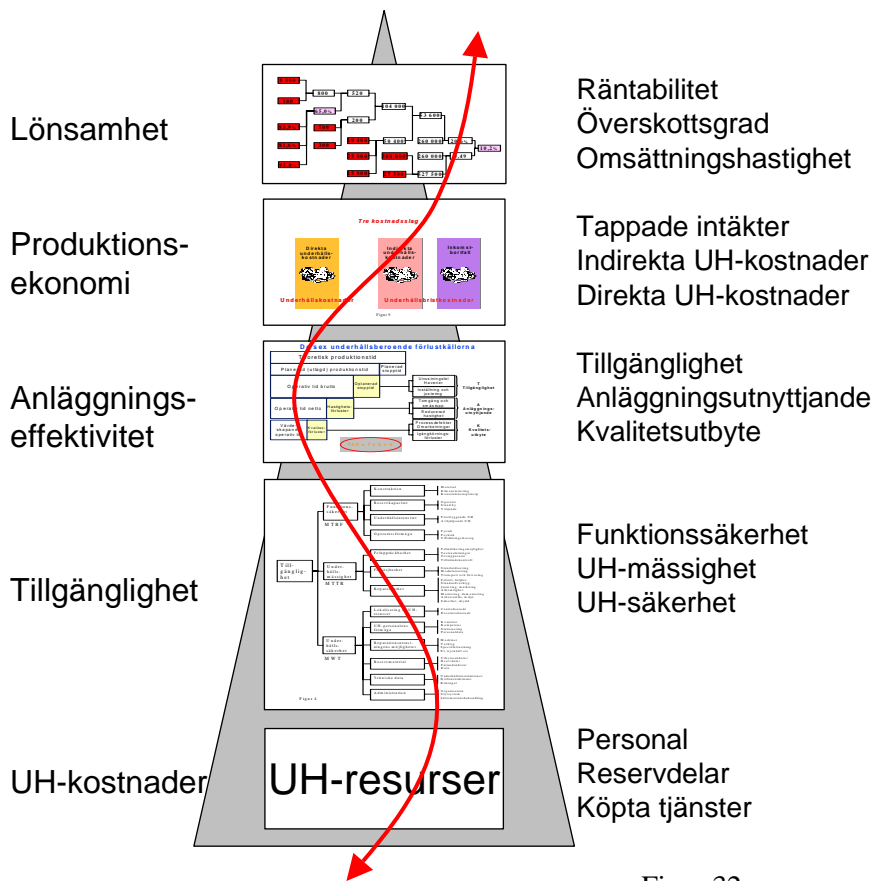
Nedan listas ett antal vanliga nyckeltal, som kan användas för att mäta och följa upp underhållsverksamheten.

Tekniska:

- Antalet planerade UH-timmar av totala antalet
- Antal utförda arbeten / period
- UH-timmar / ton
- Tillgänglighet i % av skiftlagd tid
- Kapacitetsutnyttjning i % av nominell kapacitet
- Kvalitetsutbyte som % felfria ton av totalt producerade ton, etc, etc.

Ekonomiska:

- Underhållskostnad / period
- Underhållskostnad / ton
- Direkta och indirekta kostnader samt tappade intäkter i förhållande till omsättningen
- Kapitalbildning i extra (redundant) utrustning och reservdelar och övrig UH-utrustning i förhållande till omsättningen
- Räntabilitet i %
- Kapitalomsättningshastighet ggr / år
- Vinstmarginal i %, etc, etc.



Figur 32

Sammanfattningsvis är det viktigt att påminna om två viktiga förhållanden när mätsystem införs:

- Relevans är viktigare än precision, dvs det är viktigare att mäta rätt saker än att få exakthet i tredje decimalen.
- Snabbhet är viktigare än fullständighet, dvs att snabbt få fram nyckeltalen och förmedla dem till den personal som ska åtgärda avvikelserna är viktigare än en lång och fullständig rapport om vad som hänt ett halvår efteråt.

Egna eller köpta underhållsresurser

Funktionen Underhåll kan organiseras på många olika sätt. Det vanligaste på bruken är en kombination av centralt och utlokaliserat underhåll. Den centrala enheten innehåller oftast goda verkstadsresurser och specialistkompetens, medan de lokala enheterna har skiftgående reparatörer och specialverkstäder för t ex valsslipning mm.

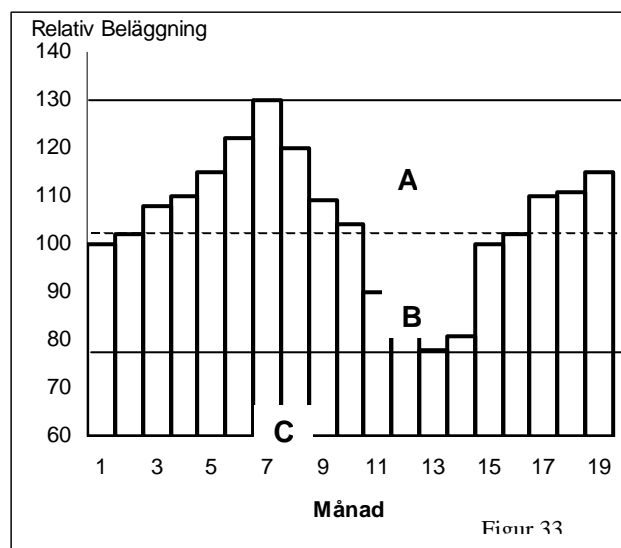
Det blir också allt vanligare att man kombinerar de egna resurserna med externa, som tillhandahålls av specialistföretag inom området service och underhåll. Den vanligaste externa servicen är dock knuten till utrustningsleverantörer genom avtal.

Denna externa serviceprincip kan utvidgas att även gälla annan teknisk utrustning. Bakom beslutet ligger då en strategisk helhetssyn på produktion, driftsäkerhet och underhåll samt en policy av typen: *”Vi ska fokusera på vår kärnverksamhet och bli duktiga på det som genererar inkomster, dvs. marknad, produkter och produktion. Andra för tillverkningen nödvändiga tjänster köps av specialistföretag, medan onödig verksamhet helt avvecklas inom företaget.”*

Det är lätt att visa den potential till effektivisering som finns i en sådan lösning.

Beläggningsutjämning och effektivt resursutnyttjande

En underhållsavdelning vid ett bruk är oftast dimensionerad för att klara allt underhåll med avseende på både volym och typ. Därför blir stora variationer i beläggningsgraden vanliga, se figur 33. Det kan ge betydande kostnadsfördelar att i stället dimensionera de egna resurserna för en stabil lägre nivå, t ex C, och ta in externa specialistföretag för att täcka behoven vid topparna. Detta förfarande är ju självklart vid planerade storstopp och omställningar.



Kompetens och träning

Modern teknisk utrustning är vanligen ganska avancerad men i de flesta fall tämligen driftsäker. När sällsynta fel med långa mellanrum någon gång inträffar, har det egna företaget bristfällig kompetens och ingen träning på att åtgärda sådana fel. Det betyder lång felsökningstid, utdragen reparation och dessutom osäker fortsatt funktion. Specialistföretaget däremot får med sin stora kundkrets god vana vid och träning på dessa lågfrekventa fel och återställer säker funktion på kortare tid.

Av detta framgår underhållets tvärfunktionella natur. Varje bransch har olika underhållsbehov, men underhåll är samtidigt perifer i förhållande till huvudverksamheten. För specialistföretaget är däremot service och underhåll själva affärsidén och därmed i fokus för kompetensuppbyggnad och effektivitet.

Att täcka in en del av underhållsbehovet med externa tjänster från ett specialistföretag kan bli följande fördelar:

- En hög service- och underhållsberedskap är mindre kostsam om den hålls av ett serviceföretag som också håller beredskap för andra företag (utnyttjnings- och skaleffekten).
- Avancerade produkter och anläggningar kräver specialkompetens för service och underhåll.
- Nya metoder och mätutrustningar utvecklas genom specialkompetens och stor erfarenhet (teknisk utveckling).

- Det är mer kostsamt att ha ett eget specialiserat reservdelslager än att köpa tjänsten från ett serviceföretag som håller reservdelar åt flera företag.
- Specialistföretaget känner väl till myndigheternas olika tekniska, juridiska, arbetsrättsliga och säkerhetsmässiga krav.

För att samarbetet ska resultera i ett effektivare underhåll med god ekonomisk utdelning för båda parter, s.k. ”win-win”-effekt, måste serviceföretaget, utöver sin specialistkompetens, även ha förmågan att mäta och påvisa uppnådda fördelar. Det är först då som de stora ekonomiska lönsamhetsgenomslagen kan åstadkommas.

ABB har utvecklat ett speciellt koncept, ABB Full Service^R, som innebär att all underhållsverksamhet läggs på ett för ändamålet bildat specialföretag, som ägs och drivs av ABB men där bruket kan äga en minoritetsandel. Detta företag bemannas med i huvudsak brukets befintliga underhållspersonal, som efter utbildning får uppdraget att driva underhållet enligt de moderna principer som beskrivits i detta utbildningskapitel.

Underhållsmetoder i praktiken

Underhållsverksamheten kan delas in i *avhjälpan* respektive *förebyggande* underhåll. Med förebyggande avses allt programmerat underhåll som utförs i syfte att förebygga uppkomsten av fel eller onödigt maskinslitage samt för att upptäcka felen innan följdskador uppstår.

Förebyggande underhåll kan delas in i *direkt* och *indirekt*. Exempel på direkt är rengöring, programmerade utbyten, programmerade renoveringar och smörjning. Exempel på indirekt är tillståndskontroller, funktionskontroller och programmerad testning.

Det indirekta underhållet kan indelas i *subjektiva* och *objektiva* kontroller. Vid subjektiva kontroller överläts bedömningen helt till den person som utför kontrollen och resultatet varierar alltså med personens kompetens. Vid objektiva kontroller använder man något instrument eller annat hjälpmedel som gör kontrollen helt objektiv. I ett program för förebyggande underhåll vill man ha så många objektiva kontrollmetoder som möjligt.

Inom vår bransch, järn- och stålindustrin, har vi anledning att titta närmare på fyra huvudområden, som alla är viktiga för produktionen:

- Industriell elektronik
- Högspänningsapparater
- Roterande maskiner och
- Kranar och lyftdon

Industriell elektronik

Innebörden av begreppet industrielektronik är för de flesta självklar liksom skillnaden mellan denna och kommersiell elektronik (TV, radio, video etc.). Till industrielektroniken räknas allt från enkla enheter med någon diod till komplexa, programmerbara system.

Felsökning kräver oftast kunskap om mer än bara elektroniken. Den är det sällan fel på, utan felen brukar uppstå på de apparater som samverkar med elektroniken. Detta formar också kraven man ställer på dem som arbetar med elektronikunderhåll. Förutom elektronikkunskaper måste de även ha god kunskap om andra apparater, vilket kan vara allt från högspänningsapparater till mycket speciella givare.

Med anläggning menar vi vanligen en större utrustning med många elektriska och mekaniska enheter som på ett optimalt sätt ska samverka.

För att täcka hela underhållskedjan behövs - utöver de begrepp som redovisas i figur 19 – även prestanda. Med prestanda menar vi samordning mellan olika enheter i t ex ett koordinerat drivsystem. Som regel rör det sig om kontroll av strömmar, dragkrafter och hastigheter samt vad som sker vid snabba förändringar i processen.

Direkt förebyggande underhåll

Inom industrielektroniken görs inte mycket inom detta avsnitt.

Rengöring förekommer sällan. Utrustningen står normalt inom skyddade utrymmen. Den ökade användningen av decentraliserade system medför dock att större uppmärksamhet måste ägnas rengöringen.

Planerade utbyten gäller i första hand backup-batterier som ska säkra spänningsförsörjningen till minnen när huvudspänningen är frånslagen.

Smörjning och renovering kan gälla elektromekanisk utrustning som ofta är integrerad med elektroniken, t ex fläktar, reläer, kontaktorer etc. Normalt bör man följa leverantörernas skötselinstruktioner.

Indirekt förebyggande underhåll

Omfattande mätningar för att skapa sig en bild av industrielektronikens tillstånd låter sig inte göras. Denna metod passar bäst när man har en viss förslitning. Det kan emellertid vara bra att registrera vissa parametrar, så de är kända om man vid senare tillfälle får problem.

Inte heller subjektiv kontroll, dvs. att med sina sinnen bedöma elektronikens hälsostillstånd, förekommer annat än i rena undantagsfall.

Funktionskontroll görs på mer sammansatta enheter. Som exempel kan nämnas sällan utnyttjade servicehjälpmedel och reservkraft för att vara säker på korrekt funktion de få gånger de behövs.

Planerat avhjälpande underhåll

Som en konsekvens av att inget omfattande förebyggande underhåll sker utförs inte heller något planerat avhjälpande underhåll. Det är sällan något just håller på att gå sönder och vars utbyte kan planeras.

Oplanerat avhjälpande underhåll

Detta är den vanligaste typen av underhåll när det gäller industrielektronik. Vanligen ringer en operatör och berättar om ett problem. Det behöver inte vara ett elektronikfel, men av naturliga skäl kan man oftast inte se sådana fel, och problem man inte kan se klassas då som elektronikfel. Det gör att elektroniken som regel är inblandad i de flesta problem trots högt MTBF-värde.

Genom att studera figur 34 får man en god uppfattning om skillnaden mellan felsökning på elektromekanisk utrustning och elektronik. För elektronik är felsökningstiden oftast längre än reparationstiden. För elektromekanisk utrustning gäller vanligen det motsatta. En annan skillnad är att man sällan direkt kan se felet vid felsökning på elektronik. Man är som regel hänvisad till olika servicehjälpmedel.

Allt detta pekar på att en effektivisering av felsökningsrutinerna borde vara det rätta, och det kan man åstadkomma genom att ställa ökade krav på följande punkter:

- Inbyggd självdiagnostik
- Kunskap om utrustningen
- Servicehjälpmedel
- Träning och utbildning
- Rätt dokumentation
- Reservdelar
- Teknisk backup

En del av svårigheten med felsökning på industriell elektronik är just att den har högt MTBF-värde. Detta låter och är naturligtvis bra, men det ger få tillfällen till träning och erfarenhet.

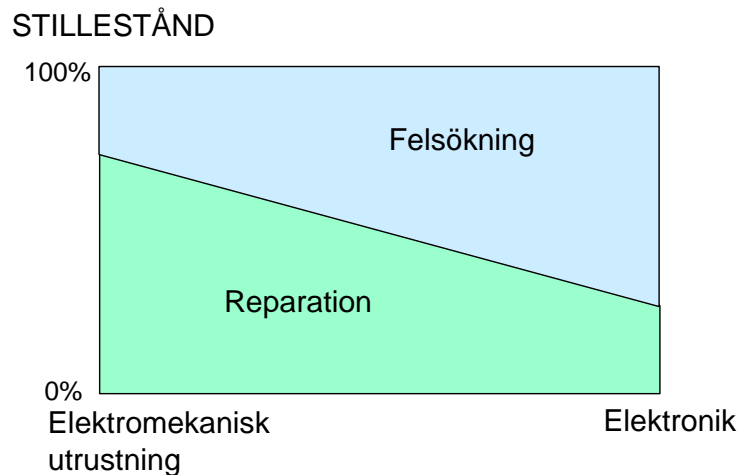
Funktioner för *självdiagnostik* byggs ofta in i industrielektroniken. De flesta fel som uppträder inom själva elektroniken kan därmed klaras ut. Eftersom MTBF-värdet är högt är detta dock inte lösningen på det avhjälpande underhållet för elektronik. Endast en del inrapporterade störningar kommer att lösas med hjälp av självdiagnostik.

Rätt *kunskap* om utrustningen bör ges till fler medarbetare. I en processindustri som vår bör alla berörda kunna lösa uppkomna problem. Experterna arbetar normalt dagtid och chansen att störningar bara ska komma då är ganska liten. Alltså bör mer planerad träning på utrustningen genomföras.

Bra *servicehjälpmedel* är ett krav. Dessutom måste underhållspersonalen kunna använda de hjälpmedel som finns. Detta kräver viss träning. Många av hjälpmedlen används sällan, och därför måste de kontrolleras regelbundet. En standardisering av är här ett starkt önskemål.

Underhållspersonal inom elektronik fordrar mer *träning och utbildning* än kollegorna inom de flesta andra områden. Det finns en skillnad mellan träning och utbildning. Träning bedrivs på den egna anläggningen medan utbildning normalt sker på skolbänk hos leverantörer, skolor etc. Träning står för praktik och erfarenhet medan utbildning står för grundkunskap.

En förutsättning för effektiv felsökning är rätt *dokumentation*. Detta innebär inte att man behöver all tillgänglig information - det finns ofta för mycket information som kan bli förvillande, speciellt om man har bråttom.



Figur 34, Förhållandet mellan felsöknings- och reparationstid för elektromekanisk respektive elektronisk utrustning

Reservdelar är viktiga, trots att de sällan behövs. Man måste komma ihåg att:

- reservdelar ofta används vid felsökning, man prövar sig fram
- reservdelar till äldre utrustningar kan vara svåra att få fram
- se till att de reservdelar man har fungerar
- arrangera så att man lätt hittar de reservdelar man har
- se till att man vet var man kan få tag i de reservdelar man själv inte har i lager.

Den klokaste regeln vid felsökning är ”sök inte fel för länge – sök hellre hjälp i tid”. Detta är självklart men går ofta fel. En av anledningarna är att man inte vet var man ska söka hjälp. En väl organiserad *teknisk backup* som minskar felsökningstiden kan omfatta:

- Supportcenter öppet 24 timmar/dygn
- Tillgång till reservdelar
- Tillgång till servicehjälpmedel via telefon och modem
- Rätt dokumentation
- Kunskapsdatabas, d v s en databas där information om alla tidigare problem för en stor mängd utrustningar finns lagrad.

Prestanda

Begreppet *prestanda* kan användas som ett mått på funktionen då ett flertal utrustningar i en stor anläggning ska fungera tillsammans. Ett bra exempel på sådana utrustningar är det man kallar koordinerade drivsystem. Till den gruppen räknas bl a valsverk.

Bandverk som inte producerar med maximal hastighet skulle, genom att man höjer valsningshastigheten, kunna öka sin *prestanda*. De flesta valsverk kör med icke-maximal hastighet och kan som regel köras fortare, men hur mycket är det ingen som vet. Detta brukar kallas den uteblivna intäkten. Enda sättet att minska denna är att försöka öka hastigheten med bibehållen bandkvalitet.

En i detta sammanhang viktig parameter är industrielektroniken. Den måste vara i så bra skick som möjligt. I annat fall ger valsarna upp och kör vid en lägre hastighet. För att kontrollera elektronikens skick och om verket presterar maximalt bör man göra en *prestandakontroll* vid igångkörning och därefter regelbundet ca 1 gång per år.

Högspänningsapparater

Det förebyggande underhållet styrs för de flesta produkter av ekonomiska villkor. Undantag från detta är högspänningsutrustning. Underhåll av högspänningsapparater sker i första hand efter bestämmelser utfärdade av berörda myndigheter. Detta betyder inte att man från användarsynpunkt är ointresserad av underhåll på högspänningsutrustning, utan snarare att de krav man har på säkerhet ger tätare underhållsintervall. Man måste alltså göra tätare kontroller av hsp-utrustning än av annan utrustning och dessutom måste man vara säker på att alla kontroller verkligen sker. I järn- och stålindustrin är ofta påkänningarna och slitaget på högspänningsutrustningarna större än på andra håll. Det ställer framför allt krav på ännu tätare kontroller av deras tillstånd. Förutom risken för driftstörningar måste man här även beakta risken för personskador.

Begreppet högspänningsutrustning är inte entydigt. Här talar vi främst om:

- Hög- och mellanspänningsbrytare
- Ugnstransformatorer
- Reläskydd
- Hjälpkraft
- Kondensatorbatterier
- Frånskiljare

Högspänningsbrytare

Inom järn- & stålindustrin finns fler högspänningsbrytare än i de flesta andra industrigrenar. Tidigare dominerade tryckluftbrytarna men nu har vi mest vakuumbrytare. Exakt vilket underhåll som ska göras på högspänningsbrytare framgår inte av några säkerhetsföreskrifter. En viss enighet kring följande finns dock:

- Uppmätning av brytarens till- och frånslagshastighet
- Uppmätning av brytpolernas övergångsresistans
- Uppmätning av brytarens funktionstider
- Kontroll av täthet

Brythastighet, -tider och -resistans mäts med hjälp av datorutrustning. Erhållna mätvärden jämförs med provningsnormaler.

Ugnstransformatorer

Det förebyggande underhållet på en transformator görs bäst genom gasanalys av oljan. En ugnstransformator utsätts för hårdare påkänningar än vanliga kraft- och distributionstransformatorer. Därför krävs tätare analyser, helst redan från början för god historik. Följande punkter bör därmed ingå i det förebyggande underhållet:

- Tidig och frekvent gasanalys av oljan
- Kontroll av oljenivå, torkmedel, temperatur, oljeläckage och ventilation
- Kontroll av låda, kylare, fläktar, pumpar, lock, genomföringar, expansionskärl, gasvakt, omsättningskopplare och manöverskåp
- Rengöring av genomföringar
- Provning av överströmsskydd

- Kontroll av signal och utlösning från termometer, gasvakt, tryckvakt och oljenivåvisare
- Motionering av omsättningskopplare samt revision av lindningskopplare.

Reläer och reläskydd

Kontroll av överspännings- och överströmsskydd föreskrivs. Det mätande reläet kontrolleras vanligen via speciella provuttag.

Med reläskydd menar man normalt relä och givare. Primärprov av hela skyddet låter sig i praktiken knappast göras. Därför är man hänvisad till att prova komponenterna var för sig och slutligen testa fram till reläkontakten.

Idag är reläskydden elektroniska med bättre livslängd, mindre underhåll och större tillförlitlighet som följd. Provingen görs via dator som jämför erhållna värden med förprogrammerade samt skriver ut testprotokollet.

Hjälpkraftsystem

Hjälpkraftsystemen består normalt av

- Övervakningssystem
- Batteriladdare
- Batterier

Det förebyggande underhåll som bör göras är

- Kontroll av elektrolytnivå, totalspänning, inställning av laddare och rengöring av batterier
- Kontroll av densitet och cellspänning för samtliga celler samt likriktarens laddningsförmåga
- Kapacitetsprov år 3, 5, 6, 7, etc.

Vid förebyggande underhåll av hjälpkraft har man goda möjligheter att nå ett bra resultat eftersom man får mätvärden som verifierar tillståndet. Arbetet utförs lämpligen med hjälp av datalogger.

Termografi

Termografering används vid bruken i huvudsak på utomhus ställverk o dyl. Det är en objektiv kontrollmetod och när man väl känner igen den normala värmebilden av en apparat har man en referens för att bedöma onormala värmebilder. Tolkning och bedömning av dessa gör det möjligt att lokalisera fel.

Man skiljer mellan två orsaker till en ”onormal” värmebild:

- Förändringar i värmebilden har orsakats av ett förhöjt övergångsmotstånd
- Värmebilden har påverkats av någon yttre faktor som i sig inte har något med ett eventuellt fel att göra utan bara försvårar tolkningen.

Vi brukar skilja mellan tre olika typer av förändringar som orsakat förhöjt övergångsmotstånd:

Minskat kontakttryck

För fasta förband kan åldring orsaka minskat kontakttryck. För rörliga förband, typ fjäderförband, kan felet vara att spännkraften sjunkit pga utlöpta fjädrar. Hos skruvförband kan man få materialförändringar i bultar och muttrar. Ofta kan en för stor stigning hos gängorna innebära åldring i gängsidorna med efterföljande sänkt spännkraft.

Beläggning på kontaktytan

Den andra vanliga orsaken till förhöjt övergångsmotstånd är beläggning. Den uppkommer genom att kontaktytorna drar till sig smuts och damm genom sin magnetiska laddning och att de har en rörelse relativt varandra orsakad av temperaturvariationer. Smuts, damm och oxider som bildas är dåliga ledare och ökar kontaktmotståndet.

Ändringar i elektronströmmarnas bana över kontaktstället

Detta orsakar minskad effektiv kontaktyta genom de mikroskopiska hål elektronströmmarna bildar i kontaktytan. Man har funnit att om man drar åt ett skruvförband kan sämre funktion erhållas genom att nya håligheter bildas i elektronströmmarna.

Ofta räcker det att konstatera de förändringar som termografin visat utan att gå in på orsaken. För det fortsatta åtgärdsprogrammet kan det dock vara av värde att studera eventuella orsaker, t ex:

- Felaktig konstruktion
- Felaktigt material
- Felaktigt utförande
- Felaktigt montage
- Onormalt slitage

Protokoll och datasystem

Protokoll och andra uppgifter som måste sparas för att dokumentera att ett underhåll har skett lagras lämpligen i det underhållsprogram som används för planering och uppföljning av underhållet. Detta program innehåller objektlistor, utrustningsträd, fel- och åtgärdsbeskrivningar, tidsplaner, reservdelsförteckningar och historik över tidigare utfört underhåll.

Roterande maskiner

Direkt förebyggande underhåll

Direkt förebyggande underhåll i form av rengöring, planerade byten, smörjning etc. gäller fortfarande i stor utsträckning för roterande maskiner. Rekommendationer för detta underhåll finns i leverantörernas skötselinstruktioner.

Rengöring

Övergång till alltfler växelströmsmaskiner har i viss mån reducerat de problem med borstdamm som likströmsmotorer ger. I järn- & stålindustrin har vi dock fortfarande många likströmsmaskiner och dessutom krävs ändå mycket rengöring p.g.a. den allmänt besvärliga miljön.

Planerade utbyten

Omfattningen minskar i takt med att indirekt förebyggande underhåll införs. Oljebyte, byte av tätningar och filter är exempel på planerat underhåll.

Smörjning

Fortfarande utförs periodisk smörjning av fettsmorda lager i stor omfattning. Engångssmorda lager och analys av oljan kommer att minska denna verksamhet. Rengöring av oljan blir vanligare för att minska både antalet dyra oljebyten och kostnaden för hantering av spilloljan.

Indirekt förebyggande underhåll

Med indirekt förebyggande underhåll avses tillstånds- och funktionskontroll, som är på stark framfarsch när det gäller roterande maskiner. Den objektiva och subjektiva kontrollen kompletteras med historik för att ge bästa möjliga beslutsunderlag.

När man börjar med indirekt förebyggande underhåll på en utrustning bör en statuskontroll genomföras. Speciellt viktigt är att titta på historiken för äldre utrustningar samt att kontrollera uppriktningen.

Objektiv kontroll

Ett stort urval av mer eller mindre sofistikerade instrument finns på marknaden, t ex instrument för vibrationsanalys med utvärdering i ett sk expertsystem, laserinstrument för kontroll av uppriktning osv.

Tyvärr har många satsat på dessa dyra hjälpmedel utan att beakta kostnaden och utan att ha tillräckligt utbildad och erfaren person som ska utföra arbetet. I många fall räcker det med billigare hjälpmedel för att snabbt bilda sig en uppfattning om utrustningens status. Mer sofistikerade mätinstrument och mer tid kan då sättas in på objekt som visar oroväckande trend.

Subjektiv kontroll

Den subjektiva kontrollens (se, lyssna, känna och lukta) betydelse kan inte nog framhållas. Ända upp till 70-80 % klaras den vägen av en erfaren underhållstekniker. Detta gäller t ex sådana maskiner som är av typen roterande elektromekaniska objekt, t ex rullar och fläktar.

Utvärdering och rapportering

Rationell utvärdering bör ske med hjälp av olika typer av datorprogram. Objektiviteten blir då större, men främst blir dokumentationen systematiserad och lagrad på ett bra sätt. All erfarenhet visar att ordning och reda är A och O i ett bra och kostnadseffektivt underhåll. För att inte skymma budskapet

bör distribution av alltför mycket information till beslutsfattare dock undvikas. Primärt räcker det med övergripande status för objekten samt eventuella åtgärdsförslag.

Fotografering kan i vissa fall med fördel användas i arbetet. En bild säger som bekant mer än 1000 ord, vilket resulterar i snabbare och bättre beslut.

Serviceprogram för roterande elektriska maskiner

För följande elmaskiner finns standardprogram för förebyggande underhåll både i stillestånd och under drift:

- Kortslutna asynkronmaskiner
- Släpringade asynkronmaskiner
- Borstlösa synkronmaskiner
- Släpringade synkronmaskiner
- Likströmsmaskiner

Nedanstående punkter är exempel på aktiviteter som utförs

Objektiva kontroller

- Varvtal
- SPM (stötpulsmätning) = lagerkondition
- Vibrationsnivå vid lager
- Temperatur motor
- Temperatur inkommande kyl Luft
- Temperatur utgående kyl Luft
- Fasströmmar
- Tachometerspänning
- Ripple tachometerspänning
- Isolationsresistans i stator och rotor
- Polarisationsindex ($U > 3000$ V)
- Borsttryck

Subjektiva kontroller

- Kommutator och släpringar
- Elborstar
- Renhet och korrosion
- Skruvförband
- Fundament och fastsättning
- Läckage, kylvatten och smörjmedel
- Koppling
- Statorlindning
- Rotorlindning

Åtgärder (i samband med förebyggande underhåll)

Enligt skötselinstruktion för aktuell maskin

Dokumentation

- Förteckning över ingående objekt
- Förteckning över ingående reservdelar
- Rapport som omfattar: objektdata, mätvärden, avvikelser, trender, kommentarer och åtgärdsförslag

Erfarenheter

Några typiska fel hos elektriska maskiner är:

- Undermåliga fundament och infästningar
- Gammal isolation
- Lagerskador
- Föroreningar
- Feluppriktning
- Överhettning
- Kommuteringsproblem
- Kopplingskador
- Brott på rotorstavar
- Felaktiga eller dåligt dragna skruvförband
- Obalans

Statistiskt sett svarar dålig uppriktning och obalans för 70-80 % av otillåtna vibrationsnivåer. Dåliga fundament och infästningar är några av de mest utbredda orsakerna till förändrad uppriktning och därmed mekaniska skador på objekten, främst lagren. Orsaken till dåliga fundament är flera. En orsak är att konstruktörer av anläggningar inte specificerar kraven på fundament och infästningar så att byggentreprenören vet vad han har att uppfylla. En annan är att byggare och maskinleverantörer arbetar utifrån olika normer och standarder. En tredje viktig orsak är att underhållspersonalen inte riktar upp mindre objekt enligt de krav som gäller.

En mycket stor del av lagerskadorna beror på feluppriktning, felaktig smörjning och smuts (ca 66 % enligt en utredning som SKF gjort).

Kommutator- och borstslitage kan många gånger lösas med klarläggande av aktuell last och strömmens utseende. Oftast börjar man med att byta borstar innan man fastställt om problemet är av elektrisk natur (kommuteringsproblem) eller mekanisk natur (t ex luftfuktighet, kylning). För en erfaren underhållstekniker bör 70-80 % av problemen kunna lösas genom att han ser till att ”grundreglerna” är uppfyllda.

För att utföra en diagnostik på en högspänningslindning krävs att man har mätinstrument och erfarenhet. Ett fullständigt diagnosunderlag kräver: historik, visuell inspektion, elektriska mätningar samt utvärdering och bedömning av dessa inklusive trendkurvor.

De elektriska mätningarna bör omfatta:

- Isolationsresistans och polarisationsindex
- Förlustfaktor (Tan)
- Urladdningsenergi (PD)

- Högspänningstest (1,5 x Un)

Diagnostik av växlar bygger mycket på vibrations- och oljeanalys kombinerat med subjektiva kontroller. Om man vill följa skadeutvecklingen på kuggarna kan fotografering var ett bra hjälpmedel.

Planerat avhjälpande underhåll

Mängden planerade underhållsarbeten som utförs ökar i takt med att det indirekta, förebyggande underhållet utvecklas. Detta omfattar allt från byte av lager och tätningar till omlindning av högspända elektriska maskiner, innan haveri inträffar.

Eftersom haveri på en roterande maskin ofta innebär långa stopp (om inte reserver finns) samt dyra forceringskostnader och produktionsbortfall, sparas stora belopp genom ett planerat avhjälpande underhåll. Till detta kan vi även räkna förbättring av maskinerna, t ex förbättrad konstruktion, ökade prestanda etc. Även här kommer åtgärdsförslagen via det systematiska indirekta förebyggande underhållsarbetet.

Oplanerat avhjälpande underhåll

En kraftig sänkning av antalet haverier har skett under de senaste 20 åren. Orsaken är bättre konstruktioner, bättre övervakningsutrustning samt ett mycket effektivare och mer systematiskt underhållsarbete.

Alla bruken har dock inte satsat fullt ut på förebyggande underhåll och många äldre utrustningar kommer att finnas i drift i ytterligare många år. En ny strategi krävs då för underhållet, inte minst med avseende på reservdelar och hur det avhjälpande underhållet ska genomföras. I framtiden kommer vi därför att få se allt fler fullserviceavtal.

Kranar och Lyftdon

Dimensionering, Livslängd

Kranar dimensioneras för en livslängd på 10 år med avseende på komponenter som växellådor, el-utrustning mm.

Stålkonstruktionen dimensioneras för 20 års livslängd.

Beroende på hur kranen skall användas, lastspektrum (andel av laster som är nära fullast), planerade drifttimmar per dygn etc. dimensioneras kranen enligt en krangrupp. M1 - M8 enligt nedanstående tabellverk.

Typ och/eller Användning	Utnyttjande-klass	Belastnings-situation	Grupp-klass
Beredskapstjänst: Pumpstationer, Underhållskranar etc.	T2 - T4	L1	M1 - M3
Mycket lätt tjänst: Allmänna maskinverkstäder etc.	T2 - T4	L1 - L2	M1 - M4
Lätt tjänst: Lossning av fordon, Lager etc.	T2 - T4	L1 - L3	M2 - M4
Medeltung tjänst: Produktionslastning, Montering etc.	T4 - T6	L1 - L3	M4 - M6
Tung tjänst: Process, Magnetlyft, Varv, Smält metall, Hantering av farligt gods etc.	T5 - T8	L4	M6 - M8

Utnyttjande-klass	Total Användningstid (timmar)*	Användning
T0	200	Oregelbunden
T1	400	
T2	800	
T3	1,600	
T4	3,200	Regelbunden lätt
T5	6,300	Regelbunden intermittent
T6	12,500	Oregelbunden intensiv
T7	25,000	Intensiv
T8	50,000	
T9	100,000	

*Beräknad för en total livslängd av ca 10 år

Processkranar i stålindustrin hamnar oftast i krangrupp M6 - M8. Se också ISO 4301/1 eller SS 766 30 01.

Genom att sätta sig in i problematiken förstår man att en 20-tons kran som jobbar dygnet runt med nära fullast måste vara kraftigare dimensionerad än en verkstadskran som kanske gör ett 20-tons lyft per vecka.

Belastnings-situation	Kommentarer
L1 - Lätt	Utsätts mycket sällan för maxlast och normalt endast för lätta lyft
L2 - Måttlig	Utsätts ganska ofta för maxlast men normalt för måttligt tunga lyft
L3 - Tung	Utsätts ofta för maxlast och normalt för tunga lyft
L4 – Mycket tung	Utsätts regelbundet för maxlast

Ovanstående parametrar är bra att känna till när man t.ex. ändrar eller byter produktion i en hall, eller om man tänkt flytta en kran eller köpa ny.

Gruppklassning

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
L1			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
L2		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
L3	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8		
L4	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8			

T = Utnyttjandeklass

L = Lastsituation

Beträffande kranars livslängd finns numera krav på att driftstimmar registreras så man ska kunna konstatera när den teoretiska livslängden är slut. Kan inte detta verifieras finns formler tillgängliga för att räkna fram återstående livslängd. För att få köras vidare när den teoretiska livslängden är slut skall kranen genomgå en sk Konditionsanalys, där kranens alla delar granskas i fråga om skick, funktion, slitage mm.

Efter åtgärdande av ev. anmärkningar erhåller kranen ytterligare livstid.

Förebyggande underhåll

Eftersom stora krav ställs på säkerhet finns ett antal normer och föreskrifter som reglerar kranars utrustning och säkerhet.

Regler finns även för förebyggande underhåll av kranar. SS 768 00 04. Denna norm omfattar främst säkerhetsaspekter och grundar sig på driftstimmar per dygn.

För att erhålla hög tillgänglighet måste det förebyggande underhållet enligt normen kompletteras med ett FU på samtliga komponenter som kan störa driften.

För att ge ett kostnadseffektivt underhåll bör så många aktiviteter som möjligt kunna planeras. Man gör en underhållsplan som omfattar frekvens på FU, vad som skall ingå i FU, åtgärder och vilka reservdelar som skall finnas tillgängliga mm.

Aktiviteter som bör ingå är:

- Daglig inspektion som utförs av kranoperatör
- Schemalagt eller drifttidsbestämt FU eller en kombination av dessa, som utförs av välkvalificerad personal

Till dessa aktiviteter kan läggas tillståndskontroller t ex vibrationsmätningar.

Frekvensen på FU baseras lämpligen på kranens drifttimmar ex.vis var 100de.

Frekvens på tillståndskontroll ev. var 3:e mån.

Ett problem som alltid finns och måste lösas är tiden då kranen finns tillgänglig för underhåll.

Produktionen vill ha denna tid så kort som möjligt, underhåll så lång som möjligt. Skulle ett komplett FU-program genomföras var 100de drifttimme blir troligtvis produktionsbortfallet oacceptabelt stort.

Man får då göra en analys av hur kritiska olika komponenter är. Så identifieras ett fåtal komponenter som behöver högsta frekvens på FU. Troligen lyftbromsar och linor. Därefter kommer åkbromsar, växlar, anslutningar mm som kan ges lägre frekvens. Minst kritisk är förmodligen stålkonstruktionen som erhåller lägsta frekvensen. Med denna analys ordentligt genomförd finns förutsättningar att med låg risk genomföra ett bra FU på minsta möjliga tid.

Avhjälpande underhåll

Angående avhjälpande underhåll som inte är möjligt att göra i samband med FU, måste en kvalificerad bedömning göras hur länge man kan köra innan felet eller slitaget leder till haveri. Kan man inte köra till nästa planerade stopp måste ett extra stopp planeras in.

Källor

Del	Titel	Författat av	Revidering av
1	Historia, grundläggande metallurgi...	Jan Ugglå	Sven Ekerot (2000) Robert Vikman, Jernkontorets TO 21, 23 och 24 (2016)
2	Malmbaserad processmetallurgi.....	Jan Ugglå	Sven Ekerot
3	Skrotbaserad processmetallurgi	Jan Ugglå	Henrik Widmark
4	Skänkmetallurgi och gjutning	Jan Ugglå	Sven Ekerot
5	Underhåll och driftsekonomi	Hans Gillberg och Niklas Brodd, ABB	
6	Analytisk kemi	Carl Bavrell	
7	Energi och ugnsteknik.....	Jan Fors och Martti Köhli	
8	Bearbetning av långa produkter	Magnus Jarl, Håkan Lundbäck, Jan-Olov Perå och Åke Sjöström	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 32
9	Bearbetning av platta produkter	Nils-Göran Jonsson, Jan Levén Åke Sjöström och Olof Wiklund	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 31
10	Oförstörande provning	Jan-Erik Bohman, Bernt Hedlund, Bengt Moberg, Bert Pettersson och Björn Zetterberg	Författarna
11	Olegerade och låglegerade stål.....	Bengt Lilljekvist	
12	Rostfritt stål.....	Staffan Hertzman och Hans Nordberg	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 43

Del 5 bygger på ABB Handbok Industri och har sammanställt av Hans Gillberg och Niklas Brodd.

Bilderna i den första utgåvan av delarna 1–4 producerades av Jenö Debröczy.
Några av dessa bilder återfinns i den omarbetade utgåvan.

Bilderna i den första utgåvan av delarna 6–12 producerades av Databild AB.

Bilderna i den reviderade utgåvan av delarna 8, 9 och 12 har omarbetats av Rachel Pettersson.

DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS BRANSCHORGANISATION

Jernkontoret grundades 1747 och ägs sedan dess av de svenska stålföretagen. Jernkontoret företräder stålindustrin i frågor som berör handelspolitik, forskning och utbildning, standardisering, energi och miljö samt transportfrågor. Jernkontoret leder den gemensamma nordiska stålforskningen. Dessutom utarbetar Jernkontoret branschstatistik och bedriver bergshistorisk forskning.

JERNKONTORET

Box 1721, 111 87 Stockholm · Kungsträdgårdsgatan 10
Telefon 08-679 17 00 · Fax 08-611 20 89
E-post office@jernkontoret.se · www.jernkontoret.se

