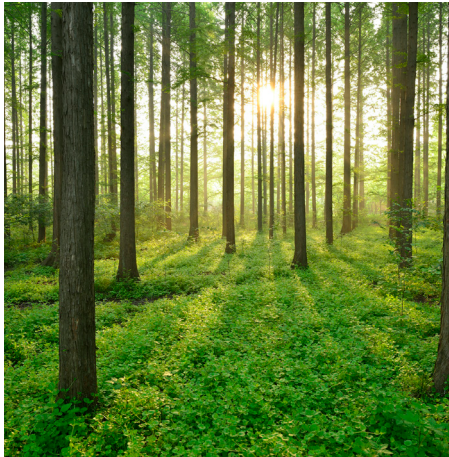


STATUSBEDÖMNING AV KOMPONENTER FÖR MANÖVRERING AV UTSKOVSLUCKOR

RAPPORT 2026:1153



DAMMSÄKERHET



Statusbedömning av komponenter för manövrering av utskovsluckor

En sammanställning av några tillgängliga metoder

**PATRIK BENNERSTEDT, LOVE EKSTRÖM
ANDREAS HALVARSSON**

ISBN 978-91-89917-00-2 | © Energiforsk januari 2026

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Det här projektet har sammanställt olika metoder för att bedöma status på utskovsluckors olika komponenter. Att bedöma de mekaniska komponenternas skick och kvarvarande livslängd kan minska risken för utebliven manövrering eller oavsiktlig stängning av en utskovslucka och därmed också öka dammsäkerheten vid dammanläggningen.

Projektet har genomförts inom Energiforsks program för Dammsäkerhet, som fokuserar på att bidra med kunskap i det strategiska arbetet med dammsäkerhet och för att främja den svenska vattenkraftsproduktionens långsiktiga utveckling.

Författarna till rapporten är Patrik Bennerstedt, Love Ekström och Andreas Halvarsson från WSP. Referensgruppen bestod av Per Bylander, Fortum, Mats Ericsson, Fortum, Rikard Hellgren, Svenska kraftnät, Romanas Wolfsborg, Vattenfall samt Anders Marklund, Vattenfall.

Författarna vill rikta tack till följande personer som medverkat i projektet:

Tack till Tomas Eriksson och Hans Aderum på Sting – Svenska Teknikingenjörer – för att frikostigt ha delat med sig av erfarenheter från kontroll och underhåll av mekaniska komponenter på broar, slussar och utskovsluckor.

Ett särskilt tack riktas till Brett Commander på BDI för grundlig information kring hur de använder trådtöjningsgivare för att uppskatta friktionskoefficienter i lucklager till segmentluckor.

Tack även till Magnus Hederstad för information och tankar kring kugghjul samt till Liselotte Westlin på VP Diagnose för samtal om möjligheterna med att analysera smörj- och hydrauloljor.

Sist men inte minst tackar vi våra kollegor på WSP – Torsten Fischer för spännande tankar om möjligheterna med olika mätmetoder samt Lyle Steranko med lång erfarenhet från branschen i Kanada.

Rapportförfattarna ansvarar för alla resultat och slutsatser i rapporten.

Bilden på framsidan tillhandahölls av rapportförfattarna.

Sammanfattning

Utskovsluckors tillgänglighet är kritisk för dammsäkerheten vid dammanläggningar. Förmågan att manövrera utskovsluckor beror av ett system bestående av en mängd olika mekaniska och elektriska komponenter – där varje komponent kan vara kritisk för funktionen. Att bedöma de mekaniska komponenternas skick och kvarvarande livslängd kan vara en komplex uppgift och oftast blir det en bedömning som baseras på en mängd olika iakttagelser och mätningar. Ett ökat kunskapsläge om komponenternas skick kan minska risken för utebliven manövrering eller oavsiktlig stängning av en utskovslucka och därmed också öka dammsäkerheten vid dammanläggningen.

En havererad kugge på ett kugghjul i ett luckspel, ett havererat lager i en elmotor, ett skuret lucklager, en brusten lina eller en sprucken hydraulslang – detta är exempel på haverier i komponenter som leder till utebliven luckmanövrering. En utebliven eller reducerad avbördningsförmåga kan leda till en kritisk situation för dammanläggningen som kan behöva avhjälpas på kort tid. Ofta finns redundans för delar av manövreringssystem samt beredskapsplaner för nödöppning av utskovsluckor, men aktiveringen av dessa kan vara förknippade med osäkerheter. Mer önskvärt är att om möjligt undvika att hamna i den kritiska situationen, och förmodligen kan risken för detta reduceras genom ett ökat kunskapsläge om komponenternas tillstånd.

Det finns en rad olika metoder som kan användas för att statusbedöma mekaniska komponenter. En av de viktigaste metoderna är den som normalt används vid driftmässig inspektion, inspektioner och verifikationstest – den okulära kontrollen. Vikten av att personal med mycket god kännedom om anläggningen regelbundet använder sina sinnen som exempelvis syn, hörsel och känsel för att upptäcka förändringar i systemens beteende, utseende och ljudbild kan inte nog understrykas. Många mekaniska komponenter uppför sig annorlunda en tid innan de havererar. Ett kul- eller rullager kommer innan det skär förmodligen att både låta annorlunda och utveckla mer värme än normalt. Många komponenter kommer förmodligen att uppvisa en förändrad geometri en tid innan den förlorar sin funktion. Ett kugghjul kommer förmodligen att uppvisa ytdefekter innan en kugge går till brott. Många av dessa indikationer kan identifieras vid driftmässig inspektion, inspektion och verifikationstest.

Det finns också möjligheter att upptäcka förändringar i tidigare skede än den mest erfarna underhållsteknikern kan. Trender avseende ökad temperatur kan identifieras med temperaturgivare eller värmekamera, en inre defekt i svets kan upptäckas med metoder för oförstörande provning och ett onormalt slitage på ett kugghjul kan mätas upp med olika typer av mätinstrument.

Det är en utmaning att identifiera förändringar i system som körs så sällan som en utskovslucka manövreras. En utmaning, men det finns möjligheter att förbättra kunskapsläget och därmed öka dammsäkerheten.

Nyckelord

Dammsäkerhet, manövreringsutrustning, mekaniska komponenter, statusbedömning, utskovsluckor.

Summary

The availability of spillway gates is critical for dam safety at dam facilities. The ability to operate spillway gates depends on a system consisting of various mechanical and electrical components, each of which can be critical to the function. Assessing the condition and remaining lifespan of the mechanical components can be a complex task and is often based on a variety of observations and measurements. Increased knowledge about the condition of the components can significantly reduce the risk of failed operation or unintentional closure of a spillway gate, thereby also increasing dam safety at the facility.

A failed tooth on a gear in a gate mechanism, a failed bearing in an electric motor, a seized gate bearing, a broken cable, or a burst hydraulic hose – these are examples of component failures that lead to failed gate operation. A failed or reduced discharge capacity can lead to a critical situation for the dam facility that may need to be remedied in a short time. Often, there are redundant operating systems and emergency plans for the emergency opening of spillway gates, but activating these can be associated with uncertainties. It is more desirable to avoid getting into a critical situation if possible, and the risk of this can be significantly reduced through increased knowledge about the condition of the components.

There are a variety of methods that can be used to assess the condition of mechanical components. One of the most important methods is the one normally used during regular maintenance and inspections – visual inspection. The importance of personnel with good knowledge of the facility regularly using their sight, hearing, smell and touch to detect changes in the behavior, appearance, and sound of the systems cannot be overstated. Many mechanical components behave differently prior to failing. A ball or roller bearing will sound different and develop more heat than normal before it seizes. A torque-transmitting shaft will likely exhibit a change in geometry for some time before it loses its function. A gear tooth will probably show surface defects or cracks before it breaks. Many of these indications are signs of impending component failure and can be identified during maintenance and inspection.

There are also possibilities to detect changes at an earlier stage than the most experienced maintenance technician can. A trend of increasing temperature can be identified with temperature sensors or a thermal camera, an internal defect in a weld can be detected with non-destructive testing methods, and abnormal wear on a gear can be measured with various types of measuring instruments.

It is a challenge to identify changes in systems that are operated as rarely as a spillway gate is operated. A challenge, but there are opportunities to improve knowledge and thereby increase dam safety.

Innehåll

1	Inledning	8
1.1	Bakgrund och syfte	8
1.2	Omfattning och avgränsningar	8
1.3	Statusbedömning - Definition	9
1.4	Utvärdering av provresultat	10
2	Kartläggning av metoder för kontroll	11
2.1	Akustisk mätning	11
2.2	Analys av oljor	12
2.3	Geometrisk kontroll	12
2.4	Okulär kontroll (syn, känsel och hörsel)	13
2.5	Oförstörande provning	14
2.5.1	Kontrollmetod för inre defekter	14
2.5.2	Kontrollmetod för ytdefekter (sprickindikering)	15
2.6	Temperaturmätning	16
2.7	Töjning (Deformation)	16
2.8	Vibrationsmätning	17
3	Översikt av metoder – delsystem och komponenter	18
3.1	Elmotorer	18
3.2	Bromsar	21
3.3	Växellådor (stängda)	23
3.4	Öppna växlar	25
3.5	Kugghjul	26
3.6	Lager	29
3.6.1	Lucklager	29
3.6.2	Lager till växlar och hjul	34
3.7	Axlar	35
3.8	Kilspårsförband	38
3.9	Linor & Linlås	40
3.10	Hydraulaggregat och ledningar	43
3.11	Hydraulcylindrar	45
4	Slutsatser	47
5	Referenslista	51

1 Inledning

Många dammar är beroende av att avbördningsanordningar finns tillgängliga för att vid behov säkerställa en kontrollerad och säker avbördning. Avbördningsanordningars tillgänglighet är i sin tur ofta beroende av funktionaliteten hos en rad olika mekaniska komponenter vars primära syfte är att skapa eller styra en rörelse av en utskovslucka. De installerade mekaniska komponenterna är för många dammanläggningar påverkade av ålder samtidigt som de i många fall motioneras relativt sällan och ibland har eftersatt underhåll. Ett förändrat sätt att köra anläggningen kan ha förändrat förutsättningarna och därmed också hur komponenter belastas. Metoder för att tidigt detektera fel och förbättra kunskapsläget kring dessa komponenters status och kapacitet för nuvarande belastning skulle kunna effektivisera det förebyggande underhållet och därmed öka tillförlitligheten.

1.1 BAKGRUND OCH SYFTE

För många utskovsluckor är funktionen av mekaniska komponenter, så som exempelvis kugghjul, lager, linor, kuggstänger och/eller hydraulcylindrar, kritiska för utskovets avbördande funktion. Samtidigt är många av dessa komponenter från mitten av 1900-talet och kan i vissa fall ha överskridit sin tekniska livslängd. I samband med driftmässig inspektion, inspektioner och verifikationstest utförs ofta visuell översyn av komponenter med avsikt att upptäcka avvikelser. Sällan utförs någon statusbedömning eller analys av kvarvarande livslängd (åldringsanalys). Risk finns att dolda fel som t.ex. inre defekter och slitage inuti komponenter inte upptäcks i ett tidigt skede.

Syftet med projektet är att öka kunskapsläget i dammsäkerhetsbranschen kring metoder för statusbedömning av mekaniska komponenter tillhörande utskovsluckors manövreringsutrustning. Rapporten beskriver några tillämpbara metoder för kontroll och diskuterar på komponentnivå några aspekter som kan vara bra att ha med sig inför, vid och efter en kontrollinsats samt efterföljande statusbedömning.

1.2 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR

Projektet omfattar metoder för kontroll av mekaniska komponenter i delsystem vars primära syfte är att skapa, motverka eller styra rörelse av utskovsluckor.

Gemensamt för de mekaniska komponenterna som beaktas i projektet är att de är kritiska för att det delsystem de ingår i ska fungera. I händelse av fel som leder till att komponentens funktion slås ut hindras hela delsystemets primära funktion, alltså inom delsystemet saknas redundans. Det kan finnas flera olika oberoende delsystem med samma funktion installerade. Exempel på delsystem nedan:

- Hydrauliskt manövreringssystem, inkluderar bland annat; hydraulaggregat, hydraulrör, hydraulcylinder och infästning till lucka. Delsystemets primära funktion är att vid rätt tidpunkt skapa eller motverka rörelse av utskovsluckan. Ett installerat redundant manövreringssystem som exempelvis drakryggar och stegmatore utgör ett annat delsystem.
- Bärhjul; varje enskilt bärhjul på en planlucka utgör ett delsystem bestående av ett hjul, ett lager, och en axel. Delsystemets primära funktion är att styra luckans rörelse. Om någon komponent i delsystemet havererar tappar delsystemet sin primära funktion.

Elektriska komponenter, till exempel till kraftmatning, signalöverföring och övervakning, beaktas inte inom ramen för detta projekt.

Det finns flertalet komponenter, vars primära funktion är en annan än att skapa eller styra luckans rörelse, som vid haveri kan hindra öppningssekvensen av en utskovslucka. Till exempel kan en defekt sidotätning leda till läckage, som i sin tur kan leda till omfattande isbildning vintertid så att manövreringssystemets kapacitet inte räcker för att manövrera luckan. Tätningens primära funktion är dock att förhindra läckage mellan lucka och tätningsanslag och betraktas därför inte som en komponent som omfattas av detta projekt.

Många komponenter byts ut med regelbundna intervall enligt leverantörens föreskrifter. Detta gäller i regel enklare och billigare komponenter där materialet åldras relativt snabbt, exempelvis hydraulslangar. Andra komponenter, som t.ex. linor till linspel, byts ut med intervall baserat på empiri och erfarenhet om komponentens slitage i applikationen.

Kontroller av komponenter som ligger utanför projektets omfattning kan ge värdefull information till statusbedömningen av komponenter som faller inom ramen för projektet. Exempelvis skulle vibrationer i bärverket i en utskovslucka kunna orsakas av defekter i ett lager. Denna typ av kontroller har avgränsats ifrån projektet.

1.3 STATUSBEDÖMNING - DEFINITION

Målet med en statusbedömning är att få svar på frågan *"hur nära är komponenten att förlora den krävda funktionen?"*. Till detta kan det läggas till bedömning om komponenten är tillräckligt säker att använda i framtiden, men den analysen kräver uppskattning om hur komponenten kommer att användas framöver. Det finns trender för vissa anläggningar att antalet regleringar per år ökar, på grund av kraftbalansspill, vilket kan förändra livslängdsbedömningen.

För att besvara frågan om komponenten eller delsystemet är tillräckligt säker att använda idag kan det behövas information om hur den har använts historiskt, så som antal manövreringar. Data kring det kan vara svårt att införskaffa.

En möjlighet kan vara att utvärdera om komponenterna har ungefär samma status som när den installerades (jämföra med de vid installationen gällande riktlinjer/normer) alternativt görs utvärderingen mot dagens riktlinjer. Det är ett

väggval som vid en grundlig statusbedömning behöver beslutas av dammägaren och som bör dokumenteras som utgångspunkt för statusbedömningen.

Som underlag till statusbedömningen kan det behöva göras ett antal kontroller där provresultaten utvärderas inom statusbedömningen. Omfattningen och antalet olika kontroller som är lämpligt att genomföra inom statusbedömningen är anläggnings- och komponentspecifik. Ofta kan det vara tillräckligt att endast använda en metod.

1.4 UTVÄRDERING AV PROVRESULTAT

Utvärdering av resultat från kontrollen är en utmaning och ofta specifik för komponenten/anläggningen. Innan några kontroller genomförs på plats rekommenderas att dokumentera hur resultaten ska utvärderas. Diskussion med utförare av kontrollen kan ge värdefull information om hur utvärderingen kan gå till.

Ett generellt tillvägagångssätt är att jämföra mot gränsvärden som var aktuella när komponenten tillverkades. Det kan dock vara en utmaning att få tillgång till de standarder som var aktuella.

För vissa komponenter och kontroller kan det finnas standarder för tillåtna värden för nykonstruktion som skulle kunna användas för utvärderingen.

Om acceptanskriterier är besvärliga att fastställa kan ett alternativ vara att lägga till kontrollen till det regelbundna kontrollprogrammet för att fånga upp förändringar. Det skulle kunna vara att årligen utföra en viss kontroll och jämföra resultaten över tid för att på det viset fånga upp förändringar.

Kalibrering, inklusive kalibreringsintyg bör kontrolleras och dokumenteras, tillsammans med information kring mätutrustningen och de inställningar som använts. Detta för att i efterhand kunna utföra nya kontroller och jämföra.

En del kontroller är beroende av utförarens skicklighet, till exempel ultraljudsprovning, vilket skapar en osäkerhet i resultaten.

2 Kartläggning av metoder för kontroll

Det finns ett flertal olika metoder för kontroll av mekaniska komponenter som kan användas för att genomföra statusbedömningen. Många av metoderna används som en punktinsats för att uppskatta kvarvarande livslängd samt behov av reparation och/eller vidare utredning. Ett fåtal metoder kan också används som kontinuerlig övervakning där varsel- och larmgränser skulle kunna användas. Nedan beskrivs några metoder som kan användas tillsammans med en notering om de kan användas för kontinuerlig övervakning, som engångsinsats eller om de generellt kräver demontering av komponenter. För varje metod ges en kortfattad lista kring några av komponenterna som metoden kan användas för. Kontrollmetoderna beskrivs generellt och vissa har eventuellt inte tillämpats på komponenter för manövrering av utskovsluckor. Metoderna är listade i alfabetisk ordning.

2.1 AKUSTISK MÄTNING

Akustisk mätning används i vissa applikationer och kan vara ett effektivt sätt att identifiera mekaniska defekter som ger upphov till en förändrad ljudbild när de uppstår eller förändras. Det går att filtrera bort störande ljud från omgivningen genom en frekvensanalys. Vid en utskovslucka är det troligt att ljudet från ett turbulent strömmande vatten för örat skulle låta högre än ett mekaniskt ljud från en defekt komponent. I den akustiska mätningen skulle det kunna vara möjligt att filtrera bort frekvenserna från omgivningsljud och ändå identifiera avvikande ljud från utskovsluckan eller manöverutrustningen.

Det finns olika typer av utrustning för att genomföra akustiska mätningar. Ljudkameror är ett effektivt sätt att grafiskt redovisa vilken källan till ett ljud är.

Metoden kräver inte att några komponenter demonteras men utskovsluckan behöver manövreras under mättillfället för att generera några resultat.

I teorin är det möjligt att använda akustisk mätning för kontinuerlig övervakning men utrustningen är relativt dyr. Metoden bedöms lämpa sig bäst som engångsinsats.

Komponenter som kan övervakas

- Elmotorer
- Hydraulcylindrar
- Kugghjul
- Lager
- Pumpar

Hållbarhet, arbetsmiljö, miljö

Utrustningen kan hyras in istället för att köpa in komplett utrustning. Installationen bedöms vara relativt enkel och utan några arbetsmiljörisker. Metoden påverkar inte närmiljön.

2.2 ANALYS AV OLJOR

Olja används i många olika system. Primärt används olja antingen som hydraulvätska i hydraulsystem eller som smörjning. Slitage på komponenter som ger upphov till föroreningar i oljan kan upptäckas genom analys. Om analyser görs regelbundet kan förändringar över tid upptäckas. Analysföretagen erbjuder ofta tjänster där resultaten från proverna sparas i en databas. Resultaten från olika provningstillfällen kan sedan jämföras för att ge en bättre bild av eventuella förändringar i systemet.

Generellt rekommenderas det att systemet körs innan provtagning så att det ämne som ska provtas blandas ordentligt. Detta är särskilt viktigt på system som står still under längre perioder då tunga partiklar kan sjunka ner till botten. System där prover ska tas bör vara förberedda med lättåtkomliga avtappnings-/provtagningspunkter placerade där provet bedöms ge en sammansättning som är representativ.

Mängden olja som behövs för analysen är ringa och det är inte säkert att systemet behöver fyllas på i samband med att provet tas.

Ett resultat från denna typ av analys kommer tillsammans med en rekommendation om åtgärd – exempelvis att systemet behöver renas eller att det behöver tillsättas antioxidanter.

Komponenter som kan kontrolleras

- Hydraulvätska (hydraulaggregat & hydraulcylindrar)
- Växellådsolja

Hållbarhet, arbetsmiljö, miljö

Vissa oljor och fetter är miljöfarliga och ska inte komma ut i vattenvägen. Hanteringen kan ur personsäkerhetssynpunkt kräva viss skyddsutrustning så som skyddsglasögon. Vissa oljor och fetter är baserade på fossilolja.

2.3 GEOMETRISK KONTROLL

Komponenter där geometrin förändrats på grund av till exempel slitage eller plastisk deformation kan mätas upp och jämföras med mått på ritning. Detta görs vanligtvis med olika typer av manuella mätverktyg såsom skjutmått, mätklocka, laser, måttband och tumstock.

Homogena detaljer, där det föreligger risk för materialförlust till följd av exempelvis korrosion eller slitage, kan tjocklekbestämmas med hjälp av godstjockleksmätare. Mätaren använder sig av ultraljudsteknik där den mäter hur

lång tid det tar för ljudvågor att färdas fram och tillbaka genom godset. Tiden omvandlas sedan till avstånd (millimeter). Ljudets hastighet beror av vilket material som ska mätas och instrumentet behöver kalibreras mot materialet.

Precisionen i mätutrustningen inklusive kalibrering är viktigt att beakta vid framtagning av acceptanskriterierna. Toleranserna vid tillverkning kan ge värdefull information kring hur stora måttavvikelse som kan accepteras.

Metoden används som en engångsinsats, beroende på komponent kan demontering av omkringliggande utrustning krävas.

Exempel på komponenter som kan kontrolleras

Många komponenter för manövrering av utskovsluckor kan kontrolleras med geometrisk kontroll, nedan listas några.

- Axlar
- Bromsbelägg
- Glidlager (spel, deformation)
- Kilspår
- Kugghjul
- Linor
- Plåt (godstjocklek)

Hållbarhet, arbetsmiljö, miljö

De flesta geometriska kontroller görs manuellt på plats och kräver att den som mäter har tillträde till komponenten som ska kontrolleras. Denna kan sitta på oåtkomliga ställen där det saknas stegvägar eller annan tillträdesväg. Arbetet kan behöva utföras från en hängande personkorg, från en tillfällig ställning eller med fallskydd. Det är vanligt att intilliggande komponenter behöver demonteras för att ge åtkomst att utföra kontrollen.

2.4 OKULÄR KONTROLL (SYN, KÄNSEL OCH HÖRSEL)

”Okulär kontroll” innebär i denna rapport samtliga kontroller som kan göras utan mätutrustning, med hjälp av synen, känseln, lukt och hörsel hos den som utför kontrollen.

Det kan finnas standarder som vägledning för hur resultatet från kontrollmetoden kan utvärderas, till exempel för hur långt ett korrosionsförlopp har gått (Rostgradsboken ISO 8501-1) men vanligen är det en relativt subjektiv bedömning utifrån inspektörens erfarenhet.

Vid större renoveringar kan delsystem demonteras och plockas isär och eventuellt slitage inspekteras visuellt.

Komponenter som kan kontrolleras

Merparten av komponenter för manövrering av utskovsluckor kan kontrolleras genom okulär kontroll. Det är den vanligast förekommande metoden för statusbedömning som genomförs vid tillsyn, inspektion, verifikationstest, renoveringar och nytillverkning.

Hållbarhet, arbetsmiljö, miljö

Beroende på vilken komponent som ska kontrolleras kan arbetsmiljön för genomförandet kräva speciella åtgärder för säker åtkomst. För vissa komponenter behöver intilliggande detaljer demonteras vilket kan vara besvärligt. Att frilägga ett lucklager till en segmentlucka kräver stora insatser med provisoriska avstängningar, kranlyft etcetera.

2.5 OFÖRSTÖRANDE PROVNING

Oförstörande provning är ett samlingsbegrepp för analysmetoder där egenskaper hos ett provföremål undersöks utan att föremålet skadas. Ofta brukar metoderna kategoriseras efter vilka typer av defekter de kan detektera – inre eller yttre defekter.

2.5.1 Kontrollmetod för inre defekter

För att identifiera inre defekter kan komponenter röntgas eller undersökas med ultraljud.

Radiografering, också kallat röntgen, (RT) används för att lokalisera främst invändiga volymetriska diskontinuiteter. Erhållna radiogram utvärderas mot aktuell kvalitetsnivå. Vid radiografisk provning används någon form av strålkälla. Strålningen från källan går genom provobjektet och påverkar en röntgenfilm som fästs på motsatt sida.

Vid materialprovning med ultraljud (UT) undersöks materialets homogenitet baserat på förändring i ljudutbredning som orsakas av variationer i ljudmotståndet. Ultraljudsprovning är lämpligast för att upptäcka invändiga plana diskontinuiteter.

Metoden används som en engångsinsats, beroende på komponent kan demontering av omkringliggande utrustning krävas.

Generellt brukar det anses enklare att genomföra ultraljud än röntgen. Resultat ifrån en ultraljudskontroll behöver tolkas och de kan därför variera beroende av vem som utför kontrollen. Resultat från en genomförd röntgen ger en bestående ögonblicksbild av kontrollobjektet där tolkningsutrymmet är begränsat. Röntgen kan därför vara en mer lämplig metod för att analysera förändringar över tid.

Komponenter som kan kontrolleras

- Kugghjul
- Linor
- Svetsar

Hållbarhet, arbetsmiljö, miljö

Röntgen är förknippat med arbetsmiljörisker då strålningen som krävs för att belysa filmen är skadlig. Personer som vistas i närheten utsätts för joniserad strålning om inte rätt skyddsåtgärder sätts in. Operatörer som jobbar med röntgen behöver utöver utbildning och certifiering inom metoden även utbildas i strålskydd.

För ultraljud medför inte kontrollmetoden i sig några speciella arbetsmiljöaspekter utöver de som förknippas arbetsmiljön där kontrollanten genomför kontrollen.

2.5.2 Kontrollmetod för ytdefekter (sprickindikering)

Ytdefekter kan detekteras med olika oförstörande provningsmetoder.

Penetrantprovning (PT) är en provningsmetod för att detektera defekter i ytan på icke porösa material. Metoden bygger på principen att låta en vätska (penetrant) tränga in i ytfel på provstycket med hjälp av kapillärkraften. Efter det att vätskan på ytan noggrant avlägsnats kan den vätskemängd som trängt in i ytfelen föras upp till ytan med hjälp av en absorberande framkallare. Därefter detekteras eventuella defekter med visuell inspektion. Det finns många olika typer av penetranter och framkallare. Det är vanligt att använda fluorescerande penetranter som detekteras i UV-ljus (DNVGL-CG-0051 Class Guideline, Non-destructive testing, 2015)

Magnetpulverprovning (MT) är en ytprovningssmetod som används för att lokalisera diskontinuiteter belägna i eller strax under ytan i ferromagnetiska material. Vid provning alstras ett magnetfält i provningsstycket. För att synliggöra magnetiska läckflöden som uppstår i samband med defekter påförs provföremålet ett finfördelat ferromagnetiskt material bestående av järnoxider.

Virvelströmsprovning är en ytprovningssmetod som används för att lokalisera diskontinuiteter belägna på och under ytan i elektriskt ledande material. Metoden bygger på att virvelströmmar med en spole induceras i provföremålet. När en diskontinuitet stör virvelströmmarna påverkas testspolens magnetfält, vilket medför att registreringsutrustningen känner av förändringen i magnetfältet.

En annan, relativt ny, metod för att kontrollera defekter i gjutgods är att använda en värmekamera för att observera temperaturkontraster. För att skapa kontrasterna behöver energi tillföras detaljen, till exempel en ljusblixt, laser eller ultraljud. "Värmevågans" utbredning över detaljen störs av sprickor och till och med vissa inre defekter, störningar som kan detekteras. (Metallkompetens, 2024)

Metoden används som en engångsinsats, beroende på komponent kan demontering av omkringliggande utrustning krävas.

Komponenter som kan kontrolleras

- Axlar
- Kugghjul
- Kuggstänger
- Linlås
- Svetsar

Hållbarhet, arbetsmiljö, miljö

Eventuellt rotskyddssystem kan behöva avlägsnas och återställas vilket är förknippat med arbetsmiljö- och miljörisker. För åtkomst krävs ofta demontering och rengöring. Efter avslutad provning ska komponenterna rengöras igen och återställas.

2.6 TEMPERATURMÄTNING

Defekter på mekaniska komponenter som är i rörelse kan ge upphov till en förhöjd friktion som under fortsatt rörelse leder till en förhöjd temperatur. Därför är temperaturmätning under drift en vanlig metod för att upptäcka defekter på exempelvis glid- och kullager inom annan industri där de roterar konstant. En värmekamera av bättre kvalitet har en noggrannhet på någon tiondels grad och kan därför upptäcka mycket små temperaturförändringar.

Temperaturen påverkas av yttre faktorer (omgivningstemperatur, luftfuktighet, vind etcetera) och det kan därför vara svårt att jämföra resultat från två olika mättillfällen. Det kan dock ge relevant information att jämföra olika liknande komponenter vid samma tillfälle för att identifiera om någon komponent får en högre temperatur än andra under samma förutsättningar.

Metoden används som en engångsinsats, men kan i teorin användas för kontinuerlig övervakning.

Komponenter som kan övervakas

- Lager i växellådor och motorer.
- Bromsar (om de felaktigt är aktiverade)

Hållbarhet, arbetsmiljö, miljö

Inga direkta risker förknippat med hållbarhet, arbetsmiljö eller miljö.

2.7 TÖJNING (DEFORMATION)

Under elastiska förhållanden (påkänningar långt under sträckgränsen) är deformationen direkt proportionell till belastningen. Det innebär att en uppmätt deformation kan översättas till belastning som komponenten utsätts för.

Töjning, ofta betecknat epsilon, är en enhetslös enhet för deformation, definierat som deformation över längd.

Töjningsgivare (trådtöjningsgivare) kan ses som en elektrisk ledare. När ledaren, tråden, utsätts för en förlängning eller förkortning ändras resistansen i den. Genom att mäta resistansförändringen ges en uppfattning om hur mycket materialet har deformerats.

Trådtöjningsgivare är små givare som ofta limmas mot komponenten vars deformation undersöks. Vanligen används tre givare med inbördes olika primärriktning.

Trådtöjningsgivaren kopplas upp mot en dator för lagring av mätvärden. Normalt sker överföringen med sladd men det finns även trådtöjningsgivare med trådlös kommunikation.

Metoden används generellt som en engångsinsats, men kan användas för kontinuerlig övervakning vilket har genomförts vid vissa anläggningar.

Komponenter som kan kontrolleras

- Axlar
- Kuggstänger
- Lucklager

Hållbarhet, arbetsmiljö, miljö

Då undersidan av luckbenen är av intresse krävs ofta klätterutrustning för att montera givarna, ett arbetsmoment som är förknippat med arbetsmiljörisker.

2.8 VIBRATIONSMÄTNING

Defekter på mekaniska komponenter kan ge upphov till vibrationer. Genom att mäta vibrationer över tid kan förändringar identifieras, vilka kan bero på en skada på ett lager eller liknande.

Att dra slutsatser av mätvärden vid ett enstaka mättillfälle kan vara svårt. Vibrationer behöver ofta mätas över tid för att jämföra resultat med tidigare mätdata, där förändringar kan indikera en försämrad funktion i en komponent i systemet. Förändringarna kan vara plötsliga eller ske långsamt över lång tid.

Metoden används som en engångsinsats, men kan i teorin användas för kontinuerlig övervakning.

Komponenter som kan övervakas

Lager med relativt högt varvtal så som motorlager och möjligen lager i stängda växellådor.

Hållbarhet, arbetsmiljö, miljö

Inga direkta risker förknippat med hållbarhet, arbetsmiljö eller miljö.

3 Översikt av metoder – delsystem och komponenter

Metoderna som beskrivs i kartläggningen i avsnitt 2 kan vara tillämpbara på olika komponenter i olika delsystem vid en utskovslucka. Detta kapitel ger en översikt med syfte att vägleda hur de olika delsystemen och komponenterna i dem kan kontrolleras.

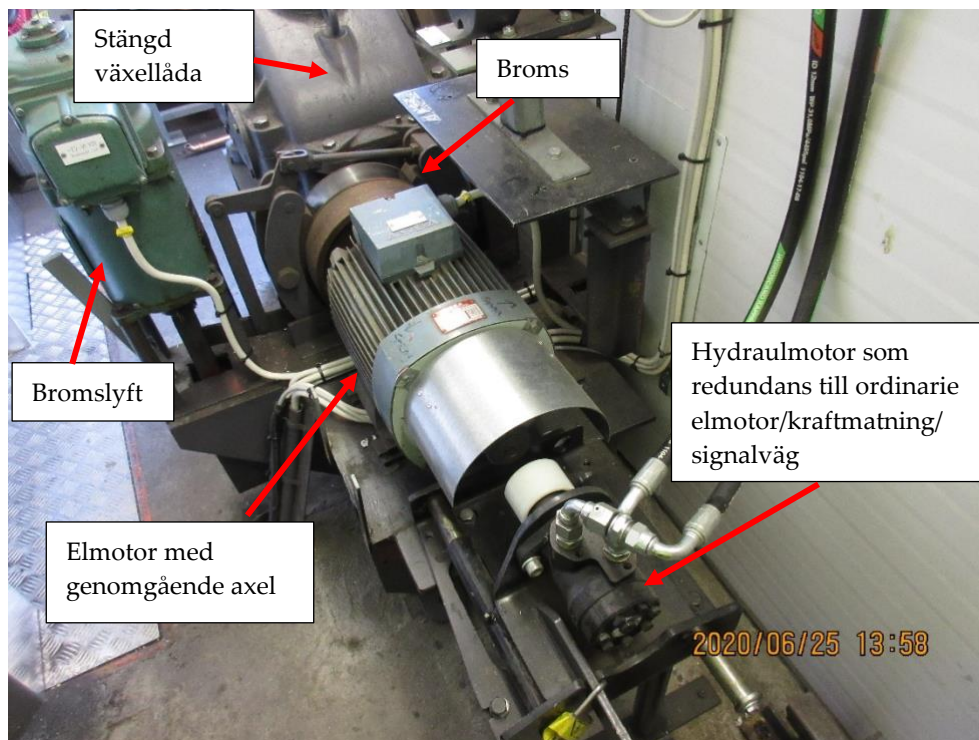
Endast ”mekaniska” komponenter beskrivs. Det innebär att samtlig utrustning för elkraft, signal och övervakning kopplat till manövrering av utskovsluckor utesluts.

3.1 ELMOTORER

I princip samtliga större utskovsluckor manövreras med hjälp av elmotorer. Det vanligaste är växelströmsmotorer (asynkronmotorer, induktionsmotorer) men även likströmsmotorer förekommer. Elmotorn kan vara kopplad till en växellåda eller hydraulpump beroende på typ av manövreringsutrustning.

Elmotorerna i mekaniska spel (linspel eller kuggstängsspel) behöver kunna leverera ett stort startmoment. Däremot är drifttiden betydligt lägre jämfört med många andra applikationer för elmotorer.

Likströmsmotorer har generellt större startmoment än motsvarande växelströmsmotor.



Figur 1. Spel till en utskovslucka.

Felmod och skyddssystem

Det finns ofta redundans för elmotorn i form av antingen en annan elmotor som kan ta över funktionen (mycket vanligt för hydraulaggregat) eller som ett reservdriftssystem (nödmanövreringssystem) som manuellt kopplas in direkt på spelet. De systemen har ofta en betydligt lägre manövreringshastighet än för manövrering med ordinarie elmotor samt att personal kan behöva ta sig till anläggning för att installera systemet. För en anläggning med "snabbt magasin" kan det vara mycket besvärligt att en elmotor till en utskovslucka havererar i ett läge när avbördning efterfrågas.

För utskovsluckor som manövreras med två spel utan inbördes synkronisering kan ett haveri på en motor ge upphov till stor snedbelastning om den fortfarande fungerande motorn inte bryter på grund av höga motorströmmar och fortsätter att öppna.

Motorskyddet skyddar motorn från att skadas av värme då den överbelastas. Beroende på strömmen löser motorskyddet efter några sekunder, någon minut eller efter någon timme. Säkringen eller brytaren är till för att skydda kabeln och elanläggningen mot kortslutning och överlast.

En elmotor har möjlighet att under kort tid ge mycket höga vridmoment, för de storlekar på motorer som används till utskovsluckor kan det vara en faktor 2 eller 3 högre än märkmoment. Det innebär att elmotorn kan ha kapacitet att leverera ett högre moment än vad växlar, spelstativ eller infästning mot luckkroppen är dimensionerade för. Ett motorskydd kommer inte att hindra att det förhöjda momentet uppstår.

Utbyte

Mindre asynkronmotorer (växelströmsmotorer) bör bytas ut när de nått sin tekniska livslängd. Ett byte av elmotorer är sällan ett "ett till ett byte" där en ny motor med identiska egenskaper kan köpas in. Utvecklingen av elmotorer med högre krav på verkningsgrad har lett till att moderna elmotorer får en annan karakteristik jämfört med äldre elmotorer. Moderna asynkronmotorer är ofta fysiskt längre, har sämre startmoment och betydligt högre startström. Detta innebär att nya elmotorn behöver dimensioneras efter de fysiska, mekaniska och elektriska förutsättningarna som råder.

Renovering

Mindre asynkronmotorer är generellt enkla att demontera och skicka till en verkstad för översyn och reparation. Ofta kan det räcka med enkla åtgärder som lagerbyte och rengöring. Reparation av rotor eller omlindning av stator är sällan ekonomiskt försvarbart på den storlek av motorer som används för manövrering av utskovsluckor. Dock kan det vara ett alternativ om det är svårt att finna en ersättare som har lämpliga egenskaper.

En nackdel med likströmsmotorer är kolen som "dammar" och kommutatorn som slits. Motorer för manövrering av utskovsluckor har generellt få drifttimmar och i denna applikation är detta sällan ett problem. Kol är enkla att byta och kommutatorn kan renoveras. Likströmsmotorer är betydligt dyrare att köpa in än

asynkronmotorer och översyn och reparation bör därför övervägas som ett alternativ till utbyte.

Statusbedömning

Många typer av fel i en elmotor kan upptäckas då den körs. Lagerskador ger missljud, avbrott i lindningar eller stavar ger upphov till vibrationer och missljud. Det tar ofta en lång tid för ett motorlager att utvecklas från missljud till haveri.

Motorström och motorspänning kan övervakas och loggas. Mätvärden kan ge värdefulla indata till lyftkraftsberäkning, för att jämföra med märkdata samt för att logga förändring som kan vara en indikation på att något längs med drivlinan förändrats. Det kan för många luckor vara svårt att utifrån en förändrad motorström direkt säga vilken komponent som ger upphov till förändringen.

För en segmentlucka påverkas motoreffekten (motorströmmen) av många olika aspekter:

- Luckans egen vikt samt tyngdpunktsläge (största bidraget)
- Friktion i sidotätningarna
- Friktion i lucklager (relativt litet bidrag till den totala effekten)
- Eventuella sugkrafter
- Friktion i manövreringssystemets infästning (ofta försumbar)
- Friktion och/eller förluster i manövreringssystemet
 - För växellådor med flera steg kan den totala verkningsgraden vara mycket låg, 50% förluster förekommer.

För planluckor påverkas motoreffekten (motorströmmen) av bland annat följande aspekter:

- Luckans egen vikt
- Friktion i sidotätningarna
- Friktion i hjul eller glidlister
- Eventuella sugkrafter
- Friktion och/eller förluster i manövreringssystemet
 - För växellådor med flera steg kan den totala verkningsgraden vara mycket låg. Skruvdomkrafter med trapetsgångor kan till exempel ha verkningsgrader ner mot 15%.

Friktionen och förlusterna för samma lucka kan variera naturligt på grund av varierande vattenstånd uppströms och nedströms luckan, smörjning samt motionering.

En förändring i t.ex. ett av lucklagrens friktion ger för många luckor en väldigt liten förändring i uppmätt motorström.

Temperaturen i en elmotor går upp när den arbetar och kan övervakas. Slutgiltig temperatur, jämviktstemperatur, tar flera timmar att uppnå och normalt arbetar elmotorerna för manövrering av utskovsluckor under uppvärmningsfasen. Strömmätning är snabbare och exaktare mätning än vad som kan observeras med hjälp av temperaturgivare.

Kontrollmetoder för statusbedömning

- Akustisk mätning
- Demontera och analysera på verkstad
- Motorströmmätning
- Okulär kontroll
- Vibrationsmätning
- Varvtalsmätning

3.2 BROMSAR

Många motorer för manövrering av utskovsluckor har en integrerad broms, se exempel i Figur 2. Alternativt kan motoraxeln vara kopplad till en extern broms som visas i Figur 1. Bromsens funktion är att hålla utskovsluckan i läge när lämplig lucköppning har uppnåtts. Bromsen ska normalt inte vara tillslagen under manövrering.



Figur 2. Elmotor med integrerad broms.

Felmod

Om bromsen felfungerar kan en öppnad utskovslucka oavsiktligt stängas vilket kan ge upphov till stor förändring i vattenföringen förbi anläggningen. En lucka som fallit fritt ned mot tröskeln bör kontrolleras ingående innan den används. Avbördningskapaciteten vid en anläggning där en broms till en öppnad utskovslucka felfungerat kan vara reducerad under lång tid.

En annan felmod är att en av två bromsar felfungerar som kan ge upphov till att snedbelastning. Det är ovanligt att utskovsluckor som är konstruerade för att lyftas parallellt med två lyftpunkter kan hänga i endast en.

Om bromsen inte "lättas" (lyfts) vid manövrering av utskovsluckan kommer den att ge upphov till stor tillkommande belastning för elmotorn. Troligen kommer motorskyddet att lösa på den motor vars broms ligger på. Om det ger signal att stoppa motorn på andra sidan beror på kontrollutrustningens utformning. Risk finns att den andra sidan fortsätter att manövrera utskovsluckan vilket kan leda till stor snedbelastning. I princip alltid finns någon form av synkronisering mellan två spel, dock finns en risk att en synkroniseringsaxel överbelastas om den ska föra moment motsvarande att manövrera utskovsluckan från en sida.

Vinkelväxlar kan vara självhämmande (negativ verkningsgrad, alltså verkningsgrad under 0%) när de "körs baklänges" vilket kan ge visst skydd för att utskovsluckan ska falla fritt om bromsen felfungerar.

Statusbedömning

Bromsbeläggen i bromsen åldras och blir torra. Dessa bör vara en del av det periodiska underhållet och bytas med jämna intervall. Om bromsen används frekvent nöts bromsbeläggen. För att avgöra om bromsbeläggen behöver bytas på grund av nötning är det vanligt att kvarvarande godstjocklek mäts upp och när godset är för tunt byts beläggen. För utskovsluckor som manövreras sällan är det troligen ålder framför slitage som ger upphov till behov av byte av bromsbelägg.

Om en broms har blivit för varm kan det ofta upptäckas vid en visuell kontroll genom att stålytorna blivit blå och att det uppstått små sprickor. Sprickorna behöver inte utgöra någon risk då de ofta är ytliga och inte utsätts för några draglaster.

Lämpligt att vid inspektioner köra "större slag" (kontinuerligt eller med så korta stopp som möjligt) för att fånga eventuell värmeutveckling.

Äldre bromsbelägg kan innehålla asbest.

Kontrollmetoder för statusbedömning

- Geometrisk kontroll - uppmätning av bromsbeläggens tjocklek
- Okulär kontroll
- Temperaturmätning

3.3 VÄXELLÅDOR (STÄNGDA)

För vanligt förekommande mekaniska spel (linspel och kuggstängsspel) är elmotorn vanligen kopplad till en "stängd växellåda". Dessa är inte tillsatssmorda utan har en viss oljemängd som kuggarna delvis går ner i vilket smörjer kontaktytan mellan kuggarna. I en del "modernare" spel är hela växellådan stängd, se Figur 3, medan det för äldre modeller är vanligt med först en mindre stängd växellåda som ansluter till en öppen växel, se Figur 3Figur 4.



Figur 3. Exempel på större stängd växellåda.

I denna rubrik ingår både växlar med raka axlar samt de kanske mer vanligt förekommande vinkelväxlarna.

Felmod

Värme tillförs oljan för att säkerställa viskositeten vid kall väderlek. För vissa växellådor kan det finnas restriktioner på att de inte får köras för situationer när oljan är för kall. Det finns exempel på stängda växellådor med varmare där termostat felfungerat och inte slagit av vilket har lett till att oljan förstörts (koksat). Om oljan förstörs och kuggarna inte smörjs ökar friktionen och slitaget. Antingen ökar friktionen så mycket att motorskyddet löser eller, med tid, finns risk att kuggarna havererar.

På samma sätt som för öppna kuggväxlar finns risk att en hel kugge havererar på grund av överbelastning (utmattning) i kuggroten i vilket läge hela växellådan förlorar sin funktion. Då de stängda växellådorna normalt är monterade direkt efter broms/elmotor är varvtalet betydligt högre än för de öppna växellådorna vilket gör att antalet belastningscykler för varje kugge är större. Troligen är de allra flesta kuggarna dimensionerade för "oändligt" många lastcykler.

Om växellådan tappar sin funktion (att överföra moment) kan inte luckan manövreras. Det kan finnas redundans för den stängda växellådan i form av ett reservdriftssystem (nödmanövreringssystem) som manuellt kopplas in direkt på spelet efter den stängda växellådan. Funktionen för det redundanta systemet förutsätter att den havererade växellådan kan frikopplas.

En annan felmod kan vara om en kugge i växellådan havererar när den håller luckan i läge kan utskovsluckan oavsiktligt stängas, vilket kan ge upphov till stor förändring i vattenföringen förbi anläggningen. En lucka som fallit fritt ned mot tröskeln bör kontrolleras ingående innan den används. Avbördningskapaciteten vid en anläggning där en växellåda till en öppnad utskovslucka felfungerat kan vara reducerad under lång tid. Denna felmod är troligen mer ovanlig för en växellåda än att den havererar under manövreringssekvensen (vilket också bedöms vara ovanligt).

Med två spel som manövrerar utskovsluckan parallellt uppstår även här felmoder som kan leda till snedbelastning.

Statusbedömning

Statusbedömning av stängda växellådor, och vinkelväxlar, är något mer besvärligt än för öppna växlar då delarna inte är direkt tillgängliga för okulär kontroll. Oljeprov kan ge viss information, och en möjlighet kan vara att införa ett program där oljekvaliteten följs upp med lämpligt intervall (en gång per år eller efter ett antal manövrar) för att följa utvecklingen. Det görs inom andra industrier men då utskovsluckor manövreras så pass sällan kan den provningsmetoden vara lite för långsam.

Ett oljeprov kan vara ett alternativ till oljebyte.

"Okulär kontroll" som kan genomföras är att lyssna efter missljud och känna efter vibrationer under manöver. Personsäkerheten beaktas.

Att mäta temperaturökningen under en manöver kan vara ett annat sätt att försöka uppskatta förändringar i friktionen (förlusterna) i växeln. Det är ofta relativt stora konstruktioner som värms upp långsamt, där olja har en högre specifik värmekapacitet än stål vilket gör att temperaturökningen under en manöver kan vara måttlig.

Trådtöjningsgivare för att uppskatta moment, tillsammans med varvtalsmätning, på ingående och utgående axel kan vara en metod för uppskattning av friktionsförluster i växeln. En ovanligt hög friktion kan vara en indikation på att statusen behöver analyseras vidare. Denna metod kan även användas för förändringsanalys.

För att se och analysera kuggflanker kan det vara lämpligt att demontera växellådan och utföra en grundlig kontroll i en verkstad.

I en verkstad kan kuggarnas smörjning och kugggrepp inspekteras. Hela kuggflankerna ska ha en oljefilm med jämn tjocklek över hela kuggens bredd. Finns det tecken på ett ojämnt grepp eller bristande smörjning bör detta utredas.

Genom att tvätta rent kuggarna och inspektera de lastöverförande ytorna på kuggarna går det att identifiera eventuellt slitage. Ett snett slitage på kuggar kan orsakas av slitage i lager eller ett bristfälligt montage vilket orsakar en snedställning av kugghjulen. En sådan snedbelastning kan ge upphov till högre laster och högre yttryck än kugghjulen är dimensionerade för. För höga belastningar kan leda till sprickbildning i kuggarna och haveri. Om det finns misstankar om snedbelastning bör det övervägas att undersöka kugghjulen genom ytterligare oförstörande provning i form av sprickindikering.

Kontrollmetoder för statusbedömning

- Analys av oljor
- Deformation (töjning => moment) för uppskattning av förluster
- Demontera och i verkstad inspektera kuggflanker
- Geometrisk kontroll
- Oförstörande provning – inre och yttre defekter
- Okulär kontroll för att upptäcka missljud eller vibrationer

3.4 ÖPPNA VÄXLAR

Utskovsluckor som manövreras med linspel, kättingspel eller pinnkuggspel är oftast utrustade med öppna växlar, se exempel i Figur 4.



Figur 4. Exempel på kuggstångspel med öppen växellåda och momentöverförande axel.

Växlarna består av ett flertal mekaniska komponenter som kan kontrolleras med olika metoder. De mekaniska komponenterna som kan vara föremål för kontroll är kugghjul, lager, axlar samt kraftöverförande kopplingar mellan komponenterna (vanligtvis kilspår), se separata avsnitt nedan.

3.5 KUGGHJUL

Kugghjul i öppna växlar till utskovsluckor har generellt en relativt stor diameter och är tillsatssmorda. Tillverkningstekniken kan skilja sig åt från anläggning till anläggning, baserat på typ av spel, tillverkningsår, erforderlig lyftkraft, lufthastighet etcetera. Vissa är tillverkade från gjutgods som bearbetats, andra kan ha en inre del av gjutgods med en ring av annan stålqualität som formats från ett plant stycke. Normalt är de härdade.



Figur 5. Exempel på kugghjul i en öppen växel.

Pinnkuggdrev kallas de kugghjul som verkar på kuggstängernas "pinnar". Ofta stort moment men mycket låg rotationshastighet. Smörjning av pinnkuggdrev är ofta mer besvärligt än för kugghjul i spel då pinnkuggdreven och kuggstängerna är utsatta för utomhusklimat.

Felmod

Kugghjulen i utskovsluckans drivlina är kritiska för den avbördande funktionen. I händelse av ett haveri på ett kugghjul föreligger stor risk att kugghjulet förlorar sin lastöverförande förmåga. Om hela eller delar av en kugge går till brott kan denna fastna mellan andra kuggflanker och helt blockera kugghjulets och således även utskovsluckans rörelse. Kuggbrottet kan även leda till att ingreppet helt försvinner mellan de två kugghjulen och att motgående kugghjul då kan rotera fritt.

Kuggbrottet kan då leda till oavsiktlig stängning av redan öppen utskovslucka då spelet används för att hålla luckan i läge.

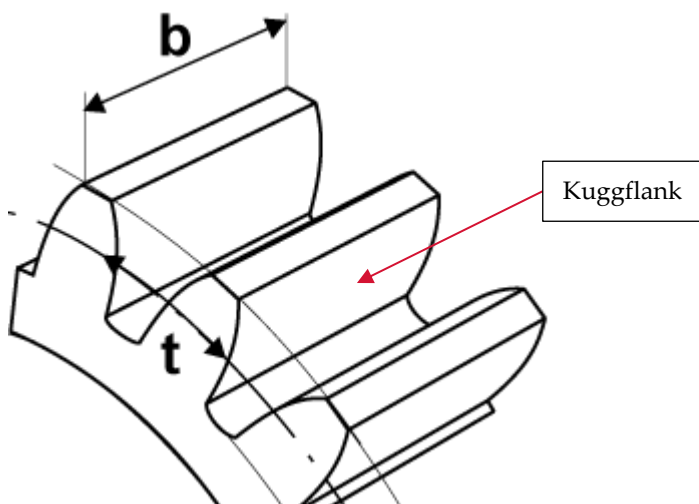
Kugghjulen i drivlinan till utskovsluckor är inte sällan gamla och att ersätta ett havererat kugghjul kan var förknippat med mycket långa ledtider.

Kuggbrott inträffar vanligtvis till följd av överbelastning eller utmattning. Överbelastning kan orsakas av såväl ovanliga belastningssituationer som av snedställda kugghjul där en mindre del av kuggflanken bär lasten och bristfälligt underhåll. Generellt initieras ett brott i form av sprickor i kuggroten.

Pitting är en indikation på att kuggflanken har överbelastats (kontakttryck) men skademekanismen behöver fortgå med omfattande materialförlust för att det ska leda till haveri. Oftast leder pitting-skador till missljud innan det är skadligt.

Statusbedömning

Vid rondningar och inspektioner kontrolleras kugghjulen visuellt. Smörjning av kugghjul är kritisk för växelns funktion och smörjning ska ske regelbundet. Smörjmedlet ska efter drift vara jämnt fördelat över hela kuggflankens bredd.



Figur 6. Kugghjul med bredden b^1 . Smörjmedel ska efter drift vara jämnt fördelat över kuggflanken.

Snedställning mellan kugghjul kan orsaka ojämnt slitage och överbelastning. Ojämn fördelning av smörjmedel tyder på snedställning. För att kontrollera detta lite noggrannare kan färg appliceras och kontaktytorna dokumenteras. Inom andra industrier kontrolleras snedbelastningen vid olika belastningar vilket kan vara besvärligt att åstadkomma för en växel till en utskovslucka.

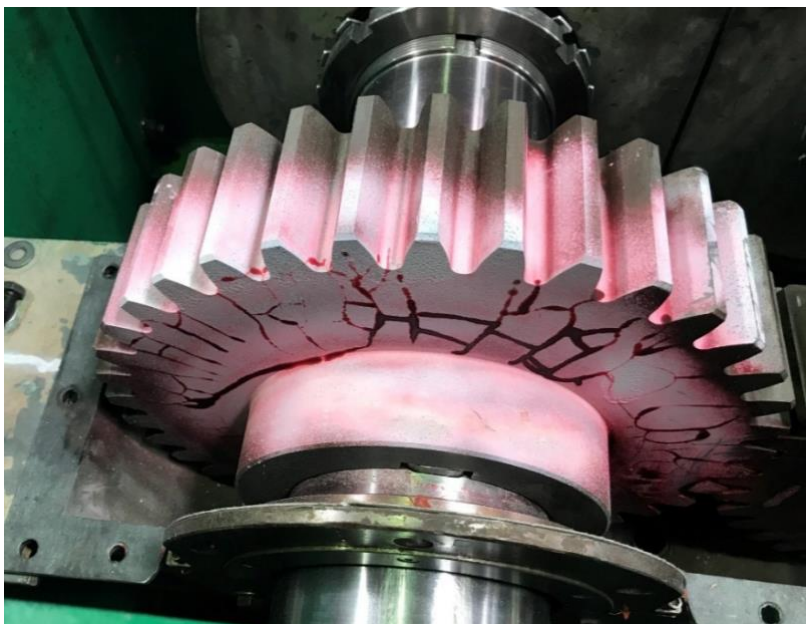
Större ytdefekter som orsakats till följd av överbelastningar eller onormalt slitage kan upptäckas vid okulär kontroll. Figur 7 visar ett pinnkuggdrev med betydande ytdefekter i kuggflankerna.

¹ <https://www.mekanex.se/produkter/maskinelement/kugghjul/cylindriska-kugghjul/>. Hämtad 2024-07-03



Figur 7. Pinnkuggdrev med ytdefekter i form av pitting,

Ofta initieras ett kugghaveri genom en ytspricka som under variabel last propagerar tills kuggen går till brott. Ytsprickorna kan vara mycket svåra att upptäcka vid en visuell kontroll. Oförstörande provningsmetoder som detekterar ytdefekter, magnetpulverprovning MT samt penetrantprovning PT, kan ofta göras med relativt små insatser förutsatt att komponenterna är åtkomliga och tillgängliga.



Figur 8. Penetrantprovning på kugghjul som indikerar ytsprickor².

² <https://www.txndt.com/blog/ndt-training-101-what-is-liquid-penetrant-testing>. Hämtad 2024-06-27.

Inuti godset på ett kugghjul kan också förekomma inre diskontinuiteter från tillverkningen. Liksom ytdefekter riskerar dessa defekter att vid cykliska laster växa till och orsaka kugghaveri. De inre defekterna kan inte upptäckas med metoderna nämnda ovan utan erfordrar undersökning med ultraljudsprovning (UT) eller röntgen (RT). Dessa metoder är i regel mer omständliga p.g.a. att placeringen av mätutrustningen kräver att komponenten demonteras. Under tiden ett kugghjul är demonterat är utskovsluckan otillgänglig. Det kan vara svårt att dra några slutsatser av resultatet från undersökningarna. Inneslutna defekter kan vara tillverkningsfel och behöver inte vara skäl till åtgärder. Resultaten kan möjligtvis utgöra ett värdefullt jämförande underlag till framtida undersökningar där eventuella förändringar över tid kan identifieras.

Kontrollmetoder för statusbedömning

- Akustisk mätning
- Geometrisk kontroll
- Oförstörande provning – inre och yttre defekter
- Okulär kontroll

3.6 LAGER

Ett lager har som funktion att överföra last samtidigt som det ska tillåta rörelse. Alla roterande axlar har lager. Det finns generellt två typer av lager som används till utskovsluckor, glidlager och rullningslager.

För glidlager används tillsatssmorda och permanentsmorda typer. För rullningslager är kullagret det vanligaste men även rullager och sfäriska rullager förekommer.

Lagren kan också delas in i radial och axiallager beroende på vilken riktning som lasten tas upp.

För en utskovslucka förekommer lager bland annat i bärhjul, styrhjul, stängda växlar, öppna växlar, momentöverförande- och synkroniserande axlar samt lucklager.

3.6.1 Lucklager

Lucklagren till segment- och sektorluckor skiljer sig från andra lager som använts för manövrering av utskovsluckor. Lucklagren roterar endast delar av ett varv vid full lucköppning, till skillnad från ett lager till en axel i spelet som kan roterar många varv per minut.

Felmod

Luckbenen till en segmentlucka är en tryckt konstruktionsdel som för vattenlasten in i betongpelarna genom lucklagren. De i luckbenen ingående bärande systemen är ofta slanka och instabilitet i form av knäckning är ofta dimensionerande. Vid manövrering ger lagerfriktionen upphov till ett böjande moment och därmed blir böjknäckning aktuellt fenomen. Haveri på lucklager kan leda till att utskovet

förlorar sin dämmande förmåga om lagerhaveriet leder till överbelastning av luckbenen. Se till exempel haveriet vid Folsom Dam 1995.

Statusbedömning

Den troligen mest vanligt förekommande statusbedömningen av lucklager är en "okulär" kontroll i form av att lyssna efter missljud vid manöver. Vissa lager är tillgängliga inifrån pelarna medan många skulle kräva att personal ligger på luckbenen under manöver. Personsäkerheten kring det förfarandet kan vara svår att tillgodose. Möjligheten att upptäcka missljud försämras av ljudet från det strömmande vattnet.

Det finns exempel på lucklager som demonterats i samband med luckrenoveringar. Det kan vara en relativt omfattande procedur att frilägga lagren. Ett flertal lucklager har demonterats och ofta har slitaget varit mycket begränsat eller helt obefintligt. Dock förekommer även exempel där lagerytan skadats, smörjspåren blockerats och där lagret har skurit mot axeln, se exempel i Figur 9 till Figur 12.



Figur 9. Exempel på ett lucklager med torkat smörjfett som blockerar smörjspåren i ett lucklager.



Figur 10. Detalj av lucklager med torkat smörjfett och skador i lagerytan.



Figur 11. Axel till lucklager som skurit.



Figur 12. Ett lucklager som skurit.

En metod för kontroll av lucklager som har använts i Norge och i USA är att placera trådtöjningsgivare på luckbenen till segmentluckor för att uppskatta friktion och status på lucklagren. Se Peter Bergkvists *Lagerinbyggnad för segmentluckor*, Energiforskrapport 2021:721 för utförlig beskrivning. Nedan följer en summering av den rapporten, kompletterat med viss information från samtal med BDI.

Vid manöver av segmentluckor kommer friktionen i lucklagren att ge upphov till böjande moment i luckbenen. Det böjande momentet ger i sin tur upphov till (elastiska) deformationer som kan mätas med trådtöjningsgivare.

Töjningsgivare monteras på luckbenen och deformationen under manöver av utskovsluckan registreras. Beroende på luckbenens geometri kan det av lagerfriktionen orsakade böjande momentet i luckbenen uppskattas genom handberäkningar (enklare tvärsnitt) eller FEM för mer komplicerad geometri.

Klätterutrustning och goda klätterkunskaper krävs för att montera givarna. Vid vissa anläggningar kan korg från kranbil vara ett alternativ. BDI beskriver att de normalt är ca 4 personer på plats och att det tar ungefär en arbetsdag att montera samtliga givare, utföra testerna samt avetablera för en utskovslucka. BDI använder 4 töjningsgivare per tvärsnitt, och om luckbenet består av tre balkar innebär det 24 givare för en utskovslucka.



Figur 13. Installation av trådtöjningsgivare på luckben för kontroll av lucklager, foto från Bridge Diagnostics, Inc, BDI.

Under stängningsmanöver av en segmentlucka kommer lagerfriktionen att ge upphov till ett böjande moment i luckbenen som motverkar rörelsen. När luckan är stängd och står "avlastad" på tröskeln kommer det att finnas ett kvar ett böjande moment i luckbenen, det kvarvarande momentet försöker då öppna utskovsluckan. När luckan sedan öppnas kommer först det kvarvarande momentet avlastas för att sedan övergå i att luckbenen böjs "åt andra hållet" så att ett böjande moment i luckbenen bildas som hålls emot av lagerfriktionen. Det här är viktigt att beakta när trådtöjningsgivare används för att uppskatta lagerfriktionen genom att mäta deformationen i luckbenen.

När luckan står på tröskeln kommer manövreringssystemet att avlastas vilket kan ge upphov till ytterligare en okänd variabel. Att under hela mätningstillfället hålla luckan hängandes i manövreringssystemet, och inte stå på tröskeln, är ett sätt att hantera den variabeln.

För att få tillräckligt med data kan tre manövreringar genomföras under mätning. Luckan positioneras så att den är någon cm öppen. Från detta utgångsläge öppnas luckan ytterligare för att sedan stängas till utgångsläget med en öppning på någon cm. Manövreringssekvensen upprepas totalt tre gånger.

Det finns exempel där lagerkonstruktionen/installationen gjort så att böjningen i luckbenen blev som störst när luckan stod på tröskeln. Det upptäcktes genom att uppmätta värden var "orimliga" om de utvärderades som om luckbenen var avlastade från moment vid stängt läge.

BDI beskriver att detta är en rutinkontroll för segmentluckor i USA idag och att de har utfört mätningar på över 200 segmentluckor med denna metod. Enligt muntlig

uppgift uppskattas att ca 80% av kontrollerna visar på nominella/förväntade friktionskoefficienter och att en handfull kritiska fynd med utvärderad säkerhetsmarginal strax över 1,0 har gjorts. Metoden kan visa på förhöjd lagerfriktion (förhöjt böjande moment jämfört med förväntat) även för situationer där lagerinfästningarna varit feluppriktade.

På broar i Sverige har IoT Bridge installerat trådtöjningsgivare för utvärdering av verkliga påkänningar.

Metoden har även använts för kontinuerlig övervakning men det är relativt dyr utrustning att köpa in samt att montage av givare och kablar behöver förläggas robust för att säkerställa funktion även vid till exempel vinterspill.

En annan metod som kan användas, men som är förknippad med stora osäkerheter, är att övervaka motorströmmen vid manöver. En över tid ökande motorström för att öppna en utskovslucka kan vara en indikation på att friktionen i lager ökar. Friktionen från lucklagren utgör endast en del av den erforderliga manöverkraften vilket gör att en relativt stor förändring av friktionen kan krävas för att förändringen ska upptäckas genom motorströmsmätning.

Kontrollmetoder för statusbedömning

- Deformation (töjning)
- Geometrisk kontroll
- Okulär kontroll
- (Motorströmsmätning)

3.6.2 Lager till växlar och hjul

Tillsatssmorda lager behöver smörjning för att fungera, det är fettets smörjfilm som säkerställer att de två ytorna inte kommer i direkt kontakt. För självsmörjande lager säkerställs smörjfilmen genom i lagret inbyggda fasta smörjmedel.



Figur 14. Självsmörjande lager, Oiles 500 (Johnson Metall).

Felmod

Vid lagerhaveri ökar friktionen markant, vilket leder till ökat moment för att skapa den roterande rörelsen. Ett ökat moment kan skada axeln, hjul kan övergå från att rulla till att glida, kuggar i växlar får ökad påkänning och motorströmmen går upp. Om lager skär kan det leda till överbelastning av kuggar eller motor vilket i sin tur kan leda till utebliven luckmanövrering.

Kontrollmetoder för statusbedömning

- Akustisk mätning
- Deformation (töjning)
- Geometrisk kontroll
- Motorströmsmätning
- Okulär kontroll
- Temperaturmätning

3.7 AXLAR

Axlar är en central typ av komponent för manövrering av utskovsluckor. En axels primära syfte kan skilja sig något åt men generellt är används de till att överföra last samtidigt som en roterande rörelse sker.

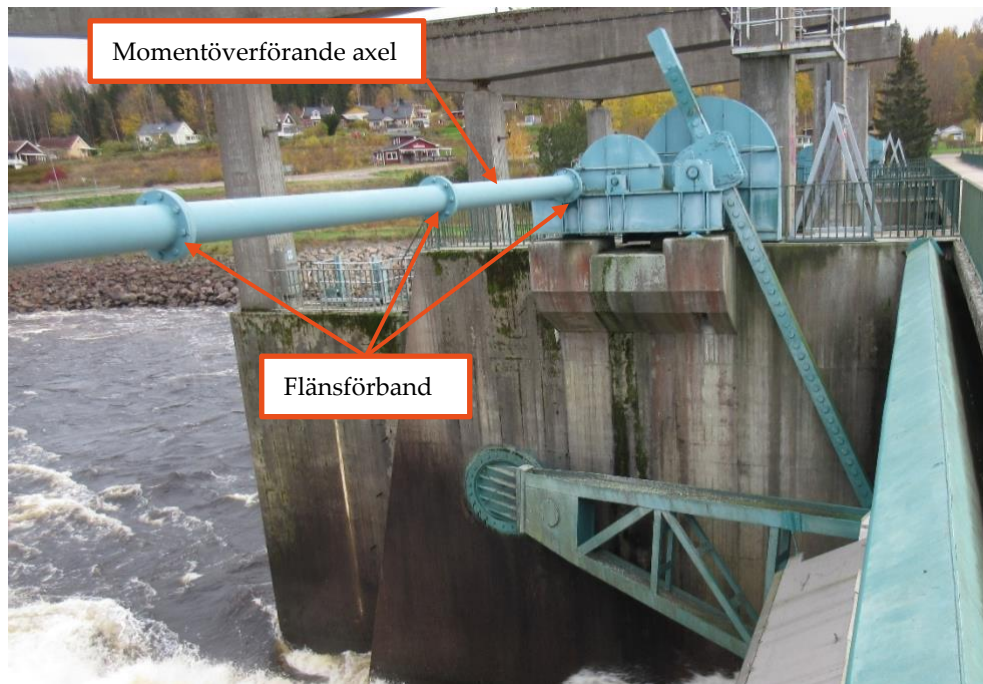
Axlar kan överföra vridande moment så som från motoraxel, mellan olika kuggar i en växel eller till lintrumman. Dessa axlar roterar och är monterade i lager. Långa momentöverförande axlar används för dubbelspel som drivs från en sida med en motor som manövrerar två spel, se exempel i Figur 15. Synkroniserande axlar förekommer på dubbelspel som manövreras med två motorer för att hålla de synkroniserade så att de inte snedbelastar luckan.

Det finns även axlar vars syfte är att bära tvärkraft från ett lager till omkringliggande delar, så som axeltappar till lucklager, hjulaxlar eller sprintförband vid infästning av kuggstänger eller hydraulcylindrar. Denna typ av axlar tillåts inte att rotera, utan det är lagret som roterar runt axeln.

Felmod

Om axel i spel havererar kan inte spelet användas för manövrering av utskovsluckan.

Längre momentöverförande och synkroniserande axlar i luckspel innehåller ofta flänsförband, se Figur 15. Det har på denna typ av komponenter observerats sprickbildning i svets mellan stång och fläns. Om momentöverförande axel havererar kan utskovsluckan inte manövreras. Haveriet kan leda till följdfel i form av att motorn fortsätter att leverera moment som i det läget går direkt till endast en sida vilket leder till snedbelastning av luckan samt överbelastning i det spelet.



Figur 15. Kuggstångsspel med momentöverförandeaxel med flänsförband.

En synkroniserande axel kan vara ett skyddssystem och behöver inte vara direkt avgörande för manövreringen av utskovsluckan. Dock ökar risken för snedbelastning vid ett haveri av en synkroniserande axel. Haveriet i sig kan leda till förhöjd erforderlig manöverkraft om den havererade axel fastnar.

Om axel till lucklager havererar kan utskovsluckan förlora sin dämmande funktion.

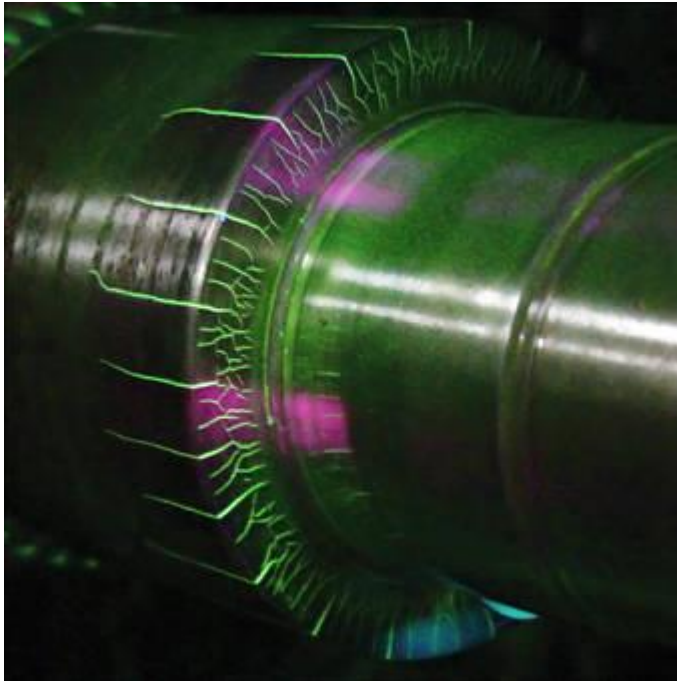
Raka lager, ofta kallade bussningar, tillåter inte vinkelförändringar. Det kan leda till att "tvångslaster" förs in som kan leda till sprickor.

Statusbedömning

Vid en visuell kontroll av axlar kan eventuella sprickor upptäckas. Det kan finnas anledning att måla ytor på axlar som är tillgängliga för inspektion då sprickor i färgen kan vara ett tecken på sprickor i stålgodset. Om det finns misstankar om sprickbildning bör det övervägas att undersöka axlar genom ytterligare oförstörande kontroller.

Flänsförbandet i Figur 15 är svåråtkomligt och det kan möjligtvis vara värdefullt att överväga inspektion med drönare för att översiktligt dokumentera eventuella sprickor i ytskikt som indikerar på risk för defekter i konstruktionen.

Vid misstankar om sprickbildning i axlar kan dessa sprickindikeras med MT eller PT, se Figur 16. Om det vid sprickindikering kan konstateras sprickbildning i godset behöver eventuella åtgärder övervägas. Möjligtvis kan sprickindikering föras in i det periodiska underhållet för att följa eventuella förändringar över tid. Om det föreligger risk att identifierade sprickor orsakats av utmattningsbelastning bör det åtgärdas.



Figur 16. Sprickindikering på axel med fluorescerande penetrant³

Genom att placera trådtöjningsgivare på till en axel kan verkligt vridande moment uppskattats. Om moment på axel till en linrumma är känd kan lyftkraftsberäkning kalibreras på ett mer tillförlitligt sätt än genom till exempel motorströmsmätning. Om momentet i andra axlar i spelet mäts samtidigt kan förluster från lagerfriktion och kuggkontakt uppskattas. En förhöjd lagerfriktion kan vara en indikation på att lagret är behov av underhåll.



Figur 17. Trådtöjningsgivare för mätning av skjuvning monterade på axel för att utvärdera vridande moment, fotografi från Bridge Diagnostics, Inc. (BDI).

³ <https://www.mistrasgroup.com/how-we-help/field-inspections/traditional-ndt/magnetic-particle/>. Hämtad 2024-06-27

Om stöden/upplagen är för långt ifrån varandra kan axeln böja ned av egenvikten vilket vid rotation ger upphov till utmattning. Långa axlars rakhet kan vara värdefullt att kontrollera.

Axlar till hjul och lucklager (där axeln inte tillåts roterar) för lasten vidare genom hållkantryck till omkringliggande konstruktioner. Visuellt kontroll av upplagen kan ge information om hållkantrycket är på tillåtna nivåer. Om axeln demonteras kan även axeln kontrolleras.

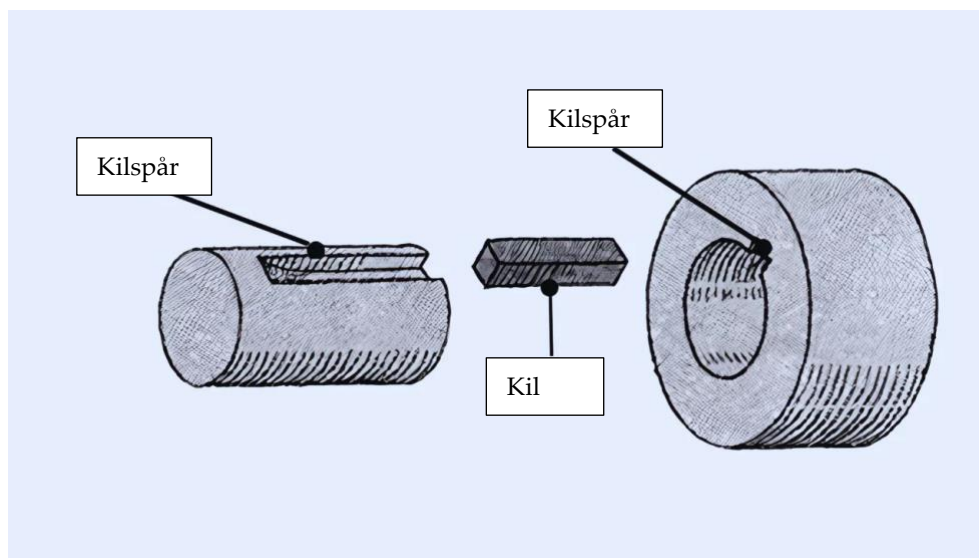
Toleranserna vid lagerytor är relativt strikta för att säkerställa god funktion av lagret. Geometrisk kontroll av rundhet och ytfinhet av axeln vid området där lagret är placerat kan ge värdefull information till statusbedömningen. För lager, se avsnitt ovan.

Kontrollmetoder för statusbedömning

- Deformation (töjning)
- Geometrisk kontroll
- Oförstörande provning - ytdefekter
- Okulär kontroll

3.8 KILSPÅRSFÖRBAND

Kilspår och kilar utgör ett rotationssymmetriskt axelförband som kallas kilspårsförband. Många roterande mekaniska komponenter sammankopplas med en axel i kilspårsförband. Kilen förhindrar rotation mellan delarna som förbinds och tar upp det moment som överförs. Ett kilspårsförband utgörs av en försänkning i axel kallat kilspår, en kil samt ett spår i den roterande komponenten.



Figur 18. Principiell skiss av ett kilspårsförband⁴

⁴ <https://www.mechdaily.com/what-is-shaft-key/>. Hämtad 2024-06-28.

Vanligt förekommande komponenter på utskovsluckor som sammanfogas med kilspår kan vara kugghjul i växlar, lintrummor, axelkopplingar osv.

Kilspårsförbanden mellan den roterande komponenten och axeln kan bli plastiskt deformerade vid höga laster, vilket kan resultera i ett glappande förband. Möjligen kan mycket stora glapp detekteras under drift.

Felmod

Kilspåren i utskovsluckans drivlina är kritiska för den avbördande funktionen. I händelse av ett haveri på ett kilförband föreligger stor risk att komponenterna som kilspåret fixerar förlorar sin lastöverförande förmåga.



Figur 19. Havererad axel i kilspår⁵

Ett haveri i ett kilspårsförband riskerar att orsaka omfattande skador på de komponenter som det förbinder. Att exempelvis ersätta ett havererat kugghjul kan var förknippat med mycket långa ledtider. En havererad axel eller en lintrumma är ofta betydligt enklare att ersätta även om detta också förknippas med betydande ledtider.

Ett havererat kilspårsförband i drivlinan kan även leda till oavsiktlig stängning av redan öppen utskovslucka då spelet används för att hålla luckan i läge.

Statusbedömning

Kilspårsförband undersöks om möjligt okulärt under drift. Förbandet ska vara stumt och inte glappa. För att lättare upptäcka glapp i kilspårsförband kan man överväga att lägga på ett färgskikt. Om den torkade färgen spricker under drift bör glappet undersökas och mätas upp.

Inte sällan behöver kugghjulen demonteras för att åtkomliggöra kilförbanden något som kan vara mycket besvärligt om kilförbandet kompletterats med greppassning.

⁵ <https://www.efficientplantmag.com/2012/07/failure-analysis-of-machine-shafts/>. Hämtad 2024-07-02.

Kontrollmetoder för statusbedömning

- Geometrisk kontroll
- Okulär kontroll

3.9 LINOR & LINLÅS

Många segmentluckor manövreras med linspel där linor är infästa i nederkant på bordläggningens uppströmssida. Det förekommer också planluckor som manövreras med linspel. Linan lindas upp på en lintrumma när utskovsluckan manövreras.

Linor byts normalt vid jämna intervaller då det finns risk att det uppstår korrosion inuti linan som inte kan upptäckas vid en okulär kontroll.

Felmod

Linor och lininfästningar är kritiska för den avbördande funktionen. I händelse av ett haveri på en lina eller dess infästningar kan inte utskovsluckan manövreras med det manövreringssystemet.

Linbrott kan även leda till oavsiktlig stängning av redan öppen utskovslucka då spelet används för att hålla luckan i läge. Om haveriet inträffar under manövrering eller när utskovsluckan hålls i ett delvis öppet läge finns risk för fastkilning alternativt att båda linorna går till brott och utskovsluckan faller fritt ner mot tröskeln.

Det är vanligt att linor får korrosionsangrepp i de delar som exponeras för vatten. Korrosionen kan börja inifrån och kan då vara svår att upptäcka. Det förekommer fall där linorna haft ett oväntat snabbt korrosionsförlopp där det visat sig att det går läckströmmar i linorna. De elektriska strömmarna har gett upphov till en hög potentialskillnad som påskyndat förloppet.

Linor utsätts för nötning när utskovsluckan manövreras. Segmentluckor med linor monterade i nederkant på bordläggningens uppströmssida är extra utsatta för nötning då linan vandrar i sidled över del av bordläggningen under manövrering. Historiskt sett har utskovsluckor oftast körts så pass sällan att nötningen är begränsad, men med ett förändrat körsätt i samband med kraftbalansspill ökar slitaget på linorna. Slitaget kan leda till trådbrott vilket har en stor inverkan på linans bärförmåga.

Statusbedömning

Visuellt undersöks linorna så att inte kardelerna lossnat från sitt läge och börjar spreta ifrån övriga delar av linan. Linor som utsätts för vatten kombinerat med kyla kan enligt uppgift från andra branscher och applikationer fläkas ut på grund av isbildning inuti linan. Ett exempel på detta presenteras i Figur 20. Det har inte påträffats rapporter om detta fenomen på linor monterade på utskovsluckor.

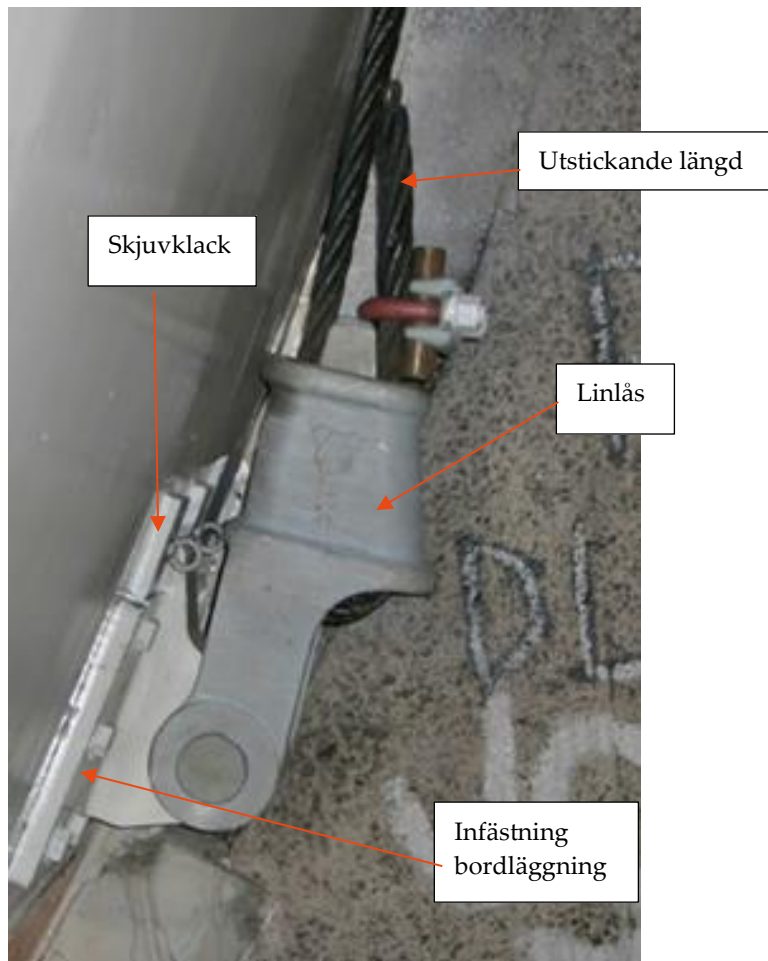


Figur 20. Foto av lina som enligt uppgift ska ha tagit skada av isbildning inuti linan.

En del linor fettas in för att hindra vatten från att tränga in i linorna och bidra till korrosion. Infettningen kan också ha som funktion att smörja kontaktytor och därmed minska friktion och slitage. Infettningen kontrolleras visuellt.

Delar av linor som exponeras för vatten utsätts för mest korrosion. Dessa delar kan vara svåra att kontrollera. En möjlighet kan vara att kontrollera linan i samband med manövrering under verifikationstest av utskovsluckan. På en segmentlucka där linorna ligger emot bordläggningen och därmed utsätts för en kombination av en korrosiv miljö och nötning är risken för trådbrott stor. Det mest utsatta området är linans kontaktyta mot bordläggningen, vilken också är mycket svår att kontrollera när linan är monterad,

Linans infästningar undersöks genom att utsticket efter låsningen mäts in och hålls under uppsikt för att fånga upp om den utstickande längden förändras. Många linlås på segmentluckor är infästa mot bordläggningen med skruvförband, se Figur 21. Lasten från linlås till lucka förs över via skjuvklackar och det är viktigt med god anliggning mellan linlåsinfästning och skjuvklack. Kontakten kan kontrolleras av dykare med bladmått.



Figur 21. Linlås med skruvad infästning mot bordläggning.

Inre diskontinuiteter på linor kan upptäckas genom att linans diameter kontrolleras över hela längden. Om diametern avviker finns risk att linan blivit utsatt för frostsprängning, invändig korrosion, inre brott eller andra fenomen som orsakat skador. Identifierade dimensionsavvikelser kan undersökas ytterligare med andra metoder för oförstörande provning för att upptäcka inre brott. Att kontrollera linor med oförstörande provning förekommer i andra branscher och applikationer. För utskovsluckor kontrolleras generellt inte linor på det sättet då kontrollen anses kostsamt i relation till kostnaden för att byta linor samtidigt som det kan finnas kvarstående osäkerheter efter kontrollen.

För utskovsluckor som manövreras med linspel är det viktigt att linorna är lika spända och att lasten fördelas jämnt mellan dem. En analys av linornas svängningsfrekvens kan ge indikationer på om någonting som påverkar lastfördelning mellan linorna har förändrats. Denna typ av kontroll kan vara besvärlig att genomföra på segmentluckor med linspel med hänsyn till att stora delar av linan ligger an mot bordläggningen och befinner sig under vatten. Vissa spel kan "själjustera" i form av att den elmotor som belastas mest får ett lägre varvtal.

Kontrollmetoder för statusbedömning

- Geometrisk kontroll
- Oförstörande provning – inre defekter
- Okulär kontroll
- Vibrationsmätning

3.10 HYDRAULAGGREGAT OCH LEDNINGAR

Ett hydraulsystem till en utskovslucka består i huvudsak av ett hydraulaggregat, en eller flera hydraulcylindrar samt rör och slang mellan aggregat och cylindrar. Vanligtvis är hydraulaggregatet placerat i en uppvärmd spelkur och hydraulcylindern placerad vid luckan. För hydraulcylinder hänvisas till avsnitt 3.11.

Själva hydraulaggregatet består normalt av en tank, en eller flera elmotorer kopplad till individuella pumpar samt ett antal ventiler för att styra flödet och trycket ut till hydraulcylindern. Motorerna och ventilerna styrs av kontrollutrustningen.



Figur 22. Exempel på hydraulaggregat för manövrering av mindre klaffluckor.

Felmod och skyddssystem

Om hydraulaggregatet eller ledningarna felfungerar kan luckan inte manövreras och en redan öppnad utskovslucka riskerar att stängas. Installationen ska vara trycktestad och ledningarna är normalt utförda i rostfritt stål vilket gör att läckage som uppstår ofta är begränsat och behöver inte påverka systemets förmåga att

manövrera utskovsluckan. Ett mindre läckage leder till att luckan stängs sakta men så länge tillräcklig mängd hydraulvätska finns kvar i systemet, och stängningen observeras, kan det vara möjligt att öppna luckan igen. Ofta finns ett visst inre läckage i kolvstängstättningen som gör att en hydraulcylinder som är utsatt för last under längre tid sakta kommer att stänga.

Hydraulslangarna är generellt de komponenterna där sannolikheten för haveri är störst i ett hydraulsystem.

Om stora mängder hydraulvätska läcker ut förloras den manövrerande funktionen. Många hydraulcylindrar är utrustade med alternativa inkopplingspunkter för att möjliggöra manöver med annat hydraulaggregat. I en krissituation kan det vara rimligt att inte vara så noga med att inte blanda olika typer av hydraulvätska för att öppna utskovsluckan.

Upprustning

Några åtgärder som kan ingå i ett normalt underhåll av ett hydraulaggregat listas nedan:

- Rengöring av tank –kondensvatten, smuts och rost som ansamlats avlägsnas.
- Rengöring av hydraulvätska. Kan renas genom att med extern pump köra vätskan genom ett externt filter.
- Byte av hydraulvätska.
- Byte av tätningar till ventiler
- Okulär kontroll av pumpar och ventiler

Statusbedömning

Systemet ska inspekteras vid rondning och det är viktigt att det finns accessvägar till både aggregat, rör, slangar och hydraulcylinder inklusive infästningar.

För hydraulrör är kopplingarna en svag del där korrosion kan uppstå. Det kan också förekomma utmattningsprickor i hydraulrör som sitter med för få rörfästen.

Hydraulslangar kontrolleras visuellt efter sprickor – ska vara helt sprickfria. Byts normalt efter 10 år i drift. I exponerade lägen kan de behöva bytas oftare än så. Det kan finnas märkning på hydraulslangar som innehåller information om bland annat när slangmontaget utfördes.

Oljeanalyser kan ge kunskap om systemets skick och komponenterna i det. Äldring av olja, försmutsning, fukthalt, antioxidanter och viskositet är några egenskaper som kan analyseras. En grundämnesanalys detekterar förslitningar i form av partiklar av olika ämnen. Det är viktigt att överväga hur och var ett oljeprov tas.

Kontrollmetoder för statusbedömning

- Analys av oljor
- Okulär kontroll
- Temperaturmätning

3.11 HYDRAULCYLINDRAR

Många utskovsluckor manövreras med hjälp av hydraulcylindrar. Normalt används en i utskovet centralt placerad hydraulcylinder, men det förekommer system som är utformade med dubbla hydraulcylindrar placerade nära luckans gavlar eller mer centriskt på luckan.



Figur 23. Exempel på centralt placerad hydraulcylinder för manövrering av en segmentlucka.

Statusbedömning

Kolven inspekteras okulärt. Skador i kromskiktet observeras. Skador på kolven ökar slitaget på hydraulkolvspackningar. Slitna packningar ger ett ökat läckage av hydraulvätska på kolven. Genom att hålla kolven ren från hydraulvätska kan förändringar i läckage upptäckas. I de fall hydraulcylindern är utrustad med en damask för att skydda kolven bör damasken avlägsnas för att möjliggöra inspektion. En metod för att statusbedöma tätningarna i hydraulcylindern är att förse cylindern med dubbla tätningar samt ett spillrör kopplat till en behållare. När tätningarna är slitna ökar läckaget av hydraulvätska genom spillröret och

behållaren fylls. En fylld behållare indikerar på ett stort läckage och därmed dåligt skick på tätningarna.

Hydraulkolvspackningarna som reservdel har en begränsad livslängd och bör inte förvaras mer än 5–10 år. Packningar kan vara svåra att få tag på.

Med slitna packningar finns risk att det kommer in smuts som repar insidan av cylindern. Detta slitage kan vara svårt att upptäcka då cylindern och kolven kan behöva plockas isär för inspektion. Kan upptäckas genom analys av hydraulvätskan.

Många utskovsluckor öppnas normalt endast med mycket korta slag vilket gör att hydraulvätska i cylinder, rör och slangar inte omsätts. Prover kan då behöva tas vid flera olika ställen i systemet. Om systemet är utrustat med en bypass vid hydraulcylindern kan all olja utom den i cylindern cirkuleras innan provtagning.

Lastöverförande infästningar av hydraulcylinder kan inspekteras och eventuellt glapp under rörelse kan om möjligt noteras.

Kontrollmetoder för statusbedömning

- Analys av oljor
- Geometrisk kontroll (rakhet av cylindrar som utsätts för tryck)
- Okulär kontroll

4 Slutsatser

Utskovsluckors manövreringsfunktion är kritisk för dammsäkerheten vid dammanläggningar. Funktionen beror av ett system bestående av en mängd olika mekaniska och elektriska komponenter – där varje komponent kan vara kritisk. Att bedöma de mekaniska komponenternas status och kvarvarande livslängd kan vara en komplex uppgift där åldring kan vara en potentiell utmaning. Ett ökat kunskapsläge om komponenternas status kan avsevärt minska risken för utebliven manövrering, eller oavsiktlig stängning av en utskovslucka och därmed också öka dammsäkerheten vid dammanläggningen.

Statusbedömning baseras ofta på information som insamlats vid olika typer av kontroller. I applikationer med mer kontinuerlig drift eller längre driftsekvenser än vid avbördningsanordningar på dammar, är det inte ovanligt att mekaniska komponenter såsom lager, växlar, kugghjul eller bromsar övervakas kontinuerligt för att identifiera förändringar i t.ex. temperatur, ljudnivå, vibrationer etc. Många utskovsluckor öppnas vanligtvis mycket sällan och manövreringsutrustningen får därför ofta en mycket intermittent drift. När luckorna väl öppnas är det ofta endast till en liten öppning och manöverutrustningens drifttid blir därför också mycket kort. Dessa driftförutsättningar är en utmaning för tillämpningen av de många kontrollmetoder där syftet med kontrollen är att identifiera förändringar över tid. Detta bland annat eftersom det jämförande underlaget är begränsat och att det kan vara svårt att avgöra om förändringen beror av faktorer i omgivningen eller om den orsakas av effekter som kan tyda på en felande komponent. Med ett förändrat körsätt till följd av kraftbalansspill kan både möjligheterna till och behovet av denna typ av kontroller på vissa anläggningar idag vara större än tidigare.

Kontrollmetoder som vid en engångsinsats ger en ögonblicksbild av en komponents tillstånd kan ge värdefull information till en statusbedömning. Om kontrollen genomförs regelbundet kan informationen också användas för att identifiera förändringar. Till denna typ av kontroller tillhör den vanligaste – den okulära kontrollen – där driftpersonal och inspektörer med syn, hörsel och känsel undersöker komponenterna i anläggningen och på detta sätt upptäcker att någonting inte uppträder som det ska. Andra vanligt förekommande kontrollmetoder är olika typer av oförstörande provning, geometriska kontroller och analys av oljor. Kontrollmetoderna kan läggas in i det regelbundna underhållsprogrammet för att öka kunskapen om komponenternas status.

En i Sverige ovanlig metod för kontroll av segmentluckors lucklager är att med hjälp av trådtöjningsgivare mäta deformationer av luckbenen under manöver och att sedan beräkna vid vilka friktionsmoment den uppmätta deformationen uppstår. Friktionen i ett lager är mycket viktig information när komponentens status ska bedömas. Metoden har använts på hundratals utskovsluckor i USA för att beräkna friktionen i lucklager och detektera defekter. Några dammägare har denna kontroll som del i deras regelbundna tillståndskontrollprogram och resulterat i åtgärder vid uppskattningsvis någon procent av de kontrollerade anläggningarna. Kontrollmetoden kan övervägas då det finns misstankar om problem med funktionen i lucklager alternativt användas bredare i förebyggande syfte.

Behovet av statusbedömning av mekaniska komponenter för manövrering av utskovsluckor är förmodligen större idag än vad som förutsågs då många av utskovsluckorna tog i drift. Dammhaverier har inträffat på grund av utebliven manövrering av utskovsluckor och det finns exempel på lucka som havererat och spolats bort till följd av havererat lucklager. De statusbedömningar som idag genomförs i samband med tillståndskontroller baseras sällan på andra kontroller än okulärkontroll. Andra kontroller och mer fokuserade statusbedömningar bedöms leda till förhöjd dammsäkerhet.

STATUSBEDÖMNING AV KOMPONENTER FÖR MANÖVRERING AV UTSKOVSLUCKOR

Det här projektet har sammanställt olika metoder för att bedöma status på utskovsluckors olika komponenter. Att bedöma de mekaniska komponenternas skick och kvarvarande livslängd kan minska risken för utebliven manövrering eller oavsiktlig stängning av en utskovslucka och därmed också öka dammsäkerheten vid dammanläggningen.

Utskovsluckors manövreringsfunktion är kritisk för dammsäkerheten vid dammanläggningar. Funktionen beror av ett system bestående av en mängd olika mekaniska och elektriska komponenter – där varje komponent kan vara kritisk. Att bedöma de mekaniska komponenternas status och kvarvarande livslängd kan vara en komplex uppgift där åldring kan vara en potentiell utmaning. Ett ökat kunskapsläge om komponenternas status kan avsevärt minska risken för utebliven manövrering, eller oavsiktlig stängning av en utskovslucka och därmed också öka dammsäkerheten vid dammanläggningen.

Behovet av statusbedömning av mekaniska komponenter för manövrering av utskovsluckor är förmodligen större idag än vad som förutsågs då många av utskovsluckorna tog i drift. De statusbedömningar som idag genomförs i samband med tillståndskontroller baseras sällan på andra kontroller än okulärkontroll. Andra kontroller och mer fokuserade statusbedömningar bedöms leda till förhöjd dammsäkerhet.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.

