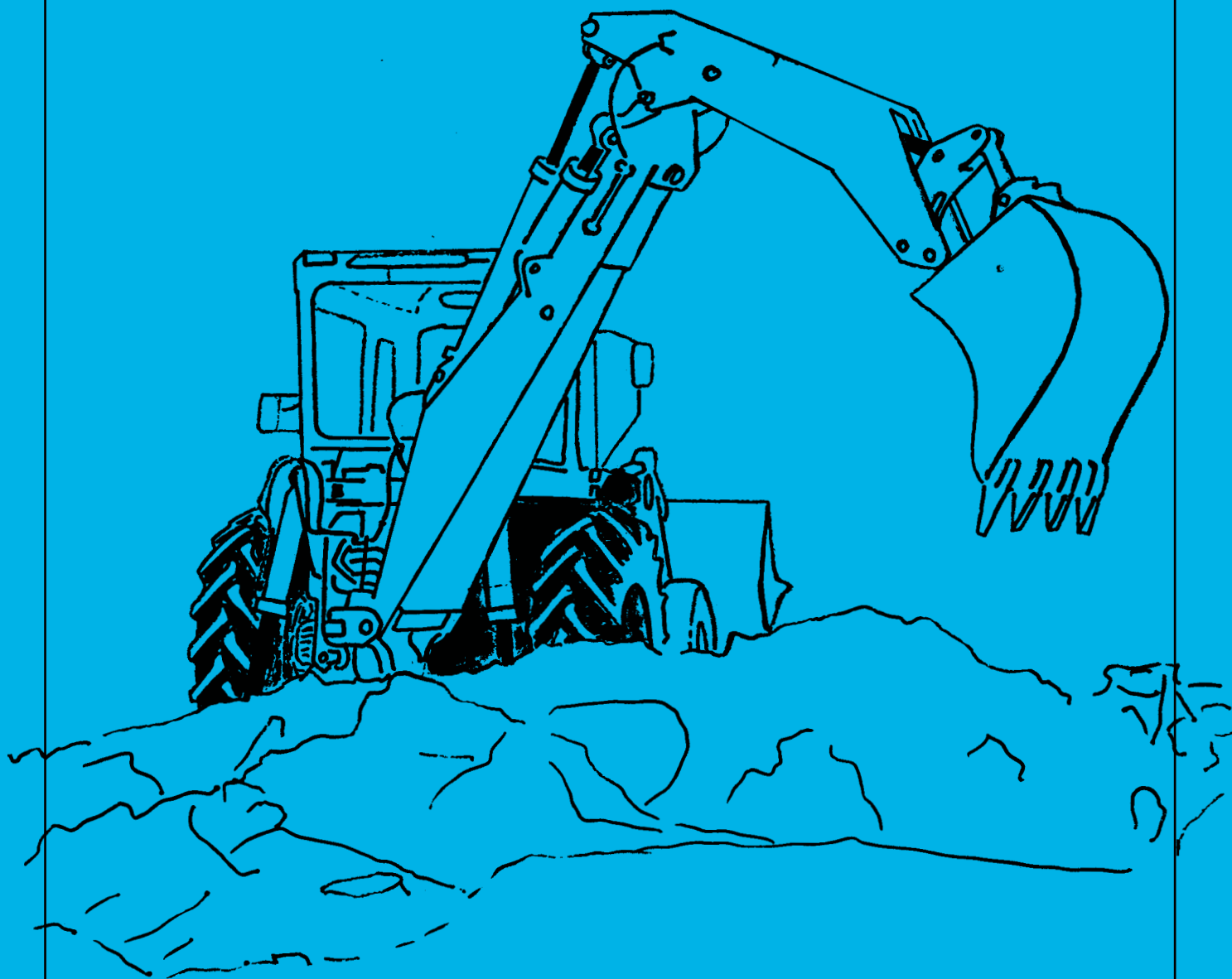


GLIDLAGER

Fettsmorda och Självsmörjande



JOHNSON METALL AB

Jan. 1989

Glidlager - smorda och självsmörjande

Ingvar Essinger, Johnson Metall AB, Örebro

INNEHÅLL	Sid
Lagerkonstruktörens problemställningar	3
De viktigaste faktorerna som påverkar ett glidlagers funktion	5
1. Belastning	6
2. Glidhastighet	8
3. Temperatur	9
4. Smörjning och smörjspår	10
5. Lagerspel	15
6. Inbyggnad	19
7. Motgående material	20
8. Lagerlängd	22
9. Tätningar	24
Olika typer av gränsskiktssmorda glidlager	25
Självsmörjande (underhållsfria) glidlager	25
Oljebronslager	26
Rundbockade självsmörjande glidlager	26
Tjockväggiga massiva självsmörjande glidlager	27
Skador i glidlager	28

Glidlager - smorda och självsörjande (Våta och torra)

av Ingvar Essinger, Johnson Metall AB, Örebro.

När man talar om glidlager idag, möts man ibland av reaktioner som tyder på att glidlager betraktas som ett maskinelement användbart endast i vattenhjul och skottkärror. Vi ska titta på orsakerna till denna uppfattning.

Glidlager har till stor del ersatts av rullningslager som genom framsynt forsknings- och utvecklingsarbete utvecklats till tekniskt avancerade produkter. Den höga kunskapsnivå man byggt upp på detta sätt har resulterat i kvalificerade handböcker och kataloger. Dessa används på våra tekniska skolor som läroböcker och det har blivit naturligt för den blivande konstruktören att fortsätta använda dem, när han senare kommer ut i förvärvslivet. Det har alltså blivit naturligt att fortsätta att tänka i rullningslager.

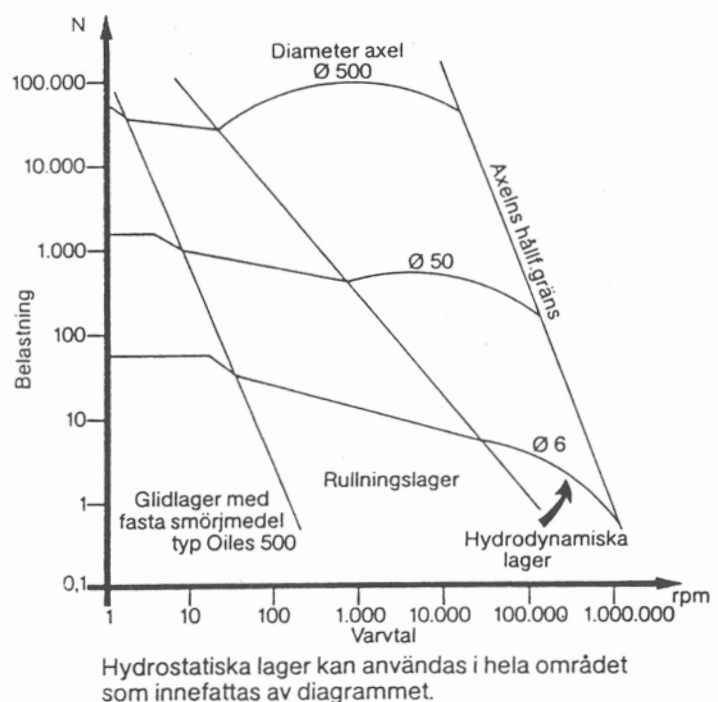
En omfattande informations- och kursverksamhet har ökat förbrukarnas kunskaper om möjliga användningsområden och gjort produkterna kända på marknaden. En långt gående standardisering har gjort det möjligt att en stor del av sortimentet kan lagerhållas.

Försäljnings- och serviceorganisationer har byggts upp på ett föredömligt sätt och stått till kundernas förfogande för teknisk rådgivning. Kunderna kan i många fall få sina lagerproblem lösta utan att själva i detalj delta i beräkningsarbetet.

Alla här uppräknade faktorer har bidragit till rullningslagrens stora framgång på marknaden. Det har blivit bekvämt för konstruktören att använda rullningslager och konstruktionerna har anpassats till de rekommendationer tillverkarna givit.

Glidlagertillverkarna har inte varit lika framsynta med avseende på teknisk utveckling, information och rådgivning och inte heller nått lika långt med standardisering och lagerhållning. Detta har medfört att rullningslager idag ofta används i lagringar där glidlager vore en bättre lösning ur såväl teknisk som ekonomisk synpunkt.

För lagerkonstruktören borde det första problemet vara vilken lagertyp han ska använda - glidlager eller rullningslager. Diagrammet fig. 1, visar mycket schematiskt var de olika lagertyperna kan användas beroende av belastning och glidhastighet. Det är naturligtvis många fler faktorer som har inflytande på lagervalet men diagrammet antyder ändå, att i ett stort område i mitten av hastighetsintervallet är rullningslager den optimala lösningen. Likväl kan man se, att i områdena på bägge sidor, d v s såväl vid hög som vid låg glidhastighet lämpar sig glidlager bättre.



Figur 1. Rullningslager/Glidlager - Jämförelse.

2.

Vid låg hastighet används företrädesvis fettsmorda glidlager eller vid mycket låg hastighet lager smorda med fasta smörjmedel. Vid hög glidhastighet används oljesmorda glidlager som här kan arbeta under s k hydrodynamisk smörjning. Det bör här påpekas att den övre hastighetsgränsen bestäms av den roterande axelns kvalitetsdata. Glidlagret fungerar så länge som olja av rätt temperatur, viskositet, tryck och mängd tillförs lagringen.

I det följande kommer huvudsakligen fältet längst till vänster i diagrammet att behandlas, d v s fettsmorda glidlager och glidlager smorda med fasta smörjmedel.

Innan vi lämnar rullningslagren ska här göras en jämförelse mellan de två lagertypernas för- och nackdelar. Bilen är ett exempel där de olika typerna av lager används i det närmaste optimalt. Stora serier och hård konkurrens har tvingat fram en hård bedömning av de ingående komponenterna, både tekniskt och ekonomiskt. I en 4-cylindrig bilmotor finner man ett 40-tal lagringar med glidlager. Förutom ramlager, vevstakslager, kamaxellager och kolvbultslager finns glidlager i reglage, fjädringsarrangemang o s v. Rullningslager finner man i hjullagringarna, växellåda, bakväxel och kardanknut (nållager).

Nedanstående tabell kan tjäna som jämförelse av egenskaperna hos rullningslager och glidlager.

Rullningslager - fördelar

Låg friktion

Ofta ringa krav på smörjning och skötsel

Lättillgängliga data i kataloger

Enkla belastningsberäkningar med hjälp av katalog

Standardiserade och lagerförda

Rullningslager - nackdelar

Skadas av vibrationer

Känsliga för korrosionsangrepp

Känsliga för magnetiska fält

Stort radiellt inbyggnadsmått

Hög kostnad vid stora dimensioner

Olämpliga för pendelrörelser

Glidlager - fördelar

Lämpliga för pendelrörelser

Dämpande inverkan på vibrationer

Korrosionsbeständiga

Lätta att montera

Antimagnetiska

Litet radiellt inbyggnadsmått

God inbäddningsförmåga

Tål höga temperaturer

Låg vikt

Låg kostnad

Låg ljudnivå

Glidlager - nackdelar

Kräver som regel god smörjning

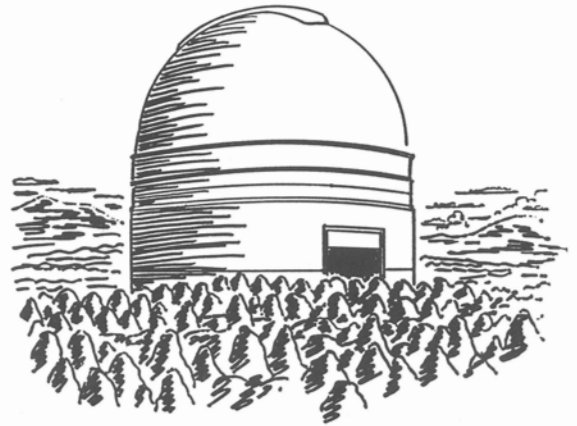
Hög startfriktion (våta lager)

Kräver i vissa fall härdad axel

Ett vanligt argument emot glidlager är den relativt höga friktionskoefficienten. Har man behov av låg friktionskoefficient, är dock glidlagret oslagbart om det görs hydrostatiskt. Det innebär att olja pumpas in under förhöjt tryck in i fickor i lagret och lyfter axeln. På Mount Palomar i Californien finns ett teleskop med en vikt på 450 ton som roterar 1 varv på 24 timmar. Extremt låg friktion och stabilitet var krav som inte kunde tillfredsställas med en rullningslagerkonstruktion. Man valde därför ett hydrostatiskt glidlager vars arbetstryck är 25 bar och som ger en friktionskoefficient mindre än 0,000004. För att vrida det 450 ton tunga teleskopet krävs en motor på endast 1/12 hk. Detta exempel belyser glidlagrens tekniska möjligheter. Fig 2.

Hale-teleskopet på Mount Palomar i Californien lagrat på hydrostatiska glidlager.

Friktionskoefficient < 0,000004.



En ökad spridning av information om glidlager och dess användningsmöjligheter är nödvändig för att återställa balansen mellan rullningslager och glidlager.

Lagerkonstruktörens problemställningar

Nedanstående tabell visar några problemställningar som lagerkonstruktören ställs inför vid konstruktion av en lagring

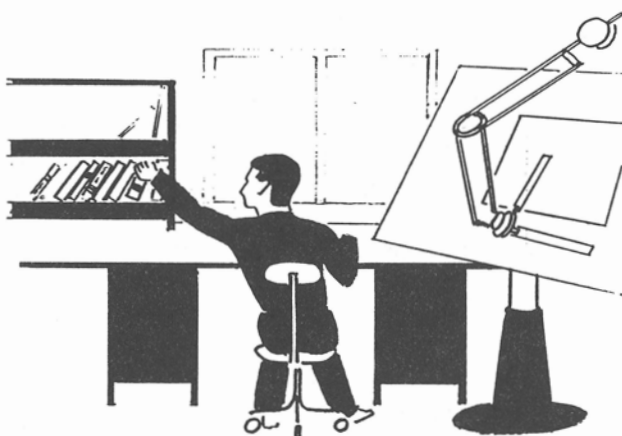
Belastning
Glidhastighet
Arbetsmiljö / Temperatur / Korrosion
Typ av rörelse (roterande, pendlande etc.)
Smörjning
Friktion
Materialval
Ytfinhet
Inbyggnad
Toleranser - Spel
Vikt
Livslängd
Kostnad
Finns standardiserade element?
Tillgänglig information

Konstruktören har i princip tre valmöjligheter i sitt fortsatta arbete med lagringen.

1. Göra som man gjort förut.
2. Med ledning av tillgänglig information välja konstruktionselement.
3. Vända sig till expert inom eller utom företaget.

Fig 3.

Konstruktören har i sin bokhylla oftast ett rikt urval av litteratur om rullningslager. Om glidlager däremot finns inte så mycket. Detta bidrar i hög grad till att rullningslager väljes även i konstruktioner där glidlager vore ett bättre alternativ.



Väljes alternativ 1 ligger enligt tidigare resonemang rullningslager närmast till hands oavsett om detta är den bästa lösningen eller ej. Alternativ 2 och 3 borde leda till en mer objektiv syn på lageralternativen, men då bristen på information om glidlager är uppenbar och glidlagertillverkarna därför inte är kända för alla konstruktörer leder också alternativ 2 och 3 ofta till rullningslager.

Det är helt klart att det finns ett behov av glidlager i industrin och information därom är därför av stor betydelse. Vi ska därför titta vidare på fenomenet glidlager.

De viktigaste faktorerna som påverkar ett glidlagers funktion är:

1. Belastning
2. Glidhastighet
3. Temperatur
4. Smörjning och smörjspår
5. Lagerspel
6. Inbyggnad
7. Motgående material, hårdhet, ytjämnhet
8. Lagerlängd
9. Tätningar

Beräkning och konstruktion av glidlager syftar alltså till att anpassa lagringen till bl a dessa faktorer så att friktionen i lagret kan hållas under rimliga gränser.

Belastningen har i första hand inflytande på materialvalet.

Glidhastigheten har inflytande på val av lagertyp. Tillsammans med belastningen bildas pv-värdet som användes som riktvärde vid beräkning av fettsmorda och självsörjande lager.

Temperaturen påverkar lagermaterialets hållfasthetsvärden, smörjmedlets viskositet, friktionsegenskaper o.dyl.

Smörjning och smörjspår. Dålig smörjning beror oftare på olämpligt utformade smörjspår än för lite smörjning.

Lagerspelet måste finnas för att smörjmedlet ska få plats men också för att tillåta expansion när temperaturen stiger.

Inbyggnad. Ett stabilt lagerhus som ej ändrar läge under belastning eller vid uppvärmning är nödvändigt för att förhindra snedställning och kantryck i lagret.

Motgående material är lika viktigt som lagermaterialet. Hårdheten ska anpassas till lagermaterialets hårdhet.

Lagerlängd större än lagerdiametern är sällan motiverad. Långa lager utsättes lätt för kantryck.

Tätningar förlänger lagrets livslängd avsevärt. I våta lager hindras smörjmedlet från att läcka ut. Dessutom hindras föroreningar från att komma in. I självsörjande lager är detta särskilt viktigt då inget smörjmedel som kan forsla ut smutsen finns.

1. Belastning

En mycket lågt belastad lagring kan utgöras av billigt material och mycket måttliga krav ställs på axeln. Ett lager av någon billig plastkvalitet eller gjutjärn räcker ofta. Med ökande belastning ökar också kraven på lagermetallen såväl som motgående material. Yttrycket i lagret kan justeras genom att lagrets diameter eller längd ändras. Dessa ändringar kan endast bli mycket måttliga och ett långt lager bär sällan på hela längden, så att den effektiva lagerlängden är ändå begränsad. Man måste därför vid hög belastning välja en lagermetall med hög bärighet. Belastningen kan alltså sägas ha stort inflytande på materialet. Det bör därför vara det första en lagerkonstruktör undersöker vid konstruktion av ett glidlager.

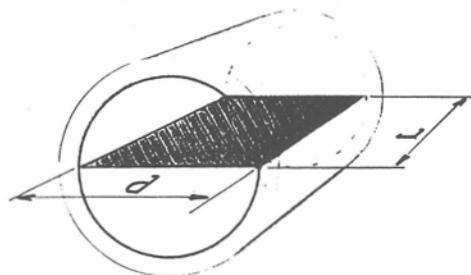
För självsmörjande glidlager fås med en hög belastning ett större slitage även om friktionskoefficienten inte ändras så mycket jämfört med en lägre belastning. Den smörjfilm som i denna typ av glidlager bär lasten är mycket bärkraftigare än fett- eller oljefilmen i andra typer av glidlager. De kan därför klara en mycket hög belastning och blir den alltför hög behöver detta inte leda till katastrof utan endast till större slitage.

Glidlager smorda med fett eller olja är känsligare om smörjfilmen inte förmår bära belastningen. Man bör också alltid ställa belastningen emot glidhastigheten. Dessa två faktorer är mycket viktiga för lagrets funktion.

Som belastbarhet vid överslagsberäkning kan för lager av brons användas materialets halva sträckgränsvärde om glidhastigheten ej överskrider 0.02 m/s (1 m/min). Vid högre glidhastighet måste produkten belastning \times glidhastighet (pv-värdet) i stället betraktas.

Vid beräkning av lagerbelastning anses att lagrets hela innerdiameter och längd kan utnyttjas som lastbärande yta. Detta är naturligtvis inte helt riktigt och felet blir större ju större lagerspelet är. Det blir dock inte så stort att det i de allra flesta fall har någon praktisk betydelse. Exempelvis fås med 1^o/oo lagerspel och beräknad belastning enligt $p = F$ dividerat med $D \times L$ ingen större skillnad medan vid 3^o/oo lagerspel och beräknad belastning $p = 10 \text{ N/mm}^2$ man får ett verkligt yttryck av ca 40 N/mm^2 . Detta gäller dock endast i startögonblicket. Efter en tids inkörning har större lageryta tagits i besittning av axeln genom ett visst slitage, en lageryta som då bättre rimmar med lagerbelastning och sträckgränsvärde för lagermetallen.

Fig 4.



Projicerad lageryta: $d \times L \text{ mm}^2$

$$\text{Spec. yttrycket} = \frac{\text{tot. lagertrycket}}{\text{projicerad lageryta}} \left(\text{N/mm}^2 \right)$$

Det tillåtna lagertrycket för olika legeringar är lika med materialets halva sträckgränsvärde.

Materialets elastitetsgräns (flytgräns) är 70-80% av sträckgränsvärdet.

Fig 4. Projicerad lageryta och lagerbelastning.

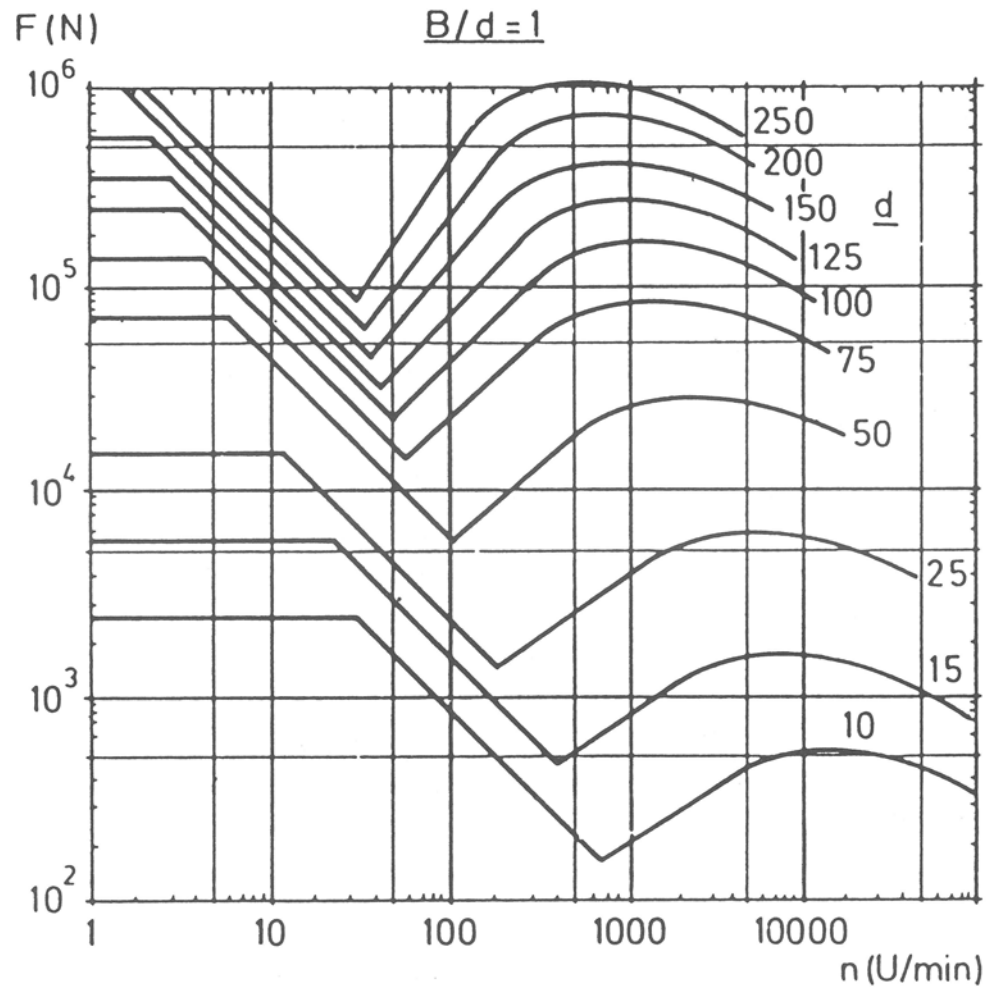


Fig 5.

Belastbarhet

Med hjälp av diagrammet kan man uppskatta standardlagrets belastbarhet om axelns varvtal är känt.

Vid måttliga till stora belastningar med glidhastighet $< \text{ca } 0.3 \text{ m/sek}$ har man som regel gränsskikt-smörjning. Vid högre varvtal uppträder hydrodynamisk smörjning om smörjmedelsmängden är tillräckligt stor.

Lager som arbetar under gränsskikt-smörjning smörjes vanligen med fett och lager som arbetar hydrodynamiskt smörjes med olja (viskositet $4-20^0$). Maximal belastning för fettsmorda standardlager är ca 25 N/mm^2 . Statiskt, eller vid intermittenta, långsamma rörelser ($< 0.01 \text{ m/sek}$) kan belastningen tillåtas uppgå till 45 N/mm^2 .

F = Lagerlast

B = Lagerbredd

d = Axeldiameter

n = Varvtal

2. Glidhastighet

Glidhastigheten måste tas i noga övervägande vid val av lagertyp, smörjmedel, lagerspel o s v. Sålunda kan man tänka sig självsmörjande lager om glidhastigheten är under ca 2 m/s, åtminstone om belastningen är låg. Friktionskoefficienten ökar med ökande glidhastighet och därmed också lagertemperaturen. Detta innebär i sin tur att hänsyn måste tas till temperaturen.

Beroende av glidhastighet konstrueras lagret för gränsskiktssmörjning eller fullfilms- (hydrodynamisk) smörjning. Ett lager som är avsett för låg glidhastighet och smörjning med fett och körs med för hög glidhastighet kan bli överhettat och i värsta fall skära ihop. En lagring som är konstruerad för fullfilmsmörjning med olja och som körs för sakta får genombrott i oljefilmen med onormalt slitage som följd.

Glidhastighet (v) kombinerad med lagerbelastning (p) d v s $p \cdot v$ -värdet, används ofta som riktvärde vid konstruktion av glidlager och val av lagertyp. Det bör poängteras här att $p \cdot v$ -värdet endast bör tjäna som riktvärde. Det är nämligen inte alls säkert att ett visst lager fungerar lika bra med högt v och lågt p som vid högt p och lågt v även om produkten $p \cdot v$ är lika.

Det finns i litteraturen mycket litet skrivet om fettsmorda glidlager och acceptabla $p \cdot v$ -värden. Ett värde som förekommer är $p \cdot v = 1.75$, där belastningen p anges i N/mm^2 och glidhastigheten v i m/s. Med detta $p \cdot v$ -värde får man räkna med en relativt hög lagertemperatur, i värsta fall upp emot $160^\circ C$. Detta ställer förstås motsvarande krav på fettet. Vill man hålla lagertemperaturen vid $60^\circ - 80^\circ C$ bör $p \cdot v$ -värdet hållas omkring 0.5.

För självsmörjande lager tillåts som tidigare sagts inte så hög glidhastighet som för fettsmorda men $p \cdot v$ -värdet kan för vissa typer tillåtas uppgå till 5 i helt osmord drift och till 6 - 8 med tillsatssmörjning. Kontinuerlig drift är inte att rekommendera, åtminstone inte med höga $p \cdot v$ -värden.

Det är alltså glidhastigheten som i stor utsträckning bestämmer vilken lagertyp som bör användas och för självsmörjande lager har den stort inflytande på hur lång drifttid utan stopp som kan tillåtas. Fig 6.

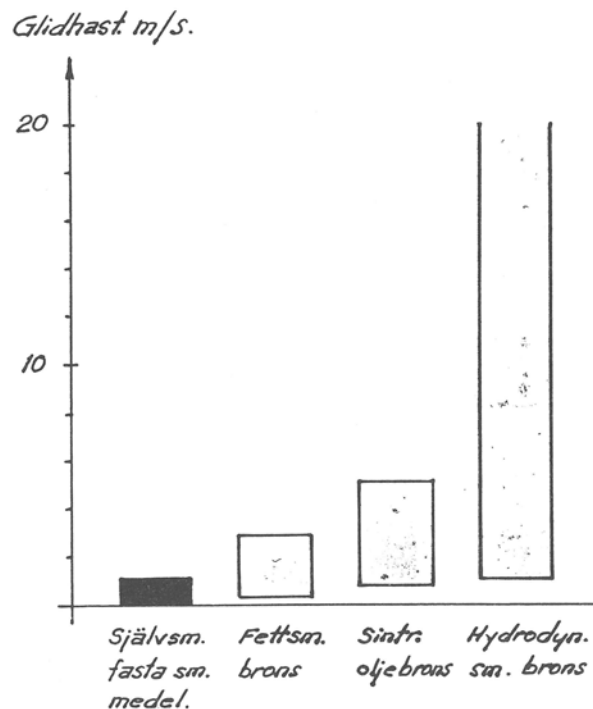


Fig 6. Glidhastighet för olika lagertyper

3. Temperatur

Temperaturen i lagringen måste hållas inom de gränser som leverantören föreskriver. Det är här att märka att det gäller drifttemperaturen i lagret och ej temperaturen i lokalen eller omgivningen där maskinen, som lagret sitter i, befinner sig. För låg temperatur i en hydrodynamisk lagring innebär att oljan är tjockare än beräknat och därmed friktionen högre än beräknat. För hög temperatur innebär att oljan kan bli för tunn med risk för skärning som följd.

Blir temperaturen för hög i ett fettsmört lager sjunker bärigheten hos fettfilmen och i värsta fall förstörs den med drastiskt ökad friktion samt ökat slitage som följd.

Temperaturen i lagringen är en bra indikator på lagrets tillstånd. Temperaturövervakning används därför ofta för att övervaka hydrodynamiska lager.

I självmörjande lager, där ju ingen olja cirkulerar som kan kyla lagret, måste friktionsvärmen bortföras genom axel och lagerhus. De lager som är smorda med grafit uppnår ofta temperaturbalans vid relativt hög temperatur och lämpar sig därför bäst för intermittent drift. Stilleståndstiden måste då vara tillräckligt lång så att lämplig starttemperatur i lagret erhålls.

De rundbockade lagren med glidyta av acetalplast eller PTFE kan ofta köras kontinuerligt om de initialsmörjes och i vissa fall tillsats-smörjes.

Bortsett från lager av Al-brons bör bronslager ej användas i temperatur över 250⁰ C då hållfasthetsvärdena reduceras med ökande temperatur. Aluminiumbrons har de bästa varmhållfasthetsegenskaperna av bronserna. Den används i lager som går i temperatur upp till ca 500 - 600⁰ C. I den temperaturen är hållfasthetsvärdena avsevärt reducerade även för denna legering. Gjutjärn kan om belastningen är låg eventuellt användas.

Ska lagret användas i hög temperatur måste hänsyn till detta tas vid val av lagerspel. Blir spelet för litet vid montering kommer lagret kanske att nypa vid drift. Materialet i lagret kommer, om lagerhuset är kraftigt och av gjutjärn eller stål, att expandera så att lagrets i.d. minskar. Även tjockväggiga självmörjande lager kan nypa fast på axeln på detta sätt. Det är inte ovanligt att de i så fall börjar rotera i lagerhuset i stället.

Även lagrets inbyggnad är viktig, ty med toleranser på lagrets ytterdia och lagerhusets håldia för drift i normal temperatur fås ett för hårt grepp när temperaturen stiger. Materialets sträckgräns kan då överskridas. Lagret lossnar då lätt, även vid varmt tillstånd.

4. Smörjning

Smörjningen har naturligtvis en viktig uppgift för lagrets funktion.

Inga lager fungerar utan någon form av smörjning. Skulle smörjningen av någon anledning helt försvinna är det bara en tidsfråga innan lagret havererar. Drifttiden utan smörjning kan förlängas genom att man väljer en blyrik lagerlegering.

Man indelar ett lagrets funktions-sätt beroende på hur smörjningen sker och vilken typ av friktion som bildas. Fig. 7 visar de tre olika typerna av smörjning eller friktion. I del a av diagrammet är friktionen hög beroende på metallisk kontakt mellan lager-skål och axel. Rotationen har just börjat. I område b har axeln dragit ner smörjmedel under sig och friktionen sjunker mycket snabbt till ett lägsta värde som kan vara mindre än 0,001. Oljefilmen är dock mycket tunn och instabil och en ökning av hastigheten till område c är nödvändig för att en tillräckligt bärkraftig oljefilm ska bildas. Här finns ingen metallisk kontakt mellan axel och lagerskål och alltså inget slitage. Den friktion som uppträder härrör sig från skjuvkrafterna i oljefilmen.

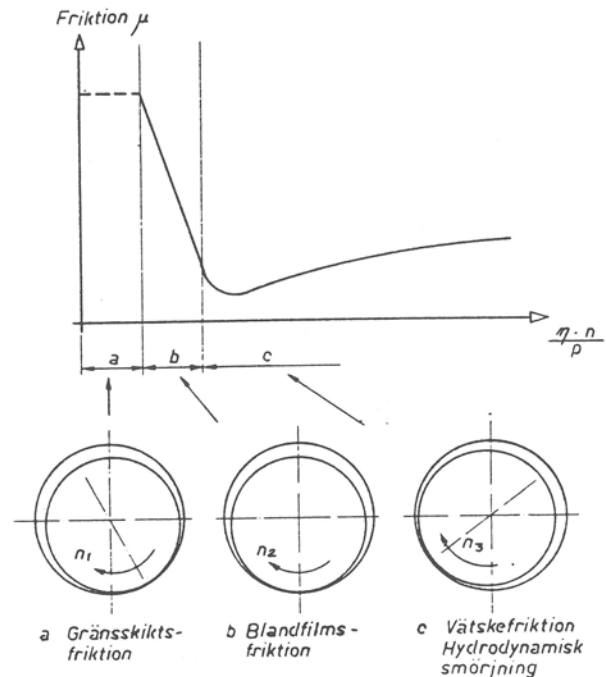
De olika driftsätten a, b och c benämns gränsskiktssmörjning, blandfilmsmörjning respektive fullfilm eller hydrodynamisk smörjning.

Denna skrift behandlar gränsskikts- och blandfilmsmörjning. Smörjmedlet är här oftast fett eller fasta smörjmedel, men olja kan också användas.

I princip kan sägas att ju högre glidhastighet ju tunnare smörjmedel ska användas. Vid mycket låg glidhastighet används fasta smörjmedel som grafit, molybdendisulfid, vissa plaster o s v.

Fettmängd

Vad beträffar erforderlig fettmängd förekommer i litteraturen många olika uppgifter. K Droste gav 1969 vid ett seminarium uppgiften 200 g/m²h. Detta verkar dock för pv-värden under 1 N/mm² x m/s vara ett för högt värde. För lagerlasten 2 N/mm² och glidhastigheten 1 m/s, d v s pv = 2 är enl E Dotterweich erforderlig fettmängd 500 g/m² h. Detta pv-värde anses vara högt för fettsmorda glidlager.



I området omedelbart efter blandfilmsfriktion erhålles lagringens lägsta friktion som kan ha ett värde mindre än 0,001. Oljefilmen är dock instabil och ej bärkraftig

Fig 7. Friktionsformer hos glidlager.

Laboratorieprov visar att ytterst lite fett behövs för smörjningen om fettets förs in till rätt ställe i lagringen. Ovanstående värden verkar då avsevärt för höga. Stora krav ställs i stället på smörjspårsarrangemanget. (Se pkt "Smörjspår"). Ofta erfordras fett också som korrosions-skydd av axeln eller som tätning.

Smörjning i självsmörjande lager

I vissa typer av självsmörjande lager finns smörjmedlet i form av pluggar av grafit eller PTFE (Teflon). Dessa pluggar sträcker sig genom hela lagrets vägg tjocklek och här kan alltså hela lagret slitas ned innan smörjningen uteblir.

Detta innebär att lagret aldrig skär ihop, så länge det finns något kvar av det. Det därmed ökande lagerspelet kan naturligtvis inte alltid accepteras. För att dessa lager ska få någon smörjning, erfordras alltså ett visst slitage, så att smörjmedel dras ut över bronsytan. Detta slitage är dock normalt mycket litet.

Lägst friktion har lager med smörjmedel baserat på PTFE. Grafitbaserade smörjmedel används i hög temperatur och ger då en friktionskoeff. på ca 0.2. Grafit i fuktig atmosfär ger betydligt lägre friktion.

I lager med glidyta av grafitbrons är grafiten finfördelad och man får då en bra smörjning. Friktionskoefficienten är dock ändå oftast omkring 0.2.

De rundbockade, tunnväggiga lagren med glidyta av plast, där plasten i sig själv är smörjmedlet, har därmed en mycket bra fördelning av smörjmedlet. När plasten är impregnerad med olja minskas friktionen ytterligare.

Smörjspår

Fettsmorda lager

I fettsmorda lager är det svårare att fördela smörjmedlet över hela lagerytan än i oljesmorda lager. Det är därför viktigt att dessa förstnämnda lager förses med smörjspår. Placeringen av dessa spår beror på hur lagret används. Man kan urskilja tre driftfall som vart och ett kräver sitt speciella smörjspår.

1. Axeln roterar i ett stillastående lager (i förhållande till belastningsriktn.). Ett axiellt smörjspår i lagrets icke-belastade zon rekommenderas. Fettet bör genom smörjspåret tillföras lagret före den belastade zonen. Detta lagringsfall ställer sällan till några problem. Se fig. 8.

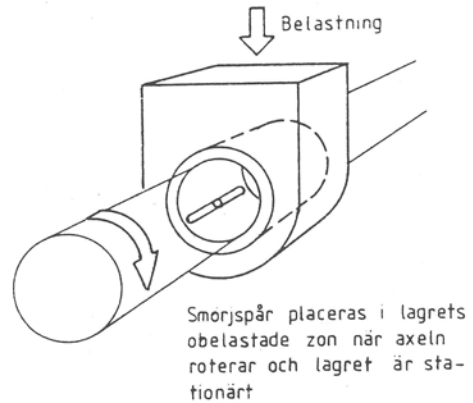


Fig 8. Smörjspårsplacering vid roterande axel.

2. Lagret roterar och axeln står stilla (i förhållande till belastningsriktn. Ex. ett hjul. Här bör smörjspåret placeras på axeln i den icke-belastade zonen. Smörjfunktionen blir då analog med fall 1. Tyvärr förekommer ofta smörjspår i lagret. Om detta är axiellt kan det i värsta fall fungera som avskrapare med dålig smörjning som följd. Cirkulära spår på axeln eller i lagret har ingen verkan. Om spåret av någon anledning måste placeras i lagret bör det ha formen av en spiral eller ellips. Se fig. 9.

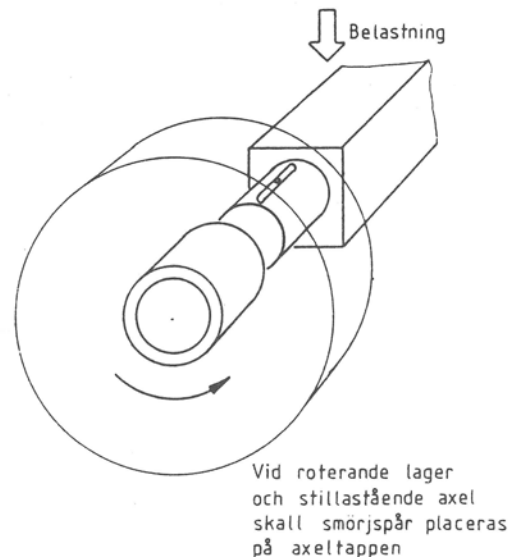


Fig 9. Smörjspårsplacering vid roterande lager.

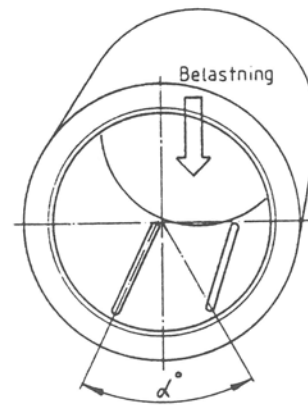
3. Pendlande rörelse

Detta lagringsfall är det svåraste att smörja. Ju mindre rörelsen är desto svårare blir smörjningen.

Här rekommenderas om axeln är den rörliga delen, två axiella spår nära eller i utkanten av den belastade zonen. Det kan ibland också erfordras ytterligare spår i den obelastade delen. Det är viktigt att spåren tillföres fett var för sig genom var sitt transportspår. På så sätt säkerställs att fett verkligen tvingas ut till rätt spår och inte tar den "lätta vägen" ut, d v s via den ickebelastade zonen där det ju är gott om plats.

Om lagret är den rörliga delen bör motsvarande spår placeras i axeln.

Då detta lagringsfall som tidigare sagts är svårt att smörja rekommenderas användaren att ta kontakt med sin leverantör för utformningen av smörjspåren. Se fig. 10.



Delningen mellan smörjspåren skall vara mindre än pendelrörelsen.

Vid pendlande rörelser placeras smörjspåren i den belastade zonen.

Lagringen smörjes genom gränsskikt-smörjning.

Fig 10. Smörjspår vid pendlande rörelse.

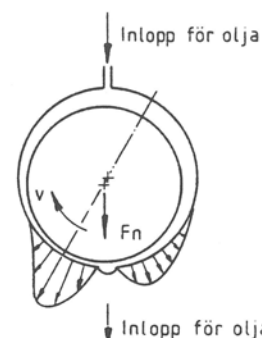
Ovan nämnda tre lagringsfall gäller roterande rörelse. För axiell rörelse gäller i princip samma regler med den skillnaden att spåren blir cirkulära, d v s de blir vinkelräta mot rörelsen.

Plana lager

Plana lager, d v s plattor och brickor där rörelsen ofta är mycket liten, utförs med smörjspår i form av cirklar, åttor eller raka spår i speciella mönster. Konsultera leverantören.

Hydrodynamiska lager (oljesmorda)

I lager som arbetar med hydrodynamisk smörjning behövs oftast ej smörjspår. Ett eller flera hål för oljeinlopp är tillräckligt. Det är också här av största vikt att smörjhålen ej placeras i belastad zon så att ej tryckfördelningen störs och härmed belastbarheten minskas. Se fig. 11.



Tryckfördelning med felaktigt placerat smörjspår

Smörjspår, eller smörj fickor, skall placeras i obelastad zon vid hydrodynamisk smörjning

Fig 11. Smörjning av hydrodynamiska lager

14.

Smörjspårens form

Det är också mycket viktigt att smörjspåren utförs med rundade kanter. Smörjspår med vassa kanter verkar som avskrapare och fördärvar alltså smörjfilmen. Se fig. 12.

I svensk standard SS 776 och 778 för massiva glidlager föreskrivs 1 axiellt smörjspår för lager med innerdiameter över 14 mm.

Självsmörjande lager

Dessa lager behöver ej smörjspår för smörjningens skull såvida man inte måste tillsatssmörja dem. Ibland förses de dock med spår om slitaget väntas bli av sådan art att slitagepartiklar eller inträngade sand eller dylikt måste tas om hand. "Smörjspåren" är då mycket effektiva för detta ändamål.

Den goda smörjmedelsfördelningen i dessa lager gör dem mycket lämpade för pendlande rörelser som annars, som nämnts ovan, är mycket svåra att smörja.

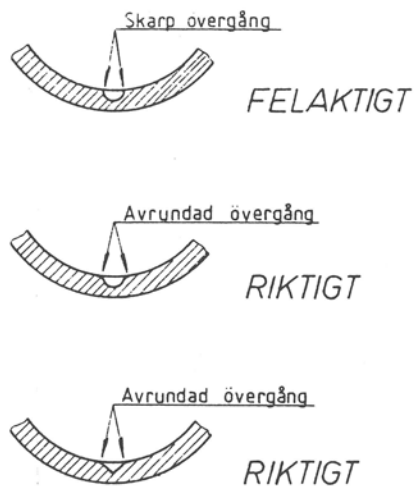


Fig 12. Smörjspår

5. Lagerspel

Lagerspelets storlek kan fastställas när de ovanstående fyra punkterna är klarlagda. Det definieras som skillnaden mellan lagrets invändiga diameter och axelns diameter och anges ofta i promille av nominell lagerdiameter. Detta spel är nödvändigt av flera skäl, bl a för bildandet av den bärande, kilformiga oljefilmen vid hydrodynamiska driftförhållanden vilken håller isär axel och lager varvid metallisk kontakt undviks.

Lagerspelet ska dessutom ta upp skillnaden i värmeutvidgning som uppstår mellan axel och lager vid temperaturhöjning. I sådana fall utvidgar sig axeln ofta mera än lagret p g a att lagret sitter inspänt och ej har möjlighet att fritt expandera. Lagerdiametern blir i stället mindre och det är då viktigt att detta har tagits med i beräkningen vid bestämmandet av lagerspelet.

Till grund för lagerspelets storlek ligger till stor del erfarenhetsvärden 0,3 - 5 ‰ av axeldiametern beroende på glidhastighet, belastning, dimension o s v. Vidare inverkar lagermaterial, typ av smörjning samt längd - diameterförhållande på spelets storlek. För högt belastade, långsamtgående lager väljer man små spel och för lätt belastade snabbgående lager större lagerspel.

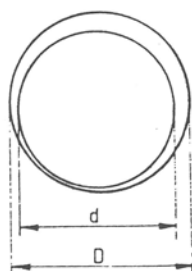
Fett - och torrfilmsmorda lager kräver oftast större spel beroende på det tjockare smörjmedlet samt att lagertemperaturen under vissa driftförhållanden kan bli hög (100-200°). För dessa lager kan lagerspelet vara exempelvis omkring 6 ‰ för 40 mm axeldiameter och 3 ‰ för 200 mm axeldiameter. Lagerspel mindre än 2 eller större än 10 ‰ rekommenderas ej för fettsmorda roterande lager annat än i undantagsfall. Däremot kan fettsmorda länklager med pendlande rörelse i stort sett ha samma spel som oljesmorda lager. Vid en pendlande rörelse rekommenderas att hålla spelet så litet som möjligt då annars slitaget blir oacceptabelt. Se fig. 13.

- A) Ökande lagerspel med ökande varvtal-glidhastighet
B) Ökande lagerspel med ökande temperatur

Lagerspelet vid roterande rörelse bör vara (0,0015-0,0025)×d.

Lagerspelet vid pendlande rörelse bör vara (0,0005-0,0015)×d.

För fettsmorda lager bör lagerspelet vara 2-3 ggr större



Relativa lagerspelet

$$\psi = \frac{D-d}{d}$$

Fig 13. Lagerspel

Lagerspelet och tillverknings toleranserna

Vid tillverkning av de i lagringarna ingående komponenterna (axel, lager och lagerhus) inser man snart att det i förväg bestämda värdet på lagerspel svårligen kan innehållas exakt. Detta beror på att de tre nämnda komponenterna alla tillverkas med tolerans på alla mått oftast 6:e, 7:e eller 8:e graden. En 35 mm lagring till exempel där lagret tillverkas med tolerans invändigt H8 och man använder en axel med tolerans f7 får ett lagerspel som kan vara vad som helst mellan 0,7 och 2,5 ‰. Läggs sedan till toleransvidden på lagrets utvändiga diameter ihop med toleransvidden på hålet i lagerhuset. Dessa toleranser är normalt p6, r6 eller s6 respektive H7. Det har visat sig att vid ipressning av lagret i lagerhuset minskar innerdiametern med ca 80 % av det grepp toleransvidderna anger.

Toleranserna på lagerdimensionerna är standardiserade av ISO och svensk standard följer därvidlag ISO. Se fig. 14. För massiva lager gäller ISO 4379 vilken motsvaras i Sverige av SS 776 och 778 av år 1979.

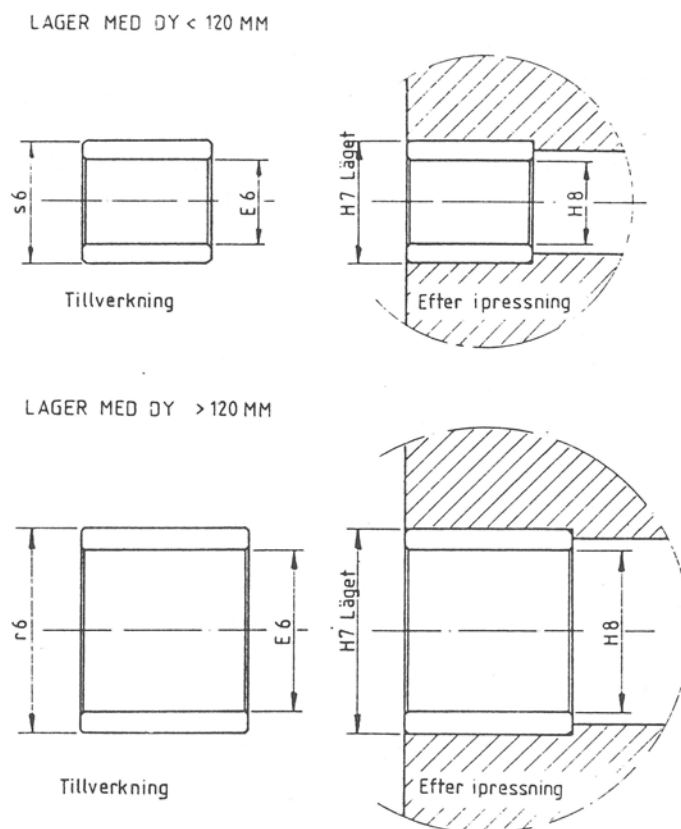


Fig 14. Lagertoleranser enligt ISO standard.

Fig 15. Lager spel - fettsmorda glidlager

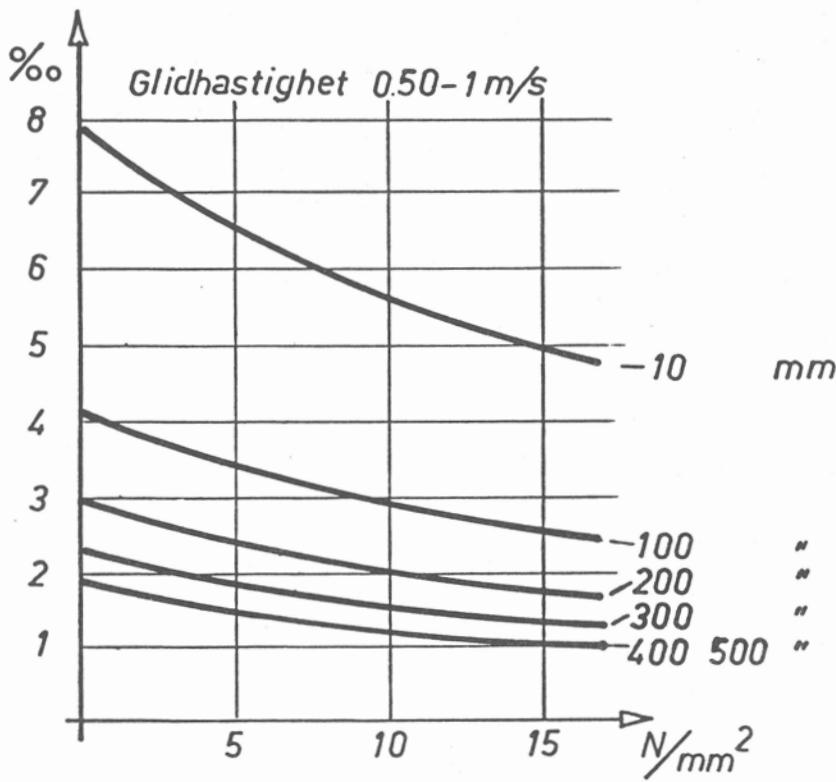
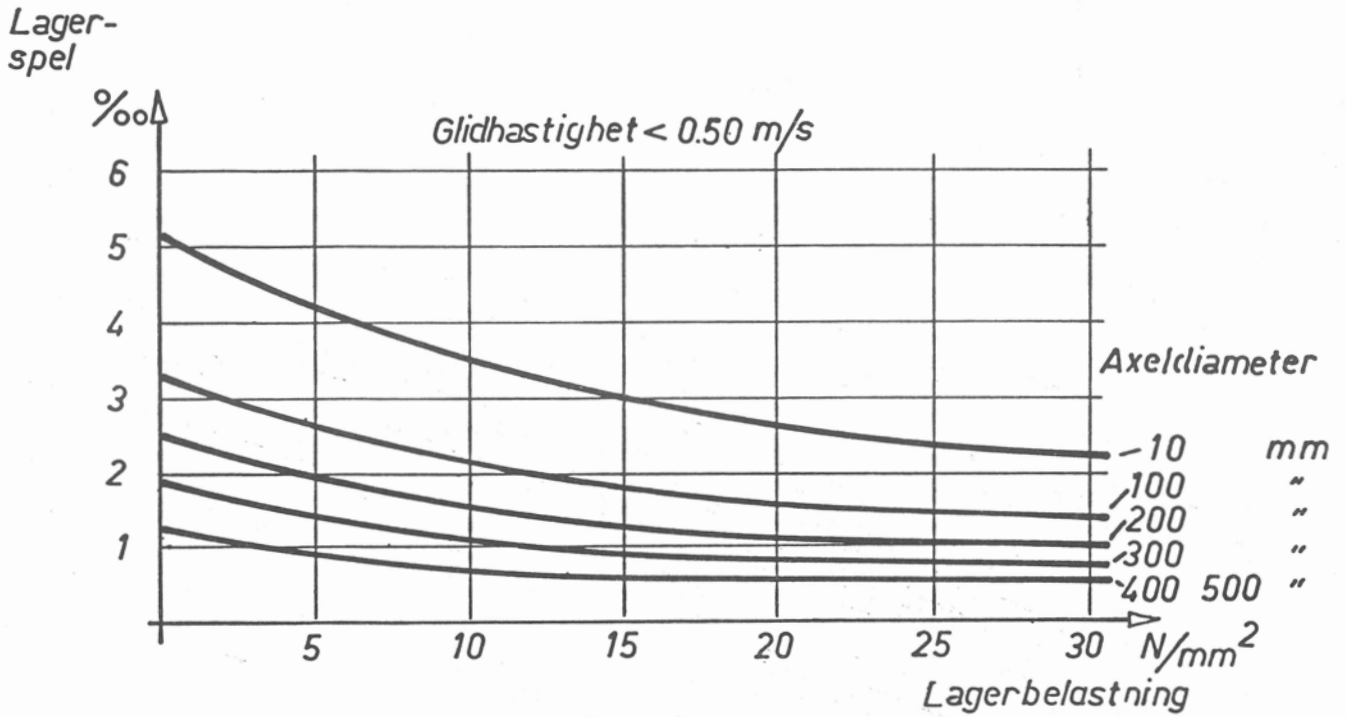


Fig 16. Axeltoleranser - fettsmorda glidlager.

Lämpliga axeltoleranser för fettsmorda lagringar kan avläsas i tabellen där en uppdelning gjorts, beroende på glidhastighet och belastning. Gäller roterande rörelse med enkelriktad belastning.

Inv. lager diam. tol.	v < 0,50 m/s			v = 0,50 - 1,0 m/s		
	A	B	C	A	B	C
10 H8	e7	e7	f7	d8	d8	d7
25 H8	d7-8	d7	e7	c8	c-d8	d8
50 H8	c8	d8	d7	-0,18 -0,21	-0,15 -0,18	-0,12 -0,15
75 H8	-0,20 -0,24	c8	d8	-0,26 -0,29	-0,22 -0,25	-0,18 -0,21
100 H8	-0,25 -0,30	c8	d8	-0,33 -0,37	-0,27 -0,31	-0,22 -0,26
200 H8	-0,40 -0,44	c8	d8	-0,47 -0,52	-0,39 -0,44	-0,29 -0,34
300 H8	-0,43 -0,48	c8	d8	-0,58 -0,63	-0,43 -0,48	-0,34 -0,39
400 H8	-0,45 -0,50	-0,33 -0,38	d8	-0,63 -0,70	-0,52 -0,58	-0,40 -0,46
500 H8	-0,49 -0,55	-0,34 -0,40	d8	-0,74 -0,80	-0,59 -0,65	-0,44 -0,50

A Belastningen $p < 5 \text{ N/mm}^2$

B Belastningen $p 5 - 10 \text{ N/mm}^2$

C Belastningen $p > 10 \text{ N/mm}^2$

6. Inbyggnad

Ett stabilt lagerhus bidrar i hög grad till en bra lagerfunktion. Klena lagerinfästningar i samband med stora variationer i omgivningstemperatur slår sig lätt och lagret kommer att utsättas för sned belastning eller s.k. kantpressning. Smörjfilmen bryts här lätt igenom med stort slitage som följd.

Lagerläget bör hålla tolerans H7 och med tolerans p, r eller s6 på lagrets ytterdiameter får man en lämplig grepppassning. Infästning i lagerhuset kan annars göras genom limning, skruvlåsning, krympning eller delat lagerhus. Se fig 17.

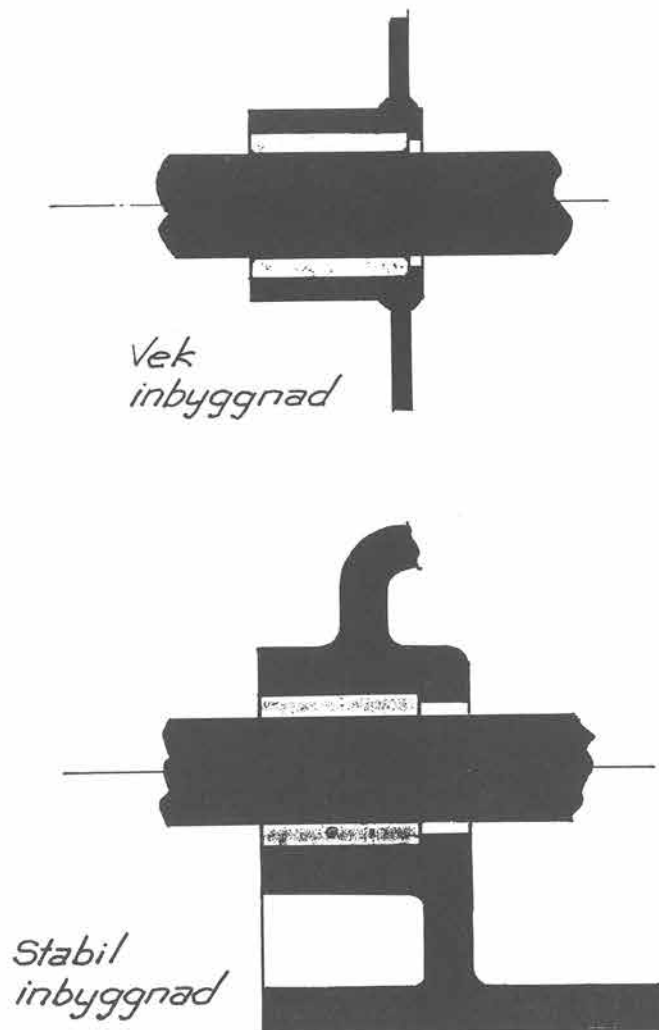


Fig 17. Lagerinbyggnad.

7. Motgående material

En lagring består ju av två delar, nämligen lager och axel. För att allt ska fungera, måste dessa två komponenter vara avpassade för varandra. De egenskaper som kan påverka lagringens funktion är främst typ av material (härdat stål, rostfritt eller dylikt), hårdhet och ytfinhet.

1. Materialtyp

De austenitiska rostfria stålen med höga Ni-innehåll lämpar sig sämre som motgående material för våta lager. Om smörjningen är dålig, kladdar dessa stål lätt vid metallisk kontakt. De är vanligen också mycket mjuka.

För torra lager (självsmörjande) fungerar de bättre, då den torra smörjfilmen är mera bärkraftig och effektivare separerar axel från lager, så att metallisk kontakt ej uppstår. I offshoreindustrin förekommer ofta motgående material belagt med Ni.

Om rostfria stål föreskrivs, rekommenderas för våta lager martenitiska som också är härdbara.

2. Hårdhet

Kravet på hårdhet ökar med ökande lagerbelastning. Detsamma gäller lagermaterialet. Det förekommer dock ofta att man byter lagermaterial till ett hårdare, när lågerlasten ökas, utan att axelmaterialet ändras. Med ett lager av tennbrons eller aluminiumbrons med hårdhet 110 HB resp 170 HB fordras oftast härdat motgående material. För dessa lagermaterial rekommenderas en hårdhetsskillnad på ca 100 HB. Våta aluminiumbronslager bör användas med axlar med hårdhet minst 400 HB om lasten är hög. För de mjukare blyinnehållande bronserna är kraven inte så uttalade. Se fig. 18.

Ythårdhet kan fås genom hårdförkromning. Detta utesluter dock inte kravet på hårdhet hos basmaterialet. Är detta för mjukt spricker kromskiktet med ökande slitage som följd. En hårdförkromad yta bör alltid slipas efter förkromningen för att få en yta som förmår tillgodogöra sig smörjmedlets egenskaper. Detta gäller såväl våta som torra lager.

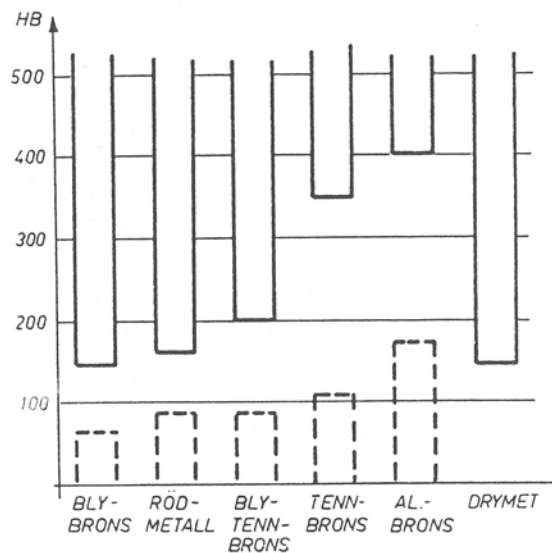


Fig 18. Min. hårdhet hos motgående material.

3. Ytfinhet

Ytfinheten bör hållas omkring 1 Ra hos både lager och motgående material. Med grova ytor fås ett stort slitage under inkörningsperioden. En grov härdad axel mot en mjuk brons verkar som en roterande fil och måste undvikas. Om rimlig hårdhetsskillnad föreligger mellan lager och motgående material, blir komponenternas ytfinheter ungefär lika efter inkörningsperioden, oavsett vad de var vid start. Slitage och periodens längd kan dock bli avsevärt olika. Fig 19a.

För lager med glidyta av plast är kravet på fin yta hos motgående material högre. Här rekommenderas 0.5 - 1.0 Ra.

För lager av härdat stål mot härdad stålaxel rekommenderas så fina ytor som möjligt.

OBS att två ytor med samma Ra-värden kan se helt olika ut och också uppföra sig helt olika i drift. Det räcker alltså inte att bara mäta Ra-värdet. Man bör använda sig av det s.k. bärighetstalet för att få en rättvisande beteckning på ytan. Bärighetstalet beräknas automatiskt i vissa utrustningar. Det anger i procent hur stor del av mätlängden som upptas av material och hur stor del som är luft på ett visst profildjup. Fig 19b.

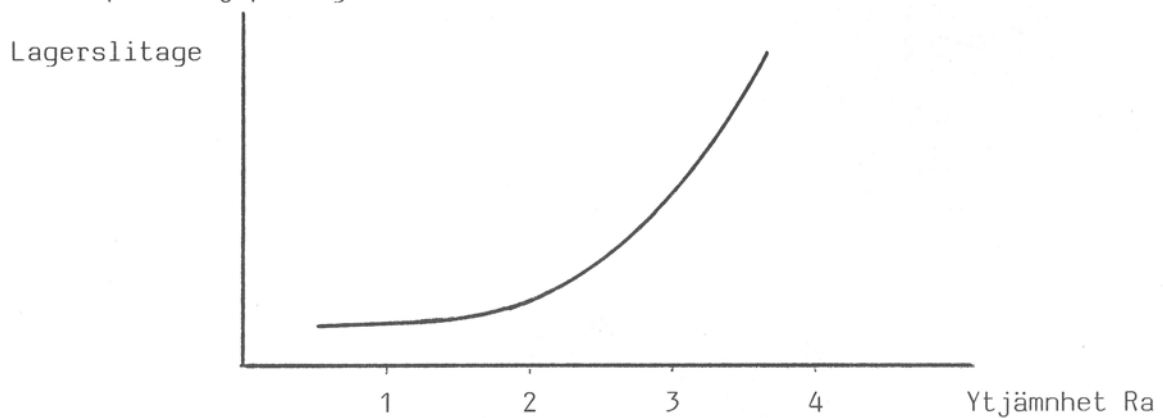


Fig 19a. Inverkan av motgående materials ytjämnhet på lagerslitaget.

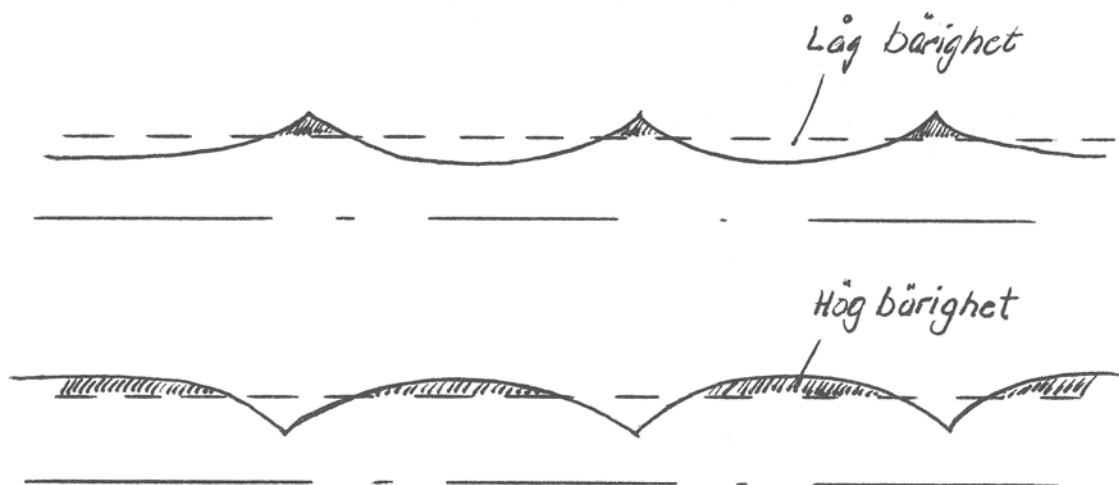


Fig 19b. Bärighetstal hos ytor med samma Ra-värde

8. Lagerlängd - kantpressning

Ett mycket vanligt problem med glidlager är kantpressning. Detta är ofta helt onödigt och beror på att konstruktören valt en för lång lagring. Ett lager med längden större än 1,5 ggr diametern är sällan befogat. En snedställning av axeln, snedbelastning eller krokig axel betyder då höga lokala tryck och skärningstendenser eller stort slitage. I alltför korta lager å andra sidan uppträder problem med för stort sidoläckage av smörjmedel. Fig 20.

Ett förhållande mellan lagerlängd och lagerdiameter på 0,6 - 1,5 anses acceptabelt och $L/D = 1$ är ur många synpunkter att föredra. Gynnsammast för fettsmorda lager med avseende på sidoläckage är $L/D = 1,3$.

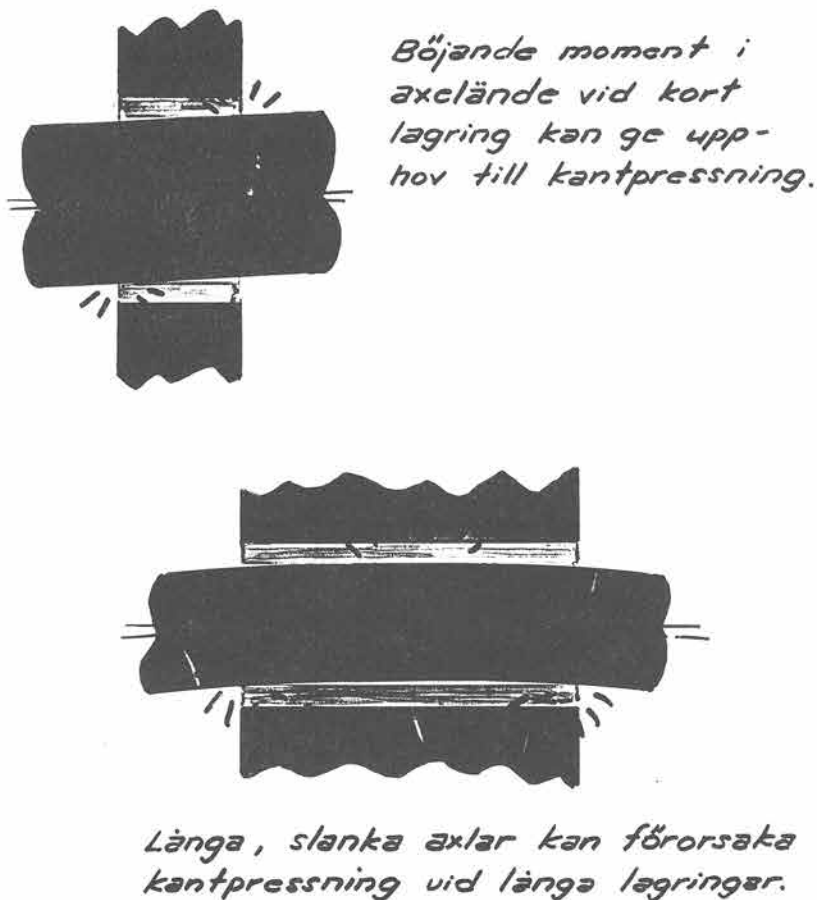


Fig 20. Kantpressning

Måste man använda långa lagringar kan man montera två korta lager med vardera lagerlängden $1/3$ av lagerlägets totala längd. Då fås ett utrymme i mitten där smörjmedel kan införas. Kan inte lagren monteras från bägge sidor av lagerhuset, kan man bearbeta ur ett stycke ur lagrets mittparti. Fig 21.

Korta lager kan utföras med bombering för att kantpressning ska undvikas. Se mittenfig.

Några lagerlösningar där kantpressning motverkas

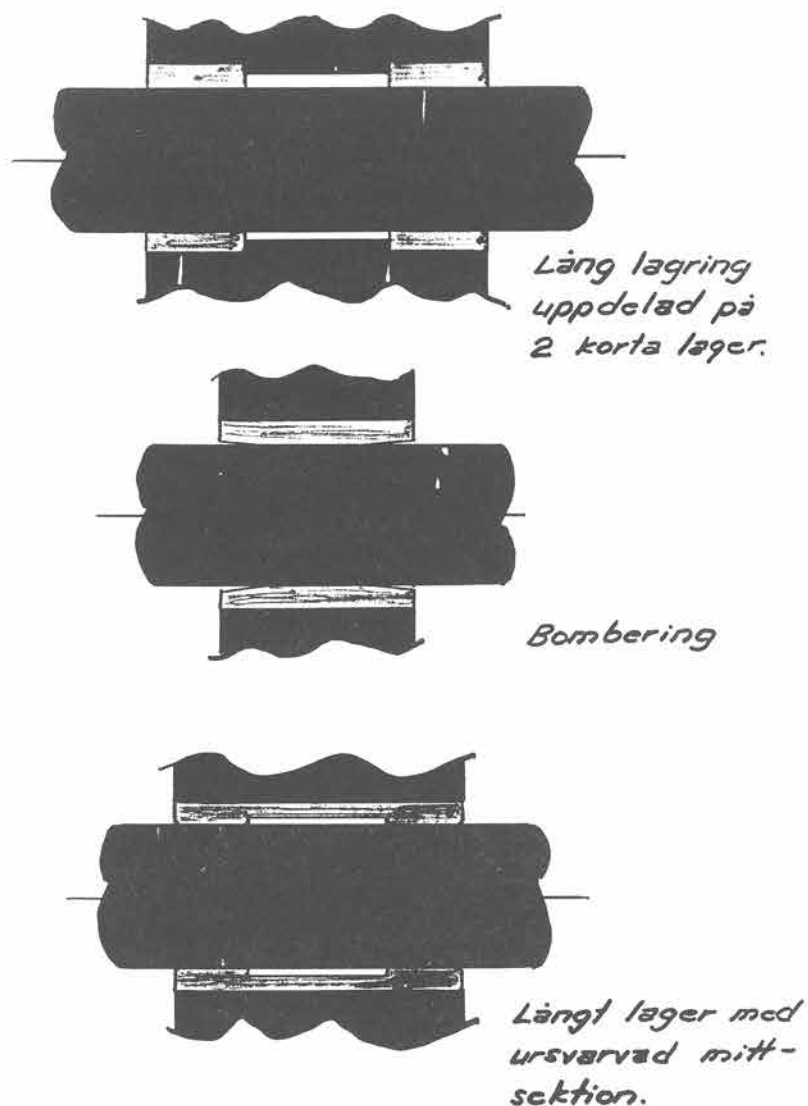


Fig 21. Några lagerlösningar där kantpressning motverkas.

9. Tätningar

I smutsig miljö bör glidlager kompletteras med tätningar för att förhindra smuts och slitande partiklar att tränga in i lagringen. Tätningen håller också smörjmedlet kvar i lagret och är därför befogad även när miljön ej är förorenad. Se fig. 22.

Radialtätningen är en mycket vanlig och effektiv tätning för roterande rörelser. Den är i första hand avsedd för vätsketätning. Standardmaterial är nitrilgummi men även andra gummikvaliteter förekommer.

V-ringen är en axialtätning som med hjälp av en mjuk gummiläpp tätar mot en yta vinkelrät mot axeln.

Avstrykare användes vid axiella rörelser som kolvstänger t.ex. Kravet på god ytjämnhet är mycket stort.

O-ringar kan användas som tätningar i glidlager om glidhastigheten är låg och ringen kan smörjas väl med fett eller olja.

Tätningar i glidlager förbises alltför ofta vilket bidrar till att många glidlager klassats ut i onödan och i många fall ersatts med rullningslager, vilka med största sannolikhet tätats.

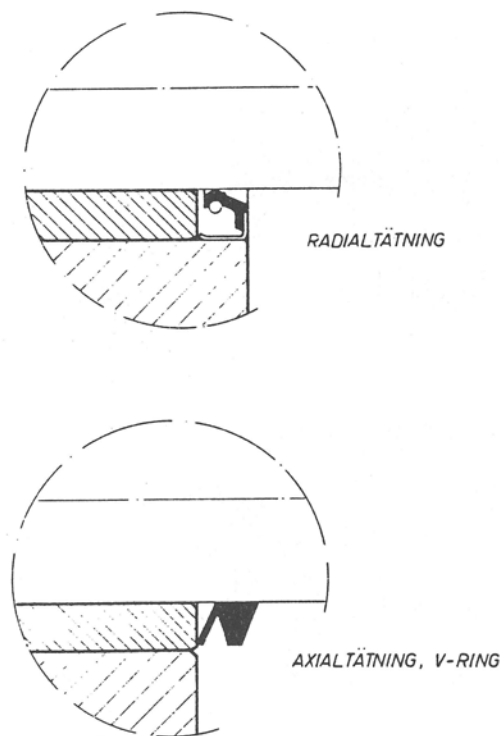


Fig 22. Tätningar.

Olika typer av gränsskiktssmorda glidlager

De viktigaste faktorerna som påverkar lagrets funktion har nu behandlats. Hittills har endast förutsatts lager för gränsskiktssmörjning och ingenting har nämnts om olika lagertyper. Stål- och gjutjärnslager göres oftast massiva medan man i brons även tillverkar lager av bandmaterial. Detta band är valsat och oftast av tennbrons med tennhalt mellan 4 och 8 %. Valsningen ger en hårdhet av c:a 130 - 150 HB för den 8 %-iga tennbronsen. Bronsbandet bockas sedan i en serie operationer så att ett runt lager erhålles. Den längsgående slits som erhållits slutes vid ipressningen i lagersätet. Dessa lager är tunnväggiga, 1,0 - 2,5 mm vägg tjocklek beroende på dimension, och kräver alltså inte så mycket utrymme som ett massivt lager. Bronsbandet präglas ofta innan rundbockningen så att intryck i lagerytan erhålles. Dessa tjänar i drift som reservoarer för smörjmedel.

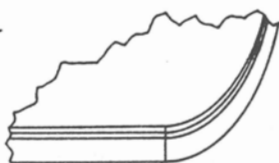
En något högre bärighet och lägre kostnad fås med ett stålband som utgångsmaterial. På detta sintras ett skikt av brons, oftast med sammansättningen 80 Cu, 10 Pb, 10 Sn. Detta lagerskikt får då en tjocklek av ca 0,3 mm. Även i denna lageryta präglas intryck för bättre smörjförmåga.

Dimensioner och toleranser för dessa rundbockade lager, som i förekommande fall också kallas flerskiktsslager, finns standardiserade av ISO (ISO 3547). Den svenska standarden följer till största delen ISO och heter SS 3111.

Självs smörjande (underhållsfria) glidlager

Självs smörjande lager betyder för många tekniker oljebrons lager. Detta är en något föråldrad föreställning ty idag existerar förutom dessa en stor mängd av typer av lager som är mer eller mindre självs smörjande. En klassificering av dem kan göras på många grunder. Ett sätt är att gruppera dem efter tillverkningsmetod. Detta har gjorts av ISO och också Svensk Standard. ISO standarden för rundbockade lager heter ISO 3547 och den svenska heter SS 3111. Motsvarande för oljebrons heter ISO 2795 respektive SS 2991, SS 2992 och SS 2993. Standarden gäller alltså rundbockade lager respektive oljebrons lager. Fortsattes denna gruppering fås också tjockväggiga självs smörjande lager som en grupp. Här finns dock ej någon standardisering. Ovannämnda standardisering avser dimensioner. Se fig 23.

Rundbockat flerskiktsslager



Sintrat lager

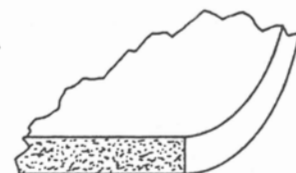


Fig 23.
Självs smörjande lager.

Lager med inbyggt fast smörjmedel



Oljebronsager

Dessa är sintrade av tennbrons och sålunda porösa. I håligheter har olja eller grafit tagits upp. Oljevolymer utgör ca 25 %. Under drift uppvärms lagret av friktionsvärme och "svettas" ut oljan som smörjer axeln. När rotationen avstannar och temperaturen i lagret sjunker suges oljan åter in i lagret.

Detta lager är anpassat till jämn rotationshastighet åt ett håll och minst 0,2 m/s (10 m/min). Vid för låg glidhastighet blir smörjningen dålig och lagret bör då tillsatssmörjas. Om axeln är mjuk kan annars den hårda tennbronsen slita hårt på denna. Lagret klarar en belastning av ca 10 N/mm^2 vid glidhastighet 0,2 m/s. Med ökande glidhastighet minskar belastbarheten enligt $p \times v = 1,6 \text{ N/mm}^2 \times \text{m/s}$. Temperaturgränsen bestäms av oljan och lagret bör inte bli mycket varmare än 100°C . Glidhastigheten 5 m/s bör inte överskridas. I hög glidhastighet kan under gynnsamma förhållanden dock hydrodynamisk smörjning uppnås.

För högre temperatur kan grafitbronslager användas. De är också sintrade men har grafit istället för olja. Detta begränsar belastbarheten till $2,5 \text{ N/mm}^2$ och max glidhastighet till 0,25 m/s, $p \times v = 0,4 \text{ N/mm}^2 \times \text{m/s}$. Alla ovanstående värden för oljebrons och grafitbrons gäller kontinuerlig drift. Vid intermitterande drift kan dessa värden överskridas.

Dimensioner och toleranser för oljebronsager är standardiserade av ISO (ISO 2795) år 1979. Svensk standard överensstämmer med ISO standard med några få undantag. Den svenska betecknas SS 2991, 2992, 2993.

Rundbockade självsörjande glidlager

Dessa tillverkas genom att ett band med längden motsvarande det blivande lagrets omkrets i en serie bockningsoperationer bringas att bli runt. Genom denna metod blir det alltså en längsgående springa som, när lagret pressas in i lagerhuset, helt går ihop. Lagren kan, om noggranna toleranser på innerdiametern önskas, göras helt omslutande, sålunda utan slits.

Utgångsmaterialet är ett stålband. På detta sintras ett tunt bronsskikt av några tiondels millimeters tjocklek. Detta skikt tjänar två syften, dels att få ovanliggande plastskikt att fästa och dels att leda bort friktionsvärmefrån det dåligt värmeledande plastskiktet som utgör glidyta. De allra flesta lager av denna typ är uppbyggda på detta sätt. Typen av plast i glidskiktet är olika beroende på tillverkare. Acetalplast och PTFE är vanliga plaster. PTFE kan blandas med bly eller molybdendisulfid MoS_2 och acetalplasten kan fås att blanda sig med olja, vilket ger mycket goda friktionsegenskaper. Acetalplast användes också utan olja men måste då smörjas.

Karaktäristiskt för lagren är hög belastbarhet vid låg glidhastighet. Högsta tillåtna belastning ligger ofta över 100 N/mm^2 . Glidhastigheten måste då hållas låg, nära noll. Vid kontinuerlig drift måste dessa max värden reduceras kraftigt. Vissa lager tillåter glidhastighet upp till 2,5 m/s och $p \times v$ -värden $5 \text{ N/mm}^2 \times \text{m/s}$, för andra sorter är den högsta tillåtna glidhastigheten betydligt blygsammare. För alla gäller att belastbarheten i det högre glidhastighetsområdet är mycket låg. Detsamma gäller om belastbarhet vid temperatur över 100°C . Acetalplastlager börjar mjukna i glidskiktet vid ca 120°C medan PTFE lager kan användas vid temperatur över 200°C .

Vägg tjockleken är 1,0 - 2,5 mm beroende av dimension och lagren medger alltså en mycket kompakt konstruktion genom att inte kräva så mycket utrymme.

Förutom dessa ovan nämnda lager med glidyta av plast finns inom gruppen rundbockade lager också lager med glidyta av grafitbrons. Denna grafitbrons är då sintrad på ett stålband på samma sätt som tidigare nämnts. Dessa lager tål högre temperatur men lägre glidhastighet och bör inte köras kontinuerligt. Belastbarheten är i samma storleksordning som för lagren med glidyta av plast.

En variant av grafitbronslagren är lager där glidytan består av sinterbrons med präglade rombformade intryck i vilka har pressats grafit som smörjmedel. Även för rundbockade lager finns dimensioner och toleranser standardiserade av ISO (ISO 3547). Den svenska standarden överensstämmer i princip med ISO men är uppbyggd lite annorlunda. Den utkom år 1980 och betecknas SS 3111.

Tjockväggiga massiva självmörjande glidlager

Här utgår man från ett massivt bronslager. Detta förses sedan med något fast smörjmedel antingen i form av pasta eller pulver som pressats in i spår eller fördjupningar i lagret eller i form av förpressade pluggar som limmas i lagerväggen.

Smörjmedlet består oftast av grafit, molybdensulfid, bly, PTFE eller liknande. Proportionerna och övriga ingredienser är ofta tillverkarens egen specialitet. Många tillverkare har flera alternativ av smörjmedel liksom också av bronslegering. Alltså kan användaren praktiskt taget "skräddarsy" lagret att passa hans speciella tillämpning.

Dessa lager har alltså en större vägg tjocklek än de rundbockade och de som har genomgående pluggar som smörjmedel kan därför slitas ut helt. Det som begränsar livslängden är det efter hand ökande lagerspelet. Normal vägg tjocklek är drygt 6 % av axeldiametern.

Dessa lager har ungefär samma begränsningar som de rundbockade, d v s bör endast användas i intermitterent drift om de ej kyls. De lämpar sig för hög belastning om glidhastigheten är låg, d v s under eller mycket under 1 m/s. En högre glidhastighet kan endast accepteras om drifttiden är mycket kort (några min) och lagret hinner kylas under stilleståndstiden. Med tillsatssmörjning ökar naturligtvis driftområdet.

Det som begränsar lagertypens användningsområde är den av friktionen alstrade värmen, som till slut nedsätter metallens bärighet och leder till ett oacceptabelt slitage. Är lagerspelet för litet nyper lagret, annars sliter sig axeln (om den har tillräcklig hårdhet) snabbt genom lagret. Skärning inträffar alltså inte så länge som det finns lagermaterial kvar.

Då lagren, som tidigare nämnts "skräddarsys" till varje applikation kan de få många olika former. De tillverkas i form av glidplattor och "glid-tärningar" för gejdor, som expansionsplattor under ångturbiner och ång-rör såväl som axiellastbrickor och cylindriska lager i kättingledare för drift i vatten på oljeborrplattformar. De olika driftområdena bestämmer valet av legering och smörjmedel.

Lämpliga användningsområden är platser där man ej kan smörja på grund av värme, vatten eller annat. En annan typ av drift är i dammluckor, där lagren står helt stilla under månadslånga perioder. När luckorna sedan ska manövreras är smörjfilmen kvar på lagerytorna och friktionen är lika låg som när de manövrerades senast. Den fasta smörjfilmen ligger kvar under långa stilleståndsperioder till skillnad mot en fett - eller oljefilm. Den sköljs inte heller bort av vattnet lika lätt.

Högsta praktiska belastbarhet fås med Al-brons som basmaterial. Al-brons lämpar sig dessutom bäst för drift i såväl hög temperatur som i saltvatten. Som smörjmedel i hög temperatur användes grafit. I vatten lämpar

sig ej grafit på grund av risken för galvanisk korrosion. Här är ett PTFE-baserat smörjmedel att rekommendera.

Med grafit som smörjmedel fås en friktionskoefficient på ca 0,2 medan PTFE-smörjmedlet ger omkring 0,1.

Belastbarheten kan generellt anges som basmaterialens halva sträckgränsvärde minskat med 30 % vilket är den andel av lagerytan som utgöres av smörjmedlet. Denna siffra varierar mellan tillverkare och alla gör inte detta axdrag. Ett lager med Al-brons som basmaterial kan belastas med 90 N/mm^2 .

Temperaturgränsen med Al-brons och grafit som lagermaterial och smörjmedel ligger omkring $400 - 500^\circ \text{C}$. Vid denna temperatur har dock belastbarheten sjunkit avsevärt.

Har man en glidhastighet i närheten av $0,8 - 1 \text{ m/s}$ bör en blyinnehållande brons användas som basmaterial. Självsmörjande lager av denna typ är inte särskilt känsliga för hög belastning medan en alltför hög glidhastighet kan få ödesdiga följder. Högt p och lågt v går alltså bättre än tvärtom med samma $p \times v$. Maximala p -värden för denna typ av lager ligger omkring $1 - 3 \text{ N/mm}^2 \times \text{m/s}$.

Följer man tillverkarens anvisningar har man med denna lagertyp här ofta en lösning som fungerar där andra glidlager och rullningslager kommit till korta.

Skador i glidlager

De skador som uppstår i glidlager kan i de flesta fall härledas till någon eller några av följande orsaker:

1. För hög belastning
2. Dålig smörjning
3. Inträngande partiklar
4. Fel motgående material
5. För långa lager
6. För hög driftstemperatur

1. För hög belastning

Detta resulterar i att smörjmedelsfilmen brytes igenom med stort slitage som följd. En genombruten smörjmedelsfilm betyder att metallisk kontakt punktvis uppstår mellan lager och motgående material. I dessa punkter sker ihopsvetsning och omedelbart därpå slits ytorna isär. Brottet sker då under svetspunkten och en partikel frigöres. Denna är nu bearbetad och mycket hårdare än lagermaterial och sliter därför kraftigt på detta. När dessa punktvisa svetsar får för stor utbredning skär lagret ihop helt och havererar. Om belastningen är för hög för lagermetallen kommer denna att kallflyta. Detta behöver ej nödvändigtvis leda till skärning men ändå till stort slitage. Härvid bör en lagermetall med högre bärighet väljas. Glöm då ej att samtidigt kontrollera hårdheten hos motgående material. Eventuellt kan smörjmedel med EP-tillsats behövas.

2. Dålig smörjning

Dålig smörjning leder till stort slitage eller vid tillräckligt hög belastning till skärning. Man får i stort sett samma effekt som vid för hög belastning, d v s de hårda partiklarna som bildas vid den punktvisa skärningen sliter hårt på lagret.

Det är givet att man med dålig smörjning oftare får genombruten smörjmedelsfilm än med bra smörjning med samma belastning. Ett lager kan också mycket väl klara dålig smörjning om belastningen är måttlig.

För självsmörjande lager gäller att glidhastigheten bör vara måttlig och belastningens storlek har mindre inverkan. Här är problemet att den av friktionen alstrade värmen ej leds bort av smörjmedlet och temperaturen i lagret då stiger oavbrutet. Ett sådant lager måste alltså stå stilla för kylning med jämna mellanrum. Vid måttliga eller låga driftsdata kan dock temperaturbalans erhållas vid kontinuerlig drift.

Självsmörjande lager med genomgående smörjpluggar skär ej. De slits istället ut helt. Om lagerspelet är för litet vid start händer det att lagret nyper fast på axeln på grund av värmeutvidgningen hos lagermaterialet. Denna leder här till att lagret i.d. minskar. Denna typ av självsmörjande lager havererar alltså inte på grund av dålig smörjning. Det kan möjligen om oljebrons-lager sägas att vid för låg glidhastighet smörjer detta lager dåligt, men då användes inte lagret enligt tillverkarens rekommendationer.

För hög lagerbelastning och dålig smörjning leder bägge till för hög lagertemperatur. Lagerytan ändrar därvid färg så tillvida att det koksa smörjmedlet svärtar ytan och lagermetallen mörknar i sig själv också på grund av den bildade kopparoxiden. Ytterligare överhettning ger en färgning som kan övergå i lila och grått om en brons användes.

3. Inträngande partiklar

I ett fettsmört glidlager som smörjes noggrant, motverkas intrång av främmande partiklar effektivt av det utträngande fett. I lager som endast smörjes sporadiskt får man istället lita till det mjuka lagermaterialet som förväntas kunna bädda in ovälkomna gästande partiklar. Smörjspåret tar också hand om en del men har partiklarna tagit sig in i lagret gör de ändå en del skada innan de tas om hand. Tätningar är här att rekommendera.

Hos självsmörjande lager är problemet större ty här finns inget fett och hos de rundbockade lagren inga smörjspår och mycket liten inbäddbarhet. Hos de tjockväggiga lagren kan man använda smörjspår för att ta hand om inträngande smuts dessutom har man god inbäddbarhet. Ofta tillsatssmörjes dessa lager med fett för att smuts ska tryckas ut med fett. Här är naturligtvis tätningar ännu viktigare än hos de vanliga fettsmörda glidlagren.

4. Fel motgående material

Glidlager som användes i lätta driftsfall, d.v.s. med lätt belastning, låg glidhastighet, låg temperatur och ren miljö fungerar bra med nästan vilket motgående material som helst. Det är när kraven på glidlagret börjar öka som också kraven på motgående material blir aktuella. Det är mycket vanskligt att ge tumregler, men en hårdhetsskillnad på 100 HB mellan lager och motgående material är önskvärd. Dessutom betyder stål-kvaliteten en del. För rostfria stål gäller sålunda att martensitiska

30.

stål är bättre än austenitiska ur lagersynpunkt. Tyvärr är de senare bättre ur korrosionssynpunkt och detta anses oftast viktigare och tas större hänsyn till, särskilt om lagringen sitter på någon offshore farkost. Dessa austenitiska stål blir "kladdiga" vid hög belastning och lagerbronsen fastnar då på axeln med hög friktion som följd och i ogynnsamma fall haverier. I självmörjande lager till sjöss användes trots detta oftast austenitiska stål som motgående material. Austenitiska rostfria stål kan med fördel hårdförkromas för att få bättre och hårdare yta. Här bör poängteras att en hårdförkromad yta ovanpå ett mjukt stål med hög lagerbelastning leder till att stålet ger vika och ytan brister. Kravet på axelmaterial kvarstår alltså även om man hårdförkromar.

5. För långa lager

Lager med längden mer än $2 \times d$ råkar lätt ut för kantpressning. Detta innebär att axeln på grund av nedböjning eller att den är krokig ej ligger an mot hela lagerlängden. Man får då en mycket hög belastning i lagerändarna och eventuellt också i mitten av lagret. Här fås då punktvis skärning med högt slitage som följd. För att avhjälpa detta bör man dela lagret till två med längden mindre än diametern och montera dessa i varsin ände av lagerläget.

Det användes i industrin i mycket stor utsträckning för långa lager. Man har förmodligen inte tänkt särskilt mycket på detta. Det är ju passande att rita in ett lager som är lika långt som t.ex. väggen, som lagret sitter i, är tjock. Det är dock sällan motiverat att ha en lagerlängd större än axeldiametern.

Självmörjande lager, vars funktion inte beror på att fett eller olja ska hållas kvar i lagret, kan göras kortare än övriga.

