# Tűzoltás és nagyjavítás helyett

## Állapotfüggő karbantartás rezgésdiagnosztikával (XIII.)

**A csapágyak feladata a forgó vagy lengő mozgást végző gépelemek megtámasztása, illetve vezetése. A kialakítástól függően alapvetően megkülönböztetünk gördülőcsapágyakat, ahol az elmozduló felületek között az erőátadás gördülőtestek közvetítésével történik, valamint siklócsapágyakat, amelyeknél a hordozófelületek egymáson (illetve a köztük levő kenőanyagrétegen) csúsznak el. Sorozatunk alábbi folytatása a kenőanyagréteggel működő, alapvetően olajkenésű csapágyakkal foglalkozik.**

A SIKLÓCSAPÁGYAKNÁL arra törekszünk, hogy az egymáson futó felületeket kenőanyagréteggel teljesen elválasszuk egymástól, tehát azok egymással fémesen ne érintkezzenek, helyette tiszta folyadéksúrlódás alakuljon ki. A kenőanyagréteg létrejöttének módja szerint megkülönböztetünk hidrosztatikus és hidrodinamikus siklócsapágyakat. A hidrosztatikus siklócsapágyaknál a kenőanyagot nyomás alatt juttatjuk be az egymáson elmozduló felületek közé, tehát ez esetben a kenőanyag nyomását szivattyú állítja elő még a kenőanyagnak a csapágyba jutása előtt. A hidrodinamikus siklócsapágyaknál az elmozduló felületeket elválasztó teherbíró kenőanyagfilm a relatív elmozdulás során önmagától alakul ki. E változatnál induláskor közvetlenül érintkeznek az egymáson csúszó felületek, majd a mozgás során kialakul a vegyes súrlódási állapot, és csak egy bizonyos relatív sebesség fölött alakul ki a tiszta folyadéksúrlódás. A nyomás a csapágyakban szinte önmagától jön létre, vagyis a csapágy egyidejűleg szivattyúként is működik.

### Siklócsapágyak főbb jellemzői

**Siklócsapágyak előnyei**

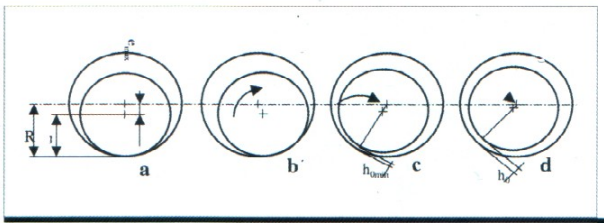
- tiszta folyadéksúrlódás esetén rendkívül kicsi a súrlódási ellenállásuk
- felépítésük egyszerű, sokoldalúan alkalmazhatók
- a kenőanyagréteg jó rezgés- és zajcsillapító hatású
- lökéssel és rázkódással szemben érzéketlenek, nagy terhelésnél és rendkívül nagy fordulatszámoknál is jól alkalmazhatók
- jó kenés esetén szinte korlátlan az élettartamuk

**Siklócsapágyak hátrányai**

- viszonylag nagy kenőanyag-felhasználás
- a kenőanyag-ellátás és a karbantartás jelentős ráfordítást igényel
- szigorú követelmények a csúszófelületek minőségével szemben
- hidrodinamikus csapágyaknál nagy kezdeti súrlódási tényező indulásnál
- hidrosztatikus csapágyaknál külön olajszivattyúra van szükség

### A kenőfilm kialakulása

A hidrosztatikus csapágyaknál a kenőfilm kialakulása csupán a megfelelő kenőanyagnyomástól függ, az egymáson futó felületek szétválása már álló helyzetben is megvalósul. A hidrodinamikus csapágyaknál azonban más a helyzet. A v=0 sebességi helyzetben (álló tengely esetén) a csap és a tengely fémesen érintkezik egymással. A tengely forgásának megindulásával – az első pillanatban – száraz súrlódás van köztük. A kerületi sebesség növelésével először a vegyes súrlódás állapota áll elő, majd fokozatosan javul a kenési állapot (a súrlódási tényező görbéje hirtelen esik). A görbe minimumánál veszi kezdetét a tiszta folyadéksúrlódás állapota. A minimum elérése után, a sebesség növekedésével a súrlódási tényező értéke bizonyos fokig újra emelkedik, mégpedig parabolikusan. Az olajfilm kialakulásának folyamatát az 1 ábra mutatja be a csap és a csapágy egymáshoz viszonyított helyzetének ábrázolásával.



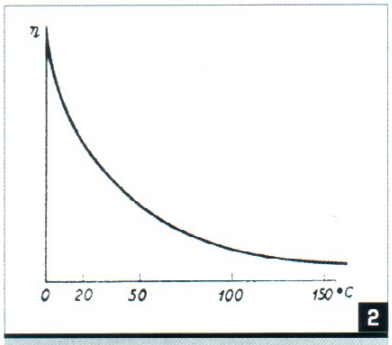

Olajfilm kialakulási folyamata 1

A csap a perselyben bizonyos fokú laza illesztéssel ($e_{max}$) van elhelyezve. A laza illesztés a csapágynak a részábrákon bemutatott elhelyezkedéseit eredményezi n=0 fordulatszámtól n=∞-ig. Nyugalmi állapotban a csap a furatban az *a* ábra szerint helyezkedik el: a csap a nehézségi erőnek engedelmeskedve a furat alján nyugszik. Amikor a csap megindul, akkor a *b* ábra szerint a felületek egyenetlenségei miatt a csap „felmászik" egy kissé a csapágy furatába, ez a vegyes súrlódás állapota.

Majd a fordulatszám emelkedésével mindig több kenőanyag kerül a felületek közé, egy bizonyos fordulatszámnál már elválnak a felületek, és a csap áthelyezkedik a *c* ábra szerinti pozícióba. Ez a tiszta folyadéksúrlódás kezdete, ekkor a csap alatt kialakuló – folyton szűkülő – rés a legkisebb. A súrlódási tényező is ilyenkor a legkisebb, mert ekkor kell keresztülkényszeríteni a legkevesebb olajat a csapágyrésen. Nagyobb fordulatszámnál növekszik a rés a *d* ábra szerint,

mert mindig több és több olaj kerül bele, ami jobban elválasztja a felületeket. A legnagyobb olajrés az n=végtelen fordulatszámnál alakulna ki, ekkor a csap koncentrikusan helyezkedne el a csapágyban.

A csap középpontja – amely az *a* ábránál a legalsó helyzetében van – a fordulatszám növelésével ívelt pályán haladva, végtelen fordulatszámnál foglalja el a legfelső helyzetét, amikor is a csapágyközépbe vándorol. A valóságban ahány csapágy, annyiféle felfutás tapasztalható a csapközép álló helyzetétől az üzemi fordulatszámig.



2
Az olaj viszkozitásának hőmérsékletfüggése

### A kenőanyag szerepe

Nyilvánvaló, hogy a kenőanyag a siklócsapágyak rendkívül fontos alkotóeleme. Feladatát csak akkor teljesítheti, ha megfelelő jellemzőkkel bír, és megfelelő mennyiségben jut a kenőrésbe, főként, ha egyidejűleg hűtőanyag is. A kenőolaj viszkozitása erősen függ a hőmérséklettől, annak növekedésével csökken **2**. A csapágy terhelhetősége, vagyis az alkalmazható felszíni átlagterhelés viszont az olaj viszkozitásának is függvénye, ezért kisebb terhelésű, de gyorsan forgó csapágyakhoz könnyebben folyó, kis viszkozitású olajat használunk. Nagy terhelésnél pedig nagy viszkozitású olajra van szükség, vagy pedig kenőzsírt kell használni, ha kicsi a kerületi sebesség.

Mivel az olaj viszkozitása a csapágy hideg állapotában, vagyis a megindításkor mintegy hatszor-tízszer nagyobb, mint a gyors fordulatszámú csapágyazások üzemi hőmérsékletén, ezért a megindításkor már kisebb sebességnél, éspedig a normál sebesség 1/6–1/10 részénél el tud jutni a tiszta folyadéksúrlódás állapotába. Megálláskor azonban a meleg olaj kis viszkozitása mellett az üzemi fordulat csökkenésével hamar felléphet a vegyes súrlódás állapota, ami kopással jár. Megszakításokkal dolgozó üzemben tehát az olaj megfelelő megválasztásával, illetve a csapágy megfelelő méretezésével kell biztosítani, hogy kisebb sebességnél is fennálljon a tiszta folyadéksúrlódás.

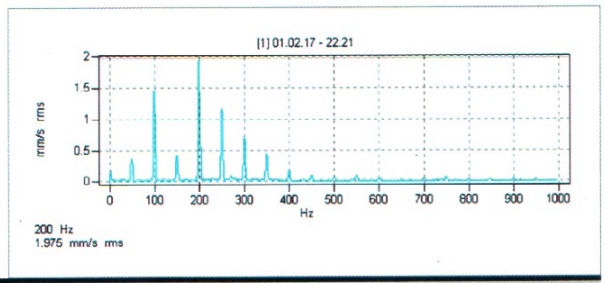
### Siklócsapágyak diagnosztikája

A helyesen méretezett (és kent) siklócsapágyak a rezgések keltésével és továbbadásával szemben lényegesen érzéketlenebbek, mint a gördülőcsapágyak. Az előbbieknél ugyanis a felületek között levő olajmennyiség lágy rugózású, nagy belső csillapítású párnát képez, amely a felületi egyenlőtlenségek és az alakhibák által keltett rezgéseket jelentősen csillapítja, a kívülről jövő sűrű, kis amplitúdójú rezgéseket pedig fojtja. Ezzel ellentétben a gördülőcsapágy görgőinek és futófelületeinek egyenlőtlenségei könnyen keltenek rezgéseket.

Az eddigiekből jól látható, hogy a siklócsapágyak esetén viszonylag egyszerű szerkezetekről van szó, tehát túl sok hibát keresni nem lehet. A következőkben a siklócsapágyak jellemző hibáit és megállapításuk rezgésdiagnosztikai módszereit tárgyaljuk.

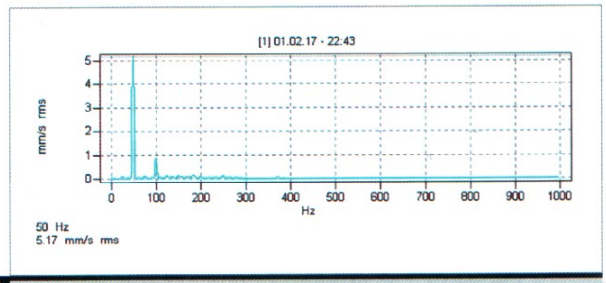
## Csapágybak rezgésmérése

**Nagy csapágyhézag, illetve kopás** Ha a gyártásból, illetve kopásból adódóan nagy a csapágyjáték (csapágyhézag), akkor a tengely nincs kellően megtámasztva (beszorítva) üzem közben a csapágyban, és a tengely helyzete instabillá válik. Gyakorlatilag „lötyögni" fog, és a csapágyról felvett rezgéssebesség-spektrumok a mechanikai lazaságra utaló rezgésképet fognak mutatni. A nagy csapágyhézag vagy egyéb csapágyazási lazaságok pontos kiszűrése rendkívül fontos, mivel a lazaságok hatására olyan rezgésösszetevők jelenhetnek meg – illetve erősödhetnek fel – a rezgésspektrumokban, amelyek láttán egyéb, komoly rezgésproblémára gondolunk, és nem a csapágyazás hibájára gyanakszunk.




3 Nagy csapágyhézag radiális rezgésspektruma

**Hibás beállítás** A tengelyvonal és a csapágypersely nem párhuzamos egymással, hanem valamilyen szöget zárnak be. A hiba létrejöhet abban az esetben, ha a beálló csapágy valamilyen okból nem tud a terhelés irányába elmozdulni (beállni), illetve eleve rosszul gyártották vagy szerelték. Létrejöhet az úgynevezett élen futás, rosszabb esetben a csap és a persely akár össze is ér fémesen.



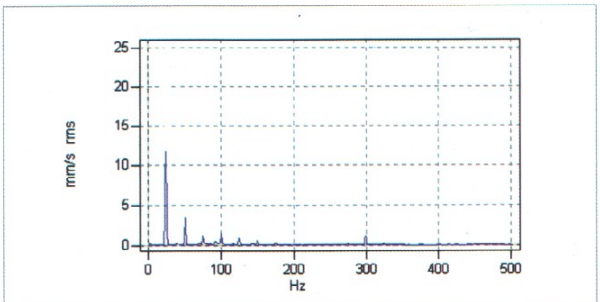

4 Hibás csapágybeállítás axiális rezgésspektruma

E hiba a tengelyirányban nem teherviselő csapágyakon is jelentős axiális rezgéseket kelt. A rezgés általában a forgásfrekvencián jelentkezik, de generátoroknál – a forgórész aszimmetriája miatt – a kétszeres forgásfrekvencián. Ha csak szélessávú rezgésszint mérésére alkalmas kézi rezgésmérő áll rendelkezésünkre, mindenképpen gyanakodjunk csapágybeállítási hibára axiálisan nem teherviselő csapágyon nagy tengelyirányú rezgés mérésekor.

**Elégtelen kenés** A csap és a persely között nem jön létre a tiszta folyadéksúrlódás kialakulásához elegendő vastagságú kenőanyagfilm. Ez vegyes, rosszabb esetben akár száraz súrlódáshoz is vezet, és a rezgésspektrumokban a már jól ismert, magasabb frekvencián jelentkező „elkenődött" képet mutatja. Egyszerűbb kéziműszerrel is kimutatható a jelenség szélessávú rezgésszintméréssel abban az esetben, ha a műszer alkalmas legalább két rezgésparaméter (rezgéselmozdulás és -sebesség, vagy rezgéssebesség és -gyorsulás) mérésére. Mindkét paraméter rögzítését követően az elsőből (elmozdulásból vagy sebességből) a fordulatszám ismeretében kiszámoljuk a másodikat (sebességet vagy gyorsulást). Ha a kiszámolt érték lényegesen kisebb, mint a mért, úgy biztosak lehetünk benne, hogy magasabb frekvenciás rezgésösszetevő(k) is jelen van(nak). E módszer azonban csak erősen tájékoztató jellegű, mert a mért rezgésben jelen lehetnek a gép egyéb (akár normális) működéséből adódó rezgések is. A bizonytalanság sajnos spektrumanalízis esetén is fennállhat.

**Olajfilm-rezonancia** Spektrumanalízissel igen egyszerűen felfedezhető, mivel nagyon jól meghatározható (semmi mással össze nem keverhető) frekvencián lép fel: 0,42–0,48×n (n=forgásfrekvencia). A rezgés általában nagy amplitúdóval jelentkezik, a spektrumban nem kell „keresgélni".

Kéziműszerrel való kimutatása is viszonylag egyszerű: mérjük a szélessávú rezgéssebesség és elmozdulás értékeket ugyanazon a mérőponton, ezt követően az ismert összefüggés alapján ($r=v/\omega=v/2\pi f$) kiszámoljuk a rezgéssebességből az elmozdulás értékét. Ha a mért elmozdulás lényegesen nagyobb a számítottnál, szinte biztosan olajfilm-rezonanciával állunk




5 Olajfilm-rezonancia rezgésspektruma

szemben. Nagyobb gépeknél azonban még kéziműszer sem kell, mert a jelenség szokatlanul erős „dübörgéssel" jár, ami nem szokta elkerülni a személyzet figyelmét.

A siklócsapágyas gépek esetében a csapágybak rezgésmérése helyett van egy sokkal hatékonyabb, a siklócsapágyazás és ezen keresztül a géphibák kimutatására alkalmas módszer, a relatív tengelyrezgés mérése, amelynek a folytatásban következő ismertetése után nyilvánvalóvá válhat, miért alkalmasabb a siklócsapágyazású gépek vizsgálatára, és milyen járulékos információkat szolgáltathat.

*Rahne Eric, Szűcs András*

pim@pim-kft.hu
www.pim-kft.hu, www.gepszakerto.hu