



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Kenéstechnikai és tribo-diagnosztikai szakmérnök Szak

**Golyósmalom kenésállapotok vizsgálata, tisztaság és élettartam
összefüggések elemzése**

Belső konzulens: Dr. Kalácska Gábor
egyetemi tanár

Külső konzulens: Dr. Keresztes Róbert Zsolt
egyetemi docens

Készítette: Szabó Attila
ZOC9J6
levelező

Intézet/Tanszék: Műszaki Intézet /
/Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok Tanszék

**Gödöllő
2023**

**MŰSZAKI INTÉZET
KENÉSTECHNIKAI ÉS TRIBO-DIAGNOSZTIKAI
SZAKMÉRNÖK**

DIPLOMADOLGOZAT

feladatlap

Szabó Attila (ZOC9J6)

részére

A diplomadolgozat címe:

Golyósmalom kenésállapotok vizsgálata, tisztaság és élettartam összefüggések vizsgálata

Feladatkiírás:

Bevezetés, Cégbemutató, Szakirodalom feldolgozása, Probléma bemutatása, Triborendszer saját fejlesztése, Gazdasági számítás, Összefoglalás

Közreműködő tanszék: Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok Tanszék

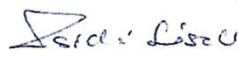
Külső konzulens: *Dr. Keresztes Róbert Zsolt, okl. gépészmérnök*

Belső konzulens: *Dr. Kalácska Gábor, egyetemi tanár, MATE, Műszaki Intézet*

Beadási határidő: 2023. november 06.

Gödöllő, 2023. szeptember 04.

Jóváhagyom


(tanszékvezető)


(szakfelelős)

Átvettem


(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2023. hó nap



(külső konzulens)

Tartalom

1. Bevezetés	4
1.1. Téma jelentősége	4
1.2. Célkitűzés	4
2. Cégbemutató	6
3. Szakirodalom feldolgozása	8
3.1. Siklócsapágyak alkalmazása, tervezési feltételei.....	8
3.2. Kenési állapotok, kopási mechanizmusok	10
3.3. Kenéstechnika a gépüzemfenntartásban, kenőanyag karbantartás	11
4. Tribo-rendszer saját fejlesztése.....	14
4.1. Ipari probléma bemutatása	14
4.2. A probléma elemzése, megoldása.....	17
4.2.1. Golyósmalom a gyártási rendszerben	17
4.2.2. Kenéstechnika a gépüzemfenntartásban, karbantartási mix	18
4.2.3. Nagymalom kenésállapotok vizsgálata	19
4.2.4. Az áthajtótengely siklócsapágyak tribológiai elemzése	26
4.2.5. Kenőanyag vizsgálati eredmények.....	32
4.3. Javaslatok.....	38
4.3.1. Konstruktív módosítások, szűrőtechnológiai fejlesztések	38
4.3.2. Karbantartásszervezés korszerűsítési javaslat.....	40
5. Gazdasági számítás.....	45
6. Összefoglalás.....	47
7. Summary.....	49
8. Nyilatkozatok.....	51
9. Irodalomjegyzék	55
10. Mellékletek jegyzéke.....	57

1. Bevezetés

A szakdolgozatomban a XELLA Magyarország Kft, halmajugrai YTONG Falazóelemgyár gyártósorában üzemelő Golyósmalom kenéstechnikai állapotfelmérésével, gyengepontok keresésével és elemzésével foglalkozom, valamint javaslatok teszek a rendszer fejlesztésére tribológiai szempontok alapján.

1.1. Téma jelentősége

Stratégiai berendezésről van szó, a gyártási műveleti sorrend kezdő elemeként rendkívül fontos az üzembiztos, megbízható működése. A Golyósmalom, helyi megnevezés szerint nagymalom egy 1962-ben az AEG által gyártott, rendkívül különleges és összetett berendezés. Feladata a gyártás során óránként 30-35 tonna homok 4 mm-es frakcióról kb. 0,1 mm-re való őrlése, mindezt homokiszap állagban. Gépészeti és tribológiai szempontból a különlegessége a berendezésnek, hogy szinte minden csapágyazása siklócsapágy. Különleges fehérfém csapágyakat építettek a főhajtóműbe, az áthajtó tengelytámaszokba, de maga a szerszám, a malom test is nagy átmérőjű siklócsapágyakkal van szerelve. A rendkívül nagy dinamikus igénybevétel követelte meg a tervezőktől ezt a megoldást, hiszen a 3 m átmérőjű 10 m hosszú malomhenger térfogatának jelentős része acélgolyókkal van feltöltve, melyek a forgás közbeni ütközések során végzik a homok őrlését. A különleges csapágyazások esetleges meghibásodása esetén hosszú időtartamú, költséges javítás prognosztizálható, mivel ezen csapágybélések a kereskedelmi forgalomban nem beszerezhető gépalkatrészek, azok legyártása beszerelése nagy szakértelmet igényel. Bár van tartalék egységként egy „kismalom” is a gyártási rendszerbe telepítve, de harmad akkora teljesítménye miatt valóban csak szükség esetén van beüzemelve.

1.2. Célkitűzés

A nagymalom rendelkezésre állása kiemelten fontos a teljes gyártási lánc további működésében, a termelési volumen kiszolgálásában, ezért az üzembiztonsága elengedhetetlen a cég teljes működésében. Céлом a nyagymalom kenési állapotainak vizsgálata és gyengepontkeresés szerinti elemzéséken keresztül üzembiztonság növelő javaslatok tétele, ezeket támogató megoldások kidolgozása. Ennek keretében:

- megvizsgálom a cég tevékenységét, a golyósmalom kapcsolódását a gyártási folyamatba, megnézem a kenéstechnika helyét a karbantartásban.

- A berendezés mozgásviszonyait végig követve beazonosítom a tribológiai pontokat és kiválasztom a gyengepotot a rendszerben, melyet tovább elemzek.
- A kiválasztott gépegység gépelemeit tribológiai rendszerbe helyezve megkeresem a problémás rendszerelemeket, kockázatokat.
- Javaslatokat dolgozom ki a kockázatok csökkentésére, a triborendszer működésének javítására szerkezeti és karbantartás-fejlesztési lehetőségek bemutatásával.
- A meglévő karbantartási mix korszerűsítésére is teszek javaslatot gazdasági számítások kíséretében.
- A dolgozat végén rövid összefoglalásban ismertetem a módosítási, korszerűsítési lehetőségeket.

2. Cégbemutató

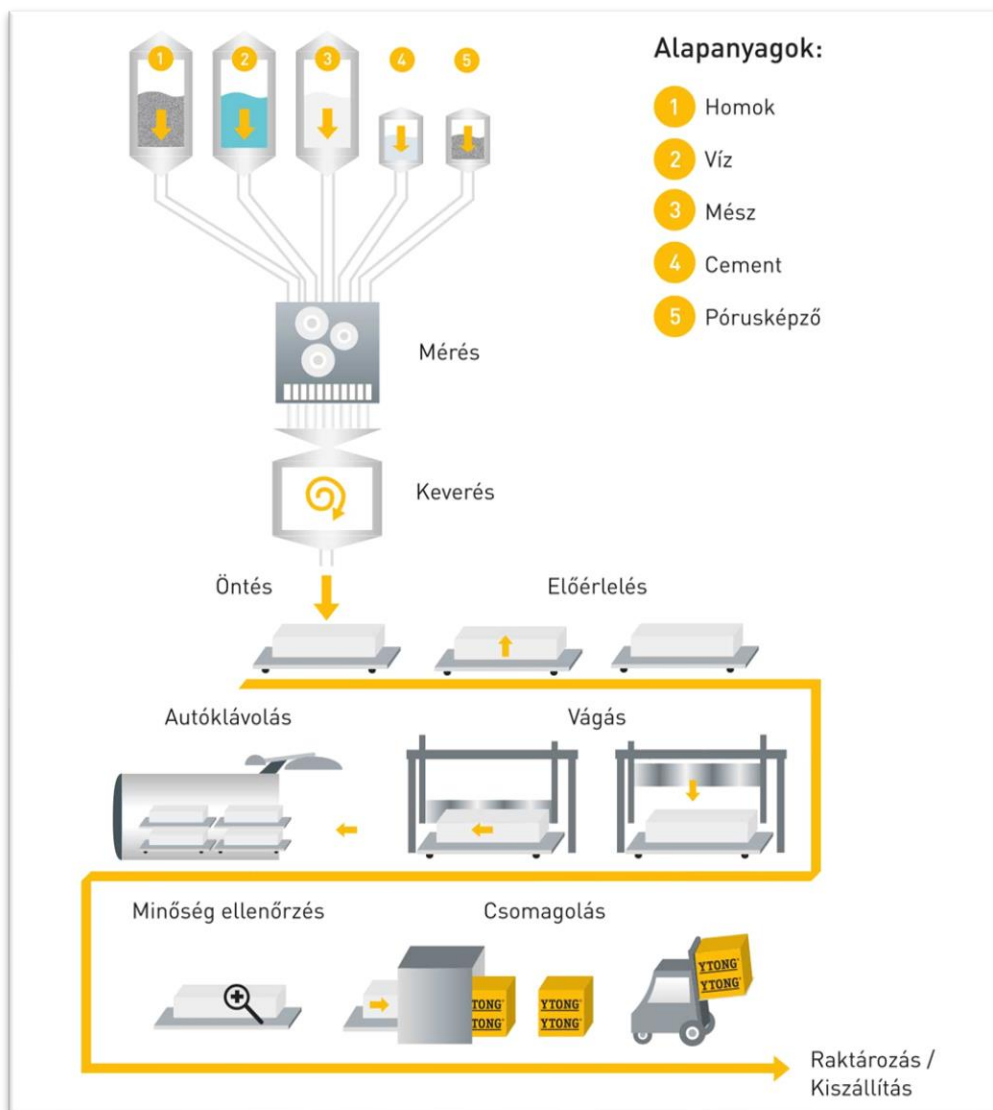
1991 év végén a németországi Ytong Deutschland AG megalapította Magyarországon az Ytong Hungary Kft.-t. 2003-ban az Ytong Holding GmbH-t megvásárolta a német Haniel család, és így a tulajdonában álló Xella Baustoffe GmbH felvásárolta az európai Ytong és Hebel gyárakat, többek között a halmajugrai Ytong gyárat is. Az Ytong Hungary nevet 2003-ban a Xella Pórusbeton Magyarország Kft, majd 2005-ben a Xella Magyarország Kft váltotta fel. A cég újonnan épült iszkaszentgyörgyi mészhomoktégla gyára ekkor kezdte meg a termelést, ezért következett be a második, és egyben végleges névváltás. 2008-ban újabb tulajdonosváltásra került sor, ugyanis a Haniel család eladta a teljes nemzetközi építőipari vállalatcsoportot a Goldman Sachs amerikai befektetői csoportnak. 2016 december 1-vel az amerikai befektetési alapkezelő vállalat eladta a Xella Csoportot a Lone Star leányvállalat részére.

Az Ytong zárt gyártási folyamattal készül, melynek kevesebb az energiaszükséglete, mint más építőanyagok előállításának. Például a szilárdításhoz szükséges vízgőzt 85%-ban újra felhasználják. A gyártási hulladékot a folyamat során mindig újrahasznosítják, így az nem terheli környezetünket. Az 1. ábra mutatja a gyártási folyamatokat.

- 1) Az Ytong gyártás főbb alapanyagai: a kvarchomok, a mész, a cement és a víz. Kizárólag ellenőrzött minőségű alapanyagok kerülhetnek a gyártás folyamatába.
- 2) A megfelelő szemcsefinomság eléréséhez a homokot golyós hengermalomban őrlik. Öntéskor számítógépes vezérléssel történik az anyagok bemérése és összekeverése.
- 3) A formába öntött keverék eléri végleges térfogatát, mely során zárt pórusok milliói jönnek létre. A kialakult pórusszerkezet biztosítja a termék kiváló hőszigetelő képességét.
- 4) A 60°C-os hőalagútból kijövő előszilárdult pórusbeton tömböket az öntőformákból kiemelik és áthelyezik a vágógépre. A kívánt elemek méretre vágása mm-es pontossággal történik.
- 5) A gyártási folyamat az Európai Unió irányelveinek megfelelően energiatakarékos és környezetbarát. A keletkező vágási hulladék a gyártás során újra felhasználásra kerül.
- 6) A hőalagútból kijövő 100°C-ra melegített, méretre vágott tömbök az autoklávokban nyomás alatti gőzérlelés során szilárdul meg. Az építőelemek e folyamat végén nyerik el végleges fizikai tulajdonságaikat.
- 7) Az autoklávból kijövő kész Ytong termékek ezt követően a csomagolósorra érkeznek. Az elemek minőség ellenőrzésen mennek keresztül, kizárólag csak I. osztályú termékek kerülnek

tovább.

8) Az automatizált gyártás végén az elemek raklapokon, feliratozott zsugorfóliával rögzítve kerülnek a tárolótérre. (Xella honlap, 2023)



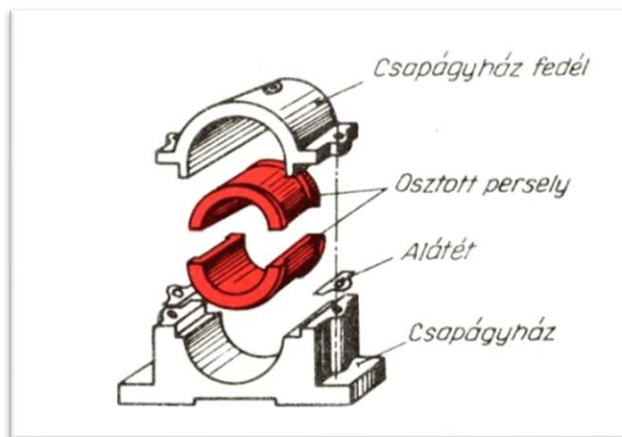
1. ábra. YTONG falazóelem gyártási folyamat (Xella.com, 2023)

3. Szakirodalom feldolgozása

3.1. Siklócsapágyak alkalmazása, tervezési feltételei

A siklócsapágyak tervezett használatára már az ókori sumér kőből készült axiális csapágyazásoknál, az egyiptomi piramisok építése során a nagy tömegek köztes kenőanyaggal használt mozgatásánál is vannak feljegyzések. Megemlíthetjük a kocsikerék siklócsapágyazását is, de igazi nagy áttörést az ipari forradalom idején végbemenő gépesítés során érte el a siklócsapágyak tudományos alapokon nyugvó fejlődése. Az első tudományos eredményeket Tower nevéhez kapcsolhatjuk, aki 1883-ban elsőként mérte ki a hidrodinamikus siklócsapágyakban a folyadék nyomáseloszlását. Az eredményeken felbuzdulva Reynold fölírt a hidrodinamika alapkövének mondható, az egymáson elmozduló felületek között kialakuló szűkülő résben lévő kenőolaj nyomásfüggvényének differenciálegyenletét. *Dr. Eleőd András Kenésállapotok* 2023. 1. félévi előadás jegyzetében képes illusztrációkat is találunk.

Dr. Terplán Zénó Gépelemek I. (Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 10. kiadás) kéziratában remekül megfogalmazza a siklócsapágy szerepét a gépekben, mely szerint a tengelyek forgó vagy lengő mozgását és helyzetét biztosítja a csapágyházhoz képest radiális vagy axiális terhelések ellenében (2. ábra). Több elv szerint is csoportosíthatóak a siklócsapágyak, mint például a terhelő erő iránya szerint, csapágyház kivitele, perselyek- bélések anyaga, kenőanyag bevitele, kenőanyagok fajtája szerint, de fontos szempont a csapágyban megvalósuló kenési állapot szerinti besorolás.



2. ábra. Radiális siklócsapágy (cserviktamas.wordpress.com, 2019)

A tananyaghoz kapcsolódó Ungár Tamás-Vida András Segédlet a gépelemek I-II kötetéhez (Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest) kéziratban találunk példát egy zárt csapágyházú siklócsapágy teljes tervezési lépéseire vonatkozóan. Megadott terhelés, fordulatszám és csavaró nyomaték ismeretében kiszámolhatjuk a csapágy jellemzőit. A főbb méretek szilárdságtani ellenőrző számításokat igényelnek, ezután határozható meg az üzemi relatív játék a sebesség függvényében. A felületi érdességek és a legkisebb résméret helyes megválasztása fogja biztosítani az ideális súrlódási tényezőt a csapágyban. A relatív excentritás számítását követően a terhelési számot diagramból olvashatjuk ki. Az üzemi hőmérséklet ismerete fogja számunkra meghatározni az olaj viszkozitását, az olaj szükségleti számot és a csapágy illesztését is. A henger siklófelületű hidrodinamikus csapágy tervezéséhez szükséges összefüggéseket jól áttekinthető módon megtalálhatjuk *Ph.D. Valasek István Tribológia 3 (Budapest, 2003) Gépelemek kenése* című kötetének Siklócsapágyak című fejezetében, akárcsak *Dr. Péter József Géptervezés alapjai (Miskolci Egyetemi Kiadó, 2008)* könyvében is. A siklócsapágyak alkalmazása nem az ipar területén a legelterjedtebb, az autógyártás sokkal nagyobb mennyiségben használja ezt a megoldást. A motor főtengely csapágyazások, indító motorok, turbófeltöltők, futómű felfüggesztések területén számtalan sikló-csúszó támasztással találkozunk egy gépjármű esetén. A kutatások is inkább ezen a területen vizsgálódnak, a különböző mozgásviszonyokat különböző kopás-súrlódási szimulációkkal lehet vizsgálni, mérni, élettartamra tervezni ezáltal. Az egyik interneten megtalálható cikkben (mdpi.com, 2023) a csúszócsapágyak súrlódási és kopási teljesítményének laboratóriumi vizsgálatairól olvastam, ahol a csapágy terhelés típusok, mozgásviszonyok szerint tribológiai modellvizsgálatokat mutatnak be, mint például a négygolyós, a tű-tárcsa, a gumikerekes abráziós kopásmérési módszerek, de a dugattyú kopásmérésre is látható alternáló mérési módszer. A cikk a bevonatok súrlódásra, kopásra ható jótékony befolyásáról, a csapágyak kopásának előre jelzési módszereiről is részletesen ír, mint például a modellalapú, az adat vezérelt és az élettartam során megbízhatóságon alapuló előrejelzések. Nem véletlen az, hogy a publikációt kínai egyetemek állították össze, köztudott a kiemelkedő eredményük az élettartam tervezések terén.

Egy másik cikkben (sciencedirect.com, 2023) a csapágyak felületi geometriájáról olvastam, amiben új polírozási módszereket mutatnak. Az érintkezési felületek topográfiája jelentős hatással lehet a súrlódási és kopási jellemzőkre. A mesterségesen létrehozott mikrostruktúrák, olajzsebek (mikrogödrök, üregek) az érintkezési zónában segítenek a kenőanyag tárolásban,

indítási fázisban csökkentik a súrlódást azáltal, hogy kavitációs mechanizmussal biztosítják a felületek eltávolodását (3. ábra). A Rzeszówi Műszaki Egyetem többféle elektromágneses impulzív polírozási módszert fejlesztett ki ezen olajtároló „zsebek” kialakítására.



3. ábra. Siklócsapágy perselyek (debearings.com termékoldal, 2023)

Az előbbieken elért eredmények nagyban segíthetik a manapság környezetvédelmi célokból kifejlesztett start-stop rendszerek motorélettartam tervezését. A modern hibrid motorok indítása-leállása körülbelül 1.2 millióra nőtt a jármű futása idején. Ez ennyi vegyes súrlódási állapot megjelenését jelenti a működés során. A journals.segepub.com, 227. évfolyam 5. számában olvasható eredmények megerősítik a polimer bevonatok jelentőségét az ilyen alkalmazási területeken, a számított és kísérleti adatokkal korrelált szimulációs eredmények segítséget nyújtanak a különböző start-stop rendszerek motorcsapágyainak kopásbecslésében.

A fentiekben bemutatott eredmények alkalmazása az ipari berendezések siklócsapágy alkalmazásai során is hasznos információt nyújthatnak a tervezők, gyártók részére.

3.2. Kenési állapotok, kopási mechanizmusok

A dolgozat elkészítése során fontos szerepet játszik a kenésállapotok ismerete, A nagymalom, mint komplex gépegység több kenési állapotot is felsorakoztat elénk, melyek helyes meghatározása szükséges a megalapozott javaslatok, műszaki megoldások kidolgozásához. A berendezés üzemelése során jelen van EHD kenési állapot, de megtaláljuk a hidrodinamikai és hidrosztatikai kenési állapotokat is. A kopási mechanizmusok típusai is széles skálán mozognak a golyósmalom üzemelése alatt, megtalálható az abrazív az eróziós és a kifáradásos kopás is a csapágy és fogaskerekek felületein, de a kenést szolgáló olajszivattyúknál még a kavitációs kopásra utaló jeleket is kereshetünk. A kenési állapotokat és a kopási mechanizmusokat

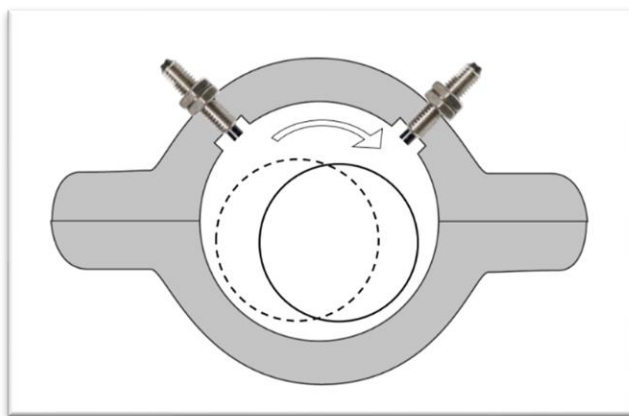
részletesen taglalja *Ph.D. Valasek István Tribológia 1 (Budapest, 2003) A tribológia alapjai* című kötete. A golyósmalom üzemeltetési környezetének vizsgálata során azonnal felmerül az abráziós kopásmechanizmus, jelentős mennyiségű szálló por mellett a gyártási alapanyag megmunkálása homok-iszap állapotban történik. Figyelembe véve, hogy a konstrukció a 60-as évek terméke, a tervezés során nem lehetett kiemelt szempont a megfelelő izoláció kialakítása a működő felületeknél. A kenőanyagba, mint tribológiai rendszerelembe bekerülő homokszemcsék károsító hatásainak figyelembevétele akkoriban nem jelentett kiemelt üzemeltetési-, gazdasági szempontot, mint manapság. Az ehhez hasonló környezetben található csapágycsúszások üzemelése során jelentkező károsodásokra találtam példákat *Ph.D. Valasek István Tribológia 3 (Budapest, 2003) Gépelemek kenése* című kötetének *Gépelemek károsodásai* című fejezetében. A kikerülhetetlen abráziós folyamatok károsító hatásának csökkentésére a kenőanyagok karbantartása területén található megoldást, a kenőanyagok szűrőtechnológiáit kell megismernünk. Ma már számos technológiai megoldás áll rendelkezésünkre, jó ismeretanyagot nyújt számunkra egy Bosch-Rexroth kiadvány. *A Hidraulika gyakorlata 1. kötet, A fluidtechnika-hidraulika alapjai és elemei oktatási kiadvány (Bosch_Rexroth AG, 2008)* Szűrők és szűrési technikák című fejezete alapjaitól ismerteti meg a problémát és azok megoldási lehetőségeit egyaránt. A dolgozatban a kenési helyek bemutatása során a kenési állapotok és a kopásmechanizmusok megismerése fő szempontot jelent a változtatási lehetőségek kidolgozásának terén. A témában segítséget nyújt az előadások alatt átadott *Dr. Kalácska Gábor Kopási mechanizmusok (Gödöllő, 2023)* jegyzete is a problémák feltárásában. A berendezésben is használt kenőanyagok ismertetése, azok alkalmazási körülményeikből származó állapotváltozások, az anyagok vizsgálati lehetőségei a *Kenőanyagok és vizsgálataik (Valasek István, Tribológia 2, Budapest 2003)* című irodalomban részletesen leírt tananyag, jól értelmezhetően sorolja az anyagokat, a vizsgálati módszereket szabványokba.

3.3. Kenéstechnika a gépüzemfenntartásban, kenőanyag karbantartás

A korszerűsítési javaslatok kidolgozásánál több irányból kell vizsgálni a nagymalom üzemi viszonyait. A szerkezet korszerűsítési lehetőségei mellett szükséges megvizsgálni az üzemeltetési és karbantartási folyamatokat. A konstrukción teljes bizonyossággal lehet minimális módosítások mellett eredményeket elérni, a problémát jelentő környezeti hatások redukálása egyszerű eszközökkel, jól megtervezett szeparációval megoldható. A fluidtechnikában alkalmazott szűrési teljesítmény meghatározásokról, a hatásfok, a nyomásesés számításokról

találtam információkat *A Hidraulika gyakorlata 1. kötet, A fluidtechnika-hidraulika alapjai és elemei oktatási kiadvány (Bosch_Rexroth AG, 2008)* Szűrők és szűrési technikák című fejezetben, de a témát még részletesebben elemzi *Békéssy László Bevezetés a hidraulikába (HIDROSZTIKA 2011)* című könyvének 12. fejezete. A fejezet foglalkozik a szennyezettség szabványok szerinti meghatározásával, a berendezések igényeivel, a szennyeződések okaival. Részletesen olvashatunk a szűrőközegek és szűrőelemek kiválasztásának feltételeiről, rendszerekhez való kapcsolási lehetőségeiről. Egy SKF honlapon (evolution.skf.com, 2023) olvastam egy papírgyári berendezésen elvégzett tanulmányban a szennyezők káros hatásairól. Itt főként a víz és a légbuborékok okozta csapágykárosodási problémákat elemzik, ezen szennyezők élettartam csökkentő hatásait vizsgálják. A vizsgálat szerint a 200 ppm feletti víztartalom már károsan hat a szivattyúk csapágyaira, de a turbulenciákból az olajban keletkező levegőtartalom is jelentősen lecsökkenti a csapágyak futásidejét. Itt a kenőfilmréteg megszakadása és a kavitáció egyaránt kihat a működő felületek minőségére. Javaslatként a műszaki kidolgozásában, a szűrőtechnológia fejlesztés tervezésében kiváló támogatást adnak a fent megemlített szakkönyvek, cikkek témáról szóló fejezetei.

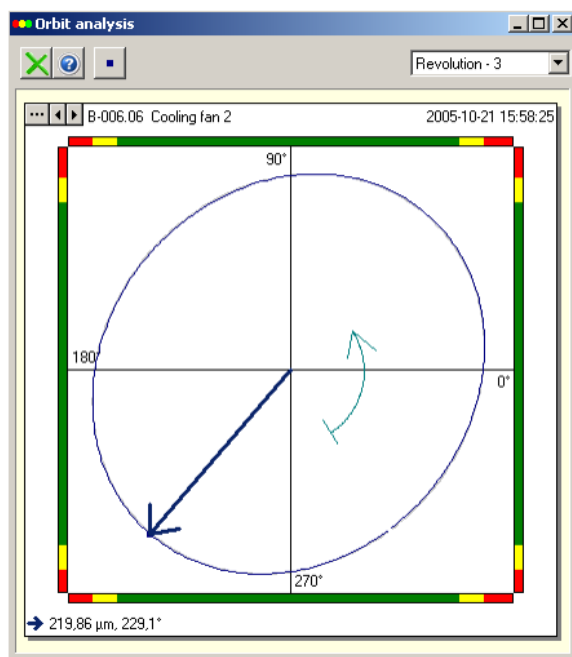
A karbantartás tervezését számtalan diagnosztikai módszer támogatja, a siklócsapágyak állapotának feltárására is van megoldás. A csapágytengely orbitpálya meghatározás mérési módszere gyakorlati megoldás (4. ábra), számtalan alkalmazási példa fellelhető (spminstrumnt.com, 2023).



4. ábra. Orbitpálya meghatározás mérési módszere (SPM oktatási segédlet , 2023)

Az orbit elemzés egy rezgésmérési funkció. Az orbit a tengely középvonalának útvonalát

(pályáját) képviseli forgás közben. Az orbit által szolgáltatott kétdimenziós görbét a tengelyközépvonal mozgásának elemzésére használják, amely utalhat dörzsölődésre, kiegyensúlyozatlanságra, nem megfelelő egytengelyűségre, olajhabosodásra, tengelycsapágyakkal felszerelt gépek esetén (5. ábra).



5. ábra. Tengelyközépvonal mozgásgörbe (SPM oktatási segédlet, 2023)

Az emberi tényező legalább olyan meghatározó egy berendezés élettartama során, mint annak műszaki színvonala. Ahhoz, hogy a lehető legteljesebb és gazdasági szempontból is optimális javaslatokkal tudjam támogatni a berendezés üzemeltetőjét, meg kell vizsgálni a karbantartási mixet, a kenéstechnika helyét a gépüzemfenntartásban. A karbantartási tevékenységek, stratégiák csoportosításában a *Dr. Kalácska Gábor Kenéstechnika és karbantartás MATE 2023* oktatási segédlet volt támpont. A cégtől kapott információkból felvázolható képet kaptam a jelenlegi gyakorlatról. A dolgozatban igyekszem bemutatni a karbantartás szervezését támogató módosítási és korszerűsítési lehetőségeket. A karbantartás szervezésében nagy segítséget nyújt a pontos és időben hozzáférhető információ, a digitalizációs lehetőségek adott karbantartási feladatokra való illesztése nagyban megkönnyítheti a döntéshozók munkáját. A kenéstechnika karbantartási és logisztikai szervezéséről olvashatunk a *Tribológia 4, Kenőkészülékek és logisztika* című kötetből, melyet P.hd. Valasek István munkájának köszönhetünk.

4. Tribo-rendszer saját fejlesztése

4.1. Ipari probléma bemutatása

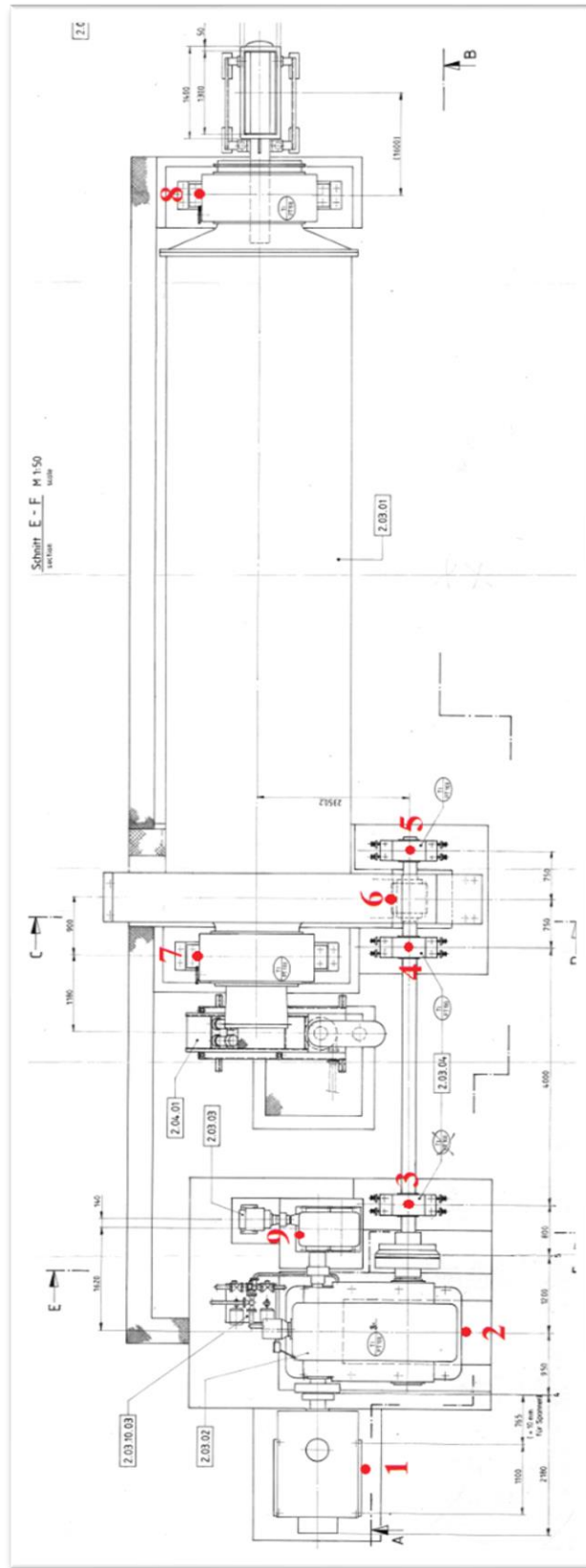
Mint a bevezetőben is említést tettem, a nagymalom (6. ábra) igen komplex, tribológiai szempontból rendkívül érzékeny berendezés, nem megfelelő kenéstechnikai karbantartás esetén magas költségekkel és hosszú javítási idővel kell számolni. Rövid idejű kenési elégtelenség is jelentős károsodásokat okozhat a berendezésben.



6. ábra. Nagymalom (saját fotó)

A nagymalom, másnéven golyós homokiszap malom az üzemelése során rendkívül komplex igénybevételnek és terhelésnek van kitéve. Tervezése során a dinamikus igénybevételek okozta károsodások csökkentését siklócsapágyak alkalmazásával oldották meg. Ha végig követem a kinematikai láncot (7. ábra), a tengelytámaszok szinte mindenhol hidrosztatikus, vagy hidrodinamikus kenésállapotú siklócsapágyakkal megoldott.

Kenési állapotok szerint a következő felsorolásban ismertetném a hajtásrendszer egységeit, elemeit:



7. ábra. Nagymalom kenési pontok (gépkönyvi rajz saját kiegészítéssel)

1. elektromotor / gördülőcsapágyak / zsírkenés / EHD kenési állapot
2. főhajtómű / fogaskerekek, siklócsapágyak / cirkulációs olajkenés / EHD és hidrosztatikus kenési állapot
3. előtét tengely 1-es úszó siklócsapágy / merülő olajkenés / hidrodinamikus kenési állapot
4. előtét tengely 2-es fix siklócsapágy / merülő olajkenés / hidrodinamikus kenési állapot
5. előtét tengely 3-as úszó siklócsapágy / merülő olajkenés / hidrodinamikus kenési állapot
6. fogaskoszorú fogkapcsolat / cirkulációs olajkenés / EHD kenési állapot
7. nyakcsapágy 1-es / cirkulációs olajkenés / hidrosztatikus kenési állapot
8. nyakcsapágy 2-es / cirkulációs olajkenés / hidrosztatikus kenési állapot
9. segédhajtómű / fogaskerekek, gördülőcsapágyak /merülő olajkenés / EHD kenési állapot

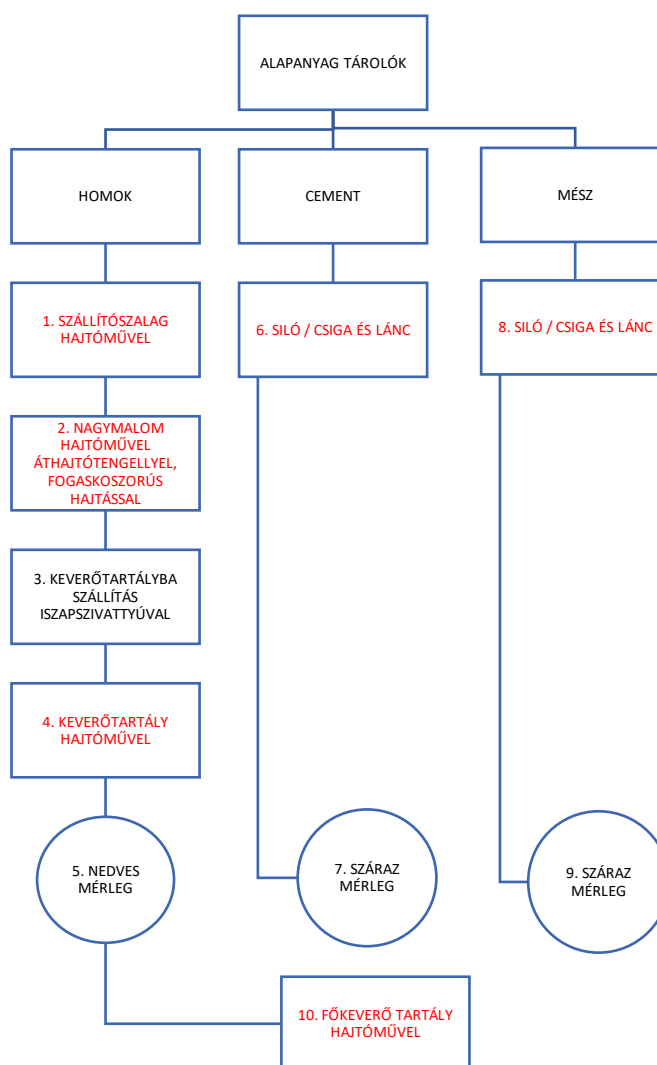
A fenti felsorolás elemeit fogom megvizsgálni, és ezek közül kiválasztom a tribológiai szempontból leggyengébb, legérzékenyebb pontot, melyet részletesebben fogok elemezni.

A dolgozatban megvizsgálom, hogy hol illeszkedik a kenés technika a meglévő karbantartási stratégiába. Megnézem a berendezés mozgó-súrlódó gépelemeit kenésállapotok típusai szerint, az alkalmazott kenőanyagokat, azok állapotát, felhasználásának és kezelésének módját. Bemutatom a berendezés üzemeltetése során használt biztonsági eszközöket, szenzorokat, azok funkcióit és szerepüket. Átgondolom, hogy a meglévő aktív biztonsági eszközökön kívül milyen más prediktív és preventív technológiák segíthetik karbantartás munkáját az üzemfenntartás terén. A kapott információkból javaslatokat állítok össze a rendszer további üzembiztonság növelése céljából, konstrukciós és karbantartás korszerűsítési módosítások lehetőségeire adok iránymutatást.

4.2. A probléma elemzése, megoldása

4.2.1. Golyósmalom a gyártási rendszerben

A golyósmalom, mint a termékanyagok előkészítésében a legnagyobb anyagárammal, teljesítménnyel és kapacitással rendelkező gépegység a termelési lánc szinte első elemeként



8. ábra. Gyártási folyamatábra részlet

található meg a gyártási láncolatban. A termelési folyamatábra részleten 2. sorszámmal ellátott helyen található (8. ábra). Feladata a gyártmány, azaz a pólusbeton legfőbb és legnagyobb mennyiségű összetevőjének őrlése homokiszap formájában. A folyamatos üzemű, de ciklikusan használt berendezésben keveredik össze a víz és a még kb. 4 mm szemcse nagyságú homok.

Forgás közben 40 mm-es acélgolyók zúzzák a homokot nagyjából 0,1 mm-es szemcsenagyságra. A malom előtt és után található szállító berendezések, mint szállítószalag, iszapszivattyú, keverőtartály hajtómű meghibásodása relatív kevésbé költséges és időigényes módon javíthatóak. A golyósmalom stabil eszköznek bizonyult az elmúlt évtizedek során, de tribológiai szempontból sérülékeny egyedi alkatrészeinek meghibásodása problémát okozna a gyártási folyamatban. A berendezésen különösebb nagyjavítást még nem kellett eszközölni gépészeti oldalról, csak az anyagáramban lévő kopó elemek időszakos cseréjét és a korrózió okozta hibákat kellett kezelni. A csapágyazások, a hajtásrendszer elemek állapotáról kevés információ van, mivel a berendezés problémamentesen üzemel. Ez az információhiány kockázatokat jelenthet, célunk ezen kockázatokra való figyelemfelhívás, a tribológiai szemlélet erősítése.

4.2.2. Kenéstechnika a gépjárműfenntartásban, karbantartási mix

A vállalat szervezeti felépítését áttekintve a Xella Hungary Origram alapján látható (1.sz. melléklet), hogy a kenéstechnikai feladatokra nincs külön szervezeti egység, ezeket és egyéb feladatokat a karbantartás látja el az alábbi karbantartási stratégiák szerint:

Karbantartási mix:

- Állapotfüggő karbantartás, évente 1-2 hosszabb leállás során a karbantartási terv szerint. Ilyenkor a korábban feltárt, nem sürgős javításokat, kisebb fődarab cseréket, rekonstrukciókat végzik el az állást igénylő ellenőrzések mellett.
- Merev ciklusú karbantartás, mely során az anyagáram okozta kopóelemek cseréje is megtörténik. Jól tervezhető az üzemórák függvényében.
- Megelőző karbantartás, mikor egy jelentkező, vagy sejtethető problémát modern diagnosztikai eszközökkel vizsgálnak tovább. Ilyen a zaj, rezgés esetén alkalmazott egytengelyűség-, a rezgés-, a falvastagság mérés.
- Hibaelhárító karbantartás, mely váratlan, előre nem jelezhető meghibásodás kijavítását orvosolja. Ekkor az üzem mihamarabbi újraindítása a fő cél, de a javítás során felmért hiba bekerül a következő karbantartás során elkészülő tervbe.

A nagymalom karbantartási ütemezését, elvégzendő feladatokat az 1.sz. táblázat mutatja be.

Nagymalom karbantartási mátrix					
Tevékenység	Ütemezés				
	Napi	Heti	Havi	Éves	Szükség szerint
Olajszintek ellenőrzése (Hajtómű, nyakcsapok, vendégcsapágyházak)	X				
Villanymotor kenőrendszer ellenőrzése	X				
Fogaskoszorú csavarok ellenőrzése, utánhúzása, kopó elemek cseréje				X	
Motor, hajtómű lefogató csavarok ellenőrzése					X
Tengelykapcsoló csavarok ellenőrzése			X		
Egytengelyűség beállítás ellenőrzése					X
Vízrendszer szűrők ellenőrzése		X			
Villamos berendezések, indítóellenállás ellenőrzése				X	
Indítóellenállás olajszint ellenőrzése			X		

1.sz. táblázat Nagymalom karbantartási mátrix

4.2.3. Nagymalom kenésállapotok vizsgálata

A következőkben a bevezetésben felsorolt egységeket, azok szerkezeti elemeit fogom vizsgálni kenés technikai szempontok szerint.

Elektromotor



9. ábra. Nagymalom villanymotor (saját fotó)

A hajtásegység energiaforrása egy váltóáramú csúszógyűrűs villanymotor biztosítja (9. ábra), 6 kV feszültségen 750 kW teljesítmény leadására képes. Névleges fordulatszáma 980 1/min. A villanymotor forgórésze gördülőcsapágyakkal van szerelve, a csúszógyűrűknél egy, a

tengelykapcsoló oldalán 2 db hordógörgős csapágy biztosítja a megfelelő futást. Az aszimmetrikus csapágyazás miatt a kenőanyag mennyiségi igény is eltérő. A villanymotoroknál igen fontos az előírt mennyiség betartása, mivel az alul kenés korai csapágyhibát okoz, a túlkenés pedig a forgórész „berobbanását” idézheti elő. Ezért fontos karbantartási feladat az elhasznált kenőzsír eltávolítása a villanymotoroknál.

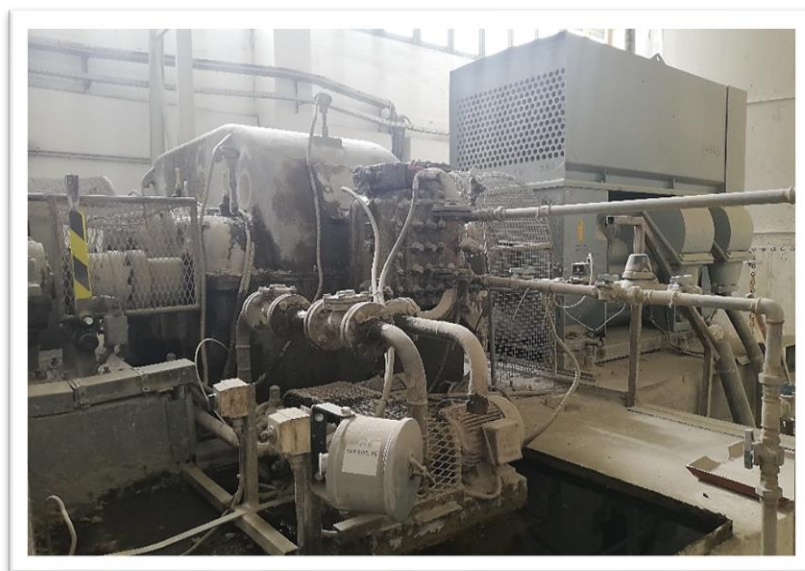
A motor kenését egy automata kenőberendezés látja el, mely az előírt mennyiséghez van be szabályozva. A be szabályozás a tényleges üzemidő jel figyelés alapján szolgáltatja az optimális mennyiséget, különös tekintettel a berendezés szakaszos üzemelésére. Fontos figyelembe venni a kenőanyagmennyiség kiszabályozásánál, hogy a környezetben nagy mennyiségben szálló por képes a csapágyházakra feltapadva magába abszorbálni a bázisolajat, így a csapágy a tervezettől hamarabb kiszáradhat. Ekkor nem valósul meg az EHD kenési állapot, gyorsan kialakuló felülethibák jönnek létre a pályán és a gördülő elemeken. A kartusban feltöltött zsír típusa: FAG Arcanol MULTITOP, technikai adatlapja szerint 82 mm²/s viszkozitású bázisolajból lítium sűrítővel készült, NLGI 2 konzisztenciájú általános felhasználású kenőzsír (2. sz. melléklet). A villanymotorok csapágykenésére javasolt 3-as konzisztenciától gyakorlati okból térhetnek el, ugyanis ott már szivattyúzhatósági problémák jelenhetnek meg alacsonyabb hőmérséklettartományban. A zsírzó üresre futásáról egy jelzőfény értesíti az üzemeltetőt, mely külső cégtől rendel meg az eszköz karbantartását.

Főhajtómű

A hajtómű egy RENK gyártmány, BD 140 típusjelű, nyílfogazású fogaskerekekkel ellátott kétfokozatú hajtómű (10. ábra). Áttétel módosítása 7,46, a kijövő fordulatszám 132 1/perc. A hajtómű összes csapágyazása hidrosztatikus kenésállapotú fehér fém siklócsapágy, melyek kenését cirkulációs olajkenéssel biztosítják. A 42CrMoS4V tengely anyagminőség az Ön siklócsapágyakkal tökéletes anyagpárosítás a konstrukción belül. Kenőanyagvastagság szerint a vastagfilm kenési állapot valósul meg a működő felületek között. A fogaskerékpárok anyagminősége megegyezik a tengelyével, itt EHD vastagfilmkenés biztosítja a működést (3. sz. melléklet).

Kettős szivattyúval van biztosítva a hűtés-kenés és a szűrés funkció. A hajtómű hűtését vizes hőcserélő biztosítja. A hajtómű olajkarbantartását a gyári lemezes szűrőn kívül egy utólag felszerelt mellékáramú cellulózsűrő látja el. Az alkalmazott kenőanyag: MOL TRANSOL 220, töltetmennyisége 500 liter. A hajtómű olajsint ellenőrzését az üzemeltető és a karbantartó

személyzet végzi időnként. A kenőolaj cirkuláció ellenőrzése nyomáskapcsolóval és áramlásmérő szenzorral megoldott, de további védelmi funkcióként minden csapágyhoz bekötött PT100 hőfokérzékelők adnak információt a berendezés vezérlésének. Működőképességük ellenőrzése az üzemeltető személyzethez kapcsolható feladat.



10. ábra. Főhajtómű és kenési rendszere (saját fotó)

Az olaj diagnosztika is megjelenik a karbantartási stratégiában, 6 havonta olajmintavétel történik, melyet akkreditált laborban vizsgálnak be. A karbantartás részét képezi a 3 havonta történő szűrőbetét cseréje, ami a mechanikai szennyezők mellett a víz kivonására is alkalmas. Mindkét szennyező távoltartása igen fontos a csapágyak és fogaskerekek élettartamát tekintve. A mechanikai szennyezők jelenléte a kenőanyagban az eróziós kopásmechanizmus mellett az abrazív kopás megjelenését is előidézhetheti. A puha óncsapágyakba benyomódó por és leváló fémszemcsék forgácsoló hatással vannak jelen a csap működő felületén. A víz jelenléte az olajban a kenőanyag tönkremenetelén kívül a fogaskerekek felületére is káros hatással vannak. A cirkulációs hajtóműolajok javasolt tisztasági besorolása ISO4406 szerint 18/16/13, víztartalom ppm-ben megadott értéke ne legyen 150 ppm felett. Egy SKF tanulmány szerint a gördülő csapágyak élettartamát felezi a folyamatosan 300 ppm víztartalommal bíró kenőanyag.

A labor által megfelelőnek jelölt olajminta eredmények ellenére is érdemes az olajcserék betartása, mivel az alkalmazott kenőolaj EP adalékolt. A mozgás közben a felületről lenyíródó fémsók is lehetnek koptató hatással. A karbantartási rendszerben jelenleg az olajutántöltésekről, olajcserékről, olajsint ellenőrzésekről lejegyzett információk regisztrációja fejleszhető.

Áthajtó tengely csapágyak

A főhajtóműből kijövő forgó mozgást egy több mint 6 méter hosszú, 3 ponton siklócsapágyakkal megtámasztott tengelyen keresztül továbbítják a fogaskoszorú felé. A hajtóművet és a tengelyt rugalmas tengelykapcsoló köti össze. A csapágyak hidrodinamikus kenési állapotú fehérfém csapágyak szabványos csapágyházba építve (11. ábra).



11. ábra. áthajtótengely siklócsapágyazás (saját fotó)

Egy fix, azaz axiálisan is támasztott csapágy és 2 úszó csapágy biztosítja a pozíciót a tengelyre felszerelt fogaskerék számára, mely a fogaskoszorú meghajtásáról gondoskodik. A csapágyak merülő olajkenéssel üzemelnek, kb. 5 liter MOL TRASOL 220 kenőanyag biztosítja a megfelelő kenést, hűtést. A csapágyházak hőmérséklet érzékelővel vannak szerelve, illetve az olajsint meglétét is szenzor figyeli, probléma esetén a teljes berendezés üzemelését tiltják ezek az eszközök (12. ábra). A csapágyházak olajsint ellenőrzését az üzemeltető személyzet végzi időszakosan.



12. ábra. Olajsint szenzor ellenőrző kupakkal (saját fotó)

A csapágyazás további tribológiai elemzését a dolgozat későbbi szakaszában részletesebben hajtom végre, mivel ezt a gépegséget találtam gyengepontnak a rendszerátvizsgálás során. Működése kihat az előtte lévő hajtóműre és az utána található fogaskoszorú állapotára is.

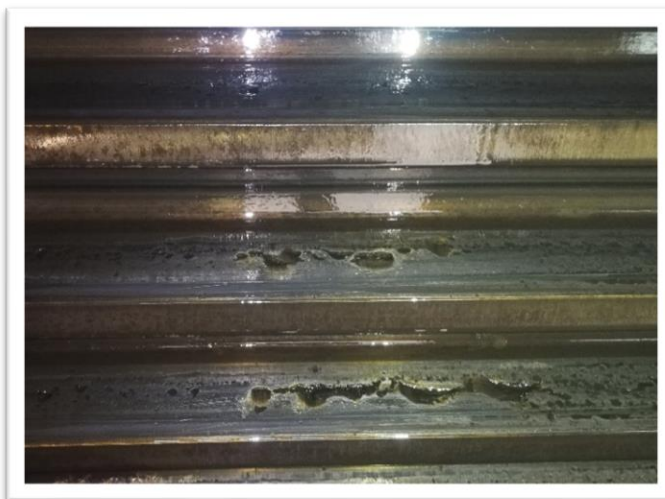
Fogaskoszorú

A hajtásrendszer következő eleme a fogaskoszorú, mint nyitott hajtómű. Bár porvédő lemezborítás védi a környezettől, de messze nem annyira zárt, hogy ne juthassanak be szennyeződések (13. ábra). A fogaskerékpár kenését cirkulációs olajkenés látja el, olajnyomáskapcsoló és áramlásmérő szenzorok biztosítják a villamos védelmet. Az EHD kenés megvalósulására MOL TRANSOL 320 kenőanyagot használnak. A berendezés dokumentációinak átvizsgálása során felszínre került információ szerint az olajat MoS₂ hozzáadásával kellene betölteni a kedvezőbb kenési állapot elérésére (4. sz. melléklet).



13. ábra. Fogaskoszorú burkolat (saját fotó)

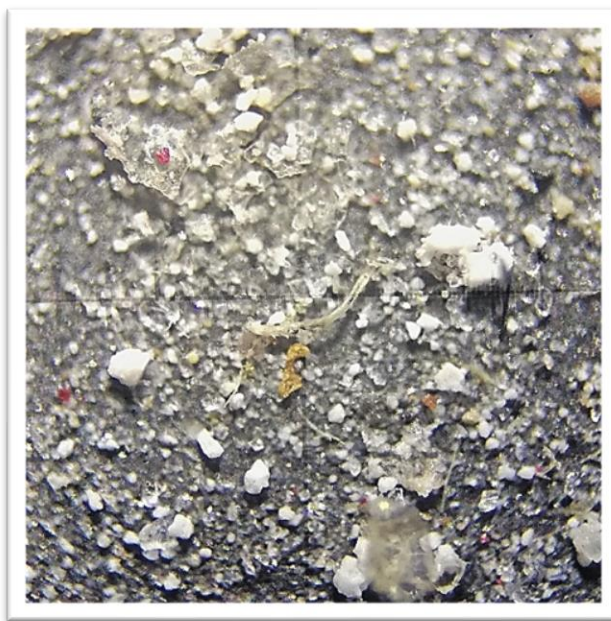
Több okból is érdemes ezen szilárd kenőanyag adott helyen való alkalmazása. Mivel az ideális fogaskerék kapcsolatnál is csak a gördülőkörnél nincs csúszás, jelen esetben siklócsapágyak toleranciájából és a hidrodinamikus kenésállapot mozgásviszonyaiból adódóan csak csúszva-gördülés jelensége áll fenn.



13. ábra. Fogaskoszorú fogfelület (saját fotó)

Ilyen mozgásviszonyok mellett a réteges szilárd kenőanyag használata rendkívül ideális megoldás az élettartam növelésére. Az alapteszt és ellentest kapcsolat rugalmasságának növelése csökkenti a Hertz feszültegből származtatható felületi rétegek alatti kifáradást, a

pittingesedés folyamatának sebességét, mértékét (14. ábra). A rendszer nyitottsága és a környezeti terhelések hatására további károsodásokat erősítő hatás is fellép az üzemelés során. Akkreditált olajminta vizsgálati jegyzőkönyv (5. sz. melléklet) és optikai olajminta vizsgálat szerint (15. ábra) is rendkívül magas a Si tartalom, amely erozív hatása a meghajtó kismeghajtók működő felületén is fellelhető.



14. ábra. 50-100 mikronos SiO₂ abrazív szemcsék az olajban (saját mikroszkópos felvétel)

A kenőanyag tisztasági osztályba való sorolása messze nem éri el a berendezés optimális kenőanyag tisztasági igényét. jelen esetben is, mint minden más gyártási folyamat során elkerülhetetlen az alapanyagok bejutása a kenési rendszerekbe, azok mennyiségét és hatásait csak csökkenteni lehet a megfelelő beavatkozásokkal. Érdemes tehát átgondolni a tisztaság növelésének lehetőségeit és a szilárd kenőanyagok adalékként való alkalmazásának jelentőségét. Az alkalmazott kenőanyag teljesítményszint növelése is pozitív hatással lehet a tribológiai rendszerre, a jelenlegi API GL 3-as szint nem a legkorszerűbb a fogaskerék kapcsolatok számára.

Nyakcsapágyak

Az előzőekben megismertetett mozgásviszonyok eredményeként eljutottunk a szerszám, azaz a golyósmalom csapágyazásaihoz, azok tribológiai elemzéséhez. A hengermalom testet két

végén csőtengelyek segítségével nagyméretű hidrosztatikus fehérfém siklócsapágyakkal támasztják meg (15. ábra). Az 1300 mm-es csapágybélések közel 2 méteres csapágyházban helyezkednek el (6. sz. melléklet) . A csapágyakat külön tápegységek kenik MOL TRANSOL 220 típusú kenőanyaggal.



15. ábra. Nyakcsapágy (saját fotó)

A kenőanyag cirkulációt nyomáskapcsolóval és áramlásmérő szenzorokkal ellenőrzik, illetve hőfokvédelmi funkció is van a vezérlésben. A csapágyakat vízzel hűtik üzem közben, mely hűtővíz mennyiségét is kontrolálják. Az felhasznált hűtővizet aztán a gyártási folyamatban hasznosítják újra. A csapágyak kenőanyagát korszerű mellékáramú szűrőkkel tartják folyamatosan megfelelő minőségben, melyet 6 havonta monitoroznak is akkreditált laborban. Tribológiai rendszerszemlélet tekintetében talán itt az egyik legveszélyesebb kenési pont a környezeti hatások szempontjából, hiszen ezeken a pontokon találkozik a gyártási alapanyag, a környezeti terhelés és a kenőanyag, mint homokiszap, por és kenőolaj formájában.

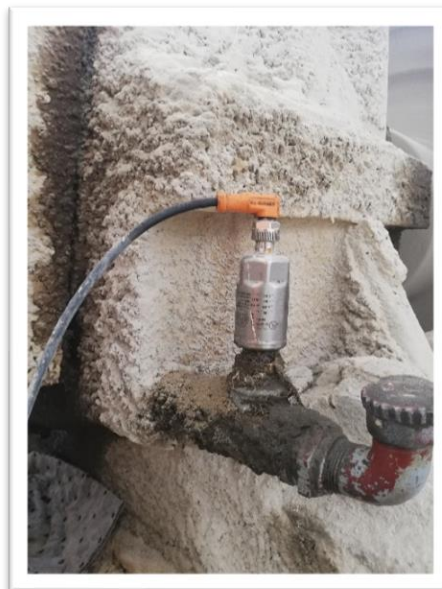
4.2.4. Az áthajtótengely siklócsapágyak tribológiai elemzése

A részletes elemzésre, mint a rendszer legsérülékenyebb és legkevésbé felügyelt részegysége véleményem szerint az áthajtó tengely siklócsapágyazásai. Üzem közbeni felügyelete egy hőfokérzékelő, melynek a vezérlőpulton is megjelenik. A PT 100 típusú hőmérsékletre megváltozó ellenállás elvén működő egységnél a gyakorlatban már fordult elő meghibásodás,

fals értéket szolgáltatva. Ennek a hibának a kiszűrése nagy üzemeltetési tapasztalattal rendelkező személy figyelmét igényli, vagy időszakosan tesztelni kell, hogy a mért és valós érték megközelítőleg megegyezik (16. ábra).



16. ábra. PT100 hőfokszenzor (saját fotó)



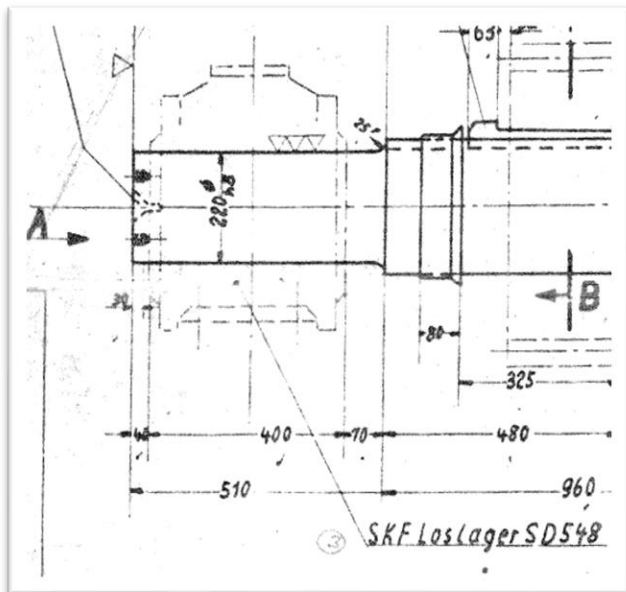
17. ábra. olajszint érzékelő (saját fotó)

A másik szenzor a szintérzékelő, mely működésének helyessége üzemeltető vagy karbantartó felügyeletet igényel (17. ábra). Ami viszont talán a legkevésbé van szem előtt, mint hibalehetőség, az a kenőolaj állapota. Nincs olajminta elemzés rendszeresítve a kis töltetmennyiség miatt, de az olajcserék időpontjának regisztrációja is adhat bizonytalanságot a karbantartás tervezésben.

A vizsgálandó csapágyazásról rendkívül kevés dokumentáció áll rendelkezésre, sok adat ismeretlen, illetve az aktuális állapotok vizsgálatára is korlátozottak a lehetőségek a folyamatos gyártási igények miatt. A következőkben a főbb geometriai méreteket, a mozgásviszonyokat fogom meghatározni. Tribológiai rendszerben vizsgáljuk az anyagpárosítást, mint alaptest, ellentest, a kenőanyagot, mint közbelső anyagot és környezetét, mint befolyásoló tényezőt.

Csapágyméretek, mozgásviszonyok

A csapágyazás beépítése egy SKF katalógusban is fellelhető csapágyházba van beépítve.



Csapméret: $D=220$ mm

Siklófelület szélessége: $B=310$ mm

Csapágyház szélessége: $L=440$ mm

Anyaga: öntöttvas Ón csapágybéléssel

Tömítés típusa: nyitott / labirint

Üzemi fordulatszám: 132 1/min

Üzemi hőfok: 45-50 C °

Olajtöltet: 5 liter

Olajtípus: MOL TRANSOL 220

18. ábra. Főbb geometriai méretek (Ytong géprajz)

A csapágyház belő kialakításról, a csapágyperselyek, félperselyek rögzítéséről semmilyen dokumentációt nem találtunk, a karbantartás részéről sem ismertek egyéb részletek. A csapágyház tetején található fedél felnyitásával a következő kép tárul a szemlélő elé (19. ábra). Látszik a csapágybélés rögzítő szerkezet egy része és az egészen a tengelyig levezető olajelvezető furatok. Ezekben üzem közben jól láthatóan megjelenik a hidrodinamikus kenésállapot során a kialakuló belső olajnyomás következtében távozó kenőanyag fölösleg (20. ábra). Egyfajta kenési állapot meglétét ellenőrző pontként is funkcionál.



19. ábra. Csapágybélés rögzítő szerkezet (saját fotó)



20. ábra. Olajnyomás kialakulása (saját fotó)

Folyadéksúrlódási állapot, hidrodinamikai kenés

A fenti képeken jól láthatóan igazolódik a már 1883-ban Tower által mért nyomás, nyomáseloszlás a siklócsapágyban, mely kísérleti eredményeket igazolt Reynolds differenciálegyenletével, ezzel meg megfogalmazódott a hidrodinamikai kenésállapot kialakulásának és fenntartásának feltételrendszere, melynek egyidejűleg kell teljesülnie:

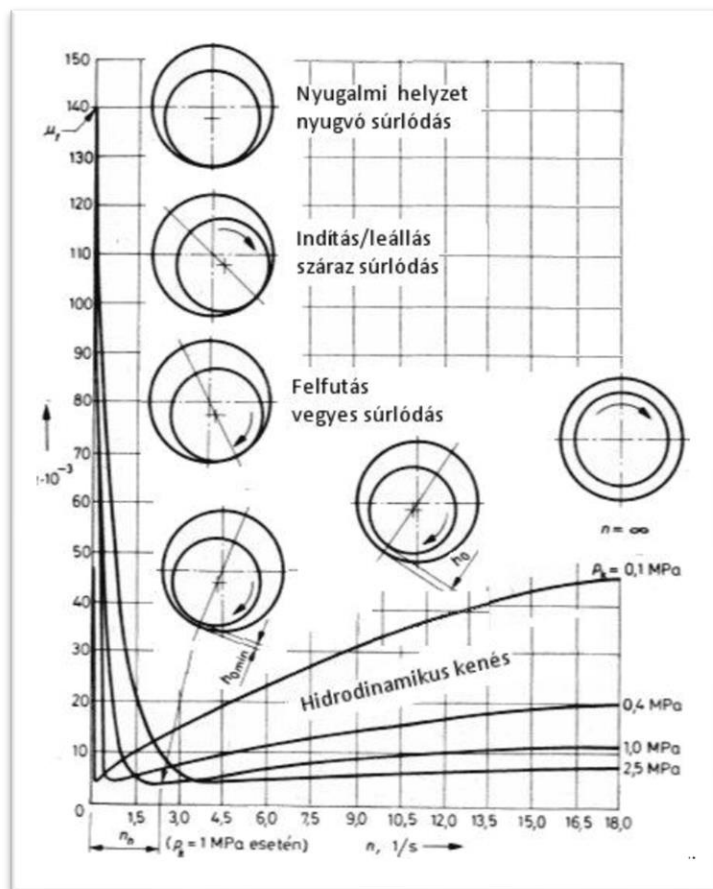
- relatív elmozdulás/sebesség az érintkező felületek között,
- szűkülő rés a mozgás irányába
- megfelelő mennyiségű és viszkozitású kenőanyag a szűkülő résben a vastagfilm kenési állapot önfenntartásához (üzemi hőfokon)
- kenőanyag tapadása az érintkező felületeken.

Jelen dolgozatnak nem része és nem is célja a siklócsapágyak tervezésével foglalkozni, de fontos a fenti felsorolásban szereplő feltételek ismerete, hiszen bármelyik pontban megfogalmazott feltétel hiánya a csapágy kenéselégtelenségéhez vezethet. A következőkben pontokba szedve részletezzük az adott csapágyra vonatkozóan a feltételek.

Relatív elmozdulás/sebesség az érintkező felületek között

A 21. ábrán kiolvasható a kerületi sebesség függvényében a súrlódási tényező és a kenési állapotok változása. Az általunk vizsgálat alá vont előtét tengely csapágyazásaiban is ezek az állapotok vannak jelen az üzemeltetés során változó fordulatszám függvényében.

- nyugvó súrlódási állapot a csapágyban akkor van, mikor a berendezés áll. Nincs elmozdulás, ekkor az asperitok érintkezése valósul meg. Nincs a csapágyfelületeken vastagfilm réteg, csupán a felületre feltapadt kenőanyag és annak tartalma (szennyezők és kopadékok) vannak jelen. Nagy szerepet játszik ebben az állapotban a megfelelő anyagpárosítás az adhéziós letapadás és kopás elkerülésében. A vizsgált siklócsapágyban az ötvözött acél és az óncsapágy párosítás az egyik legideálisabb ezen alkalmazásban.

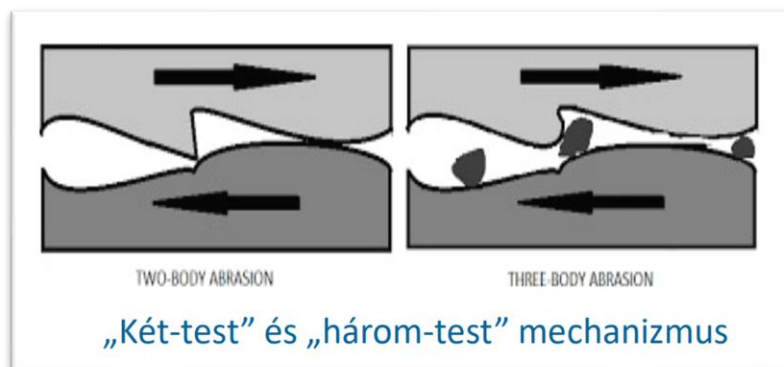


21. ábra. A súrlódási tényező változása a kerületi sebesség függvényében [Striebeck]

[Zsáry: Gépelemek II. Tankönyvkiadó, 1991]

- A berendezés indulási és leállási fázisában a csapágyazás szempontjából a legkárosabb folyamatok zajlanak le az érintkező felületek közt. Ekkor még nem beszélünk hidrodinamikai kenési állapotról, egy határkenési állapot jön létre a kenőanyagfilm vastagság tekintetében. 1-3 nm filmvastagságról beszélünk, ekkor még az érdességi csúcsok és a kenőanyagban hordozott szennyezők, kopadékok érintkezésben vannak egymással. Ha a kenőanyag nagy méretű és mennyiségű szilárd szennyezőt, kopadékot tartalmaz, akkor ezen részecskék benyomódhatnak a puha csapágyfém felületébe így valósítva meg az abrazív kopási jelenséget. Egyben az elmozdulásnak és a „harmadik test” jelenlétének köszönhetően az erozív kopás is megjelenik a tribológiai rendszerben. Tehát a csapágy az indulási-leállási fázisban az abrazív-erozív kopási mechanizmusok érvényesülnek.

- A felfutási fázisban már létrejön a felületek kismértékű eltávolodása egymástól, itt egy vegyes súrlódási állapotról beszélünk. Ekkor egy vékonyfilm réteg már kialakul, de az abrazív-erozív kopási mechanizmusok még érvényesülnek.
- A hidrodinamikai kenési állapot az üzemi fordulatszámnál érvényesül megfelelő résméret és az üzemi hőfokon is megfelelő viszkozitás esetén. Ekkor már vastagfilm kenésről beszélünk ($h > 25 \mu\text{m}$). Ebben az állapotban a kenőanyagban hordozott szilárdanyag tartalom fogja meghatározni az abrázíós-eróziós kopási folyamatokat. A kopás intenzitása nagyban függ a részecskék nagyságától, geometriájától, keménységétől, az ütközés szögétől és energiájától. A vizsgált csapágy esetén, ha a gyártási alapanyag (90-100 mikronos homokszemcse) jelen van a tribológiai rendszerben, az azt jelenti, hogy megvalósulhat a „három-test” abrázíós kopási mechanizmus is (22. ábra). Ilyenkor a kemény szemcse beágyazódik a puha csapágyfémbe és leforgácsol a tengely anyagából egy darabot.



22. ábra. „két test” és „három test” abrazív kopási mechanizmus (Kalácska Gábor
Kopásmechanizmusok előadás, Gödöllő 2023)

Relatív elmozdulás/sebesség az érintkező felületek között:

A vizsgált csapágy tervezett résméretét tekintve nincs adatunk, de a dolgozatnak nem is témája ennek kiszámítása. A csapágy eddigi élettartama igazolja a megfelelő tervezést az induló csapágytolerancia tekintetében. A csapágy szétszerelésére az üzemeltetési igények miatt nincs lehetőségünk, hogy kopási felületeket vizsgáljunk, de a csapágy „lógást” vertikális irányban egy mérőóra segítségével meg tudtuk mérni. A legnagyobb mértékű, kopásból adódó anyagvesztés a perselyen a persely legalsó pontja és a fogaskerék hajtás során fellépő

erőhatások iránya által bezárt szögtartományba esik, így a tengely függőleges irányú mozgatása során jó megközelítéssel tudunk hézagot meghatározni. Az így mért csapágyhézag 0,22 mm.

Megfelelő mennyiségű és viszkozitású kenőanyag a szűkülő részben a vastagfilm kenési állapot öfenntartásához (üzemi hőfokon):

A berendezés dokumentációi között megtalált kenőanyag táblázatból kiolvasható, hogy az előírt kenőanyag viszkozitás az előtét tengely siklócsapágyainál 220 cSt, a töltet mennyiség csapágyanként kb.5 liter. Ez látja el a csapágy kenését és egyben hűtést is a vastag öntvényház felülére továbbítva a folyadéksúrlódásból adódó hőmennyiséget. Az üzemelés során beáll egy termikus egyensúly, ami a szenzorok mérése alapján 45-50 C ° -közt realizálódik. Ezt normál üzemi hőfoknak tekinthetjük, a berendezés zárt térben való elhelyezkedése viszonylag kis üzemi hőmérsékletingadozást enged. Így jó támpontnak tekinthető a kenés meglétének ellenőrzésére a hőfok mérés alapján működő védelem, bárha felszalad a műszeren az érték a riasztási tartományba, akkor már az érintkező felületek közt létrejöhet károsodás. Ez a hővezetési veszteségeknek köszönhető, hogy késedelemmel jelenik meg a csapágyház öntvény anyagában a csapágytérben létrejövő valós hőmérséklet. Az esetlegesen megemelkedett hőmérsékletre reagálva a berendezés vezérlése azonnal megállítja a malom működését, ekkor a működő felületek közt anyagátvitel jöhet létre. Ezért érdemes a hőmérséklet riasztási határértéket az üzemi hőmérséklet közelébe beállítani, természetesen pozitív irányban.

4.2.5. Kenőanyag vizsgálati eredmények

Az alcímben bár nem szerepel, de itt térnék ki a megfelelő és tisztaságú kenőanyag kulcsfontosságú szerepére. A vizsgált csapágyház olajminősége a kis töltetmennyiség miatt nincs vizsgálva, nincs olajminta jegyzőkönyv az állapotáról. Ez nem is érné meg egyszerű gazdasági oldalról tekintve. A gyakorlat szerint időnként lecserélésre kerül az olaj az állapot ismerete nélkül. A dolgozatban törekedtem a lehető legtöbb információból meghatározni a valós állapotokat a nagymalom tribológiai rendszervizsgálata során, így a gyengepont elemzéshez készítettünk olajminta vizsgálatokat is. Teljeskörű olajminta elemzés áll rendelkezésre az adott csapágy olajáról, reológiai, fizikai jellemzőket, kopási és szennyezettségi adatokat kaptunk az akkreditált vizsgálat során (7. sz. melléklet). A táblázat jól meghatározza a szennyezők és kopadékok mértékét, de azok méretéről, geometriájáról nem szolgáltat

információkat. Ezért párhuzamosan megvizsgáltuk a kapott olajmintát optikai olajvizsgálati eszközzel is, ahol jól látszanak az előbb hiányolt adatok.

Az akkreditált olajminta vizsgálati eredmények elemzése:

A diagnosztizálás rovatban jó összefoglalást kapunk az olaj állapotáról, mely szerint a szennyezőanyag tartalom nagyon nagy, a kopadékok mennyisége is jelentős, a megemelkedett viszkozitás is probléma lehet. A viszkozitás határérték feletti 266,7 cSt értéke a jelentős kopadék- és üledéktartalomnak is betudható, a besorolási értéktől 10 %-kal térhet el pozitív és negatív irányban egyaránt ez az érték. A vizsgálati lap ferrográfiai értékeket megjelenítő táblázata jó képet ad a fémkopadékok mennyiségéről. A vastartalom nem kevés, a tengely anyagából levált részecskékből származtatható. Az ón, az ólom, az alumínium tartalmak a csapágybélés felületéről levált részecskék, melyek aránya jó képet ad a csapágybélés ötvözet összetételéről.

Fizikai jellemzők		
viszkozitás 40°C-on cSt	!	266.7
kinézet		tiszta
TAN (D 664) mg KOH/g		0.33
Kopás		
vas (Fe) ppm		75
króm (Cr) ppm		0
ón (Sn) ppm	!	38
ólom (Pb) ppm	×	465
réz (Cu) ppm		2
nikkel (Ni) ppm		0
alumínium (Al) ppm		3
Unclassified Std Dev ppm		0
kopási index (PQ)	!	116
ezüst (Ag) ppm		0
titán (Ti) ppm		0
mangán (Mn) ppm		0
Szennyeződés		
víztartalom (aquatest) %		0.00
nátruim (Na) ppm		2
lítium (Li) ppm		0
szilícium (Si) ppm		14
kálium (K) ppm		1
millipore üledék (5µ) mg/100ml	×	129.0
ISO 4406:2017		UTT*

23. ábra. Akkreditált olajmintajelentés részlet (7. sz. melléklet)

Ezek a fémkopadékok a vélt és valós abrazív-erozív kopásmechanizmusok meglétét igazolják a vizsgált tribológiai rendszerben. A szilícium nem tűnik túl magasnak a környezeti terhelés tekintetében, de mint korábban jeleztem, nem ismert a szennyezők és kopadékok mérete,

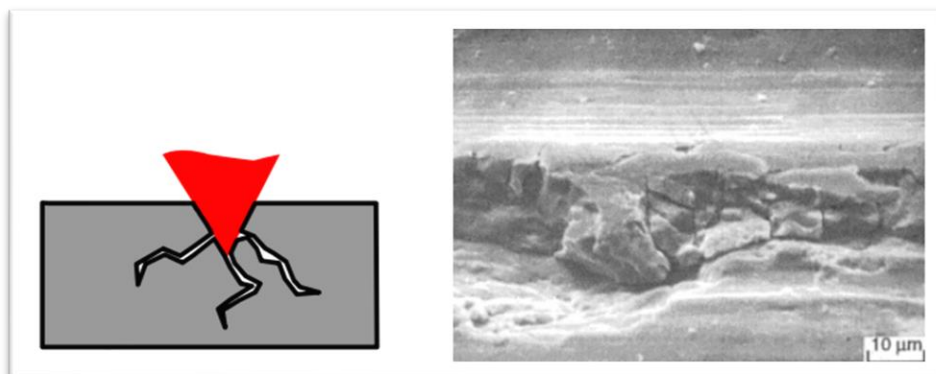
geometriája. Az ISO 4406 2017 szabvány szerinti tisztasági osztályba való besorolás mérése nem volt elvégezhető a magas szennyező és üledéktartalom miatt.

Azonos időpontban vett minta saját, nem akkreditált laborban elvégzett mintavizsgálat további hasznos információkat szolgáltat a mechanikai szilárdanyag tartalom tulajdonságainak megismerésére. Bár a ferrográfia jól meghatározza a kopadékok, szennyezők arányát és mennyiségét, de azok alakjáról, méretéről jó képet csak a mikroszkópos vizsgálatok adnak. A 24. ábrán bemutatott mikroszkópos felvétel jól alátámasztja a korábbi feltételezést, mely szerint abrázíós kopásmechanizmusok játszódnak le a csapágy érintkező felületein. A felvétel egy 0,8 mikronos szűrőpapíron felfogott szennyezők mennyiségét mutatja be 1mm x 1 mm területre szűkítve.



24. ábra. Csapágyolaj szennyezőanyagtartalom mikroszkópos felvétele (saját fotó)

Azt láthatjuk, hogy a szűrőpapír felületén sötétszürke elszíneződés adja az üledéktartalmat, mely jelentős részét a tovább aprózódott fémkopadékok alkotják. A felületen többszáz mikronos nagyságban megjelennek a külső szennyezők is, mint a környezetben megtalálható kvarchomok. Ezek mérete és alakja alkalmas a felületek csiszolására, koptatására. A puha csapágyfémbe benyomódó homokszemek képesek a kemény tengelyanyagból is forgácsokat leválasztani, ezáltal a felületen mikrorepedések is kialakulhatnak (25. ábra).



25. ábra Mikrorepedések kemény, éles csúcsok környezetében (Kalácska Gábor Kopásmechanizmusok előadás, Gödöllő 2023)

A forgó tengelyeken rétre jövő repedések szélsőséges körülmények közt akár fáradásos törések forrása is lehet. Főként akkor veszélyesek, ha a repedések úgynevezett feszültséggyűjtő zónákban keletkeznek, mint például tengelyvállak. Ezért érdemes időnként a tengely repedésvizsgálatát elvégezni.

A kenőanyagok tisztaságát több szabványban rögzített vizsgálati módszerrel is meg lehet határozni, ekkor számszerű adatok állnak a rendelkezésre. A mérnöki gyakorlatban az adatok alapján lehet döntéseket hozna a beavatkozások szükségességéről és mértékéről. Az olajminta vizsgálatok terén általában két féle számmal találkozhatunk, az egyik az NAS, a másik az ISO szerinti besorolás. Az NAS 1638 szabvány (National Aerospace Standard), melyet az USA fejlesztett ki repüléstechnikai és űrkutatási területek támogatására, ma is használatban van. Egyetlen számmal határozza meg a tisztaság fokát 100 ml-ben található részecskeszám alapján. Előnye, hogy egyszerű, de ha bármely részecskeméret tartomány meghaladja a megengedett darabszámot, leminősíti a teljes vizsgált anyagot (26. ábra).

NAS 1638 Cleanliness Code					
Class	Maximum Number of Particles / 100 ml				
	5 – 15	15 – 25	25 – 50	50 – 100	> 100
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1 000	178	32	6	1
3	2 000	356	63	11	2
4	4 000	712	126	22	4
5	8 000	1 425	253	45	8
6	16 000	2 850	506	90	16
7	32 000	5 700	1 012	180	32
8	64 000	11 400	2 025	360	64
9	128 000	22 800	4 050	720	128
10	256 000	45 600	8 100	1 440	256
11	512 000	91 200	16 200	2 880	512
12	1 024 000	182 400	32 400	5 760	1 024

www.ControlandInstrumentation.com

26. ábra. NAS 1638 tisztasági osztály kódtáblázata (Controlandinstrumentation.com, 2023)

Európában és az iparban használatos tisztaságot meghatározó szabvány az ISO 4406, 2007. Ez a szabvány 4,6 és 14 mikronos tartomány feletti szilárdanyag mennyiséget határoz meg (27. ábra).

ISO 4406 Cleanliness Code		
ISO Code Number	No of Particles per ml	
	More Than	Up to and including
24	80 000	160 000
23	40 000	80 000
22	20 000	40 000
21	10 000	20 000
20	5 000	10 000
19	2 500	5 000
18	1 300	2 500
17	640	1 300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2.5	5
8	1.3	2.5
7	0.64	1.3
6	0.32	0.64

www.ControlandInstrumentation.com

27. ábra. ISO 4406 tisztasági osztály kódtáblázata (Controlandinstrumentation.com, 2023)

Az osztályokba való besorolás során lépésenként felez, vagy épp duplázza a szennyezők darabszámát a leolvasási iránytól függően. Ez azt jelenti, hogy egy kód eltérés akár 4-szer annyi szennyezőanyag tartalmat is jelenthet, ezért rendkívül fontos a berendezésünk üzemeltetése során figyelembe venni a tisztasági követelményeket.

Különböző berendezések, gépelemek, alkalmazások tisztasági követelménye, igénye is különböző. A nagyon durva, nagy teljesítményű, nagy hézagokkal és illesztésekkel rendelkező ipari berendezések kevésbé érzékenyek a szennyezőkre, de ahogy haladunk a pontosabb illesztések, irányába, úgy növekszik a folyadékokkal szemben támasztott tisztasági követelmény is. A Society of Tribologists and Lubrication Engineers 2021-es cikkben lévő ajánlásból kiolvasható, hogy vizsgált áthajtótengely csapágyazás kenőolaj tisztaságát érdemes 18/16/14 tisztasági osztályban tartani. Ugyanitt megtalálhatjuk az tisztaság élettartamra gyakorolt hatását bemutató táblázatot is gépelemtípusok szerinti bontásban (28.ábra).

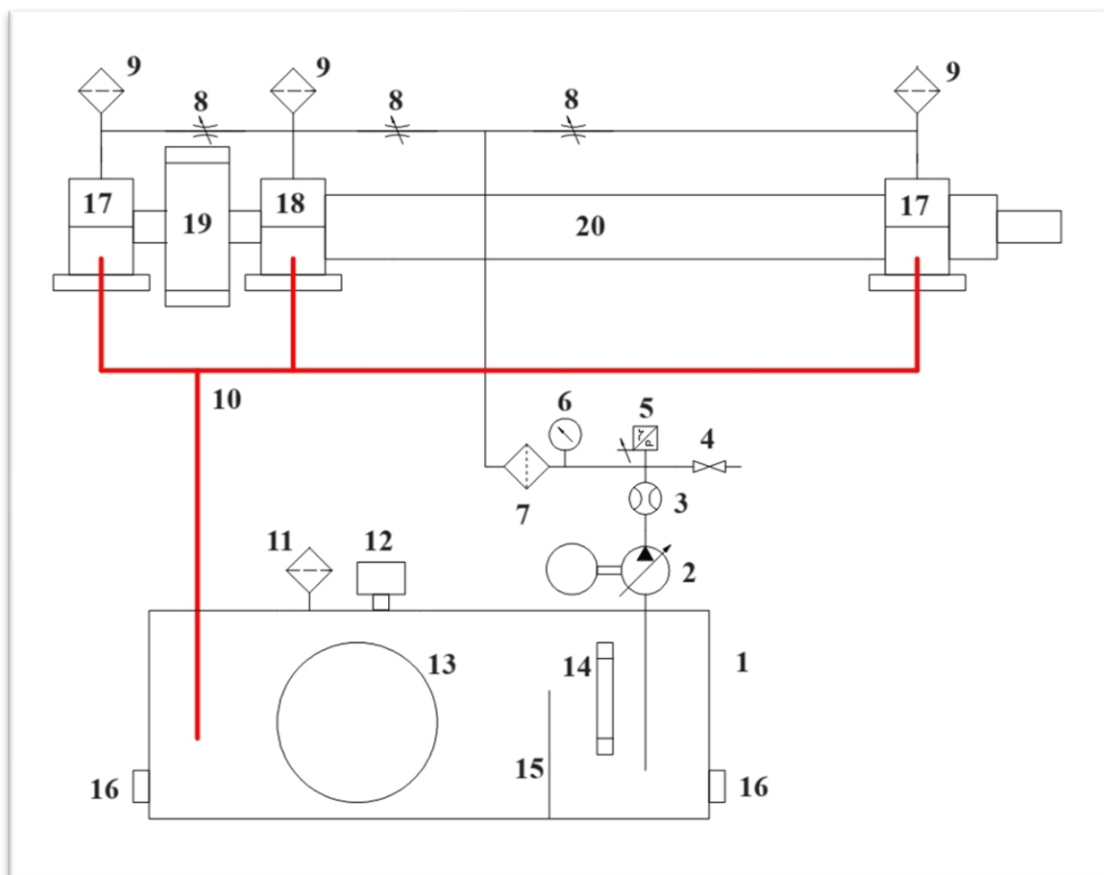
LET – Cleanliness Level ISO Codes, Complete											
Current Machine Cleanliness (ISO Code)	Expected Cleanliness level (ISO Code)										
	21/19/16	20/18/15	19/17/14	18/16/13	17/15/12	16/14/11	15/13/10	14/12/9	13/11/8	12/10/7	
24/22/19	2 1.6 1.8 1.3	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	6 3 3.5 2.5	7 3.5 4.5 3	8 4 5.5 3.5	>10 5 7 4	>10 6 8 5	>10 7 10 5.5	>10 >10 >10 8.5	
23/21/18	1.5 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.4	3 2 2.2 1.6	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 3.5 4.5 3	9 4 5 3.5	>10 5 7 4	>10 7 9 5.5	>10 10 10 8	
22/20/17	1.3 1.2 1.2 1.05	1.8 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.4	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 4 5 3	9 5 6 4	>10 7 8 5.5	>10 9 10 7	
21/19/16		1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.2 1.7	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 4 5 3.5	9 6 7 4.5	>10 8 9 6	
20/18/15			1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 4.6 5.5 3.7	>10 8 8 5	
19/17/14				1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	6 3 4 2.5	8 5 6 3.5	
18/16/13		Hydraulics and Diesel Engines	Rolling Element Bearings		1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.3 1.8	4 3.5 3.7 3	6 4 4.5 3.5	
17/15/12						1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.4	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.3 1.8	4 2.5 3 2.2	
16/14/11		Journal Bearings and Turbo Machinery	Gear Boxes and others				1.3 1.3 1.3 1.2	1.6 1.6 1.6 1.4	2 1.8 1.9 1.5	3 2 2.3 1.8	
15/13/10								1.4 1.2 1.2 1.1	1.8 1.5 1.6 1.3	2.5 1.8 2 1.6	

28. ábra. Tisztaság és élettartam összefüggések (STLE.org honlap, 2021)

4.3. Javaslatok

4.3.1. Konstruktív módosítások, szűrőtechnológiai fejlesztések

Az áthajtótengely csapágyházak méretéből adódóan jelenleg nincs olajmintavizsgálat, időszakos olajcserék tartják fenn az állapotot. A korábban elvégzett olajminta vizsgálatok arra mutatnak rá, hogy az olajcserét gyakrabban érdemes végrehajtani az abráziv kopás mérséklése érdekében. Pontosán nincs meghatározva üzemóraára a csere intervallum semmilyen dokumentációban jelenleg. Túl gyakori olajcserék nem hajthatók végre az idő és humán erőforrás hiányában, de az látható, hogy a jelenlegi gyakorlaton érdemes módosítani, fejleszteni. Egyik biztonságot növelő fejlesztési mód a kenőanyag karbantartási eszközfejlesztés. A csapágyak térbeli elhelyezkedése lehetővé tesz egy állandó „olajcserét” biztosító LUBFILTER® cirkulációs szűrőrendszer telepítését (29.ábra).



29. ábra. LUBFILTER® szűrőrendszer hidraulikus kapcsolási rajz (saját vázlat)

Sorszám	Megnevezés	Sorszám	Megnevezés
1.	Olajtartály	11.	Tartály légzőszűrő
2.	Tápegység	12.	Olajbetöltő nyílás
3.	Áramlásjelző	13.	Tartály oldalsó tisztító nyílás
4.	Olajmintavételi csap	14.	Olajsint ellenőrző ablak
5.	Nyomáskapcsoló	15.	Tartály terelő lemez
6.	Nyomásmérő óra	16.	Olajleeresztő csonk
7.	Mélységi szűrő	17.	Hidrodinamikus úszócsapágyak
8.	Fojtószelepek	18.	Hidrodinamikus fix csapágy
9.	Csapágyház légzőszűrők	19.	Meghajtó fogaskerék
10.	Visszafolyó csővezeték	20.	Áthajtótengely

2. sz. táblázat Hidraulikus rendszerelemek megnevezései

A hidraulikus kapcsolás elemeit (2. sz. táblázat), a rendszerteljesítményt úgy kell megtervezni, hogy ne okozzon zavart az eddigi hidrodinamikus kenési állapot fenntartásában. Biztosítani kell a csapágyházba bejutó, megtisztított kenőolaj mennyiségének szabályozhatóságát és a szabad visszafolyást a csapágyházból az eredeti olajsint megtartása mellett. A tartályba visszafolyó olaj ülepítési és légelvállási feladatokat is ellát, ugyanakkor a ráépített tápszivattyú folyamatosan táplálja a csapágyakat tiszta kenőanyaggal megfelelő kontroll mellett. A rendszert úgy kell kiépíteni, hogy meghibásodása esetén sem kockáztatja a korábbi hidrodinamikus kenési állapot kialakulásának fenntartását.

A rendszer átalakításával lecsökken a bejutó por, szennyezők mennyisége a csapágy kémlelőfedél korszerű légzőszűrővel való kiváltásával, illetve egy folyamatos tiszta olaj öblítés biztosítja a csapágyon belüli tisztaságot. A rendszer teljesen automatizálható a golyósmalom működésével, de az egyébként is kis energiaigényű tápegység nem jelent kimagasló költségnövekedést a várható eredményekkel szembe állítva.

4.3.2. Karbantartásszervezés korszerűsítési javaslat

A szakdolgozat készítés során begyűjtött információk, a vizsgálati eredmények alapján megfogalmazható az az igény, hogy a karbantartásszervezés támogatását lehet fejlesztési lehetőségekkel erősíteni, egyszerűbben kezelhető adatbegyűjtéssel és információ rendelkezésreállással támogatható a jelenlegi karbantartási folyamatrendszer. A 4.2.2-ban megvizsgált nagymalom karbantartási mátrix jelentős humán erőforrás igénnyel bír, tekintve, hogy a feladatok kiadását követő végrehajtást le kell „könyvelni”, ami korábban papír alapon történt. Ezt az utóbbi időben táblázatokban vezetve igyekszik megoldani a karbantartás irányítása, de ez jelentős időigénnyel jár, csak a meglévő információk rögzülnek. További hátránya, hogy csak az elvégzett feladatok dokumentálása hajtható végre, tervezési feladatokban nehezen használható a jelenleg alkalmazott módszer.

A nagymalom üzemeltetése során van szoftveres támogatás, berendezésvédelmi funkciókat is tartalmaz, de az előre tekintő, megelőző karbantartásra más támogatási rendszerben kell gondolkodni. A nagymalomra kivetítve külső szakmai támogatás bevonásával megkezdtem egy szoftver fejlesztését, amely kiterjed az adatgyűjtés, a feladatmeghatározás, az előrejelzés és egyéb karbantartási tevékenységeken kívül még a kenőanyag gazdálkodás logisztikájára is. Az alkalmazás három fő komponensből áll:

- Központi alkalmazás: feladata a szenzorokról érkező adatok, mobil alkalmazásból érkező adatok tárolása adatbázisba, illetve az ott tárolt adatok megosztása a webes és mobil alkalmazásokkal, külső (vállalatirányítási) rendszerekkel.

- Karbantartási felület: Egy webes alkalmazás, amely megjeleníti a karbantartási információkat, szenzor adatokat, valamint lehetőséget nyújt a karbantartási munkák és hozzáférési jogosultságok kiosztására, adminisztrálására.

- Mobil felület: A végrehajtó személyzet által használt alkalmazás, ami a QR kód alapú kenési pont azonosítást és a tevékenység dokumentálását segíti elő.

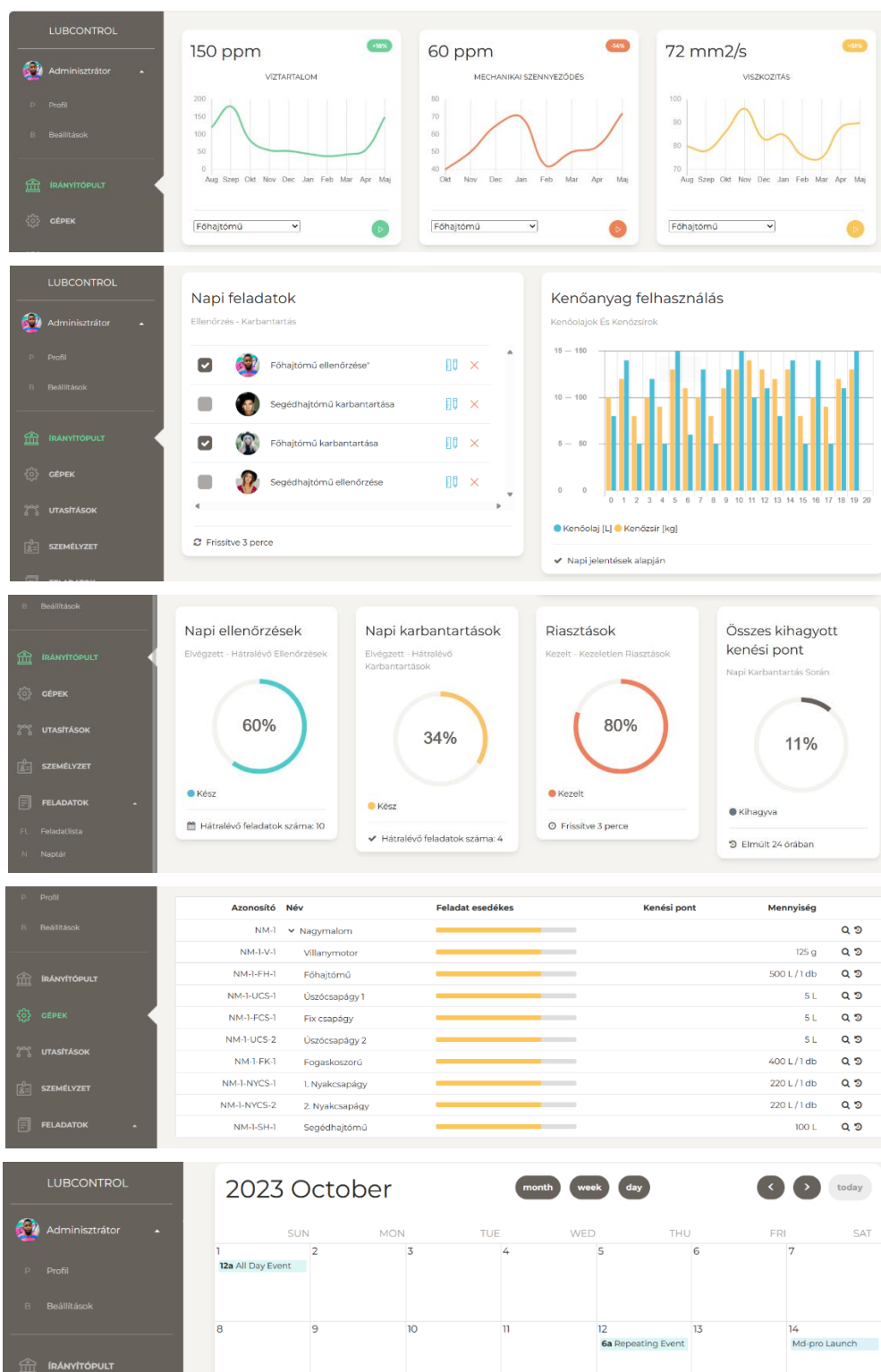
A szoftverben figyelembe vettem a nagymalom kenési pontjainak munkaigényét, azok gyakoriságát, végrehajtók és ellenőrző személyek megjelölésének fontosságát. A begyűjtött adatokhoz időpontokat kapcsolva ellenőrizhetővé válik a végrehajtás, előre kiírható és ütemezhető feladatok programozhatók, rögzíthetővé válik a kenőanyag fogyás, a veszélyes

hulladék képződés. Különböző hierarchiai szinteken különböző adathozzáférési jogosultságokat lehet definiálni. A szoftver alkalmas az elmaradt kenéstechnikai feladatokról értesítést küldeni a karbantartás felé, de időben figyelmeztetéseket is küldhet közeledő munkálatokról, mint például olajcserék, olajmintavételek. A nagymalom kenési pontjaihoz kapcsolódó adatok, információk egy előre megírt szövegezéssel megjelennek a karbantartás vezetés információs felületein, így igazából az adat-szöveg rögzítést csak egyszer szükséges megtenni. A szoftver a működése során egy QR kód beolvasással ismeri fel a kenési pontot, a kezelő vagy karbantartó azonnal láthatja az információkat az elvégzendő feladatokról, tevékenységekről. Akár egy mobil telefonra telepített applikáció segítségével rögzítheti az aktuálisan elvégzett feladatokat (olajsint ellenőrzés, olajmintavétel, stb.), amely hálózaton keresztül megjelenik a karbantartás munkafelületén. Minden tevékenység rögzítés, jóváhagyás, ellenőrzés csupán egy érintés vagy „klikkelés” idejét veszi igénybe a munkavállaló munkaidejéből az előre beírt szövegezéseknek köszönhetően. A folyamat a legegyszerűbben levezetve a vizsgált csapágó esetén a következő alaptevékenységeket jelenti.

- A végrehajtó a QR beolvasóval beszkeneli a kenési pontra (csapágyházra) rögzített kódot.
- A szoftver feldobja az aktuális munkafeladatot (olajsint ellenőrzés) a gépegységre vonatkozóan.
- A végrehajtó ellenőrzi az olajsintet, kijelöli a „MEGFELELŐ” vagy „NEM MEGFELELŐ” mezőt az eszközön.
- Ha megfelelő, a szoftver a központi adatbázisba rögzíti az időt, a személyt, aki belépett az applikációba. Ezek az adatok megjelennek a karbantartási felületen is.
- Ha nem felelt meg az olajsint, a program kéri az utántöltés igazolását is mennyiségi meghatározással. Ekkor már a készletvezérlési is kaphat adatot a mennyiségek figyeléséhez.

A fentiekben leírt folyamat 2-3 gombnyomás segítségével megoldotta az adminisztrációt, az információ szolgáltatást, az következő feladatütemezések kezdeti időpontját, a készletgazdálkodás támogatását is. Az adatokat vállalatirányítási rendszerben, kenési programokban is felhasználhatjuk.

A szoftver teljes jogosultságú felületén alapfunkciókban megjeleníthetők online üzemeltetési adatok, aktuális személyzeti információk, statisztikák (30. ábra).



30. ábra. LUBCONTROL szoftver alapmenü megjelenítések (saját fejlesztés)

Látható a feladatok listája, annak elvégzése, elmaradt feladatok. Gépekre, kenési pontokra előírhatók munkatevékenységek, előre betáplálhatók a kapcsolódó adatok (olajtípus, mennyiség, csere időpontok, stb...). Előre programozhatók a feladatok naptáron keresztül akár hónapokra évekre, melyekhez értesítések küldése, riasztások is rendelhetők. Az informatikai lehetőségek nem szabnak határt a karbantartás tervezés folyamatában, bármilyen jellegű, helyi adottságokra épülő igény programszintre leképezhető. Nagyban elősegíti a fluktuáció okozta információ, tudásvesztés megszüntetését, lecsökkenti az emberi tényezőkben rejlő tévedés lehetőségét.

Tervezett nagymalom karbantartási mátrix					
Tevékenység	Ütemezés				
	Napi	Heti	Havi	Éves	Egyéb gyakoriság
Olajsintek ellenőrzése (Hajtómű, nyakcsapok, áthajtó tg.csapágyházak) LUBCONTROL	X				
Villanymotor kenőrendszer ellenőrzése LUBCONTROL	X				
Hőkamerás hibakeresés		X			
Orbitpálya mérések siklócsapágyaknál (SPM)					Online
SPM rezgésdiagnosztikai mérések, (hajtómű, motor)					Online
Olajmintavételek LUBCONTROL					Program szerint
Olajcserék LUBCONTROL					Eredmények szerint
Szűrőkarbantartások LUBCONTROL					Program szerint
Fogaskoszorú csavarok ellenőrzése, utánhúzása, kopó elemek cseréje				X	
Kopóelemek ellenőrzése				X	
Motor, hajtómű lefogató csavarok ellenőrzése					Szükség szerint
Tengelykapcsoló csavarok ellenőrzése			X		
Repedésvizsgálatok				X	
Egytengelyűség beállítás ellenőrzése					Szükség szerint
Vízrendszer szűrők ellenőrzése LUBCONTROL		X			
Villamos berendezések, indítóellenállás ellenőrzése				X	
Indítóellenállás olajsint ellenőrzése, olajminta LUBCONTROL			X		

3. sz. táblázat Tervezett nagymalom karbantartási mátrix

A karbantartás fejlesztése során egyéb technikai támogatások is rendelkezésre állnak, azok rendszeres, folyamatos használata megfelelő felkészülési időt ad a karbantartás tervezésre, beszerzések lebonyolítására, előkészületekre. A golyósmalom prediktív karbantartását támogatja a szakirodalmi feldolgozásban leírtak szerinti siklócsapágy orbitpálya mérések, rezgésdiagnosztikai mérések a hajtóművek, villanymotorok esetén. Modern hőkamerák

segíthetik a problémás helyek felderítését, megelőzve a súlyos és költséges üzemzavarokat. Ezen eszközök programozott használata mellett kiegészíthető a korábban bemutatott nagymalom karbantartási táblázat (3. sz. táblázat).

A táblázatban az új lehetőségek bemutatása mellett a már meglévő karbantartási feladatokat is kiegészíti szoftveres támogatással, ami segítségével trendeket lehet felállítani. Ez a rövid és középtávú karbantartási költségtervezéseknél igen fontos tervezési alap. Segít a felesleges kiadások mellőzésével megtakarításokat elérni, mely pénzeszközök biztonságfokozó karbantartási technológiák bevezetését és fenntartását támogathatják.

5. Gazdasági számítás

A költségkalkuláció során feltételezem, hogy minden alkatrész, eszköz és a karbantartáshoz szükséges erőforrás rendelkezésre áll a meghibásodás pillanatában. Az áthajtótengely csapágyak meghibásodása esetén a következő karbantartási feladatok jelentkeznek:

- Teljes csapágytönkrementel esetén előfordulhat a csapágybélések rögzítésének elmozdulása, a félcsészék egymásba csúszása, beékelődése. Az ilyenkor létrejövő befeszülés következtében a csapágyházak sérülése is valószínű. A rendszerdinamika és impulzus következtében a leggyengébb elemek törése várható, a tengelykapcsoló, mint biztonsági pont csak a tengely beállítását követően fogja a kapcsolatot bontani (dugós tengelykapcsoló). Ennek következtében nem csak a csapágybélések cseréjét kell a költségekbe tervezni, hanem a csapágybélésrögzítést és a házat is meg kell venni, le kell gyártani. A szinkronkopás miatt mindhárom tengelytámasz felújítása, cseréje szükséges.
- Egy hirtelen megállás következtében a tengelykapcsoló javítása is várható kiadás.
- A tengely ütés és repedésvizsgálata elengedhetetlen összeszerelés előtt. Jó esetben egy futófelület felszabályozással a tengely tovább használható.
- Nem kizárt a meghajtó kisfogaskerék sérülése sem, jobb esetben a fogaskoszorú szegmens nem sérül. Itt is érdemes repedésvizsgálatokat végezni.
- A számítás során a lehető legrövidebb javítási időket veszem figyelembe, a karbantartásról kapott, aktuális és becsült árakkal számolok. Ezt állítom szembe a tervezett LUBFILTER[®] cirkulációs olajkarbantartási eszköz telepítés árával. Ennek oka, hogy az egyéb korábban felsorolt diagnosztikai rendszerek, eszközök egyedi ajánlatok alapján kerülhetnek a vállalat karbantartási területére szolgáltatás vagy beruházási költségek terhére. Itt az árakat a rendszerek nagysága, szolgáltatások kiterjesztése erősen befolyásolja, becslésekkel sem lehet meghatározni. Továbbá a prevenciós eszközök megtérülése mindig feltételezésekre épül, akkor lehet számokat összevetni, ha ismert a kvázi üzemzavarok összköltsége, melyeket sikerült kiszűrni például egy hőkamera segítségével. Nem veszem figyelembe a karbantartást segítő LUBCONTROL[®] szoftver beintegrálásának költségeit sem az előzőekben megnevezett okok miatt. Csak a pillanatnyilag feltárt, meglévő probléma és annak megoldása kerül gazdasági mérlegre.
- A költségek meghatározása (4. sz. táblázat) az feltételezett javításban résztvevő cégek tájékoztató jellegű árajánlatait, gép és munka rezsioradíjakat vettem alapul.

A táblázatok eredményei egyértelműen rámutatnak arra a kockázatra, hogy egy siklócsapágy tönkremenetel a legrövidebb javítási időtartam esetén is rendkívül magas költségekkel járhat. Egy kétműszakos termelés kiesésből származó veszteség a javítás költségétől egy nagyságrenddel nagyobb kiadást is jelenthet. Ha ezen termelés kiesés költségeit kihagyjuk a számításból, akkor is kedvezőbb számot kapunk egy preventív olajkarbantartási eszköz telepítési költségként, mint maga egy ilyen nagyságrendű javítás. Azt is figyelembe kell venni, hogy egy csapágyhiba esetén nem állnak rendelkezésre az alkatrészek, mivel nincs semmilyen dokumentáció, melyről előre le lehetne gyártani a béléseket, rögzítő szerkezeteket. A tengely sérülése esetén is a nyersanyag beszerzésétől indulhatna a javítási folyamat, ami több hónap is lehet. Ennek az időszaknak a termelés kiesésből származó vesztesége leírhatatlan.

Csapágytönkremenetel javításából származó költségek				
Sorszám	Megnevezés	Mennyiség	Egységár HUF)	Költség (HUF)
1.	SKF SD548 csapágyház beszerzés	3 db	450.000	1.350.000
2.	Csapágybélésrögzítő szerkezet gyártás, minta alapján	3db	320.000	960.000
3.	Csapágyfém öntés egyedi méret szerint	3 db	485.000	1.455.000
4.	Csapágycsere szerelési munkálatai (munkaóra)	72 óra	8.000	576.000
5.	Daru (munkaóra)	16 óra	32.000	512.000
6.	Tengely, fogaskoszorú, fogaskerék repedés-ütésvizsgálatok (munkaóra)	16 óra	15.000	240.000
			Összesen:	5.093.000

LUBFILTER® egyedi cirkulációs olajkarbantartási rendszer telepítési költségek				
Sorszám	Megnevezés	Mennyiség	Egységár HUF)	Költség (HUF)
1.	LUBFILTER® egyedi olajkarbantartási rendszer tervezése, gyártása a nagymalom áthajtótengely csapágyakra	1 db	2.855.000	2.855.000
2.	LUBFILTER® egyedi olajkarbantartási rendszer telepítése, beüzemelése a nagymalom áthajtótengely csapágyakra	1TE	480.000	480.000
3.	A rendszer 3 éves karbantartási költsége, szűrőbetétek.	12 db	38.000	456.000
			Összesen:	3.791.000

4. sz. táblázat. Gazdasági számítások

6. Összefoglalás

A dolgozat témájának a Xella Magyarország Kft. halmajugrai Ytong falazóelemgyár telephelyén szolgálatban lévő 1962-ben üzembe helyezett homokiszap malom, helyi megnevezés szerint nagymalom tribo-fejlesztés kidolgozását választottam. Megvizsgáltam a cég tevékenységét, a golyósmalom kapcsolódását a gyártási folyamatba és megnéztem a kenéstechnika helyét a karbantartásban. A jelenleg gyakorlatban végrehajtott karbantartási tevékenységeket táblázatban foglaltam össze a nagymalom tekintetében, ez adott alapot a további fejlesztési lehetőségek kidolgozására, bemutatására.

A berendezés mozgásviszonyait végig követve beazonosítottam a nagymalom tribológiai pontjait és kiválasztottam a gyengepontot a rendszerben. A nagymalom kenéstechnikai szempontból legérzékenyebb eleme az áthajtótengely hidrodinamikus, merülőkenéses, „nyitott” csapágházás siklócsapágházása, mely biztosítja a tengely axiálisan fogott forgó mozgását a hajtómű és a malomtest között. A csapágház gépelemét tribológiai rendszerbe helyezve megkerestem a problémás rendszer elemeket, kockázatokat. Megnéztem a csapágház mozgásviszonyait, a csapágház toleranciát, az alkalmazott kenőolaj típusát és állapotát, és az ehhez kapcsolódó jelenlegi karbantartási tevékenységeket. A vizsgálatok során az olaj állapota, annak jelenlegi felügyelete üzemviteli kockázatokat rejthet magában. Az akkreditált vizsgálatok nagy mennyiségben mutattak ki csapágház kopadékokat, a mikroszkópos vizsgálatok pedig megerősítették a gyártási alapanyag (kvarchomok) bejutását a csapágházba, kenőanyagba. Erős abrazív kopási mechanizmusok játszódnak a működő felületek közt, köszönhetően a csapágház korabeli kialakítású tömítésrendszerének és feltöltőfedél kialakításának. A kis olajtöltet miatt ütemezett olajkontrol nincs rendszeresítve a vizsgált csapágház esetén, a gyakoribb olajcsere igénye egyértelműen mutatkozik. A csapágház minimális szerkezeti módosításával folyamatos üzemű olajkarbantartási eszköz telepítésére tettem javaslatot, mely képes a rendszer kenési állapotának megváltoztatása nélkül megfelelő tisztaságot biztosítani az érintkező felületek közé bejutó olajnak, így növelve az élettartamot, csökkentve a meghibásodási kockázatokat. További karbantartást támogató eszközöket is bemutattam a dolgozatban, melyek segítségével jóval az üzemzavarok bekövetkezése előtt már információhoz juthat az üzemeltető. Ilyenek a rezgésdiagnosztika-i, a tengelyközéppont orbitpálya mérési módszerek, de a hőkamerás detektálás is. A tribo-rendszer fejlesztés egyik kulcsfontosságú eleme a karbantartás fejlesztése is, hogy a meglévő kenéstechnikai feladatokat

miként lehet egyszerűsíteni és egyben kiterjeszteni minden olyan tényezőre, mely a meghibásodási kockázatokat csökkenti. Kenéstechnikai karbantartási szoftver fejlesztését kezdtem meg a nagymalom tribológiai rendszerpontjaira illesztve, mely a mai informatikai eszközök segítségével gyorsítja az elvégzett feladatok adatrögzítését és elvégzendő feladatok ütemezését. Informálja a felhasználót az adott kenési ponthoz tartozó tevékenységekről és azok gyakoriságáról, a szükséges anyagok típusáról, személyhez csatolva a végrehajtás felelősségét is. Központi adatbázisképzéssel csökkenti az adminisztrációs feladatokat és egyben támogatja a döntéshozatalt naprakész és gyorsan hozzáférhető információk révén.

A dolgozat befejezéseként gazdasági számításban mutattam be a változtatások megtérülését egy kvázi üzemzavar szimulációval. Itt az abrázios hatások következtében bekövetkező teljes csapágytönkremenetel költségeit állítottam szembe egy olajkarbantartási eszköz telepítés költségeivel. A számítások egyértelműen kimutatták, hogy egy célirányos preventív eszközfejlesztés gyorsan megtérülő beruházás.

A dolgozatban igyekeztem a gép és az ember oldaláról is fejlesztési lehetőségeket bemutatni, a konstrukció és a karbantartási gyakorlat minimális változtatásával gépet és embert kímélő megoldási lehetőségek terén adtam iránymutatást.

7. Summary

I chose the tribo-development of a sand mud mill, called large mill as the topic of my thesis, which was put into operation in 1962 at the site of the Ytong masonry unit factory in Halmajugra of Xella Magyarország Kft. I examined the company's activities, the connection of the ball mill to the production process and the place of lubrication technology in maintenance. I have summarized the maintenance activities currently carried out in practice with regard to the large mill in a table, this provided a basis for the development and presentation of further development opportunities.

By following the movement conditions of the equipment, I identified the tribological points of the large mill and selected the weak point in the system. The most sensitive element of the large mill from the point of view of lubrication technology is the hydrodynamic, immersion-lubricated sliding bearing of the drive shaft with an "open" bearing housing. This bearing ensures the axial rotating movement of the shaft between the gear unit and the mill body. By placing the machine components of the bearing in a tribological system, I looked for problematic system components and risks. I looked at the bearing motion conditions, the bearing tolerance, the type and condition of the lubricating oil used, and the current maintenance activities related to this. During the tests, the condition of the oil and its current supervision may contain operational risks. The accredited lubricant tests revealed a large amount of bearing metal chips, and the microscopic tests confirmed the entry of the manufacturing raw material (quartz sand) into the bearing space and lubricant. Strong abrasive wear mechanisms take place between the working surfaces, thanks to the contemporary sealing system of the bearing housing and the design of the filler cap. Due to the low oil level, the scheduled oil control is not regularized in the case of the tested bearing, the need for more frequent oil changes is clearly evident. With minimal structural modification of the bearing housing, I proposed the installation of a continuously operating oil maintenance device, which is able to ensure adequate cleanliness of the oil entering the contact surfaces without changing the lubrication state of the system. This technology increasing the service life and reducing the risk of failure. I also presented additional maintenance support tools in the thesis, with the help of which the operator can get information long before malfunctions occur. These include vibration diagnostics, axis center orbital path measurement methods, but also thermal camera detection. One of the key elements of tribo-system development is the development of maintenance, how existing

lubrication technical tasks can be simplified and at the same time extended to all factors that reduce the risk of failure. I started the development of lubrication technical maintenance software, adapted to the tribological system points of the large mill, which speeds up the data recording of completed tasks and the scheduling of tasks to be performed with the help of today's IT tools. It informs the user about the activities associated with the given lubrication point and their frequency, the type of materials needed, and also assigns responsibility for the implementation to the person. The usage of central database reduces administrative tasks and at the same time supports decision-making through up-to-date and quickly accessible information.

At the end of the thesis, I presented the payback of the changes in an economic calculation with a quasi-failure simulation. Here I contrasted the costs of complete bearing failure due to abrasion effects with the costs of installing an oil maintenance device. The calculations clearly showed that a targeted preventive tool development is a quick-payback investment.

In the thesis, I tried to present development opportunities from both the machine and the human side, with minimal changes to the construction and maintenance practice, I gave guidance in the field of solution options that protect the machine and man.

8. Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

Alulírott Szabó Attila, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Kenéstechnikai és tribo-diagnosztikai szakmérnök szak levelező tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Szakdolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő, 2023. 10. 27.



Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Szakdolgozatot áttekinttem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Szakdolgozatot záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő, 2023. 10. 27.



Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A Szabó Attila hallgató (Neptun azonosítója: ZOC9J6) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Gödöllő, 2023. 10. 27.


Belső konzulens

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: Szabó Attila
A Hallgató Neptun kódja: ZOC9J6
A dolgozat címe: Golyósmalom kenésállapotok vizsgálata, tisztaság és élettartam összefüggések elemzése
A megjelenés éve: 2023
A tanszék neve: Műszaki Intézet

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: Gödöllő, 2023. 10. 27.


Hallgató aláírása

TITKOSÍTÁSI KÉRELEM

Alulírott **Szabó Attila**, (Neptun-kód: **ZOC9J6**) Kenéstechnikai és tribo-diagnosztikai szakmérnök szak hallgatója kérelmezem, hogy a **Golyósmalom kenésállapotok vizsgálata, tisztaság és élettartam összefüggések elemzése** című szakdolgozatom (konzulens neve: Dr. Kalácska Gábor) a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Tanulmányi és Vizsgaszabályzat (a továbbiakban: TVSZ) 95. § (5) bek. c) pontja alkalmazásával titkosításra kerüljön. Tudomásul veszem, hogy kérelmem jóváhagyása esetén a dolgozat titkosítása a TVSZ 95. § (5) bek. c) pontja alapján a sikeres védést követő 5 évre szól.

Kelt: Gödöllő, 2023. 09. 12.



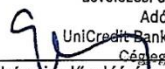
a hallgató aláírása

Alulírott **Glück Gábor**, műszaki ügyvezető, mint a Xella Magyarország Kft. YTONG Falazóelemgyár, Halmajugra külterület képviselője kérem a Xella Magyarország Kft. YTONG Falazóelemgyár által nyújtott adatok felhasználásával Szabó Attila (Neptun-kód: ZOC9J6) által készített, **Golyósmalom kenésállapotok vizsgálata, tisztaság és élettartam összefüggések elemzése** című szakdolgozat titkosítását.

Kelt: Gödöllő, 2023. 09. 12.

Xella Magyarország Építőanyagipari Kft.
Székhely: H-1139 Budapest, Forgách utca 11-13.
Levelezési cím: H-3201 Gyöngyös, Pf. 155.
Adószám: 10719046-2-44

UniCredit Bank: 10918001-00000002-29900031
Céginformációs Kft. 01-09-164665



a képviselő aláírása

A titkosítási kérelmet ENGEDÉLYEZEM / NEM ENGEDÉLYEZEM.

Elutasítás esetén indokolás: _____

Kelt: Gödöllő 2023.10.26.



szakfelelős aláírása

9. Irodalomjegyzék

Békéssy László Bevezetés a hidraulikába (HIDROSZTATIKA 2011)

Bosch_rexroth AG, A Hidraulika gyakorlata, A fluidtechnika-hidraulika alapjai és elemei oktatási kiadvány (2008)

Eleőd András, Kenésállapotok 2023. 1. félévi előadás jegyzet

Homolya György, SPM Instrument Orbit elemzés oktatási segédlet 2023

Kalácska Gábor, Kenés technika és karbantartás MATE 2023

Péter József, Géptervezés alapjai (Miskolci Egyetemi Kiadó, 2008)

Terplán Zénó, Gépelemek I. (Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 10. kiadás)

Ungár Tamás-Vida András, Segédlet a gépelemek I-II kötet (Nemzeti Tkk, Budapest)

Valasek István, Tribológia 1 A tribológia alapjai, (Budapest, 2003)

Valasek István, Tribológia 2 Kenőanyagok és vizsgálataik (Budapest 2003)

Valasek István, Tribológia 3 Gépelemek kenése (Budapest, 2003)

Valasek István, Tribológia 4, Kenőkészülékek és logisztika (Budapest, 2003)

Zsáry: Gépelemek II. Tankönyvkiadó, 1991

https://www.xella.hu/hu_HU/Ytong-marka-oldal(2023.09.20.)

<https://cserviktamas.wordpress.com/2019/05/20/siklocsapagyak/>(2023.10.10.)

<https://debearings.com/tech/slide-bearings/>(2023.10.10.)

<https://evolution.skf.com/improved-lubrication-in-paper-machines/>(2023.10.08.)

<https://www.spminstrument.com/>(2023.10.08.)

<https://www.mdpi.com/2079-6412/12/9/1303>(2023.10.10.)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301679X07000151>(2023.09.20.)

<https://link.springer.com/article/10.1007/s40544-020-0417-9>(2023.09.20.)

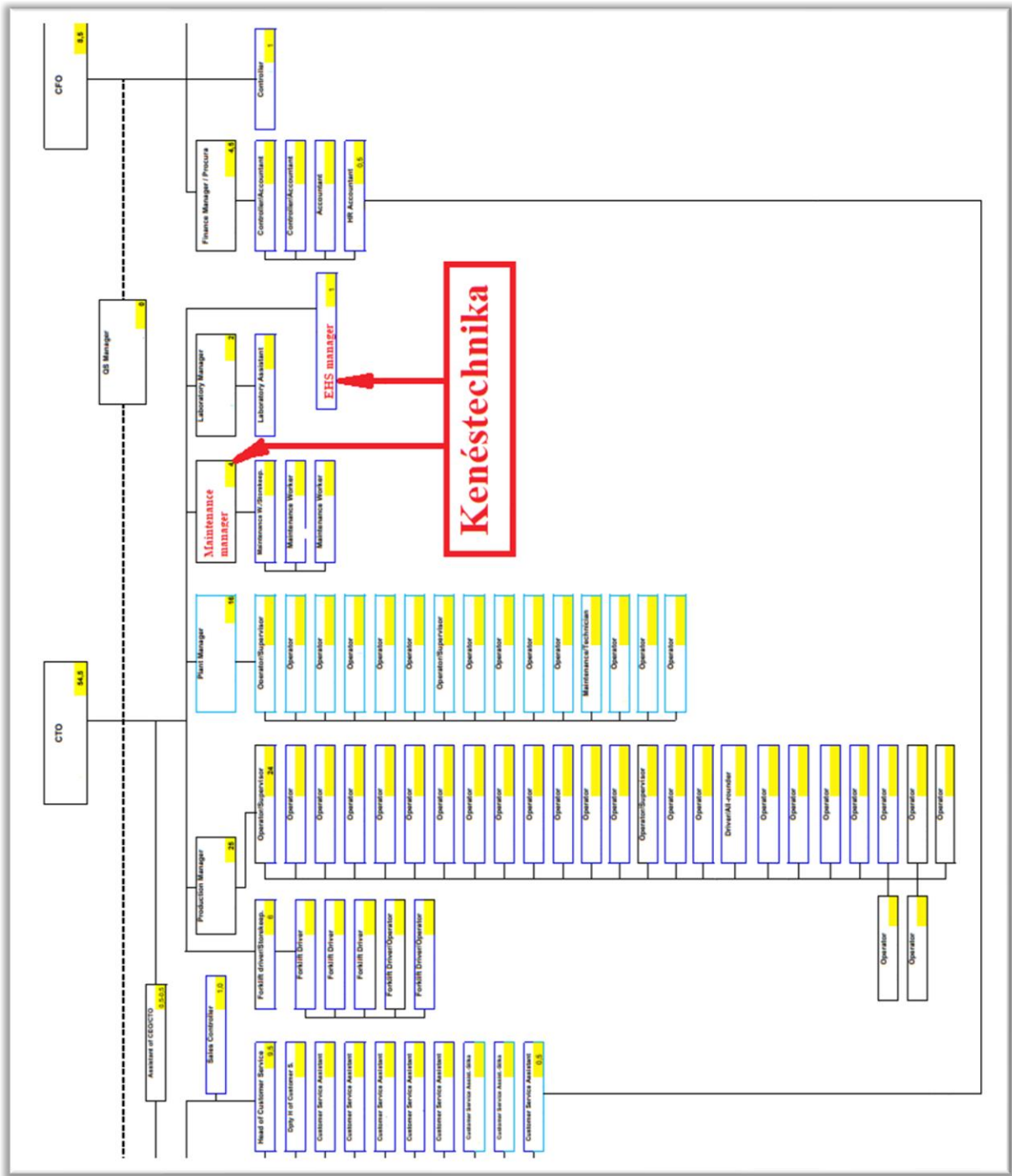
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1350650112471287>(2023.10.08.)

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12206-009-1154-1>(2023.10.08.) (2023.09.20.)

<https://www.controlandinstrumentation.com/valves/hydraulic-cleanliness.html>(2023.10.16.)

https://www.stle.org/files/TLTArchives/2021/04_April/Webinar.aspx (2023.10.21.)

10. Mellékletek jegyzéke



1. sz. melléklet.

FAG

SCHAEFFLER

FAG Rolling Bearing Grease

Arcanol MULTITOP

Properties, applications: Universal application, moderate to high load, low starting temperatures, wide temperature range, very wide speed range, improved relubricatability, in special cases also for spherical roller thrust bearings

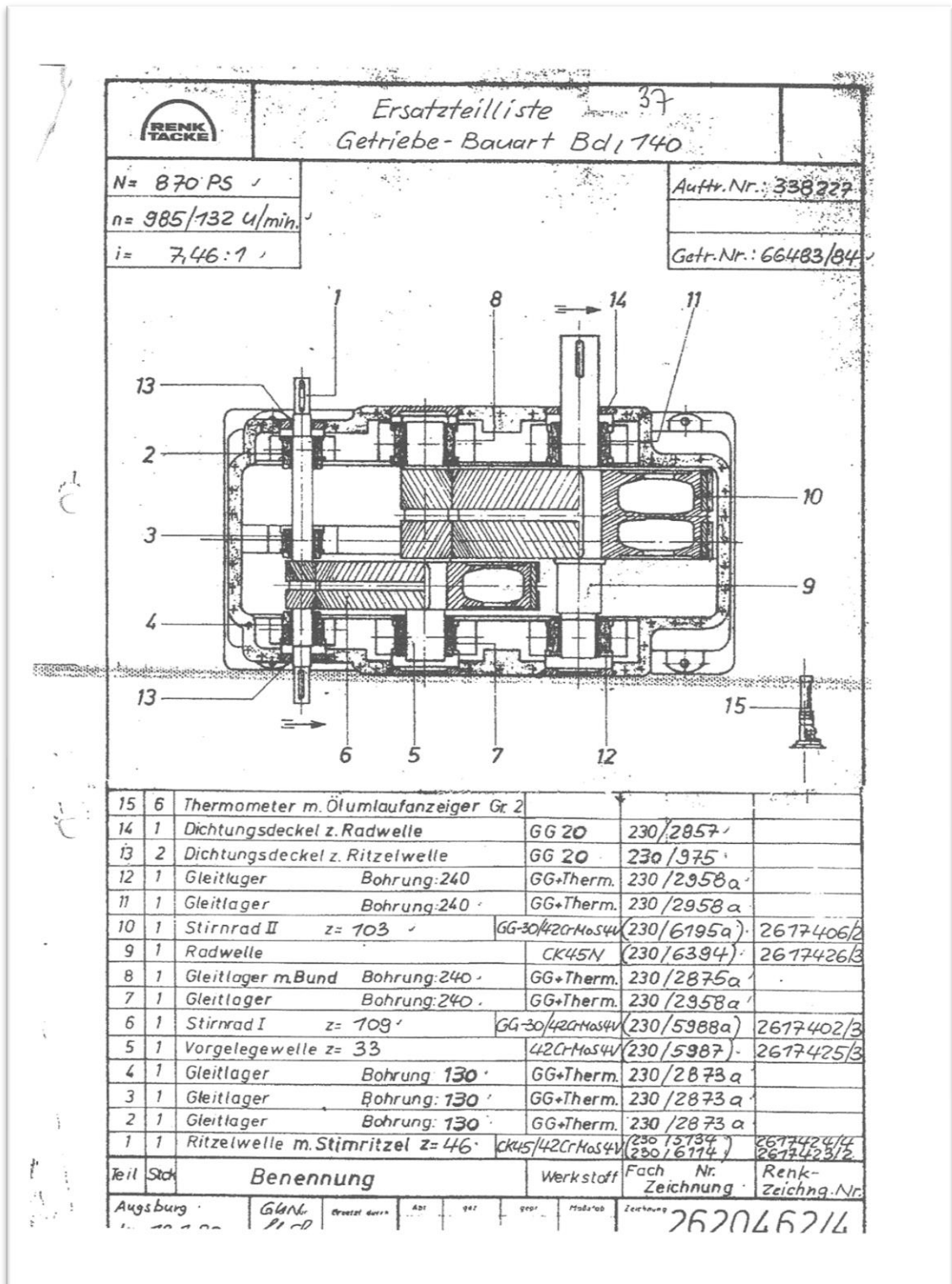
Characteristics	Value	Unit	Test method
Temperature range:	-50 to 140	°C	DIN 51825 / Schaeffler Spec.
Longtime limit temperature	80	°C	
Density:	0.9	kg/dm ³	
Specifications:			
Thickener:	lithium soap		
Type of base oil:	mineral+SHC oil		
Base oil viscosity	at 40 °C: 82	mm ² /s	DIN 51562 - 1
	at 100 °C: 12.5	mm ² /s	DIN 51562 - 1
Worked penetration:	265-295	0.1 mm	DIN ISO 2137
NLGI grade:	2		DIN 51518
Drop point:	≥ 190	°C	DIN ISO 2176
Water resistance:	1-90	Range	DIN 51807 - 1
Corrosion Emcor Test:	≤ 0/0	Corr. Grade	DIN 51802
with 0.5 % NaCl:		Corr. Grade	
Copper corrosion after 24 h/140 °C:	≤ 2	Corr. Grade	DIN 51811
FE8 tests run wear behaviour, Running time 500 hours without failure			
536048 - 3000/10-RT	vWk50 ≤ 35	mg	DIN 51819
536048 - 75/50- -50	vWk50 ≤ 35	mg	DIN 51819
536048 - 75/80-RT	vWk50 ≤ 35	mg	DIN 51819
536050MP - 7.5/80-120	vWk50 ≤ 35	mg	DIN 51819
FE9 tests run (grease service lifetime)			
A/1500/6000-140	F50 ≥ 200	h	DIN 51821-02
	no failure < 100	h	
Low temperature torque			
-40 °C	Start / Steady-state	635 / 49	Nmm
			IP 186
Speed range:	Unit	Ball bearings and cylindrical roller bearings	Other roller bearings*)
Speed limit n*dm	mm/min	800,000	350,000

*) not cylindrical roller thrust bearings and spherical roller thrust bearings

This copy is not taken into account by the updating service.

The data are based on actual knowledge at the time of print and refer to the respective test method. Guaranteed properties or warranties cannot be taken over.

Edition 08.03.2017




3. sz. melléklet

SCHMIERSTOFFLISTE KUGELMÜHLE		MATRA GBW	
Anlagenteil	Art des Schmierstoffes	ISO Viskositätsklasse DIN 51519	Fettmenge in kg Ölmenge in Liter (Lagervorrat ca.)
Getriebe	Öl	ISO VG 220	500
Hilfsantrieb	Öl	ISO VG 220	100
2 Halslager	Öl	ISO VG 220	50
1 Halslagerbehälter	Öl	ISO VG 220	220
Vorgelegelager ①	Öl	ISO VG 220	150
Zahnkranzschmierung	Öl	ISO VG 320 legiert mit Mo ₂ S	400
Anlasser	Transformatoröl		700

Die genauen Ölmengen werden beim Auffüllen der Anlage ermittelt.

Änderung @ 1.3.90

 **Shell LubeAnalyst**

Berendezés - Alkatrész
Nagymalom (golyósmalom) - Sebességváltó rendszer
(OG) fogaskoszorú

Helyszín név - Kód
Lubfilter - 50713

Ügyfél
Lubfilter Kft.

Gyártó - Modell
Unspecified - Unspecified

LubeAnalyst kód
11959317/ING01

Regisztrált kenőanyag
MOL Group - Ultrans EP 320



Intézkedés

Diagnosztizálás

A szilícium tartalom magas.
A szennyeződések mennyisége nagyon nagy.
A részecskeszám vizsgálat eredményei túl magasak.
Az alumínium tartalom kissé magas.
A folyadék mért tulajdonságai kielégítőek.
Ajavasljuk, minél előbb cserélje le az olajt!
Keresse meg, majd szüntesse meg a szennyeződés forrását.
Ellenőrizze, hogy a rendszer megfelelően működik-e.

Minta információ

Mintaszaám	100495687
Minta állapota	
Minta dátuma	03.Jul/2023
Minta boérkezett	11.Jul/2023
Minta elkészült	19.Jul/2023
Használt kenőanyag	Ultrans EP 320
Berendezés élettartama	
LubricantLife	
TopupVolume	

Fizikai jellemzők

viszkozitás 40°C-on cSt	333,5
kinézet	tiszta
TAN (D 664) mg KOH/g	0,18

Kopás

vas (Fe) ppm	92
króm (Cr) ppm	0
ón (Sn) ppm	0
ótom (Pb) ppm	1
réz (Cu) ppm	2
nikkel (Ni) ppm	0
alumínium (Al) ppm	25
Unclassified Std Dev ppm	0
kopási index (PCI)	89
ezüst (Ag) ppm	0
titán (Ti) ppm	0
mangán (Mn) ppm	1

Szennyeződés

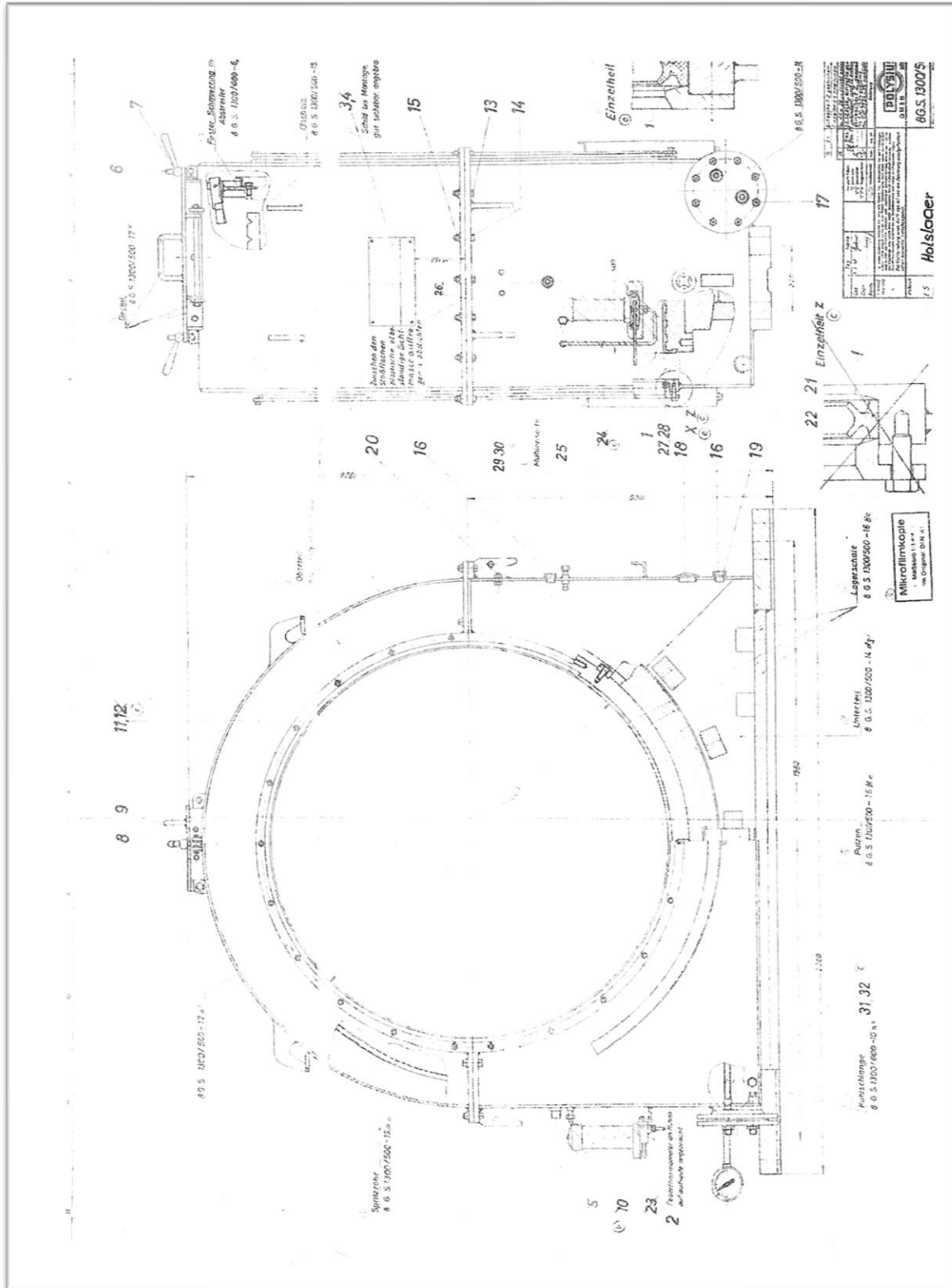
víz tartalom (aquaest) %	0,00
nátrium (Na) ppm	6
lítium (Li) ppm	0
szilícium (Si) ppm	198
kálium (K) ppm	7
málpore üledék (Si) mg/100ml	98,0
ISO 4406:2017	25/24/23

Adalékok

kálcium (Ca) ppm	236
cink (Zn) ppm	5
foszfor (P) ppm	71
bárium (Ba) ppm	0
molibdén (Mo) ppm	0

Minden tanács jóhiszeműen kerül továbbadásra, és feltételezi, hogy a minta teljes mértékben reprezentálja a felkutatott olajanyagot. Az ajánlott értékek a normál tartományokra vonatkoznak. Kérjük, adja meg a minta számról minden kékjelölést. A kékjelölés szín az a dokumentum illik. A jelenlegi verzió esetében az engedélyezett felhasználóknak a Shell LubeAnalyst weboldala kell hivatalosnak a www.lubeanalyst.shell.com oldalon. Ez a jelentés a www.lubeanalyst.shell.com oldalon elérhető Shell LubeAnalyst Átállásos Szennyeződés Feltételeinek megfelelően készült.





6. sz. melléklet.

 **Shell LubeAnalyst**

Berendezés - Alkatrész
Nagyimalom (golyósmalom) - Sebességváltó rendszer 1. úszócsapágy

Helyszín név - Kód
Lubfilter - 50713

Ügyfél
Lubfilter Kft.

Gyártó - Modell
Unspecified - Unspecified

LubeAnalyst kód
11959032/ING01

Regisztrált kenőanyag
MOL Group - Ultrans EP 220



Intézkedés

Diagnosztizálás

A szennyeződések mennyisége nagyon nagy.
Unable to complete partide count testing due to excessive visual debris contamination.
A kopásszintek magasak.
A kopásindex (WPI) egy kicsit magas.
A viszkozitás jelentős mértékben nőtt a friss olajéhoz képest.
Javasoljuk, minél előbb cserélje le az olajat!
Keresse meg, majd szüntesse meg a szennyeződés forrását.
Ellenőrizze, hogy a rendszer megfelelően működik-e.

Minta információ

Mintasorszám	100495686
Minta állapota	
Minta dátuma	03/Jul/2023
Minta beérkezett	11/Jul/2023
Minta elkészült	19/Jul/2023
Használt kenőanyag	Ultrans EP 220
Berendezés élettartama	
LubricantLife	
TopupVolume	

Fizikai jellemzők

viszkozitás 40°C-on cSt	!	266.7
kínézet		tiszta
TAN (D 664) mg KOH/g		0.33

Kopás

vas (Fe) ppm		75
króm (Cr) ppm		0
ón (Sn) ppm	!	38
ólom (Pb) ppm	X	465
réz (Cu) ppm		2
nikkel (Ni) ppm		0
alumínium (Al) ppm		3
Unclassified Std Dev ppm		0
kopási index (PQ)	!	116
ezüst (Ag) ppm		0
titán (Ti) ppm		0
mangán (Mn) ppm		0

Szennyeződés

víztartalom (aqueatest) %		0.00
nátrium (Na) ppm		2
lítium (Li) ppm		0
szilícium (Si) ppm		14
kálium (K) ppm		1
millipore üledék (5µ) mg/100ml	X	129.0
ISO 4406:2017		UTT*

Adalékok

kalcium (Ca) ppm		18
cink (Zn) ppm		10
foszfor (P) ppm		79
bárium (Ba) ppm		39
molibdén (Mo) ppm		0

Minden mérési lépésben kerül továbbadásra, és felhívjuk, hogy a minta teljes mértékben reprezentálja a felhívott objektumot. Az ajfított értékek a normál tartományokra vonatkoznak. Kérjük, adja meg a Minta számát minél előbb leírásában. A kinyomtatás után ez a dokumentum ellenőrizhető. A jelenlegi verziók esetében az engedélyezett felhasználóknak a Shell LubeAnalyst weboldalra kell hozzáférniük a www.lubeanalyst.shell.com oldalon. Ez a jelentés a www.lubeanalyst.shell.com oldalon elérhető Shell LubeAnalyst Alkalmazás Szerződési Feltételeinek megfelelően készült.

