



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Kenéstechnikai és tribo-diagnosztikai szakember Szak

**ONLINE TRIBO-DIAGNOSZTIKAI RENDSZEREK
FEJLESZTÉSE ALUMÍNIUM HENGERMŰBEN**

Belső konzulens:	Dr. Kalácska Gábor egyetemi tanár
Külső konzulens:	Dr. Eleőd András professzor emeritus
Készítette:	Jurecska Tamás EA3RRI levelező
Intézet/Tanszék:	Műszaki Intézet, Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok Tanszék

Gödöllő
2023

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

DIPLOMADOLGOZAT

feladatlap

Jurecska Tamás (EA3RRI)

részére

A diplomadolgozat címe:

Online tribo-diagnosztikai rendszerek fejlesztése alumínium hengerműben

Feladatkiírás:

Bevezetés, Cégbemutató, Szakirodalom feldolgozása, Probléma bemutatása, Saját tribodignosztikai rendszer fejlesztése, Gazdasági számítás, Összefoglalás

Közreműködő tanszék: Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok Tanszék

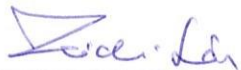
Külső konzulens: Dr. Eleőd András, professzor emeritus

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. 10. hó 20. nap



(külső konzulens)

Tartalom

1.	Bevezetés.....	4
2.	Cégbemutató 5	5
2.1.	Történelmi áttekintés	5
2.2.	Jelen állapot	6
3.	Technológia szakirodalmi áttekintése	6
3.1.	Hengerlés, mint képlékeny alakítás	6
3.2.	Kenő és hidraulika olajok	8
3.3.	Kenőanyag és tribo-diagnosztikai rendszerek	10
4.	Saját tribo-diagnosztikai rendszer fejlesztésének bemutatása.....	20
4.1.	Alkalmazott technológiai folyamat bemutatása.....	20
4.2.	Tribo-rendszerek alumínium meleg henger állványon	22
4.3.	Probléma bemutatása,	26
4.1.	Online diagnosztika kiépítése	26
4.2.	Online diagnosztika alkalmazása.....	28
4.3.	Valós problémák kivizsgálása.....	32
4.4.	Diagnosztika bővítési lehetőségei, jövőbeni tervek.....	46
4.5.	Gazdasági számítás	53
5.	Összefoglalás.....	56
6.	Summary	57
7.	Köszönet nyilvánítás	58
8.	Nyilatkozatok	59
9.	Irodalomjegyzék.....	62

1. Bevezetés

Szakterületemben egy alumínium hengermű kenéstechnikai elemeinek modernizált, online megfigyelésére alkalmas rendszerének fejlesztését mutatom be. Hatalmas gyártó berendezések üzemeléséhez, a termékek alakításához és előállításához több tribológiai megoldás segítségét vesszük igénybe. Legyen szó a hidraulika rendszerekről melyek, a tíz tonnát is meghaladó alumínium tuskókat ezerszáz nagyságrendű tonna nyomással alakítják, vagy az akár 500 bar nyomással ellátott hidrosztatikus támasztóhenger csapágyakat kenő rendszereiről, melyek ezeket az alakítási erőket elviselik, egészen a fémmegmunkálás során alkalmazott hűtő kenő folyadékokig, hiszen vegyes súrlódási állapotban végzik munkájukat.

Téma jelentősége

A hengermű kenéstechnikai rendszereiben egyidejűleg összesen több mint 500 000 liter, különböző típusú olaj/kenőanyag/emulzió van jelen, a kulcsfontosságú berendezések folyamatos üzemeléséhez és a váratlan üzemzavarok elkerülése érdekében online tribo-diagnosztikai rendszereket fejlesztünk. A mérőkörök megléte azonban nem elegendő, hiszen a kapott jelek értelmezése és az esetleges hibák előrejelzése nélkül a rendszer nem éri el célját. A mérni kívánt paraméterek részletezése után bemutatom a mérési lehetőségeket és az alkalmazott szenzorokat/rendszereket. Felvázolom a jelek értelmezését és feldolgozásuk folyamatát, illetve valós problémák kivizsgálását és a jövőbeni hibák kiküszöbölésére alkalmazott metódusokat.

Célkitűzés

Céлом, hogy feltárjam a meleghenger állvány tribo-diagnosztikai rendszerében rejlő lehetőségeket költségcsökkentés és üzemzavar előrejelzés területén. Illetve bemutatni a jövőbeni opciókat, mely területeken végezhetnénk még fejlesztéseket, diagnosztikai beruházásokat és azok milyen hatással lennének a vállalat életére. Ennek keretében főfeladataim:

- Feladatra alkalmas szenzorok mérőkörök kiválasztása és telepítése,
- A mért jelek feldolgozása értelmezése,
- Anomáliák feltárása, segédlet készítése a hibák elkerülését, kivizsgálását célozva
- Fejlesztési ajánlások készítése a már felmerült tribológiai problémákra

2. Cégbemutató

2.1. Történelmi áttekintés

A vállalat Magyarország egyik legnagyobb, alumínium félkésztermékek előállításával foglalkozó cége. Története a '40-es években kezdődött amikor hadiipari, repülőgép javító lemezeket kezdtek gyártani. 1943. júliusában az első normál termelő hónapot záró könnyűfémmű egy hiánypótló szegmenset töltött be az ország iparában. A háború után az alumínium széleskörű felhasználásának, illetve a német alumíniumipar bedőlésének következtében a gyár nem tudta kielégíteni a piac igényeit, így fejlesztésekre került sor. Az '50-es évek elején szovjet segítséggel hengermű első fejlesztése megtörtént, sajnálatos módon a telepített technika már akkor elavultnak minősült. Később újabb fejlesztésekre került sor, ennek köszönhetően 1954-57 között a termelési kapacitást a duplájára emelték. Mivel a Szovjetunió 1955-ben lemondott a gyárban lévő érdekeltségéről, ezek a fejlesztések már teljes mértékben magyar tulajdon alatt valósultak meg. A mai viszonylatba vett igazi termelését a hengermű a '70-es évek elején kezdte meg, hiszen ekkor került telepítésre 1 db tuskómaró, 2 db tuskó előmelegítő kemence, 1 db meleghengersor, 2 db hideghengersor, 1 db új lemezdaraboló sor, 2 db hasító sor, valamint ezeken kívül a kikészítéshez telepítésre került: 1 db harang kemence telep és 1 db gyorslágymű és edzősor a lemeztermékekhez. A jelenlegi üzem körülbelül hatvan százaléka ekkor került kialakításra. Az akkor telepített eszközöket 1971-72-től folyamatosan üzembe helyezték. A következő fejlesztési lépcső 1979-83-ban történt egy kiemelt kormány beruházás keretében, célja a kihozatal javítás elérése volt, melyet a hengerműi alapanyagként használt tuskó méretének növelésével értek el, párhuzamosan az alábbi gépegységek kerültek telepítésre: 2 db új tuskó előmelegítő kemence, 1 db új hideghenger állvány, 1 db nyújtva egyengető és zsírtalanító sor, 3 db nagyteljesítményű hőkezelő kemence, 1 db új hasító sor, 1 db új daraboló sor. Illetve a korábban beszerzett berendezések is részleges korszerűsítésen estek át. A rendszerváltás, mint más vállalatnak, itt is egy nehéz időszakot hozott. Az egyre növekvő versenyben, csak azok a cégek tudtak piacképesek maradni, akik olcsón tudtak jó minőségű terméket kínálni, ezzel a költségeiket is minimalizálni [1, 2] A fejlődés napjainkban sem állt meg például tavaly előtti évben egy új daraboló sor került telepítésre, melyet tavaly már termék előállításra tudtak használni. Illetve az idei évben a hármas hideg henger állvány teljes villamos rekonstrukciója fog megtörténi.

2.2. Jelen állapot

A vállalat mostani formájában két gyáregységre osztható. Az öntöde egység kohóalumínium mellett, több mint 60%-os arányban a belső gyártási és vásárolt, külső fém hulladékot felhasználva állít elő termékeket. Az újra hasznosítás napjainkban nagyon fontos szempont, egyre több vevő igényli, a minél nagyobb hulladék feldolgozási arány elérését. A hengermű selejtes termékei, a tuskómarás során keletkezett alumíniumforgács, a hengerlés során keletkezett technológiai hulladék és a szomszédos cégek hulladékai is beolvasztásra kerülnek. A fém olvasztása után, ötvözással állítják be a kívánt anyagminőséget, majd félfolyamatos öntéssel két eltérő terméket állítanak elő, a kör keresztmetszetű sajtolási tuskókat kizárólag külső értékesítésre, míg a téglalap keresztmetszetű termékeket csak a hengermű gyáregységnek állítják elő.

A hengermű gyáregységében a több berendezésből álló géppark az akár 540 mm vastagságot is meghaladó tuskókat több lépéses vékonyító hengerléssel akár 40 µm-es végvastagságig is képes lehengerelni. Ennek egyszerűsített lépései, az öntödéből átkerült tuskó kéregzónáját mechanikai marással eltávolítják, majd ezután bekerül az előmelegítő kemencébe, ennek célja a tuskó melegalakítási hőmérsékletre való hevítése. Ezt követően történik a meleghengerlés, ahol az alakítás legnagyobb része történik. A meleghengerlés után a hideghengerlés következik, ahol több szúrásban az anyagot végső vastagságra hengerlik. Bizonyos termékek esetében hideghengerlési lépések között előfordulhat közbelső hőkezelés is, mert az anyag elérheti az alakítási határát és további alakítást nem viselne el. A folyamat következő lépése a hőkezelés, ahol a végső mechanikai tulajdonságok beállítására kerül sor. Majd a vevői igények szerinti méretre hasítás, darabolás vagy vágás következik.

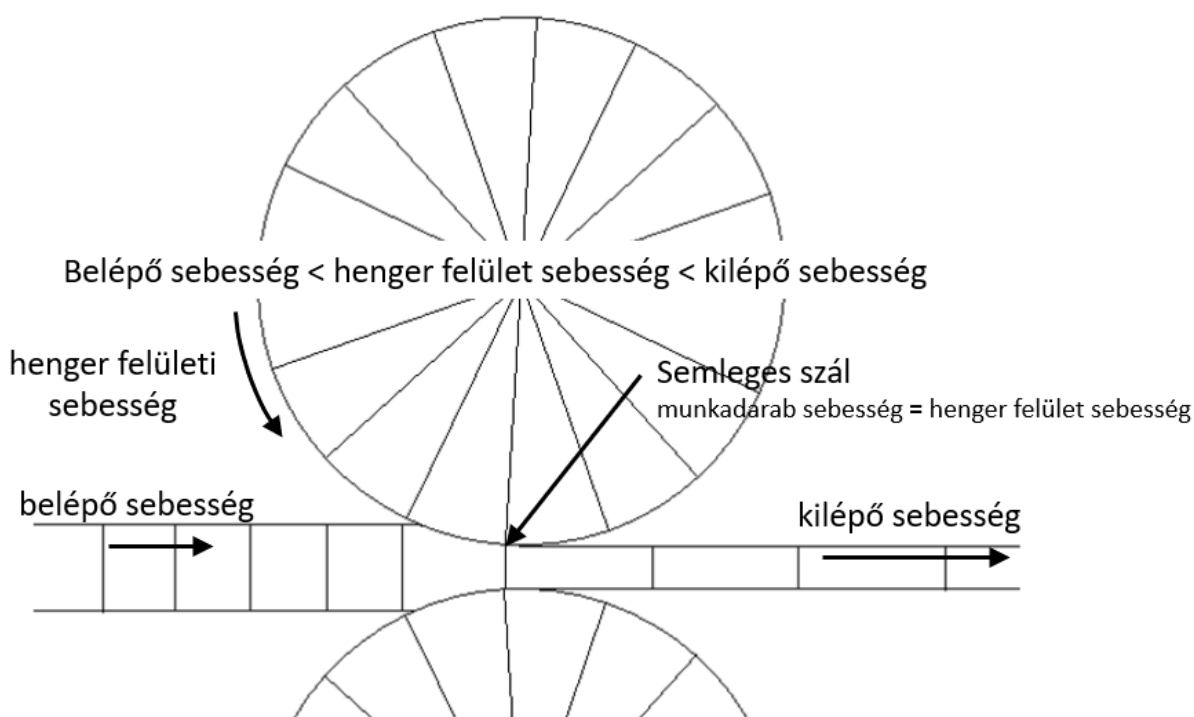
3. Technológia szakirodalmi áttekintése

3.1. Hengerlés, mint képlékeny alakítás

A képlékeny alakítás olyan speciális gyártástechnológia, ahol az alakítani kívánt fémet olyan mértékű feszültséggel terhelik, amely meghaladja a munkadarab anyagának alakítási szilárdságát, ennek hatására az anyag képlékeny állapotba kerül és kitölti az alakító szerszám üregeit. Ehhez akkora feszültségre van szükség, melyek meghaladják a gépészeti gyakorlatban általánosan használt gépelemek között létrejövő feszültséget. Különleges körülményeket támasztva mind a szerszám felületével, keménységével, mind a technológiával és a

berendezéssel szemben. Alakítás közben a felületeken rendkívüli mértékben megnő a szerszám és a munkadarab fémes összetapadásának veszélye, amit a lehetséges sérülések miatt kerülni kell. Összetapadás esetén nagyon rövid időn belül mind a szerszám, mind a munkadarab katasztrofális tönkremenetele következhet be. A fémes összetapadást csak megfelelően választott kenőanyaggal lehet elkerülni. Dr. Valasek István szavaival élve „kenőanyag nélkül nincs képlékeny alakítás”.

Az alakítandó fémet hengerlés során két ellentétes irányba elforduló henger közé vezetik be miközben vastagsága csökken, hossza pedig nő, mivel térfogata állandó. A szalag szélesedése olyan kismértékű, hogy a gyakorlatban elhanyagolják. A hossznövekedés azt eredményezi, hogy a szalag kilépő sebessége nagyobb, mint a hengerrésbe való belépő sebesség, mivel a munkadarab egy nyomott íven érintkezik a hengerrel, így csúszásnak kell fellépnie a kettő között. Semleges szálnak hívjuk azt a keresztmetszeti síkot, amely mentén a henger és a munkadarab sebessége azonos. Az 1. ábrán is látható a munkadarab, a semleges szál előtt lassabb utána pedig gyorsabb a hengerhez képest.



1. ábra: Hengerlés geometriája.

A hengerlésre és a felületi minőségre a két felület között fellépő gyorsan változó csúszások nagy hatással vannak. A hengerlés közben kialakuló súrlódási viszonyok jelentősen

befolyásolják a technológia folyamatát és a késztermék minőségét, tehát a súrlódás az egyik legfontosabb paramétere a hengerlésnek.

Általában az a cél képlékeny alakítás során, hogy a súrlódást csökkentsük, mert ezáltal növelhető a megmunkálás hatásfoka. Hengerléskor ez nem igaz, sőt egy bizonyos meghatározott szint fölött kell tartani a súrlódási tényezőt. [3, 4]

Modern körülmények között a kenés az egyik legfontosabb tényező a hideghengerművek termelékenységének javításában, növelhető a vékony szalagok hengerlési sebessége, és megakadályozható a nagy ellenállású anyagok hengerlése során a rezgésnyomok megjelenése. Ebben sokat segít a megfelelő hűtő-kenő anyag megválasztása és ennek adalékolása, amit különböző szénlánc hosszúságú természetes eredetű zsírsav alkoholokkal oldanak meg, a C12 szénláncú lauril alkohol volt a legelterjedtebb, de a növekvő igények és a nagyobb termelési sebesség és volumen miatt megjelentek a hosszabb szénláncú termékek is melyek segítik a határfelületi kenés közben fellépő terhelést és segítik elkerülni a fém-fém összetapadást.[5, 6]

3.2. Kenő és hidraulika olajok

„Az egymással kölcsönhatásban lévő, elmozduló gépelemek határfelületei között rugalmas kapcsolatot létesítő gépelemek, a kenőanyagok”, [3] vagyis a súrlódás és a kopás csökkentése érdekében alkalmazott anyagok gyűjtőneve. A megfelelő kenés a gépek, berendezések hosszú élettartamú üzemeltetéséhez elengedhetetlen. A hidraulika olajok a hidrosztatikus hajtások, illetve mozgatók munkafolyadéka. A kenőzsírok pedig a gördülőcsapágyak, csuklók, csapszegek kenésére használatos.

A kenőolajokat általában kőolajok atmoszférikus desztillációjának maradékából, vákuum desztillációval állítják elő. A kenőolaj párlatokat felhasználás előtt rendszerint kénsavval, oldószerekkel vagy hidrogénezéssel finomítják. A különböző kenési helyek által támasztott követelmények miatt adalékolják. A kenőolajok minőségét az egyre jobb finomítási eljárásokkal, illetve egyre kifinomultabb adalék „package”-ekkel javították.

Adalékolással több tulajdonságot is módosítanak, például a folyási tulajdonságokat (viszkozitásindex), oxidációs stabilitást javítják, megakadályozzák a szennyező anyagok kiválását, a kivált szennyező komponenseket magukban tartják, csökkentik a kopást, a súrlódást, a dermedéspontot, gátolják a rozsdásodást és a habzást.

Mint minden a kenőolajok is idővel elhasználódnak, több folyamat közös eredménye, ilyen az öregedés (oxigén, nagy hőmérséklet, fémek katalitikus hatása), illetve szennyeződések felhalmozódása (szilád, folyadék, légnemű anyagok), ennek lassítására is különféle adalékokat használnak.

Általánosan használt kenőolaj adalékok:

- súrlódás és kopáscsökkentő adalékok
- EP/AW - adalékok
- dermedéspont csökkentők
- viszkozitási index (V.I.) - növelők
- oxidáció- és korróziógátló adalékok
- detergens-, diszpergens (DD) adalékok
- egyéb adalékok (emulgeátorok, színezők, habzásgátlók stb.) [7, 9]

A "hidraulika" szó a görög "hydor" (víz) és "aulos" (cső) szavakból származik, A "hidraulika" kifejezést ma az erők és mozgások átvitelére és szabályozására alkalmazzák egy funkcionális folyadék segítségével. Hidraulikus erőátvitel alatt a hidrosztatikus (térfogat-kiszorítás) elven működő berendezéseket értjük.

Ezekre a folyadékokra jellemző:

- Nincs önálló alakjuk,
- Összenyomhatatlanok,
- A nyomás a folyadékban minden irányba terjed,
- Folyadékkal nagy erőt lehet kifejteni.

A hidraulikus berendezéseket széles körben alkalmazzák, a sokrétű felhasználás magas fokú követelményeket támaszt a munkafolyadékkal szemben. Az összes elvárásnak egyetlen nyomóközeg sem tud megfelelni, ezért az igényeknek megfelelően eltérő hidraulika munkaközegek használatosak. [8, 9]

A hidraulikus rendszerek többsége a telepített, stabil ipari berendezések közé tartozik. Ezek a hidraulikus egységek általában üzemcsarnokban vannak elhelyezve, ezért az olaj élettartama szempontjából kedvező üzemi hőmérsékletek is könnyebben tarthatók és a hidegfolyási tulajdonságaival szemben nem támasztanak különleges követelményeket. A növekvő elvárások

miatt a tisztasági követelmények egyre nagyobbak, ezért a szennyező anyagok bejutásának megakadályozása és a már bekerült szennyeződések kiszűrése fontos szempont, az olaj jó szűrhetősége elengedhetetlen. A hidraulikus rendszereket emellett előszeretettel alkalmazzák mozgó berendezésekben is például, munka-, kotró-, bánya-, stb. gépekben. [9, 10]

3.3. Kenőanyag és tribo-diagnosztikai rendszerek

Egy hidraulika vagy egy kenőolajat több paraméterével is tudjuk jellemezni, fontoságuk a felhasználástól függően eltérő lehet. Legyen szó viszkozitásról, savszámról, adalék-, víz-, szennyezőanyag-, fém-, kopástermék- tartalomról és még egyéb másról. Évtizedekkel ezelőtt ezeknek a meghatározására, mintavételezés után, laboratóriumi körülmények között volt csak lehetőség. Fontosságukat korán felismerték, hiszen a vizsgálati eredmények alapján, a megfelelő beavatkozásokkal az olajtöltet és/vagy a gép élettartamában drasztikus növekedést tudtak elérni. [11]

Napjainkban egyre jobban terjednek az időközi olajvizsgálati elemzések mellett a non-stop működő online diagnosztikai rendszerek. A szenzorok ára, illetve a vizsgálható-vizsgálandó paraméterek ugyan még lekorlátozzák alkalmazhatóságukat, de a folyamatos fejlesztésük révén egyre elérhetőbbé válnak. Fontos kiemelni mit is szeretnénk mérni, például egy kenőolaj rendszer hőmérsékletének folyamatos, online vizsgálata, gyors beavatkozású hibák elkerülésére alkalmas lehet, de például egy fém- vagy egy adalék tartalom mérésének elvégzése elegendő nagyobb időközönkénti mintavétellel is, itt a trendelemzés kap nagyobb hangsúlyt. [12]

Tartálysztint

A cég első évtizedeiben analóg megoldásokkal követték az olajtöltetek mennyiségét, a tartályokra szerelt átlátszó úszós vizuális, olajsztintjelzőkkel. Alkalmazásukkal az olaj szintje és állapota egyszerűen, szemrevételezéssel ellenőrizhető. Az alsó és felső határok megjelölésével értékelhetővé válik az aktuális olajsztint. Használatával a kenési folyamatok megbízhatósága növelhető volt, a gépek üzembiztonsága látványosan javult. [13]

Az üzemben két műszakban egy-egy fő „szűrőállomás kezelő” dolgozik, feladtuk a hengerlési olajok állapotának felügyelete és a szűrők üzemeltetésén kívül a kenő és hidraulika olaj tartályok szintjének figyelése, dokumentálása. Minimum szint közeli állapotnál jelzik a befejtést végző karbantartóknak az igényt, hogy mindig megfelelő mennyiségű olaj legyen a

rendszerben. Probléma és üzemzavar kivizsgálására ez a módszer csak korlátozottan használható. Tartálysint mérésre alkalmas online lehetőségek:

Úszógolyós. A mágneses folyadékszint-kapcsoló belső részében egy úszó által emelt állandó mágnes a folyadékszinttel együtt emelkedik illetve süllyed. Az állandó mágnes a mágneskapcsolók mellett elhaladva a mágneskapcsoló kontaktusait sorban átkapcsolja. Alkalmazása gőzkazánok szintszabályozásánál fordul elő.

Konduktív. Kétállapotú kapcsolók. Ha a szondák közt folyadék van, akkor azon keresztül villamos áram folyik, amit felerősítve egy jelfogó behúz. Ha nincs jelen folyadék, a jelfogó elenged. Előnyeik közt szerepel a mozgó alkatrészek hiánya, a viszonylag nagy nyomás és hőmérséklet tartomány, a megbízható üzem és hosszú élettartam. Alkalmazásuk minimum-maximum szint szabályozás, leürülés jelzése

Kapacitív. Az elektródák a tartályfallal együtt egy kondenzátort alkotnak. A töltet dielektrikumként viselkedik és megváltoztatja a kondenzátor kapacitását. A szint érzékelése folyamatos. Előnyeik a mozgó alkatrészek hiánya, a robbanásveszélyes térben is használhatóság, a mérés folyamatossága, a digitális kijelzés és a cm-es érzékenység. Alkalmazható folyadékok, porok, porszerű anyagok tárolásánál szintmérésre, villamosan vezető és nem vezető anyagoknál egyaránt.

Hidrosztatikus. A tartály aljában uralkodó hidrosztatikus nyomás mérésén alapul. Előnyeik, hogy nem érzékenyek a töltet elektromos tulajdonságaira (vezetőképesség, dielektromos állandó), a szintmérés folyamatos, a tartály alakja nem játszik szerepet, nagy mérési pontosság és a nagyon jó hőmérséklet-stabilitás. Alkalmazásuk folyadékok és pasztaszerű anyagok szintmérésére.

Elektro-mechanikus. A tartály tetejéről egy kötéll segítségével súlyt engednek le. A felütközés után visszacsévélik és mérik a kötéll hosszát. Előnyei az akár 50 m-es magasságnál való alkalmazhatóság, az 0,1%-nál jobb pontosság, a por és zaj nem befolyásolja a működést, az egyszerű telepíthetőség és problémamentes üzemelés. Hátrányaik a szakaszos mérés, a mozgó alkatrészek és a tartály alakjának befolyásoló hatása. Alkalmazásuk, folyadékok, porszerű és darabos anyagok szintmérésére.

Vibrációs. A rezgővillát a rezonancia frekvenciáján rezegtetik. Ha a villa a töltetbe merül, akkor megváltozik a rezonancia frekvenciája, ez indukálja a kapcsoló jelet. Előnyei az alábbiak

érzéketlenek a töltet sűrűségére, elektromos jellemzőire, hőmérsékletre és nyomásra, egyszerű és robusztus kialakítás. Alkalmazásuk olvadékok, porszerű és darabos anyagok szint érzékelésére.

Ultrahangos. Az érzékelő végében ultrahangot kibocsájtó adó és vevő van egymással szemben beépítve. A kibocsájtott jel terjedési ideje a közegben jellemző hangsebességtől függ. Előnyeik, hogy nincs mozgó alkatrész, érzéketlen a töltet elektromos jellemzőire, veszélyes vegyszereknel is jól alkalmazható. Alkalmazása folyadékok és porszerű anyagok szint érzékelésére.

Hangimpulzusos. A tartály tetejére telepített adó által kibocsájtott hangimpulzusok visszaverődési idejéből határozza meg a szintet. Előnye, hogy nincs mozgó alkatrész, érzéketlen a töltet elektromos jellemzőire, a méréshez nem kell a töltettel érintkeznie a szenzornak, folyamatos szintmérés és nagy tartálméreteknél is használható. Alkalmazásuk folyadékok, porszerű és darabos anyagok szintmérésére.

Radarimpulzusos. A tartály tetejére telepített adó által kibocsájtott radarimpulzusok visszaverődési idejéből határozza meg a szintet. A hullámhossz kisebb, mint a hangimpulzusoknál, ezért pontosabb. Előnyeik megegyeznek a „Hangimpulzusos” szenzorokéval. Alkalmazásuk folyadékok, porszerű és darabos anyagok szintmérésére.

Lézeres. Tartály tetejére telepített adó által kibocsájtott lézerfény visszaverődési idejéből határozza meg a szintet. A koncentrált fénysugár kevésbé érzékeny a tartályban levő akadályokra. Előnyeik megegyeznek a „Hangimpulzusos” szenzorokéval. Alkalmazásuk folyadékok, porszerű és darabos anyagok szintmérésére.

Radiometrikus. A tartály falán keresztül bebocsájtott radioaktív gamma sugárzás elnyelődéséből lehet a szint elérésére következtetni. Előnyeik, hogy nincs mozgó alkatrész, érzéketlen a töltet elektromos jellemzőire és a tartályfalon keresztül is lehet mérni. Alkalmazásuk folyadékok, porszerű és darabos anyagok szint érzékelésére.

Mikrohullámú. A mikrohullámú sugárzás akadálytalanul halad át a műanyag, üveg, kerámia és kőfalakon. A tartály falán keresztül bebocsájtott mikrohullámú sugárzás elnyelődéséből lehet a szint elérésére következtetni. Előnyeik megegyeznek a „Radiometrikus” szenzorokéval. Alkalmazásuk folyadékok, porszerű és darabos anyagok szint érzékelésére. [15]

Magnetostrikción. A szonda függőleges csőből áll, amely a körbefogó úszót megvezeti. Az úszóban egy mágnes van elhelyezve, amely a folyadékszint változását követve megváltoztatja a cső belsejében lévő ferromágneses huzal mágnesezettségét. A szonda fejéből kibocsátott hullám a megváltozott mágnesességű helyről visszaverődik. A hullámterjedés idejéből a mikroprocesszoros jelfeldolgozó elektronika kiszámolja az úszó helyzetét. Ha a tartály kalibrációs tábláját betöltjük a műszerbe, akkor az képes meghatározni a tárolt anyag mennyiségét is. Előnyeik átlaghőmérséklet-mérővel ellátott, és robbanásveszélyes térben is használhatóak. Alkalmazásuk folyadékok szint érzékelésére. [14]

Hőmérséklet

Hőmérsékletmérő szenzorok többfélék lehetnek, expanziós-, ellenállásos hőmérők, termoelektromos- (termoelemek, dióda és tranzisztor mint hőmérséklet érzékelők) és hősugárzás érzékelők.

Expanziós hőmérséklet szenzorok. Melegedésre tágul, hűtésre viszont összehúzódik, hőmérséklet-változásra lineárisan változtatja méreteit. Tipikus expanziós érzékelő a higanyos hőmérő. A higany mellett használható még toluol, etilalkohol és pentán.

Ellenállás-hőmérők. A fém ellenállás-hőmérőket tekercs alakúra gyártják. A platina a legmegfelelőbb anyag ellenállásos hőmérő készítésére, mert 99,999% tisztaságú fém állítható elő, kémiaiilag semleges és elég nagy az ellenállása, lineáris a hőmérséklet állandója. A platina ellenállás hőmérsékletmérésre -200°C-tól 630°C-ig (maximum 1060°C-ig) alkalmazható. Lehet még réz vagy nikkel huzalból, de kevésbé hatékony.

Félvezetős ellenállás-hőmérők. A termisztorok hőmérsékletre érzékeny félvezető ellenállások, anyagukat tekintve nehézfém oxidokból készült kerámiák. A -50 °C-tól 100 °C-ig terjedő tartományban mérnek. A termisztorok fajtái lehetnek NTC és PTC típusúak. Gyors reakcióval rendelkeznek és az öregedés folyamán nő a stabilitásuk.

Termoelemek. A termoelemek elsődleges feladata a magas 500 – 1000 °C hőmérsékletek mérése volt. Ma is ezen a területen a legnagyobb a jelentőségük, de alkalmazásuk sikeresen kiterjedt a rendkívül alacsony hőmérsékletek (1K-ig), valamint az egészen magas hőmérsékletek (4000 °C-ig) mérésére is. Termoelem a szokványos elnevezése azoknak a mérőeszközöknek, amelyek két különböző anyagú, egyik végükön összeforrasztott (összehegesztett, esetleg összezsavart) huzalból állnak.[15]

A vállalat területén több fajta hőmérséklet mérésre alkalmas eszköz található, legnagyobb szerepet az olvasztó terekben, homogenizáló, előmelegítő és lágyító kemencékben töltik be, ahol főként termoelemeket használnak. A tribológiai rendszerekben sem hanyagolhatóak el hiszen csapágy melegedés, olaj hűtés/fűtés problémák kimutatására alkalmasak, de van olyan rendszer is, amely olajtöltet mennyiség korrekcióra használható, mivel a 10 000 litert meghaladó ISO VG 460 kenőolaj hőtágulása tartályszint eltérést és fals információt adhat a tartályszint mérésben.

Relatív víztartalom

Minden folyadék képes egy bizonyos mennyiségű vizet beoldani. Azt a maximális vízmennyiséget, amelyet egy adott folyadék még oldott állapotban képes tartani, telítettségi pontnak nevezzük. Ha a folyadék elérte telítési pontját, akkor minden további nedvesség, szabad vízként kiválik, különálló réteget képezve. Mivel a legtöbb olaj kisebb sűrűségű, mint víz, ez a réteg általában az olaj alatt helyezkedik el. Az olaj telítettségi pontja számos különböző tényező függvénye, mint például az alapanyag összetétele (ásványi vagy szintetikus), valamint az olaj típusa és az adalékanyagok fajtája és mennyisége. Ezen kezdeti összetétel különbségektől eltekintve a telítettségi pontot két fő tényező befolyásolja még, a hőmérséklet változása és az öregedés. Ugyanis általában magasabb hőmérsékleten több vizet tudnak az olajok elnyelni, illetve idővel a kémiai összetételük megváltozik az öregedési reakciók melléktermékeként keletkező új anyagok miatt.

Egy olaj víztartalmának hagyományos mértékegysége a ppm (parts per million). A ppm egy abszolút nedvességtartalom-mérték, amely megadja az olajban lévő víz tömegarányát. A ppm-szintek aktív mérésével az olajban lévő víz abszolút mennyisége határozható meg. Azonban, a mérésnek van egy fő hátránya, nem veszi figyelembe az olaj telítettségét. Más szóval, egy dinamikus olajrendszerben az ingadozó telítettségi pont mellett, a ppm-ben avló mérés nem mutatja meg, hogy a nedvességtartalom milyen közel van az olaj telítési pontjához. Ez akkor válik kritikussá, ha a víztartalom az olaj telítettségi pontjához közelít, ilyenkor fennáll a veszélye annak, hogy telítődik az olaj, és szabad víz válik ki. Legtöbbször ez akkor lép fel amikor egy közel telített állapotban lévő, üzemi hőmérsékleten működő olaj, üzemidőn kívül lehűl. A képződő víz pedig az olajra nézve rendkívül kedvezőtlen szennyeződés. A szabad víz a fém alkatrészek korrózióját, az olaj adalékok kimosódását, illetve széles nyomás és

hőmérséklet viszonyok között a vízből keletkező gőzbuborékok szerkezeti sérüléseket és kavitációt okozhatnak. Ezért a ppm-es helyet „víz aktivitást” határoznak meg, mely a parciális nyomások alapján, a jelenlévő víz mennyiségét adja meg a maximálisan megköthető víz arányában. A piacon számos különböző módszer áll rendelkezésre az olaj nedvességtartalmának mérésére, a legújabb in-line vízakktivitás-mérési technológia egy kapacitív típusú érzékelőt használ, amely abszorpciós elven működik.

Az érzékelő egy kondenzátor, amely egy felső és egy alsó elektródából illetve a közöttük található dielektrikum szigetelőanyagból áll. A dielektrikum elnyeli a víz molekulákat, megváltoztatva a dielektromos állandóját, ezáltal a kapacitását a szenzornak. A vízfelvétel arányos a víz aktivitásával és az olaj vízmennyiségével. Előnyei az ilyen típusú technológiának, hogy több ponton is lehet vizsgálni a rendszert, gyors válaszidővel és jó kémiai ellenálló képességgel rendelkezik, amelynek köszönhetően alkalmas a olajok és különféle folyadékok széles skálájához.

Az ilyen típusú in-line készülékeket egyre szélesebb körben alkalmazzák, főleg olyan rendszereknél, ahol a környezeti hatások miatt könnyen víz kerülhet a rendszerbe, például nagyméretű kenő vagy hidraulikus rendszereken, papír feldolgozógépeken, hűtővízes környezetben dolgozó berendezéseken és külső környezetben dolgozó gépek esetén. [16] A vállalat területén például a félfolyamatos öntés során, ahol vízzel való árasztásos megoldással hűtik szekunder módon a megszilárduló tuskót vagy a melegghengerlés során a hűtő-kenő emulzió kerülhet a rendszerbe, illetve a régi kenőrendszerekben, ahol víz/gőz fűtéssel vannak ellátva a nagy viszkozitású kenőolajok.

ISO tisztaság

A hidraulikus rendszerek működésük során rendkívül érzékenyek a rendszeridegen anyagokra, ezek főként az olajba bekerülő, illetve a benne képződött szennyeződések. Ezen szennyeződések a rendszer optimális működését gátolják, zavarokat és kimeneti veszteségeket okoznak. Lehetnek szilárdak (külső szennyezők, kopás termékek), folyadékok (oldott, oldatlan), légneműek (oldott, oldatlan gáz és gőz buborékok).

Az olaj szennyezettségét különbözőképpen fejezhetjük ki. Szilárd, illetve megszámlálható részecskék esetében a gyakorlatban elterjedt megoldás az olaj térfogategységében lévő szennyező részecskék számának megadása. Legáltalánosabb szabványok: ISO 4406 / MSZ

12682, NAS 1638. Az ISO szabványban a szennyezettséget darabszám/cm³ szerinti tartományba mérik. Így például a 17-es számú tartományhoz 640-1300 darab közötti részecske darabszám/cm³ szennyezettség tartozik. A szabvány különbséget tesz az 4 µm, a 6 µm és a 14 µm feletti méretű részecskék között. Ennek megfelelően a tisztaságot 3 számmal jellemezzük az alábbi módon: ISO/CD 20/18/15, 2. ábra alapján, ahol a 20 a 4 µm, a 18 a 6 µm feletti, a 15 a 14 µm feletti méretű szemcsék mennyiségére vonatkozik. A modern készülékek esetén több mérettartomány mérésére is van lehetőség [17].

ISO 4406 Tisztaság standard		
Tartomány	Több mint...	kevesebb mint...
24	8 000 000	18 000 000
23	4 000 000	8 000 000
22	2 000 000	4 000 000
21	1 000 000	2 000 000
20	500 000	1 000 000
19	250 000	500 000
18	130 000	250 000
17	64 000	130 000
16	32 000	64 000
15	16 000	32 000
14	8 000	16 000
13	4 000	8 000
12	2 000	4 000
11	1 000	2 000
10	500	1 000
9	250	500
8	130	250
7	64	130
6	32	64
5	16	32
4	8	16
3	4	8
2	2	4
1	1	2

ISO Tisztaság kódok		
Szemcse méret	Mért szemcse darabszám / 100ml	ISO KÓD
> 4 microns	772 828	20
> 6 microns	139 861	18
> 10 microns	32 424	
> 14 microns	21 672	15
> 21 microns	1 089	
> 38 microns	406	
> 70 microns	96	
> 100 microns	7	

ISO	20/18/15
-----	----------

2. ábra: ISO tisztaság értelmezése. [saját ábra]

A hidraulikus berendezéseknél elvégzett elsődleges intézkedések - mint a részegységek tisztítása, a betöltési és szellőző szűrők tisztán tartása - önmagukban nem szüntetik meg az elszennyeződést, mivel a határsúrlódás következtében a résekben jelentkező kopás, az erózió és csapágykifáradás jelensége új szennyező részecskéket hoz létre. A munkafolyadékokban megjelenő részecskék felgyorsítják a kopás folyamatát. A láncreakció - az önmagát erősítő folyamat - kiküszöbölése érdekében ezeket a részecskéket egy jól megválasztott, adott helyre illesztett szűrővel a lehető leggyorsabban el kell távolítani a rendszerből. A különböző rendszerelemek más-más tisztasági fokú munkafolyadékot igényelnek. A megbízható szűrés biztosítja a berendezések hosszú élettartamát.

A mérés kivitelezés első legfontosabb része, hogy ismert állandó áramlású mintavételezés álljon rendelkezésre, általában erre egy külön kialakított szivattyúval ellátott mérőkört szokás kiépíteni, így időegység alatt ismert mennyiségű olajminta jut a szenzorhoz, (a helyes mintavételi pont kiválasztása szintén fontos, hogy ne pangó részről legyen a mintavétel, stb.). Emellett lényeges, hogy egy nyomás „csapda” is része a körnek, hiszen az olajban található levegő buborékokat is könnyen szilárd szennyezőnek tudja mérni a detektor. A szenzoron átáramló olaj egy vékony kűvetta pár között halad át, az egyik oldalt egy lézer fényforrás található, amely átvilágítja a mintát, a túloldalt pedig egy detektor mátrix található. A detektor érzékeli, hogy mely cellái kerültek kitakarásra, ebből következtet a kitakaró szilárd szennyező méretére és darabszámára. Innentől kezdve a feldolgozó szoftver számolja ki és adja meg az ISO tisztasági kódot. Az így kapott eredmények használhatóak a kopási folyamatok kimutatására, illetve szűrőbetét cserék szükségességének megadására. Laboratóriumi szinten már olyan készülékek is kaphatóak melyek a szennyeződés méretén kívül az alakját és formáját is felismerik, elemzik és információt adnak a szemcse eredetére.

Vezetőképesség

A vezetőképesség mérésére vezetőképességi cellát használnak, leggyakrabban harangelektrodát. Ebben két platina lemez helyezkedik el egymással szemben. Ha a lemezek felülete (A) 1 cm^2 és a köztük lévő távolság (l) 1 cm , a kialakult 1 cm^3 térben mérhető vezetőképesség értéket fajlagos vezetőképességnek (κ [S/cm]) hívjuk. A cellában a lemezekre 800-5000 Hz közötti frekvenciájú váltakozó feszültséget kapcsolnak, megakadályozandó a vizsgálandó anyag polarizációja. [18]

A vállalatnál az olajok vezetőképességének online vizsgálata a hengerlési olajoknál nagyon fontos szerepet tölt be. A kerozinos finom párlat alapú olaj végzi a fém alakítás közben a hűtő-kenő szerepet, vegyes súrlódási környezetben az alakító hengerpár az alumínium szalag felületi érdesség csúcsait letöri és az így keletkezett kopadékokat az olaj lemossa. A kis fém darabkák növelik az olaj vezetőképességét. Az érzékelők folyamatosan mérik az olaj vezetőképességét és hőmérsékletét, melyek korrelációjából az érzékelők után kapcsolt kiértékelő egység egy adaptív hőmérséklet kompenzáció segítségével kiszámítja a szennyezettség fokát. Ezt a kiszámított értéket 40°C – os hőmérsékletre normalizálja és K40 – ként, pS/m ($1 \text{ pS/m} = 1 \text{ c.u.}$) egységben megadja.

A hőmérsékletre vonatkoztatott vezetőképesség (K40) a kritériuma a közeg szennyezettségi fokának. Előtte-utána méréssel szűrési hatékonyságra tudunk következtetni.

Az aktuális vezetőképesség a kritériuma egy potenciális veszélyforrásnak, amelyet a közeg elektrosztatikus feltöltődése okoz. Bizonyos állványokon biztonságtechnikai okok miatt mérnek vezetőképességet, mivel a szűréshez cellulóz rostból álló szűrőföldet használnak és, ha a szűrés „túl hatékony” szigetelővé válik az olaj, ami miatt a statikusságra érzékenyebb, ezek kombinációja a tűzveszély kockázatát növelik. A szűrő állványok tetején pont emiatt a vezetőképesség mérő által vezérelt biztonsági beavatkozó rendszer van kialakítva, veszély esetén nagy vezetőképességű koncentrátumot juttat az olajba.

Nyomás

A klasszikus vizuálisan olvasható manométer mellett már digitalizált jelű nyomásmérő műszerek is megjelentek.

- Elektronizált közvetett nyomásmérő: Ebben az esetben például egy membrános nyomásmérő membránja kapacitív, induktív vagy optoelektronikai úton változást idéz elő egy kondenzátorban, tekercsben vagy fényérzékelőben és az így keletkezett feszültségváltozást jelzik ki analóg vagy digitális módon. Ez a kategória csupán a meglévő elemek pótlólagos automatizálása, hiszen alapjaiban nem változtatja meg a mérés elvét: a mérés továbbra is membránnal, szelencével, Bourdon-csővel, stb. történik, csak az elmozdulást nem számlapra viszik át.
- nyomásérzékelő elemek felhasználásával a nyomást közvetlenül érzékelik a fentebb ismertetett mechanikus elemek nélkül (pl. nyúlásmérő bélyeg, Hall-generátor) és a műszerben lévő elektronika továbbítja a megfelelő nagyságú elektromos jelet. Működési elvük alapvetően eltér a hagyományos manométerekétől. A piezorezisztív nyomásmérőben 4 darab mérőszonda szolgál egyetlen membránként. A négy szondát elektromosan Wheatstone-hídba kötik. A membrán vastagsága a mérendő nyomástól függ. [15]

A nyomás közvetett olajdiagnosztikai paraméter ugyan, de fontos információkat tartalmazhat, főleg, ha kombináljuk más információkkal. Például alkalmazható olajszűrésnél a szűrőlepeny telítésének nyomonkövetésére, teljes eltömítődés előtt a nyomás exponenciálisan kezd el

növekedni, a szivattyúk túlterhelése előtt a szűrőt „leléptetik” és új szűrőlepenyt adagolnak fel. Használható még olaj folyások, hibák helyének és mértékének meghatározásához.

Offline diagnosztika

Az online diagnosztika mellett továbbra is alkalmazzuk a mintavételezés alapú laboratóriumi olaj vizsgálatokat. A vállalat laboratóriumai a hűtő-kenő emulzió és az olajok vizsgálatára vannak csak berendezve, de a nagy olajbeszállító cégek vállalják az általunk levett olajminták vizsgálatát. Adottolaj rendszer fontossága és a tapasztalatok alapján negyed-, fél-, egy éves periódusban mintavételezünk. Az olaj viszkozitása és adalék tartalomra utaló elemek mérése mellett a tisztaságát, az üledék-, a szennyezőanyag- és a víztartalmát vizsgálják. A kapott eredményekből egy szakvéleményt, illetve egy jegyzőkönyvet készítenek és küldenek a megrendelő részére. Példa a 3. ábrán látható.

SZAKVÉLEMÉNY					
Az olaj viszkozitása a megadott viszkozitási osztálynak megfelelő. A minta vizet nem tartalmaz. Az ISO tisztaság a DIN előírásnak megfelelő. A minta kopásfémet nem tartalmaz. Az üledék tartalom az üzemelési körülményeknek megfelelő. A berendezés és az olaj károsodására utaló folyamatok a vizsgálati eredmények alapján nem mutathatók ki. Az olajtöltet további használatra alkalmas. A trendelemzés érdekében javasoljuk az olajvizsgálatok folytatását.					
Minta adatok	Mintaszám	689504	686497	683904	681262
Referencia szám	LCH386388	LCH373379	LCH373475	LCH370400	
Mintavétel dátuma	2023.07.03	2023.04.03	2023.01.05	2022.10.03	
Beérkezés dátuma	2023.07.11	2023.04.17	2023.01.09	2022.10.11	
Berendezés élettartam					
Olaj élettartam					
Olajcsere					
üzemóra/km					
üzemóra/km					
	Nem	Nem	Nem	Nem	
Olajállapot					
Kinematikai Viszkozitás, 40 °C	mm ² /s	46	46	46	45
Kinematikai Viszkozitás, 100 °C	mm ² /s	6,7	6,6	6,6	6,6
Viszkozitás Index		97	93	93	97
-Ba tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
-Ca tartalom	mg/kg	29	27	25	24
-Mg tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
-P tartalom	mg/kg	225	225	204	212
-Zn tartalom	mg/kg	242	265	242	259
-S tartalom	mg/kg	2339	2183	2031	2144
-B tartalom	mg/kg	4	<1	2	4
-Mo tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Szennyeződés					
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)		20	70	20	20
Víz tartalom	fokozat	N	N	N	N
ISO tisztaság, (részecskék száma/ 100ml)		19/16/12	21/17/13	19/16/12	19/17/12
-Na tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
-K tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	1
-Li tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
-Si tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Mechanikai szennyeződés (mikroszkópos vizsgálat)		2. Közepes mennyiségű üledék	2. Közepes mennyiségű üledék	2. Közepes mennyiségű üledék	2. Közepes mennyiségű üledék
Kopás					
-Al tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
-Cr tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
-Cu tartalom	mg/kg	1	<1	<1	1
-Fe tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	1
-Mn tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
-Ni tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
-Pb tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
-Sn tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
-Ag tartalom	mg/kg	4	<1	2	3
-Ti tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
-V tartalom	mg/kg	<1	<1	<1	<1
Vizuális vizsgálat (kenőolaj)					
20: Sötét; 70: Szilárd részecskék (kis mennyiségű)					

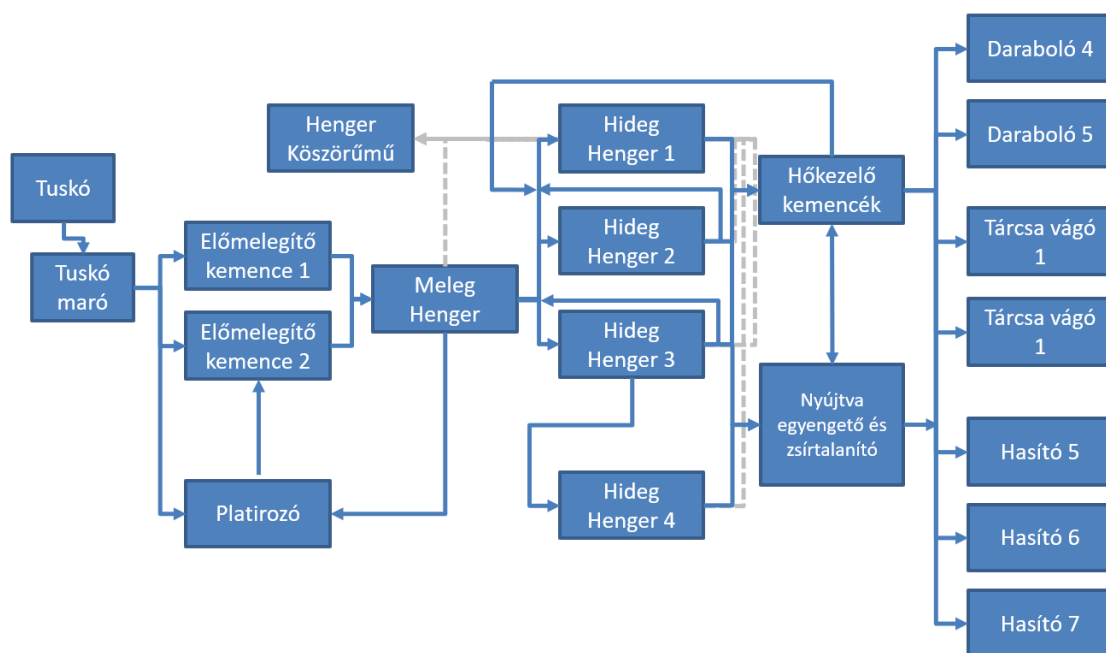
3. ábra: Olaj diagnosztikai szakvélemény és jegyzőkönyv.

Egy belső elérhetőségű adatbázisban követjük az eredményeket, illetve beavatkozás szükségesége esetén minden érintett karbantartó értesítést kap.

4. Saját tribo-diagnosztikai rendszer fejlesztésének bemutatása

4.1. Alkalmazott technológiai folyamat bemutatása

A hengermű területén, tizenhét feldolgozó/gyártó berendezés és huszonegy hőkezelő egység található (4. ábra), ezek kiszolgálását összesen nyolcvanhat kenő és hidraulika rendszer látja el, - a fémmegmunkálási olaj/emulzió rendszereken felül, - névleges térfogatuk pedig összesen meghaladja a százezer litert. Dolgozatom során a kulcsfontosságú berendezések diagnosztikai rendszereivel foglalkozom. Tömegtermelő gyártósorokkal ellentétben itt „mindenből csak egy van”. Ugyan korlátozott átfedések vannak a berendezések között, de például az öntött tuskók kezdeti vékonyítására csak a meleghenger állvány alkalmas.



4. ábra: Hengermű felépítése.

A folyamat első lépése, hogy a félfolyamatos öntés során előállított téglalap keresztmetszetű hengerlési tuskók felületét egy erre a célra kialakított tuskó-maró berendezés körkéses marófejek segítségével forgácsolja. Az öntési felületi egyenetlenségek eltávolítása mellett ennek metallográfiai okai is vannak, hiszen a kristályosító kokilla falánál intenzív hűtéssel szilárdul meg a fém, ebben a zónában az ötvöző anyagok migrációja lép fel, a kéreg vastagságát és a szükséges marási mélységet laboratóriumi vizsgálatokkal határozták meg és rendszeresen felülvizsgáljuk. Az alsó és felső felület marását egymás után végzik, ehhez egy tuskó fordító berendezést használnak.

Az immár sík és párhuzamos felületű tuskókat a két egyenként harmincöt tuskó befogadására képes áttoló előmelegítő kemencéhez daruzzák. Mivel több mint százféle ötvözzettel és többféle tuskó mérettel dolgoznak, így különféle előmelegítési programokat dolgoztak ki, de mindegyik lényege az, hogy az adott anyag a kemence végére érve homogénen, az újrakristályosodási hőmérséklet fölé legyen melegítve. A kemence végén található hidraulikus rendszer meleghenger állvány 300 méter hosszú görgősorára helyezi a tuskót (5. ábra).

A tuskó itt kerül bevezetésre a hengerpár közé, melynek réstávolsága kisebb, mint a tuskó vastagsága, ezen áthaladva intenzív meleg-, képlékenyalakítást szenved az anyag, vastagsága csökken, hossza pedig növekszik. Amikor az egész tuskószelvény áthalad a hengerpár túloldalára a mozgó hidraulikák szűkítenek a henger-résen és a görgősor visszafelé mozgatja a tuskót, minden ilyen lépést szúrásnak hívnak, ezeket a lépéseket pedig addig folytatják, amíg el nem éri az anyag a kívánt vastagságot, ehhez 15-25 szúrás és 15-20 perc szükséges. Az utolsó szúrásoknál az anyag hossza már meghaladhatja a görgősor hosszát, ilyenkor és a hengerlés végén a tuskóból keletkezett szalagot feltekercselik, innentől tekercsként kezelik.



5. ábra: Meleghenger állvány madártávlatból.

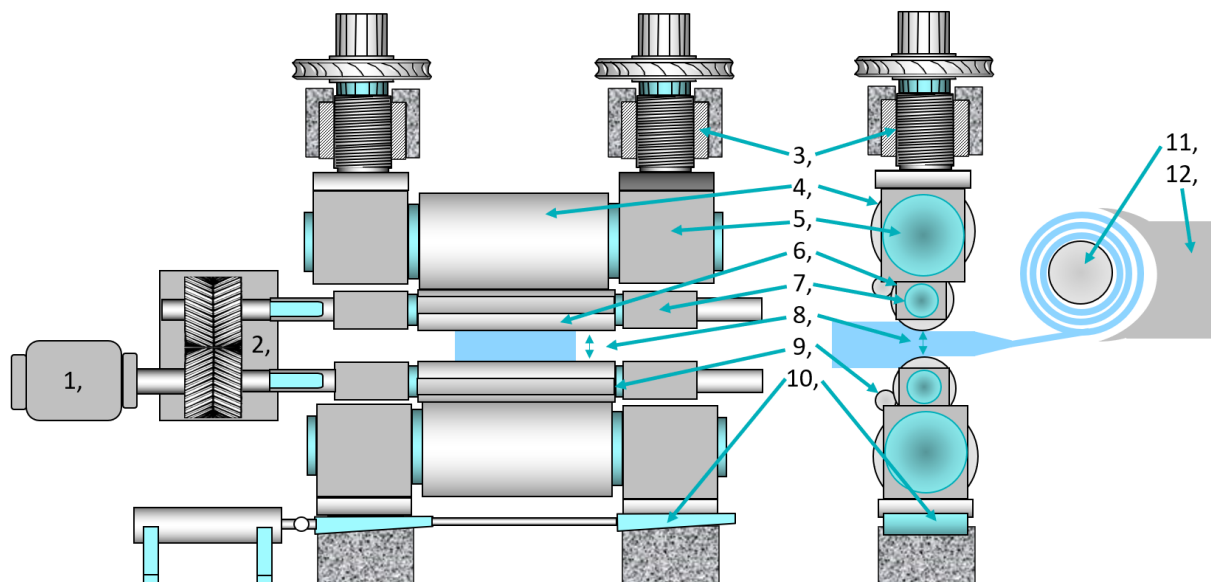
Hengerlés közben folyamatosan a hengerek hűtésére és a kenés ellátására hűtő-kenő emulziót permeteznek az anyagra, illetve a hengerekre. Az idő itt nagyon fontos, hiszen a teljes melegalakítást el kell végezni mielőtt az anyag kihűlne, ha az újrakristályosodási hőmérséklet alá csökken az anyag hőmérséklete akkor már hideg, képlékeny alakítás történne, az anyag minden lépéssel keményebb lenne és idővel nem lehetne tovább hengerelni, folyáshatárát

meghaladva, rideggé válna és a szalag elszakadna. Mivel a tuskóból szalag gyártását csak ez az állvány képes elvégezni, ezért kiemelt fontosságú az üzemelés biztosítása és az üzemzavarok elkerülése.

A melegen hengerelt szalagot ezután több hideghengerlési szúrással vékonyítják tovább a vevői előírások által megkövetelt vastagságra, ha közben eléri az alakítási határát akkor közbelső hőkezeléssel lágyítják ki és hengerlik tovább. Készre hengerlés után vevői igény szerint zsírtalanításon eshet át az anyag. Végso mechanikai tulajdonságok elérése érdekében részleges vagy teljes kilágyítást alkalmaznak hőkezelő kemencékben. A megfelelő felületi és belső tulajdonsággal rendelkező anyagot a kívánt formára hasítják, darabolják, vágják, ezután csomagolják és kiszállítják a megrendelőnek.

4.2. Tribo-rendszerek alumínium meleghenger állványon

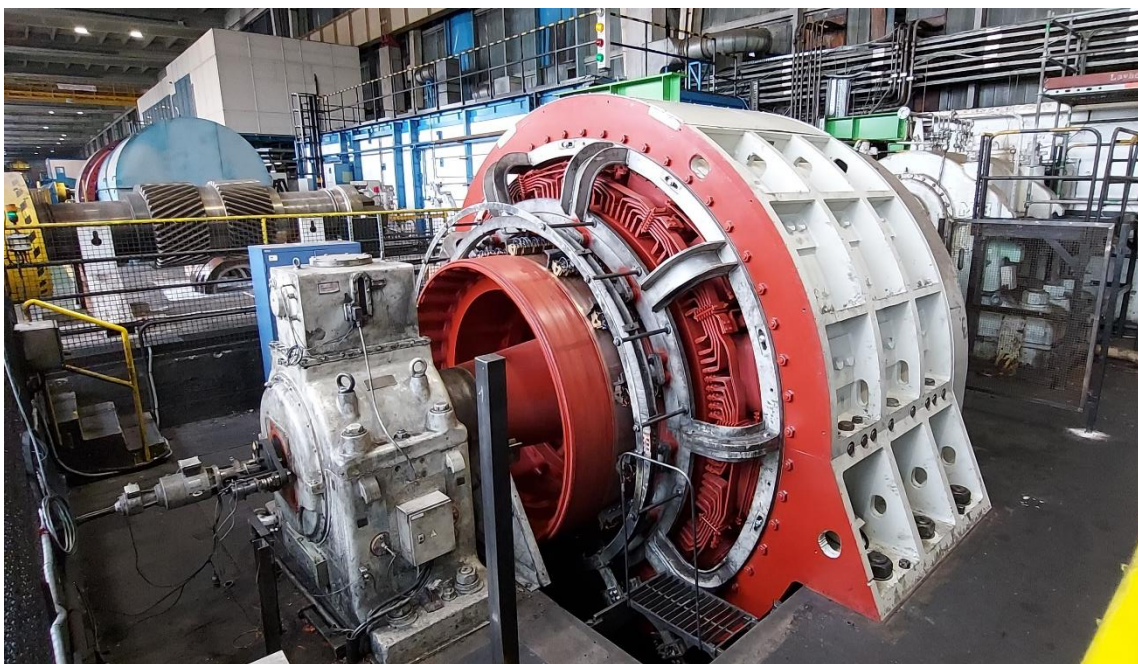
A már említett gyártási folyamat kivitelezéséhez alkalmazott technológiai megvalósításokra speciális tribológiai rendszerek lettek kialakítva. 6. ábrán a meleghenger állvány tribo-rendszerei láthatóak.



6. ábra: Meleghenger állvány elvi sémája szemből és oldalról. [saját ábra]

A főmotor (1.) egy 5 MW teljesítményű villanymotor, ez szükséges ahhoz, hogy a melegalakítás el tudja végezni. A motor két oldalán a csapágyazást egy-egy 1600 mm átmérőjű fehérfém siklócsapágy látja el, melyekben egy 750 mm átmérőjű tengely található. Kenésüket a „ZS4” rendszer végzi. A csapágyak felett egy három darab kapacitív szintérzékelővel ellátott

puffer tartály található, ezzel garantálva a megfelelő olaj mennyiséget. Illetve a csapágyak alján - a maghoz közel - beépített hőmérők figyelik az esetleges csapágy melegedést (7. ábra). Az erőátviteli hajtómű fogaskerékházának (2.) a kenését a „ZS2” rendszer végzi. Az alsó tengely közvetlenül a főmotorhoz csatlakozik, a dupla helikális fogaskerekeknek köszönhetően a két tengely ellentétes irányba forog - mely szükséges is a hengerléshez -, a ház túloldalán pedig közlőtengelyek egy bronz kopó betéttel csatlakoznak a munkahengerekhez.



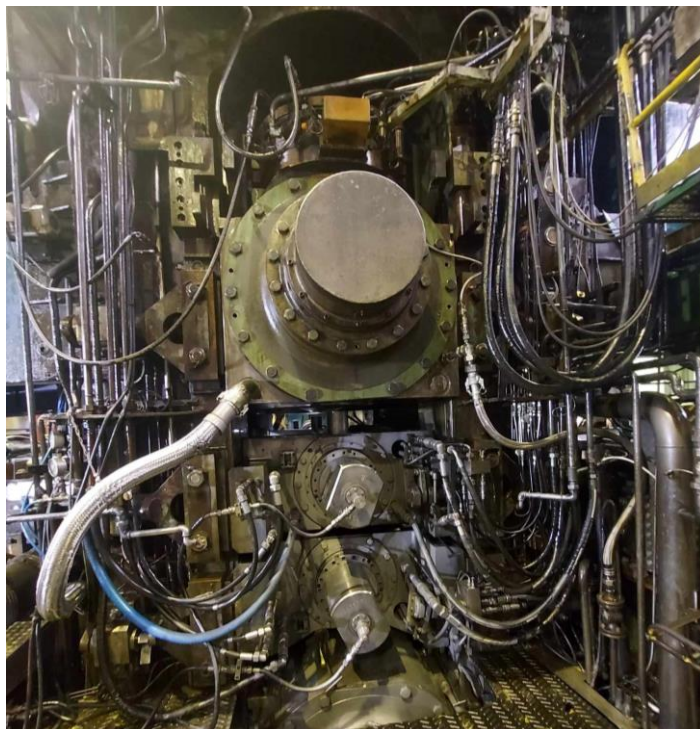
7. ábra: Meleghenger főmotor (középen), hajtómű fogaskerékház (jobbra), tartalék fogaskerék (balra fent), főmotor csapágyház (balra lent). [saját fénykép]

A főorsó (3.), a hengerpár közötti távolság, tehát a hengerlési rés (8.) beállításáért felelős, mozgatását Davy Gap hidraulika rendszer végzi, a két darab orsót egy nagy viszkozitású kenőolajjal, árasztásos módon kenik, a felesleges olajat egy gyűjtő tálcából egy szivattyú juttatja vissza a „ZS2” kenő tartályba.

A tám-hengerek (4.) megtámasztják a munkahengereket, növelve a merevségüket, így a munkahenger csapágyat (7.) már nem terheli a hengerlési erő, csak a tám-hengercsapágyat (5.), mely nagyobb méretű. Tám-hengerek szélessége 1800 mm, átmérőjük 1400-1500 mm, tömegük 33-33 tonna, a négy darab csapágy hidrosztatikus kenésű siklócsapágy, a tengelyre húzott acél kúpos persely külső átmérője 1120 mm, a fehérfém bevonatos „fémcs” persely belső átmérője 1127 mm, a 7 mm-es csapágyrést egy ISO VG 460 típusú olajjal a „ZS1” rendszer kenik. Üzemi körülmények között a hidrosztatikus rendszer 500 bar nyomáson üzemel, amikor

nyugalmi helyzetből ki kell emelnie a szerszámzatot akkor ez elérheti a 700 bar-t is, hiszen ilyenkor még a 22 tonna tömegű munka-henger is ránehezedik.

A munkahengerek (6,) érintkeznek közvetlenül az anyaggal, felületük folyamatosan kopik a vegyes súrlódású és csúszó rendszernek köszönhetően, de az intenzív kopás és kopadék képződés az alumínium termék részéről nagyobb. Egy-egy munkahenger-pár rövid időt tölt az állványban (2-3 nap), ha megsérülnek vagy elhasználódnak, esetleg a keskenyebb anyagok inhomogén kopást okoznak - ez után szélesebb anyag hengerlésnél sávós felületi eltérés keletkezne - a felületen akkor a hengerpárt kicserélik, ilyenkor csapágyazással együtt az egész szerszámzatot kiemelik és egy előkészített felújítottat helyeznek be. Innen a henger-köszörűmbe kerül a használt szerszámzat, ahol szétszerelik, először a 680 mm átmérőjű, négy soros, kúpgörgős, zsírkenésű csapágyakat lehúzzák a tengelyekről, ezután a munkahengerek felületét palást köszörüléssel felújítják (átmérő 770-800 mm között). A csapágyakat megtisztítják és felülvizsgálják. Összeszerelésnél egy 2-es konzisztenciájú lítium-komplex bázisú zsírral töltik fel a csapágyakat. A 8. ábrán a tám és munkahengerek láthatóak az állványon belül.



8. ábra: Meleghenger állvány szerszámzat oldalról. [saját fénykép]

A hengerek élettartamának növelésére, a felület javítására és a hengerekre esetlegesen felpapadt kisebb-nagyobb alumínium darabok eltávolításához egy-egy acél-sörtés hengerkefe van

felszerelve, a kefe mozgatásához és rászorításhoz egy külön hidraulika rendszer van kiépítve (Davy Brush).

Az anyag síkkifekvését és az esetleges „elmászását” a kezelők a hengerhajító (10,) rendszerrel tudják befolyásolni és javítani, ehhez szintén saját hidraulika rendszer van kiépítve (Davy Bending).

Az egyéb hidraulika és mozgató elemeket egy központi rendszer látja el (Rexroth), ezekbe tartozik a csévézés (11,), a különféle terelőgörgő mozgatása, a tuskó központositó, illetve a szalag tekercsbe terelését ellátó hevederes felvezető is (12,).

1. táblázat: Meleg állvány kenő és hidraulika rendszerei (zölddel a diagnosztikával már rendelkezők):

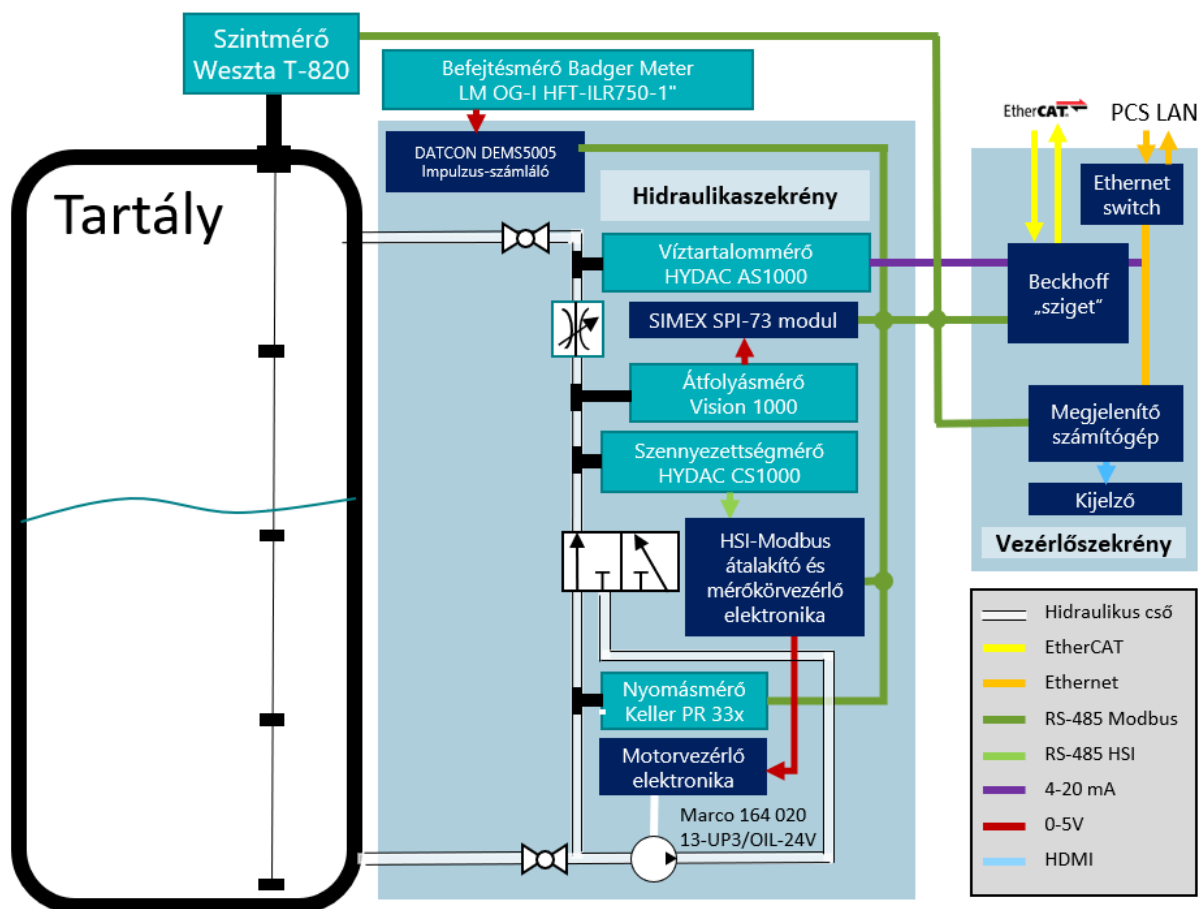
Rendszer	Feladat	Olaj típusa	Térfogat (liter)
ZS1	Tám-hengerkenés, férfém csúszócsapágy kenés	ISO VG EP 460, ásványi kenőolaj	7 000
ZS2	férfém csúszócsapágyak, fogaskerekek, gördülőcsapágyak, bronz csigakerekek kenése	ISO VG EP 460, ásványi kenőolaj	13 000
ZS4	főmotor férfém csúszócsapágyak kenése	ISO VG 46 HM hidraulika olaj	5 000
Davy bending	hengerhajítás, 310 bar-os szervoszelepes hidraulika	ISO VG 46 HM hidraulika olaj	2 200
Davy gap	hengerállítás, 310 bar-os szervoszelepes hidraulika	ISO VG 46 HME hamumentes hidraulika olaj	800
Davy brush	hengerkefe, 150 bar-os szervoszelepes hidraulika	ISO VG 46 HME hamumentes hidraulika olaj	1 500
Rexroth	100 bar-os hidraulika	ISO VG 46 HM hidraulika olaj	4 000
Achenbach coiler	felcsévéző hajtómű, fogaskerekek, gördülőcsapágyak kenése	ISO VG 145, hajtóműolaj	50
VAI coiler	felcsévéző hajtómű, fogaskerekek, gördülőcsapágyak kenése	ISO VG 145, hajtóműolaj	50
Sack	Bugaolló hidraulika	ISO VG 46 HM hidraulika olaj	1 500
Olló kenő	Bugaolló kenése	ISO VG 145, hajtóműolaj	200
Kihordó kenés	Bugavégkihordó hajtómű kenése	ISO VG 145, hajtóműolaj	100

4.3. Probléma bemutatása,

A berendezések bonyolultsága, illetve kora miatt, vagy egyszerűen a technológia korlátok miatt a már említett tribo rendszerek nem ideálisak. Nehezíti a helyzetet, hogy a berendezések többsége, így a megleghenger állvány is szinte a hét minden napján, a nap minden órájában üzemel. Természetesen ebbe nem tartoznak bele a kötelező üzemszünetek, mint például a műszakváltás, a kezelő személyzet étkezési szünete és a kéthetente tartott megelőző karbantartás. Ezen felül a további nem tervezett állásidőt többnyire a hőfokhiány – amikor tuskók még nem kapták meg a megfelelő előmelegítést-, a nem tervezett szerszámcsere, és a karbantartási segítséget igénylő meghibásodások okozzák. A meghibásodások nem mindig és nem mindig közvetlenül, de kapcsolódhatnak a tribo rendszerekhez. Pár példa: olajfolyások, tömlőszakadás, szivattyú probléma, olaj hűtés-, fűtés-, szűrés-, víztelenítés üzemzavara.

4.1. Online diagnosztika kiépítése

A hibák korai felismerésére és elkerülésére, megoldási koncepciók között szerepelt a fő egységekre történő diagnosztika kiépítése, melyben egy külső vállalkozó céget kértünk fel segítségül. Törekedtünk arra, hogy a diagnosztika standard, könnyen hozzáférhető elemekből épüljön fel, kerülve az egyedi célra gyártott megoldásokat, hogy meghibásodás esetén egy gyors szenzor vagy vezérlő cserével orvosolható legyen a probléma. A mérési igények növekedésével és a szenzorok fejlődésével már arra szintre jutottak, hogy a legtöbb mérőeszköz katalógus termékként elérhető és rendelhető. Nagy mennyiségű mérési pont esetén pedig a sztenderdizálás megkönnyíti a tartalék alkatrész készlet fenn tartását.



9.ábra: Diagnosztikai csomag vezérlő és mérő egységei. [informatikai csapat által készített ábra]

Az elsődleges probléma, hogy a folyamatos olaj csepegések mellett a kisebb-nagyobb folyások nehezen észrevehetőek ezt az is nehezíti, hogy időben nem állandóak. Ezért a diagnosztikai csomag első eleme, ahogyan a 9. ábrán is látható a tartályszint figyelés, ehhez egy Wesza T-820 magnetostrikciós szondát választottunk, méréshatára 0 - 6000 mm-ig terjed, pontossága 1 mm, felbontása pedig 0,1 mm. A szint értékek a tartály paraméterek ismeretében szoftveresen beépítve könnyen átalakíthatóak töltött térfogat mértékegységbe, egy kalibráció után pedig megbízhatóan alkalmazhatóak. Mivel a mérőcsőben több ponton termoelemes hőmérsékletmérő van beépítve, a folyadék és a felette lévő légtér hőmérséklete is mérhető. [14]

A tartályszintfigyelés kiegészítő eleme, hogy az olajpótlást szolgáló befejtések okozta tartályszint növekedés ne zavarja meg a rendszert, minden befejtő csomagra egy-egy Badger Meter LM OG-I típusú befejtésmérő került kiépítésre.

A melegehengerlés során a hűtő-kenő anyag szerepét egy 3,6 - 4,2% olajtartalommal rendelkező, 180 000 liter össztérfogatú, víz alapú emulzió látja el. Termelés során

elkerülhetetlen, hogy az állvány elemeit ne érje az emulzió, de például a szerszámzatnál szükséges is. A tömítések, a szimeringek és a különféle védelmi megoldások ellenére elkerülhetetlen bizonyos olajok vizesedése. Ezen felül a nagy viszkozitású olajok könnyebb kezeléséhez temperálva vannak, új eszközöknél a fűtés elektromos panelekkel van megoldva, viszont a régi tartályoknál gőzzel fűtött csőspirál látja el ezt a feladatot, mely szintén a vizesedés kockázatát növeli. Ezért a diagnosztika következő eleme a relatív víztartalommérő lett. A kereskedelemben kapható legkönnyebben elérhető és az egyik legmegbízhatóbb típust, egy HYDAC AS 1000 víztartalommérőt választottuk. A szenzor az olajhőmérséklet függvényében képes megadni az olaj telítettségi fokát. Jelzés esetén egy tartály fenéken található leeresztő csappal meg tudunk szabadulni a víztől, viszont az emulzió okozta szennyezettségnél a vízzel együtt az emulgeálószer is bekerülhet, így egy fordított víz az olajban emulziót hoz létre, ami csak speciális víztelenítő berendezéssel távolítható el.

A gépek működéséből és kopásából, illetve a külső forrásból származó szilárd szennyezők mérete és mennyisége döntően befolyásolja a gépek állapotát. A szennyezők mérése információt ad a gépek kopására, illetve az olajszűrés hatékonyságára. Az értékeket egy HYDAC CS1000 szenzor méri, az ISO szabvány szerinti mértékegységben (4, 6, 14 μm). Mivel a részecskék számát 100 ml olajra vonatkoztatva adja meg, így állandó ismert áramlási sebesség - 30-300 ml/perc - szükséges a szenzoron át. Ezért egy Marco 164 020 13-UP3/OIL-24V típusú szivattyúval ellátott külön mérőkör van kialakítva egy Vision 1000 áramlásmérő szenzorral. A tisztaságmérő szenzor megbízhatóságának köszönhetően mobil tisztaságmérő készülékekbe beépítve is előszeretettel használják.

4.2. Online diagnosztika alkalmazása

Kísérleti céllal a megleghenger állvány főbb hidraulika és kenő tartályaira telepítésre került egy-egy már feljebb említett diagnosztikai csomag. Amelyik szenzor nem közvetlen beépítésű annak úgy lett kialakítva a mintavételi pontja, hogy a lehető legjobban szemléltesse az olajtöltött állapotát. Az elektronika össze lett kötve az állvány PLC-jével, illetve egy adatgyűjtőn keresztül másodperces felbontásban adatmentést végez a rendszer.

Első feladatunk az egyszerű mért adatokra kialakítani különféle riasztási szinteket, esetenként ezekhez rendeltünk automatikus beavatkozásokat is, illetve létrehoztunk egy a kezelők által is látható felületet (10. ábra). Például a tartályszint minimumhoz vagy maximumhoz közeli

állapotban riasztást ad a kezelőknek, kijelölt szint elérésénél tiltást ad a következő tuskó kemencéből való kivételére - az épp folyamatban lévő hengerlést még be tudja fejezni a kezelő, de újat nem tud elkezdni -, tartály leürülés esetén pedig rendszertől függően, akár be is avatkozhat az állvány vezérlésébe. Viszont egy olajtisztasági értékhez csak riasztási szintek vannak beállítva.

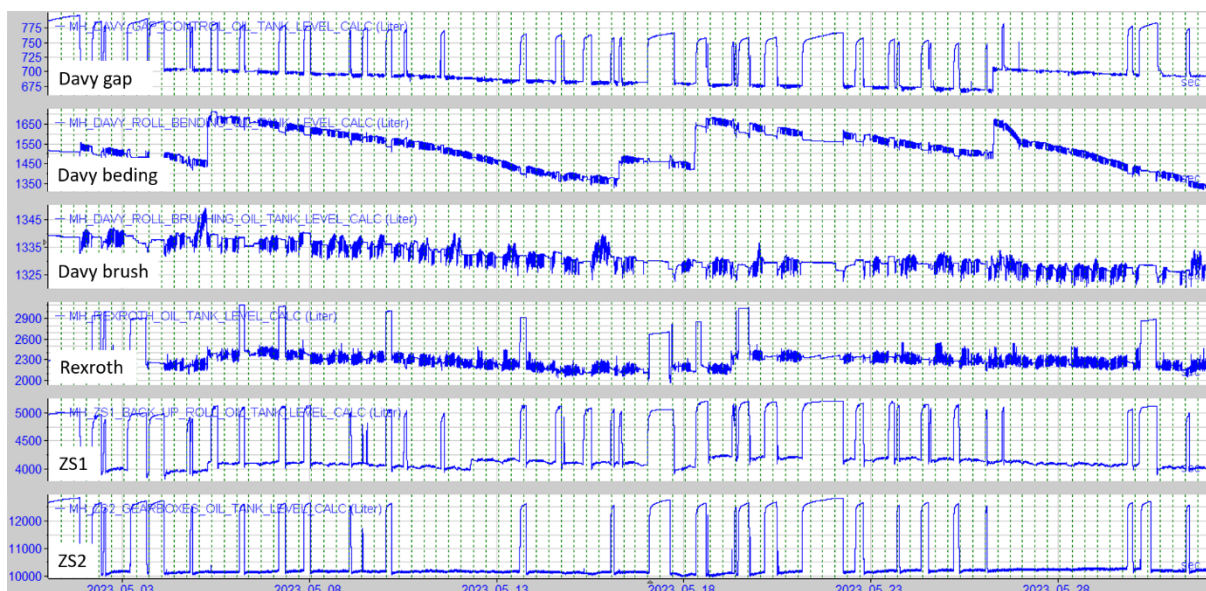
Meleghenger-állvány online diagnosztika					
Davy Hengerállítás	Davy Hengerhajlítás	Davy Hengerkefélése	Rexroth	ZS1	ZS2
Olajszint-szint (Bar)	Olajszint-szint (Bar)	Olajszint-szint (Bar)	Olajszint-szint (Bar)	Olajszint-szint (Bar)	Olajszint-szint (Bar)
818.0	1581.5	1091.5	2914.7	5305.5	10541.4
Olajhőmérséklet (°C)	Olajhőmérséklet (°C)	Olajhőmérséklet (°C)	Olajhőmérséklet (°C)	Olajhőmérséklet (°C)	Olajhőmérséklet (°C)
26.0	22	26.4	28.0	33.8	33.6
Relatív olajszint-tartalom (%)	Relatív olajszint-tartalom (%)	Relatív olajszint-tartalom (%)	Relatív olajszint-tartalom (%)	Relatív olajszint-tartalom (%)	Relatív olajszint-tartalom (%)
22	26	15	28.4	100	82
ISO olajszint-tartalom (H ₀ , H ₁ , H ₂)	ISO olajszint-tartalom (H ₀ , H ₁ , H ₂)	ISO olajszint-tartalom (H ₀ , H ₁ , H ₂)	ISO olajszint-tartalom (H ₀ , H ₁ , H ₂)	ISO olajszint-tartalom (H ₀ , H ₁ , H ₂)	ISO olajszint-tartalom (H ₀ , H ₁ , H ₂)
14 13 10	15 12 9	14 13 9	18 16 10	23 22 21	21 18 15
Áramlásmérő, áramlás (ml/min), nyomás (Bar)	Áramlásmérő, áramlás (ml/min), nyomás (Bar)	Áramlásmérő, áramlás (ml/min), nyomás (Bar)	Áramlásmérő, áramlás (ml/min), nyomás (Bar)	Áramlásmérő, áramlás (ml/min), nyomás (Bar)	Áramlásmérő, áramlás (ml/min), nyomás (Bar)
+ 279 2.6	OK 293 1.7	OK 301 2.1	OK 274 0.0	- 6.3	OK 6.3
Elektronika állapot	Elektronika állapot	Elektronika állapot	Elektronika állapot	Elektronika állapot	Elektronika állapot
Display állapot	Display állapot	Display állapot	Display állapot	Display állapot	Display állapot
Áramlásmérő állapot	Áramlásmérő állapot	Áramlásmérő állapot	Befejtőmérő állapot	Áramlásmérő állapot	Áramlásmérő állapot
Nyomásmérő állapot	Nyomásmérő állapot	Nyomásmérő állapot	Áramlásmérő állapot	Nyomásmérő állapot	Nyomásmérő állapot
Szintmérő állapot	Szintmérő állapot	Szintmérő állapot	Nyomásmérő állapot	Szintmérő állapot	Szintmérő állapot

10.ábra: Kezelőknek kihelyezett diagnosztikai jelentés az aktuális eredményekkel [saját képernyőkép]

A lementet adatok feldolgozására egy ibaAnalyzer nevű szoftver állt rendelkezésre, mivel az állványok nem csak olaj, hanem üzemi diagnosztikával is el van látva, és mivel egy rendszeren belül van az összes adat, így nagyon könnyen össze tudjuk hasonlítani azokat. A hengerlési-erők, sebességek, irányok mellett, mely emulzió fűvókák vannak nyitva, melyik munka és tám-henger pár van az állványba, hányadik szűrésnél tart a folyamat, de még a tuskóméretek és az ötvözetek is elérhetőek. Az is észrevehető, hogy mindegyiknek külön-külön hatása van egymásra. Például magasan ötvözött, nagy méretű tuskók hengerlése sokkal jobban igénybe veszi a gép képességeit, nagyobb áramfelvétel a főmotornál, így nagyobb a terhelés, ami a csapágyakat éri.

Az üzemelési paraméterekkel és a digitális műszakjelentéssel összehasonlítva tudtam értelmezni a jeleket, például a hengerkefe üzemelése közben a tartályszt 3,1 literrel csökken, hiszen a mozgó és állító hidraulikákba kerül az olaj, vagy az állvány teljes lekapcsolásánál a csővezetékéből és az állványból visszafolyik az olaj (Davy gap, Rexroth, ZS1, ZS2), ez látható a ZS2 rendszerénél is, ahol több mint 2 500 liter folyik vissza az állványból a 13 000 literes tartályba. Ez a jelenség könnyen azonosítható, hiszen ilyen esetben több tartály szintje is

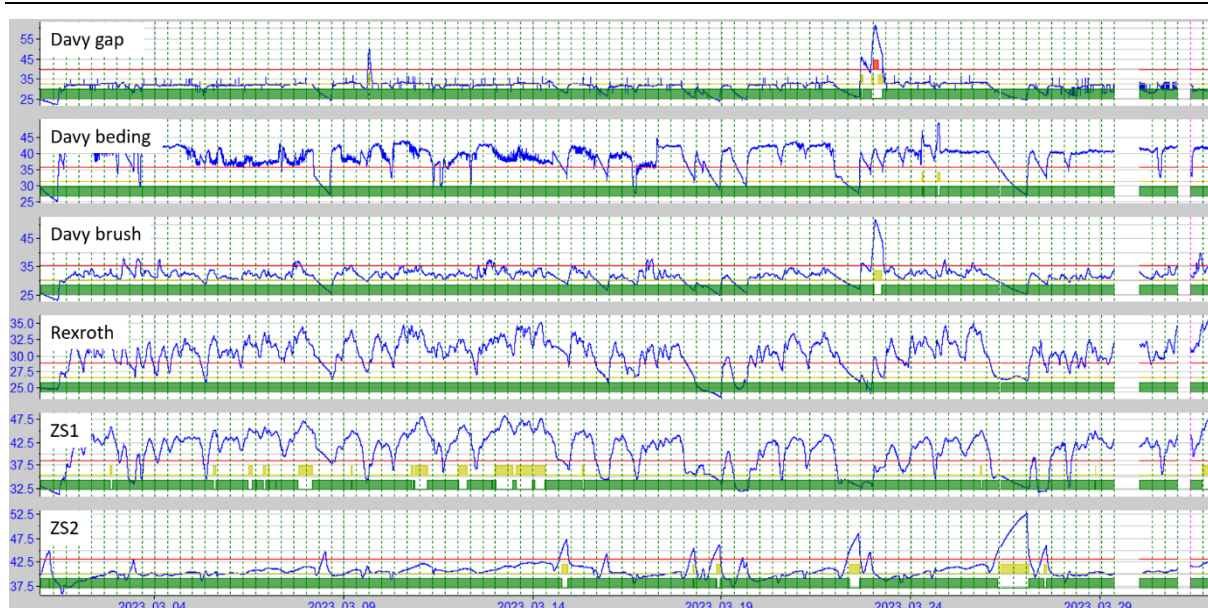
hasonlóan változik (11. ábra, kiugró csúcsok), illetve az online műszakjelentésben könnyen látható, hogy üzemelt-e az állvány.



11. ábra: Tartály szintek alakulása egy hónapos intervallumban. [saját ábra]

A tartályszinteken láthatóak nagyobb egyedi pozitív ugrások, ezek az utántöltések, a kenőolaj management és a Kollégák munkájának megkönnyítése érdekében nagyobb mennyiséggel töltenek után, fél vagy egész hordóval (100-208 liter), ebben az esetben a befejtésmérő igazolja a befejtést. Mindegyik hidraulika rendszeren látszik egy bizonyos mértékű olajfolyás, a tartályszint csökkenés meredeksége viszont nem állandó. Az esetenkénti folyások vagy tömlő szakadások okozta szint esések is felismerhetőek.

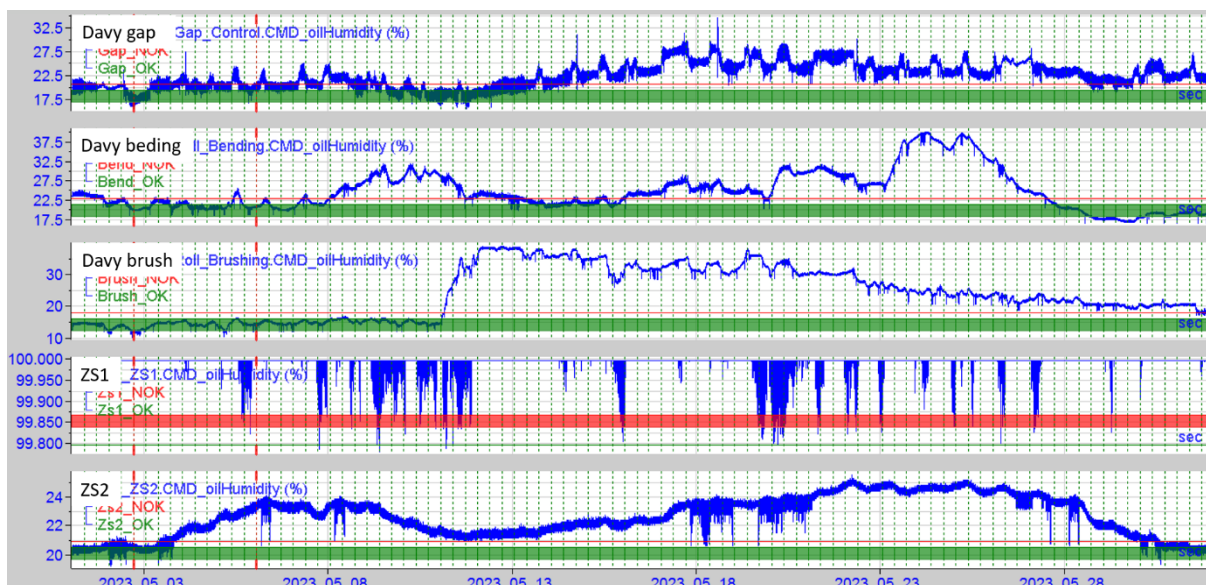
Hőmérséklet adatok értelmezésénél a beavatkozási határokon kívül információt ad a hűtő vagy a fűtő rendszer működésére, szivattyú és csapágy melegedésre. Illetve a nagy olaj töltetek hőtágulása miatt a tartály szintek is mérhetően változhatnak. Hiba esetén könnyen ellenőrizhető, hogy melyik rendszer, melegedet vagy hűlt le, de nyomonkövethető az üzemelés közbeni melegedés is és az is, hogy az olaj kapott-e hősokkot egy üzemzavar során.



12.ábra: Olajok hőmérséklet alakulása egy hónapos intervallumban. [saját ábra]

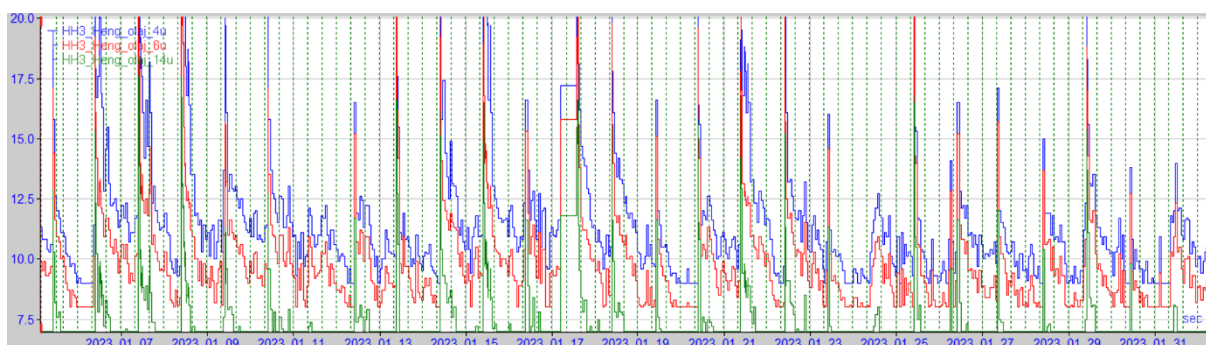
Például a 12. ábrán láthatóak az üzemszünetekben bekövetkezett olaj elhűlések és az esetleges problémák. Emellett látszanak a könnyebb adatfeldolgozáshoz megadott vizuális jelölések, a beállított megfelelő üzem- (zöld marker), a jelzési- (sárga marker) és beavatkozási- (piros marker) hőmérséklet-határ-jelölések.

Az állvány tribológiai rendszereinek környezete nem ideális, az árasztásos emulzió kenés miatt az olajok a már említett okok miatt ki vannak téve a vízszennyezésnek, a víztartalom relatív mérése mellett a hőmérséklet és az üzemi paramétereket is figyelembe véve a felesleges víz sokszor eltávolítható, hosszabb üzemszünet végén a kihűlt olajból csapódik ki a legtöbb víz. Illetve az emulgeátorok bejutása miatt, van olyan rendszer, amit nem lehet manuálisan vízteleníteni (ZS1), ami a 13 ábrán látható.



13.ábra: Olajok víztartalmának alakulása egy hónapos intervallumban. [saját ábra]

Az olajok ISO tisztaság változásának bemutatására szemléletesebb a hármas számú hideghenger állvány hűtőkenő olaj rendszerre kiépített mérőkör, a 14. ábrán látható, hogy a hengerléskor képződő alumínium kopadék, hogyan növeli meg az olaj szennyezettségét és ezen, hogyan javít a szűrőréteg csere.

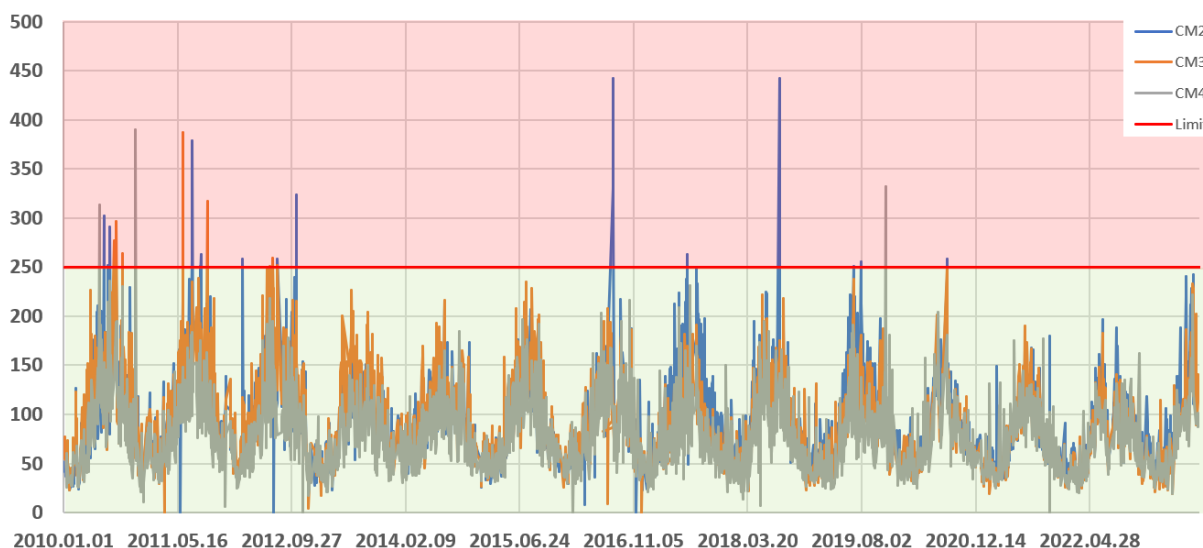


14.ábra: Hengerlési olaj tisztaságának változása egy hónapos intervallumban. [saját ábra]

4.3. Valós problémák kivizsgálása

Miután kiépítésre kerültek a diagnosztikai csomagok és már értelmezni tudtuk a mindennapi munka indukálta jeleket, elkezdünk figyelni az abnormális jelenségekre, ismert és ismeretlen hibák okozta jel változásokra. Ezekben az esetekben még fontosabbá vált, hogy ne csak egy-egy pontot vagy egy-egy jelet figyeljünk, hanem egységként, rendszerként kell kezelni egy berendezést, széles látókörral tekinteni minden változóra, kezdve a tuskó széleségen, az ötvözetten át még az időjárási körülményekre is, hiszen hosszabb esős idő után a magas páratartalom miatt megnövekedhet az olajok víztartalma. Ennek egyik legérdekesebb példája a

hengerlési olajok laboratóriumi víztartalom mérési eredményeinek ábrázolásában látszik (15. ábra), a három hideghenger állvány hengerlési olaj rendszere egymástól teljesen el van szeparálva, külön tartályba, sőt külön pincébe helyezkednek el, de mindegyik víztartalma egyértelmű összefüggés szerint évszak függően változik.

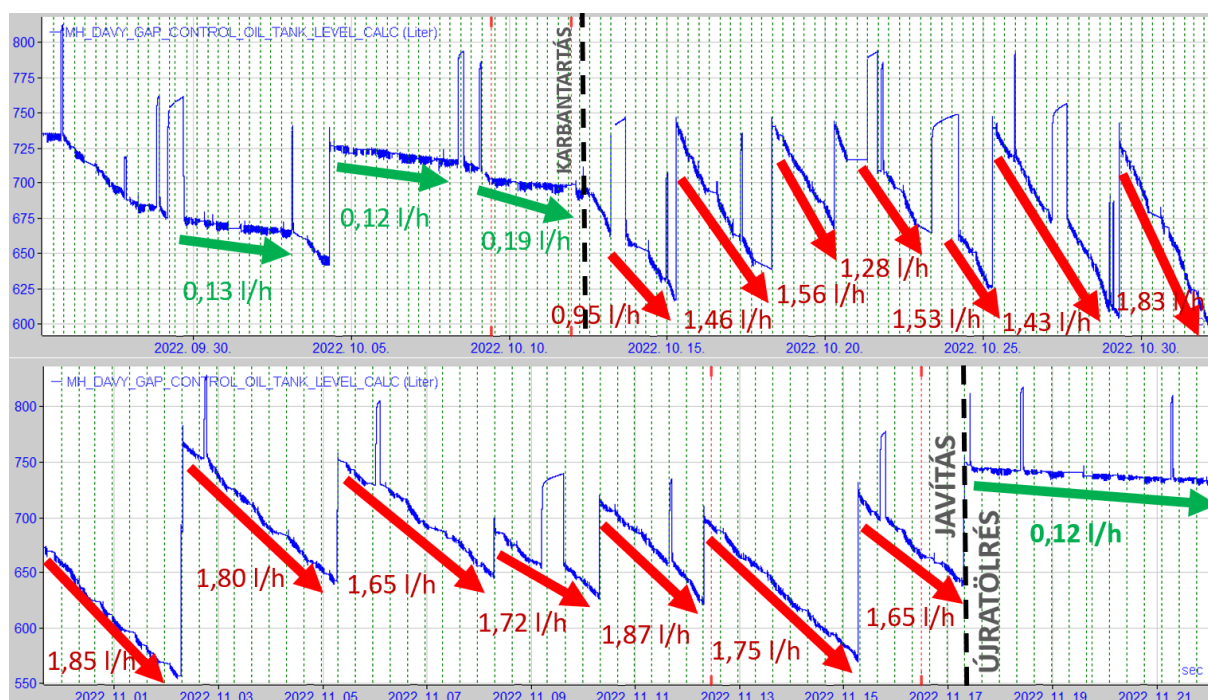


15.ábra: Hideghengerlési olajok víztartalmának laboratóriumi eredményei az elmúlt 13 évben, ppm-ben kifejezve. [saját ábra]

Az összes rendszer által mért adatokat a jelzéseken felül a mérnökség több tagjával folyamatosan nyomon követjük, ennek köszönhetően több kisebb-nagyobb hibát sikerült megállítanunk vagy megelőznünk, továbbiakban ezeket mutatom be.

Hengerállító folyás

A kezdeti időkben pár napos intervallumokat figyeltem és nem ismertem a rendszerek átlagos fogyasztását, így elsőre nem vettem észre, sőt átlagosnak gondoltam, hogy a hengerállító hidraulika fogyasztása 1,5 l/óra. Az olajtöltést végző kezelők jelezték, hogy szerintük gyakrabban kell tölteni a rendszert. Nagyobb intervallum megfigyelésénél, ami a 16. ábrán látható, hogy az átlagosnak gondolt fogyasztás valójában a tízszerese a normál fogyásnak.



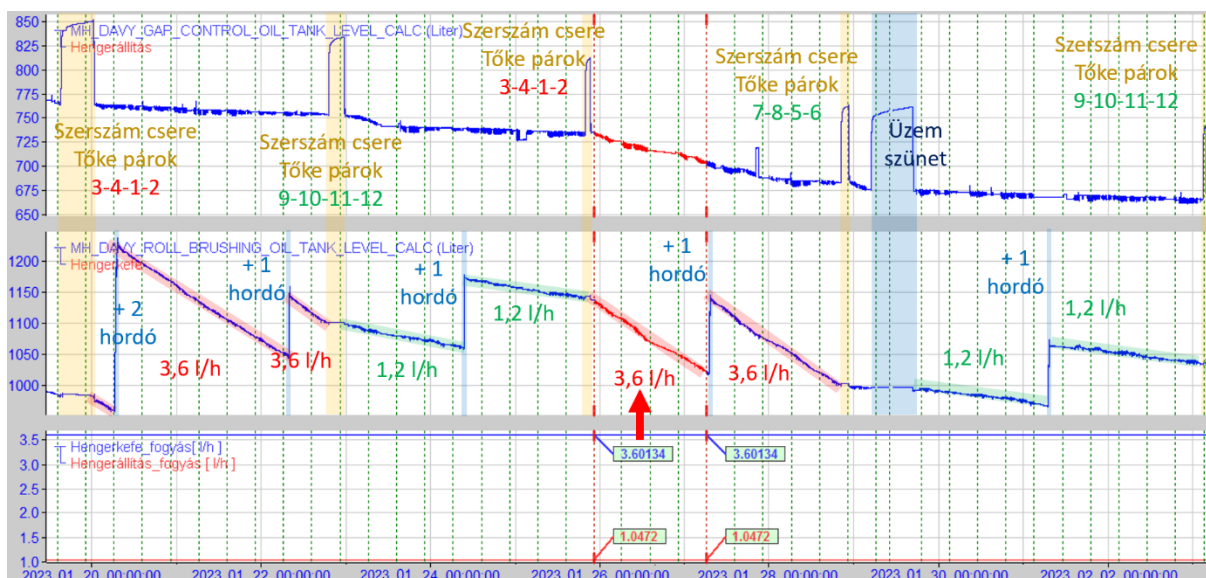
16.ábra: Hengerállító hidraulika fogyasztási adatai. [saját ábra]

Az adatfeldolgozás után látszott, hogy egy október 12.-én lévő karbantartás után indult el az olajfogyasztás növekedése. 896 órával később a kivizsgálás utáni javítás során meg is találták a folyást okozó eltört csővezetékét és cserélték. Mint látható, utána vissza is állt a rendszer fogyása a tizedére. Összesen körülbelül 1 300 liter többlet fogyasztás lépett fel, aminek költsége jóval meghaladta a félmillió forintot. Ezek után mértük fel melyik rendszer mennyi olajat használ óránként és mi az, ami „normálisnak” és mi az ami „abnormálisnak” számít.

Kefe hengerpár kivizsgálás

Ismert volt számunkra, hogy a hidraulika tömlők, csatlakozások, munkaszárak mentén az olajok szivároghatnak, diagnosztika nélkül a kezelők csak az olaj pótlásra figyeltek, de összefüggések nem voltak levonhatóak. A szintek másodperces felbontású trendjeinek elemzésénél viszont látszódnak a különbségek. Ilyen például a hengerkefe hidraulikája és itt is felmerül a komplex gondolkodás, hiszen a hengerállítás hidraulikáján látszik, hogy mikor volt szerszámcsere, a kefe hidraulika ugrásokba látszik, hogy mikor volt olajpótlás. Arra lettünk figyelmesek, hogy a kefe tartálysint csökkenése állandó, de meredeksége változik. Az ibaAnalyzer előnye, hogy a mért eredményeket, az általunk megírt függvényekkel képes átkonvertálni „új” jelekké, és a régi jelekkel együtt lehet ábrázolni. A „marker” funkció azt jelenti, hogy a grafikonon tetszőlegesen ki tudunk választani két pontot, aminek az értékeit ki

tudjuk íratni, illetve ezeket kezdeti- és végpontként is tudja a szoftver értelmezni. Egy függvény sorozattal kiszámoltathatjuk, hogy a két pont között mennyi idő telt el, mennyit csökkent a tartály szintje, ezekből pedig, hogy mennyi az adott szakasz olaj fogyasztása liter/óra mértékegységben.

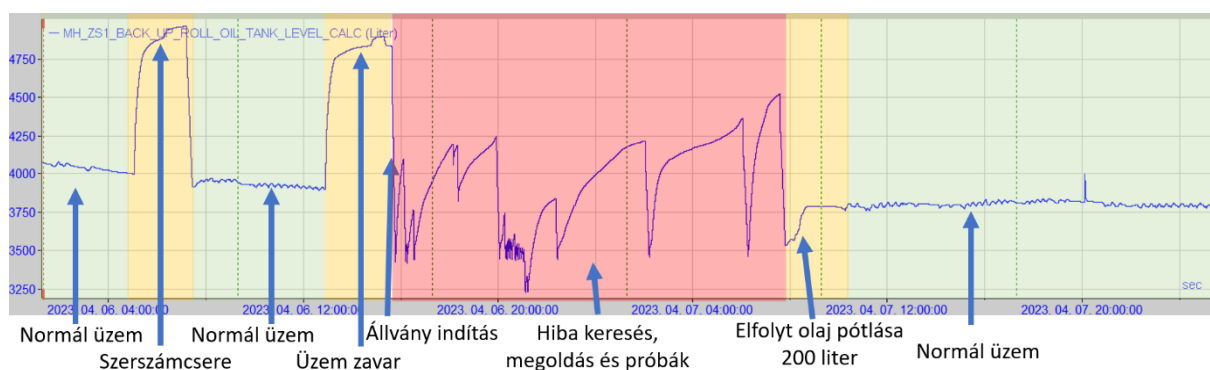


17.ábra: Információk értelmezése és olaj fogyás mértékének számítása. [saját ábra]

A 17. ábrán látható a már megírt, grafikusán ábrázolt kalkuláció és a többi információ, amit a jelek értelmezéséből ránézésre le tudunk szűrni, illetve a kezelők által beírt információk is lekérhetőek, például szerszám cserénél melyik csapágytőkekészlet került beépítésre. A „kép” teljessége esetén már könnyen észrevehető volt, hogy a 3-4-1-2 tőkepároknál az olaj fogyás háromszor, akkora mint a többinél, ahol teljes szétszerelés és nyomás próbák után a hengerköszörű-műbe megtalálták, hogy az egyik csatlakozó hegesztése repedt el.

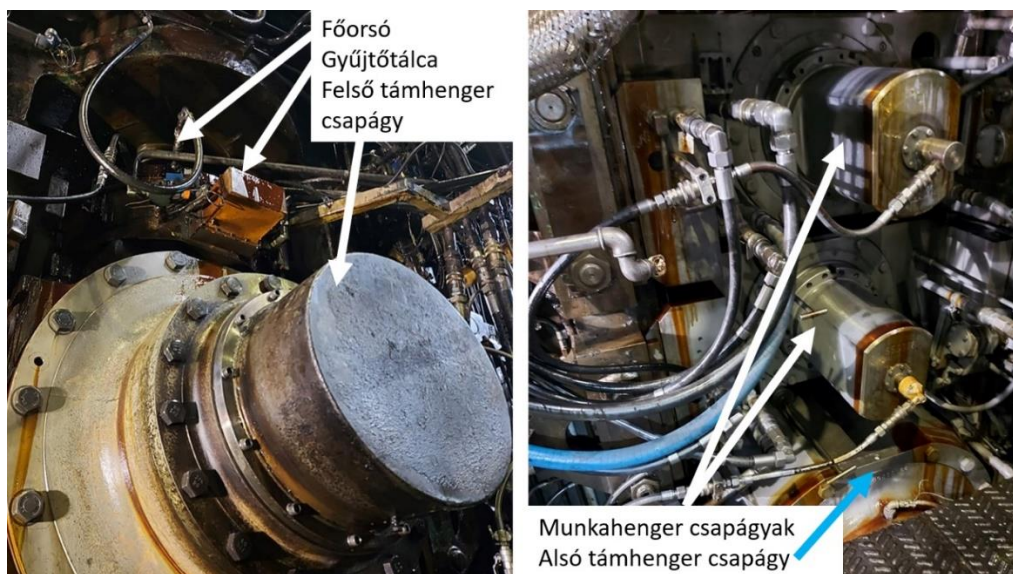
ZS1 visszaforgató szivattyú üzemzavar

A már említett főorsónál egy felülről folytatott kenőolaj végzi a kenést, alul egy tálca gyűjti össze és egy szivattyú juttatja vissza a tartályba. Karbantartási munkálatok után induló állványnál azt tapasztalták a kezelők, hogy drasztikusan lecsökkent a ZS1 tartály szintje, elsőre nem kezelték problémaként, hiszen a munkálatok során lekapcsolták a kenőrendszer keringtetését, ez azt eredményezi, hogy a tartályba gravitációsan visszakerül a csövezésből az olaj. Indulás előtt 10 perccel elindították a keringtetést, hiszen ennyi idő kell, hogy a körülbelül 1050 liter olaj visszajusson a rendszerbe, viszont ebben az esetben 360 literrel több olaj került az állványra. Ez a diagnosztikai rendszerben is látható volt, melyet a 18. ábra szemléltet.



18.ábra: ZS1 tartály szintjének alakulása az üzemzavar közben. [saját ábra]

Diagnosztika nélkül akár tartály leürülésig vagy a régi mechanikus úszó kapcsolós szintérzékelő jelzéséig üzemelt volna az állvány. Az akkori tartály szintek alapján ez egy 3000 literes olaj folyást jelentett volna. A takaró lemez eltávolítása után pedig a látható volt az olaj folyás (19. ábra)



19.ábra: Főorsó kenés, recirkuláló szivattyú üzemzavara által okozott olaj szennyezés. [saját fénykép]

Az üzemzavar előtti és utáni állapot között 110 liter volt a szintkülönbség, ehhez hozzáadva, hogy az üzemzavar elhárítás végén 1 hordónyi (208 liter) pótlást kapott a tartály, összesen körülbelül 320 liter olaj veszteséget jelentett, tehát majdnem 90%-kal csökkent a szennyezettség mértéke a diagnosztika nélküli eset becsléséhez képest.

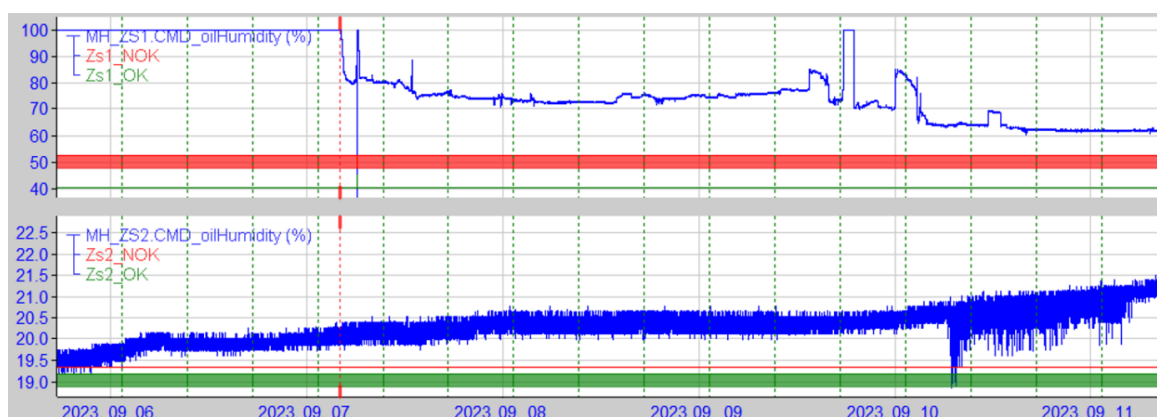
ZS1 víz

A 13. ábrán már bemutatam az olajok víztartalmának mért eredményeit, ahol jól látható, hogy a ZS1 rendszer relatív víztartalma folyamatosan 100%-os értéken van, próbálkoztunk hosszabb

állásidő alatt az olajtöltet kihűtésével és mechanikus víztelenítésével, de csak kis sikerrel. Már említést tettem, hogy bizonyos kenőanyag beszállítók mintavétel után laboratóriumi vizsgálatot végeznek igény szerint, ezek eredményeiben is látható a vízszennyezés, kemencés Karl Fischer módszerrel pontosan meghatározták a szennyezés mértékét, a legnagyobb érték, amit mértek a 2022. áprilisi mintavételezésnél volt, ahol 23 607 mg/kg volt a víztartalom, ez 5000 literes (4 500 kg) olajtöltetre nézve több mint 100 kg vizet jelentett.

Az emulzióból származó vízszennyezés, az emulgeátorok miatt nem távolítható el csak valamilyen víztelenítő berendezéssel. Irodalomkutatás és egyeztetések után volt olyan készülék gyártó, aki nem is vállalta az ISO VG 220-as viszkozitás feletti olajok víztelenítését. Végül két lehetőség merült fel, az egyik egy töltetes víztelenítő, mely megkötné az olajban lévő nedvességet, a másik egy direkt nagy viszkozitású olajokra tervezett vákuum desztilláláson alapuló víztelenítő. A második opciónál volt lehetőség próbaüzemre, így 2023.08.23-án üzembe is helyeztünk egy „RMF Water VAC” készüléket. Első körben egy kiürült hordóba szivattyúztunk a tartályból. A körülbelül 190 literes olajmennyiségnél 1,5 óra után a relatív 100% (inkább a feletti) víztartalom 72%-ra, majd további egy óra után 48%-ra csökkent, tehát a víztelenítés működött, viszont a tartályon történő teszt során a tetőnyilasokba helyeztük a tömlőket és a készülék többször leállt. Végül a tartály csatlakozásipontjaiból fel tudtunk szabadítani kettőt, így közvetlen csatlakozás jött létre. Az olaj nagy viszkozitása miatt (ISO VG 460) még így sem volt elegendő az olaj ellátása a berendezésnek és leállt, ennek megoldására a 3/4 colos bejövő ági tömlőt egy 5/4 colosra cseréltük ami meg oldotta a problémát.

Egy 2,5 perces ciklusidő alatt egyszerre 8 liter olajat keringet át a rendszer a berendezés. 4 nap volt szükséges, hogy mérhető eredményt kapjunk és 92%-ra csökkent a relatív víztartalom.



20.ábra: Kenőolaj tartályok víztartalmának alakulása és víztelenítő hatása ZS1 rendszeren (felül). [saját ábra]

Tesztelési céllal többször megállítottuk a berendezést, hogy lássuk annak hatását, azt tapasztaltuk, hogy a stabil relatív 70 % víztartalomról 2-3 óra alatt újra telítődött a rendszer. Az olajfűtés emelésével finomítottuk a rendszert és 60% relatív víztartalomra tudtuk csökkenteni a mért értéket, ami a 20. ábrán is látható, az olaj színe kitisztult és nem láttunk már opálosodást vagy emulziósodásra utaló jelet.

A víztelenítés fő oka az olaj és a csapágy élettartamának növelése volt, hiszen a víz okozta kenési elégtelenségek és korrózió is felléphet. Sajnos bizonyos csapágyakat el is kellett küldeni felújításra, mert nagyobb darabok váltak ki a terhelési zónákból, a 21. ábrán látható a felújított csapágypersely.

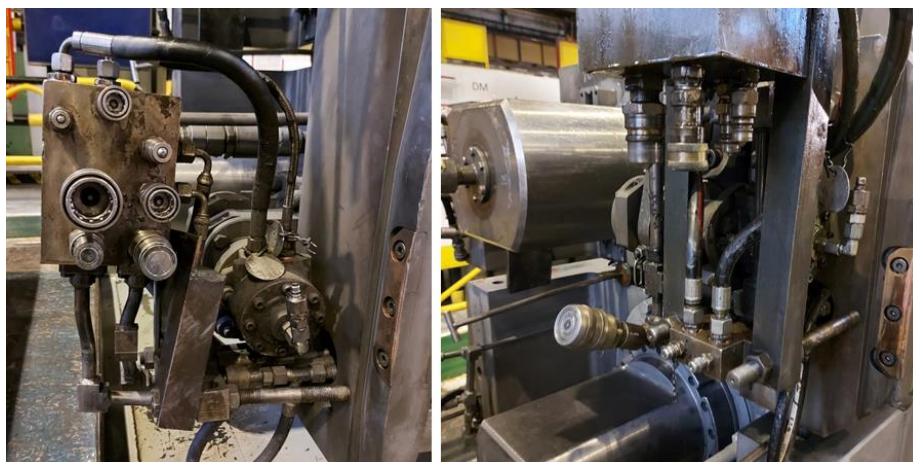


21.ábra: Meleghengerlési tám-henger csapágypersely felújítás után [saját fénykép]

Mérete, ára és a gyártási idő hossza miatt döntöttek a csere helyett a felújítás mellett, azért kapott a projekt kiemelt hangsúlyt, hogy elkerüljük a további sérüléseket.

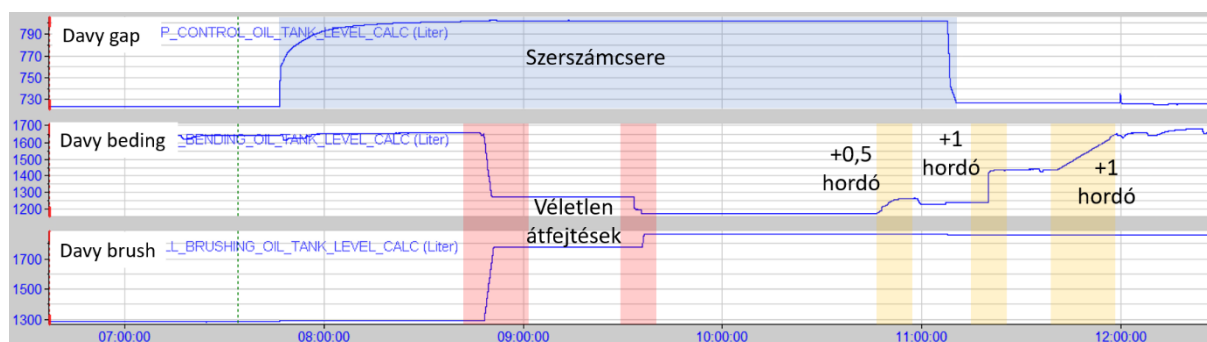
Tartályból tartályba fejtés

Meleghengerlésnél 2-3 naponta, hiba esetén sűrűben szükséges a munka-henger párt cserélni, ilyenkor lecsatlakoztatják a hidraulikus tömlőket, kiemelik a használt szerszámzatot majd beemelik a felújítottat. A folyamat egyszerűsítése és a hibák elkerülése érdekében „foolproof” megoldásként eltérő méretű, típusú és kimenetű csatlakozókkal látták el a szerszámzatot, ami a 22. ábrán látható. A tapasztalt szakember gárda ellenére, ritkán, de előfordulhat tévesztés (körübelül 3 évente alatt 2 alkalommal).



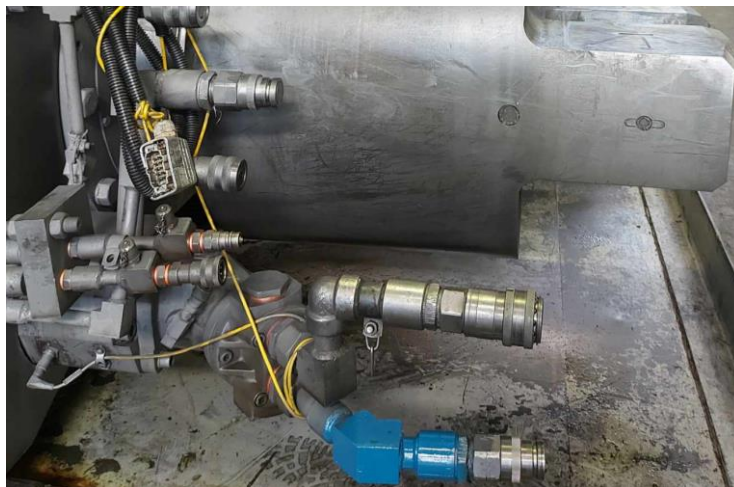
22.ábra: Hidraulika rendszerek csatlakozási pontjai munkahenger szerszámszáron [saját fénykép]

Ilyen esetben a „legnagyobb” hiba, hogy két eltérő rendszer ki- és bemenő csatlakozásait kötik össze. 2023.08.11-én nyolc óra előtt elkezdett hengercserénél, a rendszerpróba közben 3 perc alatt a hajlítóban minimum jelzés alá csökkent a tartálysztint (1 300 liter), 380 liter olaj tűnt el a rendszerből. A diagnosztika azonnali jelzésére megálltak a próbákkal, hibakeresésbe kezdtek - olaj folyást kerestek -, utána újból rápróbáltak, de megint csökkent 100 literrel a tartálysztint ekkor a diagnosztikát átnézve vettem észre, ami a 23. ábrán is látható, hogy a hengerkefe rendszerbe került át az olaj. A hiba abból fakadt, hogy a hengerhajlító hidraulika nyomóága össze lett kötve a hengerkefe hidraulikájának tartályba vezető ágával.



23.ábra: Hidraulika tartálysztintek alakulása véletlen átfertésnél. [saját ábra]

A hibát megtalálták és javították. Összesen körülbelül 500 liter olaj került átfertésre, a diagnosztika jelzése miatt, addig nem is tudták elindítani az állványt, amíg nem pótolták a hajlítóban lévő hiányt. A nagy szerencse az volt, hogy a két tartály megegyező minőségű és típusú olajjal üzemel és nem történt keresztzennyezés. Javító intézkedésként bevezetünk egy fémkártyás címkézést és egy szín-szín jelölést a csatlakozókra, ahogy 24 ábrán látható például a kék tömlő a kék csatlakozóval illik össze.



24.ábra: Színkóddal jelölt csatlakozási pontok. [saját fénykép]

Rexroth szakadás

Az állvány mérete miatt nem látható át minden része, illetve a lemezelés és a többi gépelem takarja egymást. Ezért nem volt szemmel látható, hogy a Rexroth központi hidraulika rendszerének egyik tömlője megsérült. Ahogy a 25. ábrán is látható a diagnosztika és a szintcsökkenés változásával a Kollégák időben észrevették a folyást.



25.ábra: Tömlőszakadás okozta olaj folyás diagnosztikai jelei. [saját ábra]

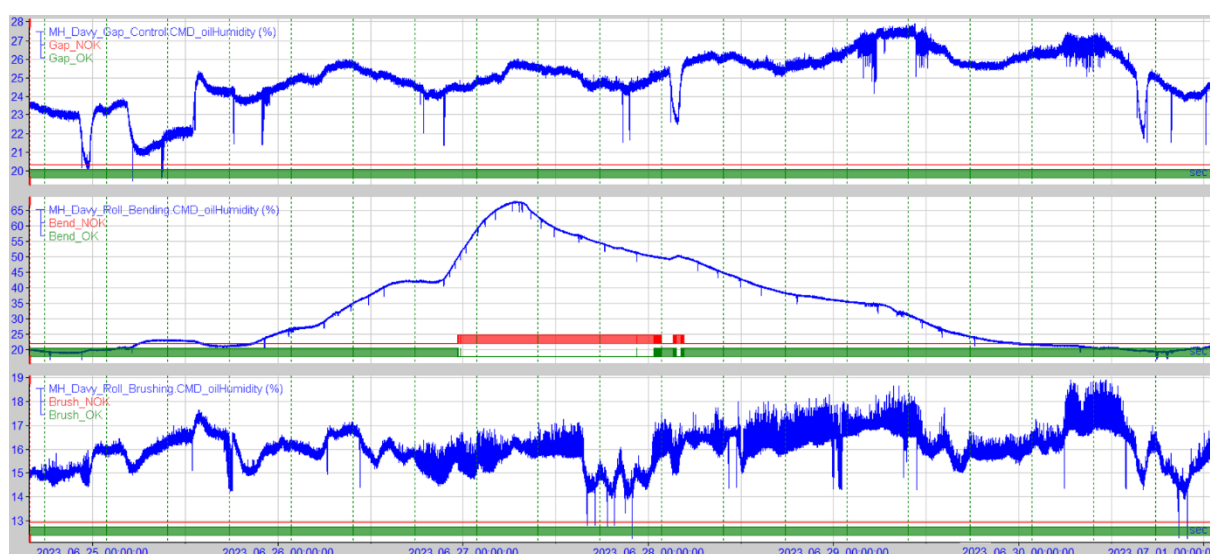


26.ábra: Tömlőszakadás és az abból fakadó olajszenyezés. [saját fénykép]

Összesen 500 liter olaj jutott ki a rendszerből, ahogy a 26. ábrán is látható, a görgősort hajtó motorok mellett gyűlt össze, szerencsére nem került bele az emulziós rendszerbe. Az egész kevesebb mint 4 óra alatt zajlott le, könnyen belátható, hogy két műszak alatt leürült volna a tartály a minimum szint alá. Ezzel a lépéssel több száz liter hidraulikaolajat sikerült megmentenünk.

Hajlító vizesedés

A hengerhajításért felelős hidraulika rendszer (Davy bending) az állványban úgy helyezkedik el, hogy elkerülhetetlen, hogy az emulzió bejusson a rendszerbe, a mennyisége szerencsére nem számot tevő, de a folyamatos szennyezés miatt képes túltelítődni a rendszer. Ezért egy Hydac Fluid Aqva mobil víztelenítő van telepítve, de a hely szűke miatt a tömlőkkel összekötve a hidraulikatartály termén kívülre lett elhelyezve, emiatt a kezelők nem látnak rá és üzemzavar esetén nem veszik észre, hogy probléma van vele. A víztelenítő fel van szerelve belső védelemmel, hiba esetén leállítja magát, de mivel mobil kocsi lévén nincs bekötve a PLC-be így erről nem érkezik információ.

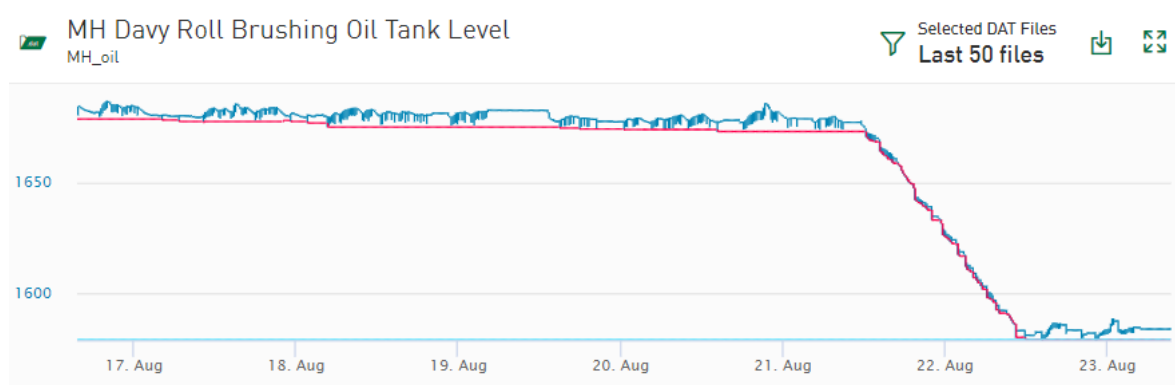


27.ábra: Hengerhajlító-olaj víztartalom alakulása (középső) víztelenítő üzemzavara esetén.
[saját árba]

Az 27. ábrán látható is, hogy üzemzavar miatti leállása után 22 óra kellett, hogy a víztartalom elérje a jelzés határát, ezen az estén 23:30-kor történt, az éjszakai műszakban nem volt megfelelő személyzet a javításhoz, így engedélyre tovább üzemeltek. A nappali karbantartó 6:30 körül el is hárította a hibát - a víztartalom itt érte el maximumát -, innentől kezdve folyamatosan csökkent, további 22 óra volt szükséges, hogy határ alá vigye és további 28 óra, hogy elérje a normál 20% körüli értéket. Ha a diagnosztika nem jelzett volna, a víz jelenléte a következő PM-ig - megelőző karbantartásig - fennált volna, mivel ennek során kötelezően ellenőrizendő elem a víztelenítő.

Csatlakozó hibák

Az előzőekben taglalt olaj fogyasztások ábrázolását bevettem a napi szinten figyelt paraméterek közé, ha bármely tartály szintje intenzívebben kezd csökkenni értesítjük a karbantartást. A hétvégi műszakok miatt, a kezelők által is látható percenként frissülő ablakot hoztunk létre a kezelő pult egyik kijelzőjén, így már a kezelők is tudják érzékelni az egyértelmű problémákat. Például a 28. ábrán látható esetben a hajtás oldalon a kefe gyorscsatlakozónál volt folyás, a csatlakozó cserélve lett. Utána látható, hogy abba is maradt az olajsztízint csökkenés.



28.ábra: Olaj fogyás meredekségének változásai a Kezelőknek kihelyezett monitoron. [saját ábra]

Tervünk az, hogy olyan matematikai függvényt írjunk mely képes különbséget tenni az induláskori tartálysint csökkenés és egy intenzívebb olaj folyás között és az utóbbira egy figyelmeztető riasztást illeszteni.

Emulzióra gyakorolt hatások

Eddigiekben a működéshez szükséges rendszerek kivizsgálásait mutattam be, de ezeknek a „környezetre” gyakorolt hatását még nem. A hidraulika és kenő rendszerek nagy része úgy helyezkedik el, hogy a tartályok és pár méternyi csővezeték után minden részük az állványba van. Az alakításhoz használt hűtő-kenő emulzió összegyűjtése miatt egy „tálcanak” hívott kádszerűen kialakított lemezelt emulzió gyűjtő fekszik a görgősor és az állvány alatt. Üzemelés során, ha szivárgás, folyás vagy tömlőszakadás lép fel, akkor a kikerülő anyagot a gyűjtő tálca az emulzióval együtt az előüleptető tartályba juttatja. Az emulzióban 95%-nál több víz van, ez végzi a hűtési szerepet, az olaj rész pedig a kenést, szint és koncentráció függően ez 6500-7500 litert olaj tartalmat jelent és az is látható, hogy pár száz liternyi hidraulika vagy kenőolaj szennyezés komoly hatással lehet az emulzióra és ez által az alakítási kenésre. Napi mintavételezéssel laboratóriumban vizsgáljuk az emulzió paramétereit, ezzel nyomon követve az esetleges szennyezéseket. Vezetőképeség és pH méréssel az oldott/oldhatatlan szennyezésre következtethetünk. Alakítás során letöredező érdesség csúcsokból generált kopadék növeli a vezetőképességet. Illetve a fémek oldatba kerülése során alumínium-, magnézium-, stb.-, hidroxidok képződhetnek mely lúgosodáshoz és pH növekedéshez vezet, ennek kompenzálására egy savas puffer adalékot tudunk adagolni az emulzióhoz, hogy az ne essen szét a szerkezete. ICP-OES (induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometria) módszerrel az emulzió fém és elemtartalmát tudjuk meghatározni. Az alumínium és a

magnézium a termékek kopásából jön. A króm, mangán és a vas a szerszámzat kopásából. A cink, kén és foszfor jelenléte a hidraulika és kenőolaj adalékokról ad információt (pl. cink-dialkilditiofoszfát). Továbbá vákuum desztillációval 70 °C-on eltávolítjuk a vizet az emulzió mintából, a visszamaradt olaj tömegmérésével a koncentrációt adjuk meg, FTIR-el az adalék tartalmát mérjük, illetve a viszkozitását határozzuk meg az olajfázisnak. A viszkozitást leginkább a szennyező olajok növelik. Saját laboratóriumi kísérleteink rámutattak, hogy az emulzió csak nehezen tudja beoldani a nagy viszkozitású kenőolajokat, könnyen kidobja azokat és leförlözhetővé válnak. Ezzel ellenben a hidraulika olajok, nagy mértékben képesek beoldódni az emulzióba. A beérkező emulzióképző olaj viszkozitása 22 mm²/s, a legalacsonyabb viszkozitású hidraulikaolajé pedig 46 mm²/s. Tehát az üzemi minta viszkozitása tájékoztatást ad a szennyezettségről, ahogy a 29. ábrán is látható a viszkozitás változó ütemben, de folyamatosan emelkedik az olaj folyások mértékétől függően. Különböző kisebb-nagyobb beavatkozások hatására pedig csökken, például 2021 és 2022 januárjában teljes, 2023 júliusában pedig fél emulzió töltet lett lecserélve.

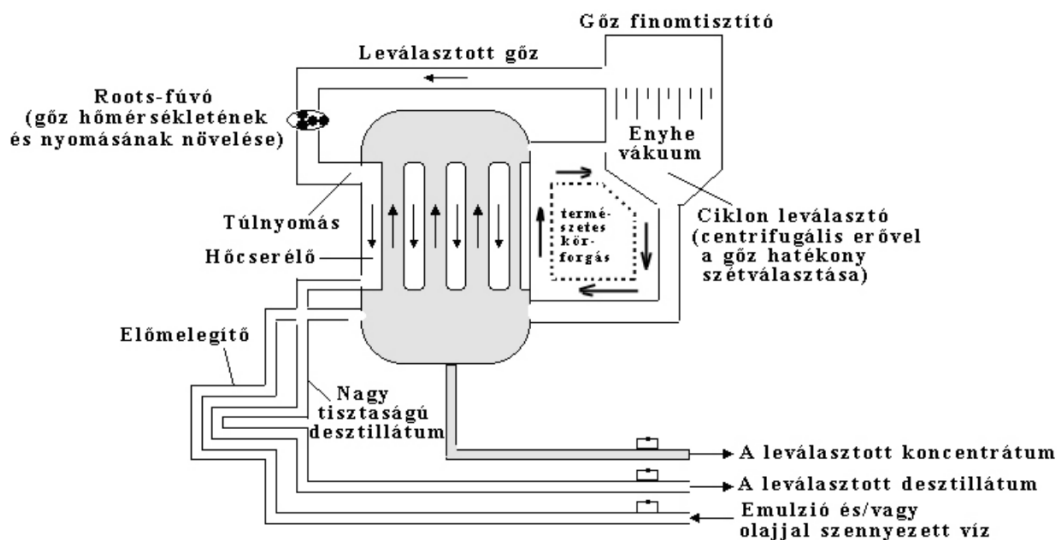


29.ábra: Üzemi emulzió minta viszkozitásának alakulása. [saját ábra]

A bevezetőben már taglaltak alapján a képlékeny alakításhoz szükséges speciális kenőanyagok kiválasztásánál a viszkozitás nagyban befolyásolja a csúszás és a tapadás jelenségét, ha a viszkozitás túl nagy a befogás nem tud megvalósulni, 2021-ben létre is jött ez az állapot amikor a hengerpár nem tudta behúzni a tuskót és elforgott, elcsúszott a felületen és ezért a termék selejtes lett, a szerszámzat pedig felújításra szorult.

A melegárvány éves fogyasztása hidraulika olajból 27 000 liter, kenőolajból 11 000 liter, zsírból pedig 200 kg. Látható, hogy a rendszerek fogyasztása nagyon magas és ennek nagy része elkerülhetetlenül az emulziót szennyezi. A tisztítást főzőzéssel oldjuk meg, illetve frissítéssel, amivel tovább növekednek a költségek, hiszen jó állapotú emulziót is el kell dobunk az idegen olajjal. Az emulzió képző olajból 91 000 liter fogy évente. Pótlásánál az alapolajon felül fordított ozmózissal előállított tisztított vízre is szükség van, ami a párolgással is eltávozik a rendszerből, napi átlag vízfogyás 30 m^3 . A környezetre gyakorolt hatása pedig az, hogy a keletkező szennyezett emulziót el kell szállítani - ami a havi 200 tonnát is meghaladhatja - vegyszeresen fel kell dolgoztatni és így használt olaj, illetve szennyvíz keletkezik.

Kidolgozás és tervezés alatt van egy Kári-Horváth Attila által is említett Valasek Istvánék Strukturális alap pályázati kiírásához 2006-ban benyújtott elméletén alapuló, a 30. ábrán látható „recycling” emulziókezelési technológia. Lényege, hogy egy energiatakarékos víz-visszanyerő berendezéssel, kidesztillálnánk az emulzió víztartalmát, amit vissza tudnánk járatni a rendszerbe, így a legnagyobb pótlandó vízmennyiség csak a párolgási veszteségekből adódna. [19]



30.ábra: Energiatakarékos víz-visszanyerő berendezés működési vázlata. [Valasek 2006]

A projekt során egy minimum 350 l/óra feldolgozó képességű desztilláló berendezést szeretnénk telepíteni. A mai modern technológiák része, hogy az előállított desztillátum maradék hőjével melegítsen elő a beérkező hulladék emulziót, illetve a koncentrátum hőjét és visszajáratnánk, ezzel is törekedve az energiahatékonyságra, és elősegítve a beruházás megtérülését, ami a gazdasági számítások alapján kevesebb, mint kettő év lenne. Eredményül

várjuk a hálózati vízfelhasználás drasztikus csökkenését és az üzemből kikerülő emulziós hulladék mennyiségének minimum 90%-os csökkenését, illetve egy vegyészmérnök diplomadolgozati értekezést a projektről.

4.4. Diagnosztika bővítési lehetőségei, jövőbeni tervek

Már említettem, hogy minden berendezésünk egy adott vastagság tartományra, vagy adott paraméterekre van dedikálva, minimális átfedésekkel, ezért a hideghengerlési és a kikészítési berendezések mind-mind kulcsfontosságúak és pótolhatatlanok. Mivel a diagnosztikai rendszerek még nincsenek kiépítve a többi gyártóberendezésen, ezért több olyan esettel is találkoztam, hogy egy berendezés több órás állásideje és karbantartása elkerülhető lett volna a diagnosztika segítségével. Pár példával szeretném szemléltetni és megalapozni a jövőbeni terveket, hogy a meleghenger állványhoz hasonlóan más berendezések is be legyenek csatolva az online tribo-diagnosztikai hálózatba. A gazdasági számítások fejezetben pedig részletezem a befektetni kívánt költségeket, összevetve azokkal melyek elkerülhetőek vagy drasztikusan csökkenthetőek lettek volna a hibák korai észlelésénél.

Kettes hideghenger állvány főmotor csapágy berágódás

A kettes számú hideghenger állvány (HH2) konstrukciója nagyon hasonló a meleghenger állványéval, a görgősoron kívül ránézésre megegyezik - méretében egyébként kisebb - a különbség, hogy itt már melegen vagy hidegen hengerelt tekercseket dolgozunk fel, nem pedig öntött tuskót. A meleghenger állványénál ugyan kisebb, de még így is nagy villanymotornak számít a HH2 főmotorja, csapágyazása szintén férfém siklócsapágy.

A 31. ábrán látható a csapágypersely felső része, ahol az olajpótlás megszűnése azt okozta, hogy induláskor nem volt megfelelő mennyiségű olaj a tengely és a persely között, és a tengely nem tudott felfutni és kiemelkedni, helyette a persely alját illetve forgásirány szerinti oldalát lekoptatta.



31.ábra: HH2 főmotor csapágypersely sérülés. [saját fénykép]

A hiba detektálását nagyban nehezítette, hogy az egyes és a kettes számú hideghenger állvány (HH1, HH2) egyszerre lett telepítve, az akkori konstrukciós elgondolás az volt, hogy a két megegyező berendezés közös pincehelységet és közös kenőrendszert kapjon, a pörgő csapágyakat, a csévélőket és a tengelykapcsolókat a ZS5 rendszer, míg a főmotorokat a ZS7 rendszer látja el, ennek következtében nehéz kiszűrni, ha probléma van az egyik állvánnyal. Ebben az esetben egyébként a HH1 állvány gond nélkül üzemelt.

Ez a megoldás sajnos egy nagy veszélyt hordoz magával, ha tartályban lépne fel probléma vagy az olaj minőségével, mennyiségével lenne gond az kihatással van mind a kettő állványra.

A már említett diagnosztikai egységek mellett szó volt a nyomás és áramlás érzékelőkről, melyek kiegészítő elemei a rendszernek, ebben az esetben az áramlás érzékelők tudták volna jelezni, hogy nincs megfelelő olaj ellátás. A csapágyazásnak ezek után egy felújításon kellett át esnie mielőtt újra munkába állhatott volna, szerencsére rendelkezésre állt tartalék alkatrész.



32.ábra: új (bal) és felújított (jobb) fehérfém csapágypersely. [saját fénykép]

A sérült részre új bevonat került és ahogyan az 32. ábrán is látható kézzel munkálják ki a kezelők az olaj könnyebb megtartását célzó hónokat, melyhez nagy ügyesség és tapasztalat szükséges.

Főmotor tengely kopás

2017-ben a meleghenger állvány egy teljesítmény javító tervnek köszönhetően új főmotort kapott, melyet felújítás céljából 2023 nyári leállításán kicseréltek és egy felújított forgórészt kapott. Az öt év alatt csak offline diagnosztikai elemeket használtunk az olaj vizsgálatához, illetve a csapágyazás két évente esett át revízión, ahogy a 33. ábrán is látható a forgórész tengelye megsérült és mély kézzel is érezhető karcolások keletkeztek a felületén.



33.ábra: Meleghenger állvány főmotor forgórészének kopása. [saját fénykép]

A csapágyat a ZS4 kenőrendszer keni, melyre még nem lett online diagnosztika kiépítve, illetve ami még kiemelendő, hogy a rendszerbe egy ISO VG 46-os hidraulika van töltve, ugyanis a kenés úgy lett kialakítva, hogy a tartály a többi kenőrendszerrel egy pince helységbe

került, viszont a főmotortól így távol került. A nagyobb viszkozitású olajok nehezen jutnak fel, illetve hidegebb időben kihűlnének a csövezésben, ami viszkozitás növekedést okozna és ezzel tovább nehezítené az áramlást. A mintavételes diagnosztika alapján a viszkozitása $46 \text{ mm}^2/\text{s}$ -ról $40 \text{ mm}^2/\text{s}$ -re esett két mérés között, majd ezen a szinten maradt, illetve ISO tisztasága emelkedett. A csövezés kora miatt fém részek, pikkelyek váltak le és ezek a szűkületekben dugulást, csapágy és olaj melegedést okoztak, a csapágyba fűrt hőmérséklet szenzor jelzett, de nem tudták mi okozza a melegedést. A csapágyat szét kellett szedni, a csövezés egy szakaszát cserélni kellett a szűrők és a csapágy között. Egy online olajtisztaság-mérés talán előre tudta volna jelezni a hibát. A konstrukciós hibák elkerülése érdekében a kenőtartályt szeretnénk áthelyezni közvetlenül a felhasználás mellé, amit ellátnánk egy diagnosztikai csomaggal. Illetve amint a távolság nem okozna gondot, akkor felülvizsgálnánk az olaj választást és egy jobb, erre a feladatra alkalmas olajra cserélnénk meglévőt.

Négyes hideghenger állvány tám-henger kenőrendszer szennyezés

A négyes számú hideghenger állvány (HH4) egy modern berendezés, ez lett legutoljára telepítve, kifejezetten vékony szalagok hengerlésére, sorsebessége jelentősen nagyobb, mint a többi állványé, elérheti 1200 méter/percet is, emiatt a hengerpár mozgásának nagyon precíznek kell lennie.

Már említettem, hogy a meleghenger állvány hűtő-kenő folyadék, az emulzió be tud jutni a tám-henger rendszerbe és vizesedést okoz, hasonló probléma jelentkezik HH4-nél. Azzal a különbséggel, hogy az itt alkalmazott hűtő-kenő közeg egy finomított kerozin származék, mely nagyon jó oldószer és viszkozitása $2,2 \text{ mm}^2/\text{s}$, emellett különféle adalékokat és az alakítás során letöredező alumínium érdesség csúcsokból keletkező kopadékokat tartalmaz.

A hibát úgy vettük észre, hogy a tám-henger csapágyakat időközönként szétszerelik és revíziózzák, a gördülő elemek felülete sérült, karcos volt, hasonlóan az 34. ábrán láthatóval.



34.ábra: Csapágy sérült gördülő elemei. [saját fénykép]

Az offline diagnosztika részeként félévente mintavételeztük az olajat és az volt látható, hogy viszkozitása drasztikusan, adalék tartalma pedig részben csökkent. A rendszerben ISO VG 220-as kenőolaj van, a mért viszkozitás pedig $103 \text{ mm}^2/\text{s}$ volt. A hűtő-kenő olaj szennyezés gyanúja miatt gázkromatográfiás vizsgálatot kértünk az olajra, mely referencia minták mellett igazolta a keveredést. Keverékek viszkozitásának megadásából számoltuk, ki, hogy ez körülbelül 10% szennyezettséget jelentett az 1800 literes olajtöltet esetében.

Feltehetően az olaj viszkozitásának csökkenése és ebből adódóan a kenési feladat nem megfelelő ellátása, illetve a hengerlési olajjal bejutó kopadék okozhatta a csapágy sérülését. Teljesolaj töltet csere után a henger köszörűművel együtt dolgozva a szimeringek fejlesztése és a szuszogók kicsövezése, a tömítések cseréjével nagymértékben mérséklődött a bejutó olaj mennyisége. Az esetleges ismétlődés elkerülése miatt heti rendszerességgel veszünk olajmintát, melynek viszkozitását a hengermű laboratóriumában vizsgáljuk, hiszen minimális szennyezés is észrevehetően csökkenti a viszkozitását a kenőolajnak. A hiba diagnosztikai rendszerrel észrevehető lett volna, hiszen a tartályszint növekedést és az olajtisztaság jelezné a problémát. Rendelkezésre állnak online viszkozitásmérő szenzorok, de a jelenlegi relatív magas ár miatt nem tervezünk ilyet telepíteni.

ZS5 kenőrendszer fűtésű törés

Már említésre került, hogy a HH1 és a HH2 közös kenőrendszerekkel rendelkeznek. A pörgő csapágycsapatokat, a csévéleket és a tengelykapcsolókat a ZS7 rendszer keneti, melyben 5 000 liter ásványolaj alapú ISO VG 460-as olajtöltet van. Felhasználás során temperálva van a tartály, ennek megoldására egy szelep által vezérelt gőz csőígyó van beépítve. Az olaj túlmelegedése és tartályszt szint növekedés miatt, illetve a látható gőz nyomok miatt levettük a szigetelést és felnyitottuk a tartályt, a 35. ábrán is látható módon szivárgott a gőz a csővezésből.



35.ábra: ZS7 fűtés-cső törés. [saját fénykép]

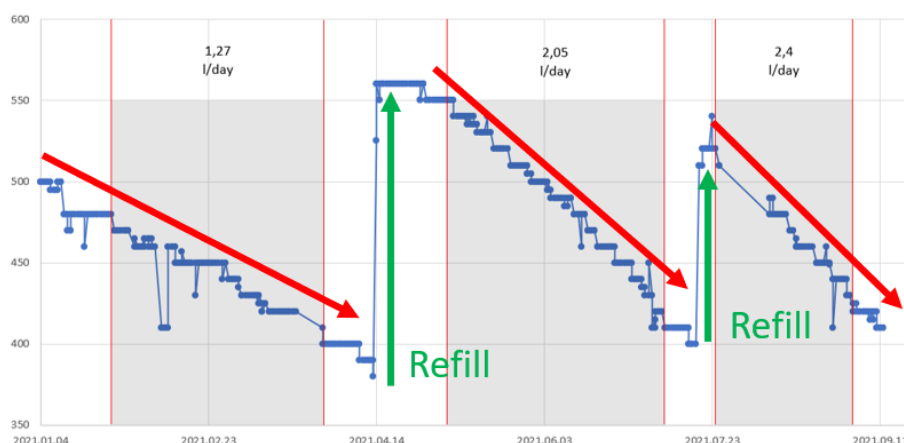
A detektálásig és a fűtés lekapcsolásáig feltételezhetően 4 nap telt el, ez idő alatt az olaj telítődött vízzel, színe opálössá vált. A rendszer magas korróziós veszélynek volt kitéve, az üzemelést, az olaj keringtetést és fűtést azonnal leállítottuk és hagytuk, hogy az olaj kidobja a vizet, melyet több lépésben egy alsó szelepen leengedtünk. Sajnos ekkor még nem állt rendelkezésre az előző fejezetben említett ZS1 rendszeren kipróbált nagy viszkozitású olaj víztelenítésére alkalmas berendezés. Szereléssel együtt a probléma megoldása 3 nap állásidőt eredményezett és mivel a HH1 és a HH2 közösen használja a tartályt, így mindkettőnél fellépet ez a kiesés.

Online diagnosztikai rendszer korai fázisban érzékelte volna a hőmérséklet, a tartályszt szint és a víztartalom növekedését és korábban, kevesebb szennyezéssel és állásidővel meg tudtuk volna oldani az üzemzavart.

Olaj folyások felismerése

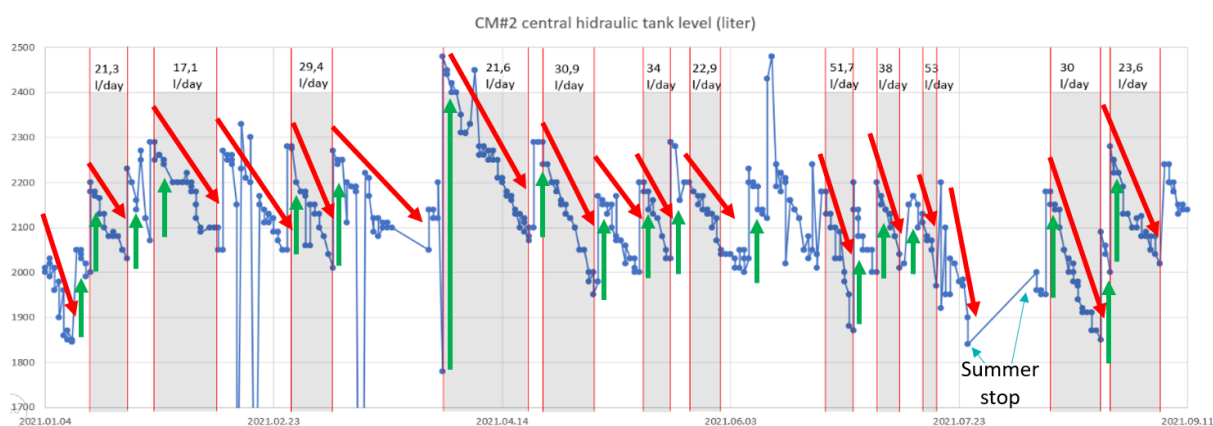
Az egyik legnagyobb hiányosság, hogy az egyéb paraméterek mellett a tartályszt szintek és ebből adódóan az olaj folyások nehezen vehetőek észre, ott ahol nincs diagnosztika. Minden nap a kezelők regisztrálják a tartályszt szinteket, de ezt főként műszakváltáskor - üzemszünetben –

végzik, ilyenkor a rendszerekből visszakerül a tartályokba az olaj és a szintcsökkenés meredeksége nem vehető észre. Természetesen nem minden rendszer fogyasztása drasztikus, például a 36. ábrán a HH2 SMS hengerállító hidraulika tartálysztartékei láthatóak, a kezelők által leolvasva. Az ábrán jól látható, hogy 9 hónapos intervallumban körülbelül 400 liter fogyott a rendszerből. Észrevehetőek az olaj betöltések is, melyek egybevágának az olajtöltési naplóban szereplőkkel.



36.ábra: HH2 SMS hengerállító hidraulika tartálysztartékei [saját ábra]

Viszont vannak olyan rendszereink melyek több ezer liter olajat használnak el évente, például a HH2 központi hidraulikája, manuálisan olvasott adatai az 37. ábrán láthatóak.



37.ábra: HH2 központi hidraulika tartálysztartékei. [saját ábra]

Ha a többi állványt nézzük akkor is az tapasztalható, hogy egyes rendszerek fogyasztása meghaladja a 10 000 liter évente. Ezeknek a csökkentésére a meleghenger állványon már bizonyított rendszer alkalmas lehet, hiszen ott az első fél év alatt 22 %-kal csökkent a befejtett hidraulika és kenőolaj mennyisége.

4.5. Gazdasági számítás

A hengermű 2022-es évi költségeit áttekintve látható, hogy a meleghenger és a hideghenger állványok olaj és adalék költségei meghaladták a fél milliárd forintot. Ennek közel feléért csak a meleghenger állvány, azon belül az összköltségek harmadáért a meleghengerlési emulziós alapolaj a felelős. A költségek további 30 %-át pedig a hideghengerlési alapolaj teszi ki, ezen felüli költségek nagy része az olaj folyások és a hibákból eredő olaj veszteségek adják.

A meleghenger állvány éves hidraulikaolaj, kenőolaj és zsír fogyasztás költségének tekintetében a már 5%-os fogyasztás csökkentése, míg az állagmegóvás következtében az emulziós alapolaj felhasználásának már 0,5 %-os csökkentése is milliós nagyság rendű költségmegtakarításokat eredményez. Az előző fejezetben már említett féléves teszt időszak alatt elért 22% kezdeti fogyasztáscsökkenésből eredő költségmegtakarítás fedezi egy rendszer teljes diagnosztikai csomagját, tehát a hat rendszer megtérülése kevesebb mint 3 év és ebben még nem szerepel az elkerült állásidő és a megspórolt tartalék alkatrész költsége. Itt kiemelő még a környezeti hatás, hiszen a kevesebb szennyezés, kevesebb fölözést, és kevesebb hulladék emulziót eredményez, melyből jelenleg még a vegyszeres bontás után fáradt olaj és szennyvíz keletkezik.

Hideghengerlési területen a gyártási költségekből hozzátevőlegesen 76 millió forintot a hidraulika és kenőolajok tesznek ki, ezen belül is egy nagyobb szeletet egy speciális szintetikus alapú hidraulikaolaj, mely úgy lett kifejlesztve, hogy a hengerlési olajba kerülve alacsonyabb foltképződési hajlammal rendelkezzen. A „foltmentes” hidraulikaolaj, ha be is kerül a hideghengerlési olajba, hőkezelés során a felületről elpárolog és hőbomlást szenved, míg az ásványolaj szennyezések a hőmérséklet emelésével krakkolódnak, hőbomlanak és barnás kontúr vonalas maradékot hagynak a felületen, melyek esztétikai selejtet okoznak. A napi vizsgálatok során a párlási maradékát és a foltképződési hajlamát vizsgáljuk az olajnak, ha a szennyezettség elér egy szintet olajfrissítést rendelünk el, mely során 1-2 tartályautónyi (9-18 m³) mennyiséget vesznek ki az állványból melyet friss vagy desztillált olajjal pótolunk. A szennyezett olajat egy vákuum desztillációs berendezéssel tisztítjuk, mely során a hengerlési olaj és adalékai átdestillálódnak - melyek újra hasznosításra kerülnek az állványokon -, elődesztillátumként a vízmennyiség távolítható el, a desztillációs maradék pedig a hidraulika és kenőolajok keveréke, a szilárd szennyezőkkel együtt. Ahogyan a 2. táblázatban is látható

terveink szerint tizenhét további rendszerre szeretnénk diagnosztikát telepíteni, mellyel összesen több mint 52 000 liternyi olajtöltetet tudnánk monitorozni.

2. táblázat: Rendszerek melyekre tervezünk diagnosztikai csomagot kiépíteni:

Állvány	Rendszer	Feladat	Olaj típusa	Térfogat (liter)
Meleg-henger	ZS4	főmotor fehérfém csúszócsapágyak kenése	ISO VG 46 HM hidraulikaolaj	5 000
	Sack	Bugaolló hidraulika	ISO VG 46 HM hidraulikaolaj	1 500
HH1 és HH2	ZS5 kenőtartály	ZS5 kenőrendszer, pörgő csapágy, csévéelő kenése	ISO VG EP 460 ásvány olaj alapú kenőolaj	5 000
	ZS7 kenőtartály	szinkronhajtás, főmotor, fehérfém csúszócsapágyak kenése	ISO VG 46 HM hidraulikaolaj	6 500
	HH1 hidraulika	50 és 100 bar-os hidraulika	ISO VG 46 szintetikus hidraulikaolaj	2 000
	HH2 hidraulika	50 és 100 bar-os hidraulika	ISO VG 46 szintetikus hidraulikaolaj	2 000
	HH2 SMS hidraulika	300 bar-os szervoszelepes hidraulika	ISO VG 46 HPL hidraulikaolaj	1 000
	HH2 hajlító hidraulika	Hengerhajlítás	ISO VG 46 HPL hidraulikaolaj	400
HH3	Hengerállító	Hengerállítás hidraulika	ISO VG 46 HPL hidraulikaolaj	600
	Segédhidraulika	160 bar-os segéd hidraulika	ISO VG 46 szintetikus hidraulikaolaj	10 000
	Főmotor kenés	szinkronhajtás, főmotor, fehérfém csúszócsapágyak kenése	ISO VG 68 cikulációs hidraulikaolaj	800
	Kenőtartály	kenőrendszer, pörgő csapágy, csévéelő,	ISO VG 460 szintetikus kenőolaj	8 000
	Hajlító	Hengerhajlítás hidraulika	ISO VG 46 HPL hidraulikaolaj	500
HH4	Tám kenés	Tám-henger csapágykenés	ISO VG 220 ásvány olaj alapú kenőolaj	1 900
	Hajtómű	Hajtómű-kenés	ISO VG 220 ásvány olaj alapú kenőolaj	3 600
	Achenbach hidraulika	250 bar-os szervoszelepes hidraulika	ISO VG 46 szintetikus hidraulika olaj	1 000
	100 bar-os	100 bar-os hidraulika	ISO VG 46 szintetikus hidraulika olaj	2 500

Egy rendszer kiépítésének költsége, mely tartalmazza a szenzorokat, mérőköröket, segéd szivattyúkat, internetes kommunikáció kábelezését és a telepítést, körülbelül 15 000 euró. A költségek csökkennek, hiszen nem szükséges minden típusú szenzort mindenhova beépíteni, illetve közös mérőszekrény és bekötés alkalmazható az egymás mellett található tartályoknál.

A beruházás teljes költsége százmillió forint körül lenne, ezt összevetve, hogy mekkora összeget költünk emulzió és hengerlési olaj tisztításra és pótlásra, illetve a hidraulika és kenőolajok pótlására, raktározására, mozgatására és befejtésre akkor a diagnosztika kiépítésének ára töredéke az elérhető megtakarításokénak. Emellett a gépállapot javítás és a csere alkatrészek költsége, illetve a termelés kiesés megspórolása az, ami igazán támogatja a további beruházásokat.

5. Összefoglalás

Szakdolgozatomban bemutattam a technológiai folyamatát az alumínium vékony szalag hengerlésnek, ezen belül is az ehhez szükséges tribológiai rendszereket és követelményeiket. Kiemeltem az általam kiválasztott gyártó berendezést, bemutattam a kenési, csapágyazási és hidraulika rendszereit és az ezekhez tartozó olaj rendszereket, illetve pár szóban meg említettem az előforduló hibákat.

Részletesen taglaltam milyen online olaj diagnosztikai rendszerek érhetőek el a piacon, illetve a működésük elméleti hátterét. Ezután bemutattam, hogy mely szenzorokat és mérőköröket, milyen indokkal választottuk ki és telepítettük a meleghenger állvány főbb tribológiai egységeire.

A kapott eredményeket sikeresen feldolgoztam és értelmezni tudtam, hogy megértsem, milyen különbségek látszanak a normál üzem, illetve az üzemzavar közben kapott információkban. Az így szerzett tapasztalatok segítségével valós eseteket vizsgáltam ki és bemutattam a hibakeresés módszerét, hogy elkerülhessük a problémák megismétlődését.

Miután sikeresen integráltuk és használtuk a diagnosztikai rendszert, felülvizsgáltam, hogy a további gyártó berendezéseken milyen hibák elkerülésében vagy állásidő és költség csökkentésében segítené egy a meleghenger állványéhoz hasonló rendszer, ebben az esetben is konkrét és valós hibákat vizsgáltam ki.

Az összegyűjtött tapasztalatok alapján gazdasági szempontból felvázoltam, hogy milyen költségekkel járhat egy diagnosztikai mérőkör kiépítése és ezt vetettem össze a olaj, termelés kiesés és a tartalék alkatrész költségekkel, hogy bizonyítsam, nem csak mérnöki, de gazdasági okokból is előnyös a témával foglalkozni és kezdeményezni a további beruházásokat.

6. Summary

In my thesis I presented the technological process of aluminium thin strip rolling, including the tribological systems and their requirements. I have highlighted the manufacturing equipment I have selected, its lubrication, bearing and hydraulic systems and the oil systems associated with them. I mentioned in a few words the faults that occur.

I described in detail what online oil diagnostic systems are available on the market and the theoretical background of their operation. I then described the sensors and measuring circuits selected and installed on the main tribological units of the hot mill, and the reasons for their selection.

I was able to successfully process and interpret the results to understand the differences between the information obtained during normal operation and during a malfunction. Using the experience gained, I investigated real problems and demonstrated a troubleshooting method to avoid recurrence of problems.

After successfully integrating and using the diagnostic system, I reviewed how a system similar to the hot mill could help to avoid faults or reduce downtime and costs on other production equipment, again by investigating specific real faults.

Based on the collected experience, I have outlined from an economic point of view the cost of installin a diagnostic measurement system and compared it with the costs of oil, production losses and spare parts to prove that there is not only for engineering but also for economic reasons that it is good to deal with the subject and to start talk about further investment.

7. Köszönet nyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a képzést kezdeményező és támogató Tanároknak és Szakértőknek, hogy többéves kihagyás után újra elindult Magyarországon a Tribológus képzés.

Valamint szeretném megköszönni munkahelyemnek, hogy lehetőséget adtak és támogatták, hogy részt vehessek a képzésen. Emellett köszönöm kollégáimnak, hogy kérdéseimre mindig segítőkészen válaszoltak és ezzel is támogatták dolgozatom elkészülését.

Végül szeretném megköszönni családomnak, hogy mindig segítő kezet nyújtottak és támogattak tanulmányaim során és türelemmel viselték a képzésen való részvételből adódó távolmaradásomat.

8. Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: JURESKA TAMÁS
A Hallgató Neptun kódja: ET3RR1
A dolgozat címe: Online tripa-diagnosztika rendszere fejlesztése alumínium kerengővel
A megjelenés éve: 2023
A tanszék neve: Környezettudományi és Gépipari
Folyamatos Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² 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 mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

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

Kelt: 2023 év 10 hó 28 nap

Jureska Tamás
Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

NYILATKOZAT

Alulírott JURCSIK TAMÁS, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, SZENT ISTVÁN Campus, Kemistechológiai és Technológiai Műszaki szak nappali/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 Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom 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: 2023 év 10 hó 28 nap

Jurcsik Tamás
Hallgató

NYILATKOZAT

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

A Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom*.

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

Kelt: 2023 év 10 hó 28 nap

Kilencsi János
Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A JURESKA TAMÁS (név) (hallgató Neptun azonosítója: EA3RR1) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: 2023 év 10 hó 28 nap


Belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

9. Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Fehér Jánosné, Király L., Gimesi E., Molnár L., Weinbach A., Kis J.: *Alumínium hengerléstechnológiai ismeretek és könnyűfémű története*, KÖFÉM Nyomda, Székesfehérvár, (1999, 182
- [2] Dr. Szabó G., Prof. Dr. Kékesi T.: *Alumíniumötvözetek típusai és feldolgozásuk felfolyamatos öntést követő hengerléssel*, Miskolci Egyetem, Miskolc, (2019),
- [3] Valasek I.: Tribológiai kézikönyv, Tribotechnika Kft, Budapest (1996):
- [4] Dr. Geleji Sándor, "A fémek képlékeny alakításának elmélete" Akadémiai kiadó (1967)
- [5] S. JAHANMIR "Chain length effects in boundary lubrication" Exxon Research and Engineering Co., P.O. Box 51, Linden, NJ 07036 (U.S.A.) (1985)
- [6] Paál István, "Hűtő-kenő folyadék kiválasztása alumínium hideghengerléshez", szakdolgozat (1995).
- [7] Fazekas L.: HBMMK Gépészeti Szakcsoport szervezésében AÉFT továbbképzés, „Emelőgépekhez használt korszerű motor- és hajtóműolajok” Debrecen, (2012).
- [8] Fazekas L.: HBMMK Gépészeti Szakcsoport szervezésében AÉFT továbbképzés, „Hidraulikus munkafolyadékok”, Debrecen, (2012)
- [9] Fazekas L.: „Tribológiai folyamatok az üzemeltetésben.” Debreceni Egyetemi Kiadó (2019)
- [10] Fazekas L.: "Tribológiai folyamatok az atomerőművek üzemeltetésében" Debrecen: Debreceni Egyetemi Kiadó. (2021)
- [11] A. Toms & L. Toms: "Oil Analysis and Condition Monitoring" Chemistry and Technology of Lubricants pp 459–495, (2009)
- [12] Christoph Schneidhofer, Alexander Grafl & Karl Adam: "Online Zustandsüberwachung von Hydraulikölen in der Stahlindustrie" BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte volume 163, pages193–198 (2018)

-
- [13] MOL szintjelző katalógus, LE Xtract Olajszintjelző: <https://www.mol.hu/hu/kenoanyag-es-autoapolas/ipar/kenestechikai-eszkozok/olajszintjelzok/le-xtract-olajszintjelzo>
- [14] WESZTA-T Ipari és Kereskedelmi Kft katalógus MAG-820 Tartálysintmérő szonda: <https://new.weszta-t.hu/products/level-density-inventory/55-mag-820-tartlyszintmr-szonda>
- [15] Kajdocsi László, Tüű-Szabó Boldizsár, „Szenzorok a gyakorlatban” oktató anyag, Széchenyi Egyetem, Győr, <https://tuuszabo.files.wordpress.com/2019/12/ea05.pdf>
- [16] Vaisala application note, „Oil moisture expressed as water activity” (2009) www.vaisala.com/sites/default/files/documents/OilMoistureExpressedasWaterActivity_B210806EN-A.pdf
- [17] Molnár Gergely, Horváth Barnabás, Szalai István, Nagymányai Antal, Takács János: „Online mérő-szabályozó berendezés vízalapú hűtő-kenőemulziók tulajdonságainak vizsgálatára” Magyar Kémikusok Lapja (2014. nov.)
- [18] Széles Gábor, „A vezetőképesség-mérés gyakorlata” www.muszeroldal.hu/measurenotes/vezetokep.pdf
- [19] Kári-Horváth Attila, „A forgácsoláshoz alkalmazott minimál kenés (MMS) hatásmechanizmusa- és hatékonyságának növelése” Doktori értekezés, Gödöllő (2009)