



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR

POLIMERTECHNIKA TANSZÉK

GÁSPÁR BOTOND
TDK DOLGOZAT
MOTORKIEMELŐ RENDSZER FEJLESZTÉSE KOMPOZIT
HAJÓKHOZ

Témavezető:

Dr. Mezey Zoltán Tamás

adjunktus

Konzulens:

Marton Gergő Zsolt

doktorandusz

BUDAPEST, 2024

NYILATKOZATOK

Elfogadási nyilatkozat

Ez a TDK dolgozat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kara által a Diplomatervezési és Szakdolgozat feladatokra előírt tartalmi és formai követelménynek megfelelően készült. E TDK dolgozat a nyilvános bírálatra és nyilvános előadásra alkalmasnak tartom.

A beadás időpontja: 2024.11.21.

Dr. Mezey Zoltán Tamás

Nyilatkozat az önálló munkáról

Alulírott, *Gáspár Botond* (IPBX0W), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karának hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a TDK dolgozat meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2024.11.19.

Gáspár Botond

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a témavezetőmnek, konzulensemnek, kollégáimnak, azoknak az oktatóknak, tanszéki mérnököknek, tudományos munkatársaknak és adminisztrációval foglalkozó munkatársaknak, akik a TDK dolgozat írása folyamán valamilyen módon a segítségemre voltak.

TARTALOMJEGYZÉK

Köszönetnyilvánítás.....	v
Jelölések jegyzéke	viii
1. Bevezetés.....	2
2. Szakirodalmi áttekintés	4
2.1. A polioximetilén.....	4
2.2. A politetrafluoretilén	5
2.3. Polimerek nedvességfelvétele és száradása	6
2.4. Polimerek kopásállósága.....	9
3. Felhasznált anyagok, alkalmazott berendezések.....	11
3.1. Felhasznált alapanyagok.....	11
3.1.1. <i>iglidur® J</i>	11
3.1.2. <i>PLA</i>	11
3.1.3. <i>EN AW 6060 alumínium ötvözet</i>	11
3.1.4. <i>Csapvíz</i>	11
3.2. Alkalmazott berendezések.....	12
3.2.1. <i>Hőmérő</i>	12
3.2.2. <i>Tolómérő</i>	12
3.2.3. <i>Félmikro mérleg</i>	12
3.2.4. <i>FT-IR spektrométer</i>	12
3.2.5. <i>Pin-on-disc tribométer</i>	12
3.2.6. <i>Exszikkátor</i>	12
3.3. Vizsgálati módszerek.....	12
3.3.1. <i>Tömegmérés</i>	13
3.3.2. <i>Fourier – transzformációs infravörös spektroszkópia</i>	13
3.3.3. <i>Csap – tárcsa tribométer súrlódás mérés</i>	13
4. Kísérleti/fejlesztési rész.....	14
4.1. Első részPiackutatás a már létező és kereskedelmi forgalomban kapható motorkiemelő mechanizmusok terén.....	14
4.2. Lineáris sínben csúszó felhúzó mechanizmus fejlesztése és továbbfejlesztése.....	16
4.3. Igus siklócsapágyak vizsgálata	22
4.3.1. <i>iglidur® J polimer alapanyag alkotóelemeinek meghatározása FT-IR spektroszkópos vizsgálattal</i>	22

4.3.2.	<i>iglidur® J polimer alapanyag vízfelvételének és víz leadásának vizsgálata exszikkátorok és félmikro mérleg segítségével</i>	24
4.3.3.	<i>iglidur® J alapanyag tapadási és csúszási súrlódási együtthatójának meghatározása</i>	28
5.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	35
5.1.	Magyar nyelvű összefoglaló	35
6.	Felhasznált források.....	38
7.	Mellékletek	41

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
I	diffúziós fluxus (diffusive flux)	mol/m ² s
T	hőmérséklet (temperature)	°C
A	felület (surface)	m ²
V	térfogat (volume)	m ³
t	idő (time)	s
q	t idő alatt felvett vízmennyiség tetszőleges testre (the amount of water absorbed in time t by an arbitrary body)	kg
Q	telítődéskor felvett vízmennyiség tetszőleges testre (the amount of water absorbed at saturation by an arbitrary body)	kg
C _t	t idő alatt felvett vízmennyiség lemezre (the amount of water absorbed in time t by a sheet)	kg
C _{max}	telítődéskor felvett vízmennyiség lemezre (the amount of water absorbed at saturation by a sheet)	kg
D	diffúziós tényező (diffusion coefficient)	cm ² /s
s	lemezvastagság (sheet thickness)	m

Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
δ	parciális differenciál (partial derivative)	-

Rövidítések

Rövidítés	Megnevezés
POM	polioximetilén (polyoxymethylene)
PTFE	politetrafluoretilén (polytetrafluorethylene)
PLA	politejsav (polylactic acid)

1. BEVEZETÉS

A modern hajógyártás történetében az ezerkilencszáznegyvenes évek óta [1] alkalmaznak nagyszilárdságú polimer kompozitokat, az addig elterjedt vas, acél és alumínium ötvözetek mellett. Ezen polimer kompozitok leggyakrabban mátrix anyagként poliésztert, vinilésztert, vagy epoxi gyantákat, erősítő struktúraként pedig az üvegszálak és szénszálak különféle kisebb és nagyobb teljesítményű változatait használják. A különféle polimer kompozitok alkalmazásának elterjedése a hajógyártásban elsősorban annak volt köszönhető, hogy a különböző nagyszilárdságú erősítő struktúrák és mátrix anyagok alkalmazásával a vas és acél ötvözetekhez hasonló, vagy azokét meghaladó, ez erősen függ az alkalmazott mátrix és erősítő anyagtól, illetve az alkalmazott technológiától is, szilárdsági és merevségi tulajdonságok érhetőek el [2] amellett, hogy a sűrűségük a polimer kompozitoknak jelentősen kisebb, mint bármely vas, acél, vagy alumínium ötvözeté lásd 1. és 2. ábra. Ezen okból kifolyólag, azonos szilárdsági és merevségi tulajdonságú hajótestek, árbócok és egyéb alkatrészek, alkotó elemek gyártása vált lehetővé alacsonyabb tömeg mellett, amely elsősorban a sport és versenycélú felhasználásra tervezett és épített hajóknál eredményezett jelentős előnyt a korábbi vas, acél és alumínium építésűekkel szemben. Napjainkra bármely hazai, vagy nemzetközi versenyen egyeduralkodóként vannak jelen a polimer kompozit építésű vitorlás és motoros hajók, valamint a sport és hobbi célokra épített hajók körében is ez a trend válik minél inkább elterjedté.

Jelen TDK dolgozat aktualitását a FLAAR Mérnöki Tervező és Szolgáltató Kft. által tervezett és gyártott, legújabb, 24 lábás modelljüknek a külmotor kérdése adja. Azon hajók esetében, amelyek fő meghajtását vitorlák adják, bevált és gyakorta alkalmazott megoldás számos gyártó által, hogy opcionálisan felkínálják külmotor beszerelését is, amely az alacsonysebességű manőverezést, viszontagságos időjárási körülmények között, vagy vészhelyzet esetén szükséges gyors és biztonságos mozgást könnyíti meg, vagy teszi lehetővé. Napjainkra a legelterjedtebb megoldás ezen külmotorok rögzítésére és mozgatására egy, a vitorlás hajó tükrére erősített, legalább két pozícióban rögzíthető, emberi erővel vagy géppel mozgatott emelő szerkezet. Ezen szerkezetek egyszerűségük, alacsony karbantartásigényük, megbízhatóságuk és robosztusságuk miatt váltak rendkívül népszerűvé, amellett, hogy a napjainkban piacon kapható bármely belsőégésű, vagy hagyományos elektromos külmotorhoz elérhető vagy az adott motorgyártótól, vagy harmadik féltől ilyen motortartó szerkezet. Azonban a különféle környezetvédelmi szigorítások következtében, mind jobban szorulnak ki a belső égésű külmotorok, elsősorban a belvizekről, mint tavak, folyók, és helyüket az elektromos motorok veszik át. Ez tette lehetővé, hogy megjelenhettek a konvencionálistól eltérő elektromos hajtómű típusok, mint a jelen TDK dolgozat témáját is adó, Rim Drive Technology által fejlesztett és szabadalmaztatott, perem hajtás elven működő, POD hajtóművek. Ez a hajtómű típus

kis tömeg, kompakt méret, és gazdaságos energia fogyasztás mellett kínál a hagyományos elektromos hajtóművekhez hasonló, vagy azokat meghaladó teljesítményt.

A FLAAR 24-es bár alából egy túravitorlás, de kifejezetten sportos is egyben a versenycélú felhasználást szem előtt tartva [3], ezért a tömeg az egész hajó esetében egy kulcsfontosságú paraméter, amelynek minél alacsonyabban tartásához hozzá járul többek között, hogy a hajó fő elemei, mint a hajótest, árbóc polimer kompozitból készül. Túra jellegéből adódóan viszont ezen a modellen is elérhető opcionálisan egy elektromos külmotor beszerelése. Ez a külmotor pedig a fentebb említett Rim Drive Technology POD 3.0 modellje [4]. A fő cél ezzel a hajtóművel az volt, hogy a klasszikus, hajó tükörre történő rögzítés helyett, amely bár egyszerű, robusztus, széles körben elterjedt, azonban jelentős tömegnövekedést eredményez, illetve esztétikailag negatívan befolyásolja a hajó megjelenését, egy olyan hajtómű elhelyezés, aminek következtében a hajtómű a hajó középvonalába kerül, a tömegközépponthoz minél közelebb, felhúzott állapotban pedig nem látható, ugyanis a hajó belsejébe emelkedik. Ezen TDK dolgozatban bemutatom, hogyan történt annak a polimer kompozit és alumínium motorkiemelő rendszernek a fejlesztése és tervezése, ami megfelelt a fent támasztott szempontoknak és követelményeknek.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A projekt során a szakirodalom segítségével elsősorban kettő témakör kapcsán vettem igénybe. A mechanizmus polimer siklócsapágyainak alapanyagát adó, polioximetilén és politetrafluoretilén megismeréséhez, tulajdonságaik, alkalmazási területeik megértéséhez, hogy a csúszó csapágyat gyártó vállalat anyagválasztását megérthessem, miért pont erre a két anyagra esett a választás, valamint a polimerek nedvesség felvételének és száradásának, tovább kopásállóságának tanulmányozásához, ugyanis ezen két szempont nagy jelentőséggel bír az alkatrész alkalmazásából és az alkalmazási környezetből kifolyólag.

2.1. A polioximetilén

A polioximetilén, röviden POM egy mára széles körben használt, hőre lágyuló, részben kristályos műszaki polimer. Ismétlődő egysége, CH_2O , egy szénatomból, egy oxigén atomból és kettő hidrogén atomból áll amelyek erős, elsőrendű, egyszeres kovalens kötéssel kapcsolódnak egymáshoz. Előállításánál során egy gyűrű felnyitási reakcióval kezdünk, majd egy ionos polimerizáció megy végbe, amely mind anionos, mind kationos formában megvalósítható [5].

Történelmi távlatokat tekintve, az első írásos forrás, amelyben a POM említésre kerül, egy akkori orosz kémikus publikációja, 1859-ből. Ezt követően, már az 1900-as évek elején elindultak a kutatások és kísérletek a POM különböző változatainak előállítására és ezen változatok tulajdonságainak meghatározására, azonban a kutatás és fejlesztés jelentős felgyorsulása csak az 1940-es években, az Amerikai Egyesült Államokban található E.I. Du Pont de Nemours & Co. cégnek volt köszönhető, ahol az 1950-es évek végére sikerült egy évi több mint 10000 tonna kapacitású gyártóüzemet. Innen datálható a POM széleskörű elterjedése és felhasználása a különböző iparágakon belül [5].

A POM műszaki polimer, más mesterséges polimerekhez képest magasabb szilárdsággal és szívóssággal, illetve nagyobb keménységgel rendelkezik, továbbá az időfüggő mechanikai tulajdonságai is jobbak, felhasználható a mínusz 40 – 50 °C-tól egészen a 120 – 140 °C-ig, tehát egy széles hőmérséklet tartományban, természetesen a széles hőmérséklet tartomány itt a más polimerekhez képest értendő, nem pedig acélokhoz, alumíniumokhoz, öntöttvasakhoz, műszaki kerámiákhoz, szoba hőmérsékleten a legtöbb kémiai, szerves és szervetlen oldószerekkel szemben ellenálló, csak kis mennyiségben képes a nedvességfelvételére, hidrofób polimer, minden általános feldolgozási technológiával feldolgozható, kiváló mérettartással rendelkezik, alkalmas precíziós forgácsoló megmunkálásra, újrahasznosíthatóság szempontjából teljes mértékben újra hasznosítható, alacsony degradációs hajlammal rendelkezik, illetve biokompatibilis [5-9].

A POM-ot a fentebb felsorolt, pozitív tulajdonságokon túl, van még egy nagy előnye. Ezek a kimagasló tribológiai tulajdonságok, értve ezalatt a kiváló kopással

szembeni ellenállóképességet, a kicsi tapadási és csúszási súrlódási együttható, ez a sima, mindenféle adalékanyag és kopolimerek nélkül is elérheti a 0.25-öt. Továbbá a különböző fröccsöntött és extrudált alkatrészekben egy súrlódás szempontjából igen kedvező, sima és fényes felület érhető el. Ezen okokból kifolyólag széles körben alkalmazzák a POM különféle homopolimer és kopolimer változatait olyan helyeken, ahol a súrlódás csökkentése, a kopásállóság, vagy annak a növelése, a precíz megmunkálhatóság, sima felület és bonyolult geometriák létrehozása a cél [5, 6, 9].

Alkalmazási területeit tekintve, az autó és járműipar széles körben használja, burkolatok, csövek, tartályok, biztonsági berendezések alapanyagaként. Ezentúl fogaskerekek, fogaslécok, csúszó és gördülő csapágyak készülnek még elsősorban belőle, bár ezen alkatrészek felhasználása nem korlátozódik tisztán a járműiparra [5, 9]. A villamos berendezések és eszközök terén is széles körben alkalmazzák a POM-ot, mind burkolatok, házak, borítások, kapcsolók, kábelbevonatok, konnektorok, relék előállítására, de kiváló mikro és precíziós feldolgozhatóságuknak és forgácsolhatóságuknak köszönhetően, rugók, mikro kapcsolók és egyéb kisméretű, de precíz megmunkálást és felületet igénylő elektromos alkatrészeket készítenek még belőle [5].

2.2. A politetrafluoretilén

A politetrafluoretilén, röviden PTFE a DuPont cég által kifejlesztett és általuk Teflon® néven szabadalmaztatott, a köznyelvben teflonként hivatkozott, hőre lágyuló, bár kristályolvadási hőmérséklete és ezzel a feldolgozási hőmérséklete jelentősen meghaladja más polimerekét, mint például polietilén, polipropilén és polioximetilén, részben kristályos műszaki polimer. Ismétlődő egysége, C_2F_4 , két szénatomból, négy fluor atomból áll amelyek erős, elsőrendű, egyszeres kovalens kötással kapcsolódnak egymáshoz. Előállítására a tetrafluoretilén polimerizációs láncreakciójával történik, amikor iniciátorokkal szabad gyököket képezünk a tetrafluoretilénben, majd azok polimerizálódnak. A folyamat legtöbbször megköveteli, hogy nem atmoszférikus, hanem magas nyomáson legyen a tetrafluoretilén a polimerizáció során [10].

A PTFE hasonlóan a POM-hoz egy műszaki polimer, azaz a tömeg műanyagokhoz képest jobb mechanikai, elektromos és termikus tulajdonságokkal bír. Más polimerekhez képest, a kristályolvadási hőmérséklete adalékanyagok, más polimerek nélkül 320-340 °C, amely polimereken belül kifejezetten nagy hőmérséklet, így a felhasználhatósági hőmérséklet tartománya is jelentősen meghaladja más, hétköznapi használt polimerekét, mint például a polietilén, polipropilén, vagy a fentebb tárgyalt polioximetilén. Ez a nagy kristályolvadási hőmérséklet azt eredményezi, hogy a mechanikai tulajdonságait, mivel a kristályos részarány a késztermékben jellemzően 40-80% között alakul, széles hőmérséklet tartományon képes megtartani, tartósan képes elviselni az akár 260 °C-ot jelentős degradáció nélkül [10-13].

Ezentúl, az egyik, ha nem a legnagyobb előnye a PTFE-nek, hogy a szilárd halmazállapotú anyagok közül, ezen anyag rendelkezik a legkisebb csúszási súrlódási együtthatóval, ennek az értéke 0,04 és 0,10 között változhat, adalékanyagoktól, és egyéb ötvözőktől függően. A kopásállósága jónak mondható, azonban a felületi kopásállóság növelésének érdekében töltőanyagok használata erősen javasolt, leggyakrabban nano töltőanyagokkal erősítetten is készülnek a PTFE alkatrészek, ugyanis ezekkel a kopásállóság tovább növelhető, miközben megmarad a PTFE kiváló, alacsony csúszási súrlódási együtthatója. Fontos még kiemelni, hogy a PTFE kiváló önkenő tulajdonsággal rendelkezik, előszeretettel alkalmazzák önkenő csapágyak alapanyagaként, vagy azok bevonataként. Mindezen tulajdonságai a fluoratomoknak köszönhetőek, amelyek olyan közel helyezkednek el egymáshoz képest, hogy egy hengeres, igen sima felületet alkotnak. Ez azt eredményezi, hogy más atomok rendkívül könnyedén képesek elcsúszni ezen a felületen [10-12].

A fentebb felsorolt tulajdonságain túl még érdemes megemlíteni, hogy a POM-hoz hasonlóan a PTFE is egy hidrofób polimer, azaz a nedvességet nem felveszi, hanem a felülete taszítja azt, a nedvesség, például víz molekula nem képes közvetlen módon beépülni a molekulaláncba, mivel nincs olyan poláros atom, amihez kapcsolódni tudna, ugyanis a PTFE apoláros a fluoratomok következtében, ezentúl rendkívül alacsony felületi feszültséggel is rendelkezik az anyag, aminek következtében a víz, vagy bármilyen nedvesség a kapillárisokon nem tud behatolni az anyag belsejébe. Így sem a közvetlen, ehhez kapcsolódóan a közvetett és még a kapilláris nedvességfelvétel sem tud megvalósulni, ha a PTFE felületét nedvesség éri. E mellé még hozzá tartozik, hogy a PTFE felületek nagyon alacsony lepergetési szöggel rendelkeznek, a nedvesség könnyen leperog a felületre kerülést követően. A PTFE ezen tulajdonságai is közre játszanak abban, hogy a legtöbb kémiai, szerves és szervetlen oldószerrel szemben magasfokú ellenállóképességet tanúsít [10-12].

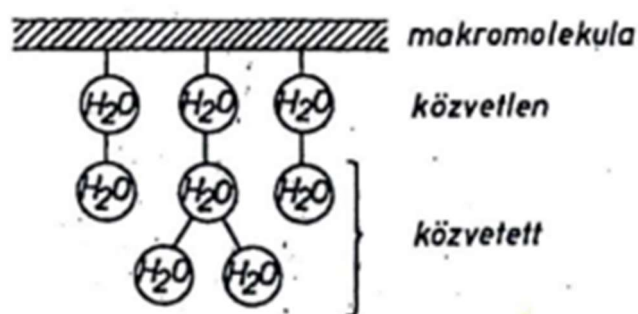
A fentebb felsorolt tulajdonságainak következtében, a PTFE egy megkerülhetetlen alapanyag csúszó, gördülő alkatrészek, elemek gyártása során, mint csapágyak, fogaskerekek, vezetékek alapanyaga, vagy vékony bevonata, de ezentúl a jó dielektromos tulajdonságából adódóan használja az elektromos ipar is kábel bevonatok készítéséhez, vagy nyomtatott áramkörök és elektrettek gyártásához. A PTFE a POM-hoz hasonlóan biokompatibilis, nem lép reakcióba az emberi és állati szövetekkel, ennek köszönhetően az orvosipar is alkalmazza, implantátumok, orvostechnikai műszerek, vagy hasonlóan csúszó és gördülő elemekhez, bevonatok készítésére. [10].

2.3. Polimerek nedvességfelvétele és száradása

A polimerek számos mechanikai, termikus, elektromos, kémiai, fizikai és egyéb tulajdonsággal rendelkeznek, amelyeket figyelembe kell venni, egy polimer alkatrésznek az anyagválasztása során. Egy ilyen tulajdonság a nedvességgel szembeni viselkedése a polimernek. Kétféle polimert lehet ezen szempont szerint

megkülönböztetni, a hidrofil és hidrofób polimert. Előbbi nedvességfelvételre hajlamos, molekulaláncaiba képes a nedvesség, például vízmolekula közvetlen és közvetett módon beépülni, továbbá a polimer felületén lévő finom repedésekbe, pórusokba, anyagfolytonossági hiányokba a kapilláris elvet kihasználva is képes bejutni, vagy pedig hidrofób, tehát a nedvesség nem képes beépülni sem közvetlen, sem közvetett módon a molekulaláncokba, továbbá több esetben a kapilláris nedvességfelvétel sem tud megvalósulni. Általánosságban igyekszünk elkerülni, hogy az adott polimer nagyobb mennyiségben vehessen fel nedvességet, ez ugyanis lágyító hatással van a polimerre, ez többek között a Young modulusz csökkenésében, az üvegesedési átmeneti hőmérsékletet negatív irányba tolja el, emellett a törési nyúlást növeli, az ütési szilárdsággal együtt. Röviden, a mechanikai tulajdonságokat tekintve, a nedvesség egy szívósabbá, de kevésbé keménnyé, rideggé teszi a polimert. Fontos azonban megjegyezni, hogy a fentebb elmondottak, és a későbbiekben tárgyaltak csak a 0 °C fok feletti hőmérséklet tartományra vonatkozik, kriogén állapotban ellentétes jelenségek figyelhetők meg, azonban a TDK dolgozat szempontjából irreleváns a kriogén állapot, ezért annak részletezésére nem kerül sor [14-17].

Egy polimer makromolekulájához elsősorban akkor képes közvetlen, vagy közvetett módon kapcsolódni egy vízmolekula, ha a polimer makromolekulájában találhatóak poláros, hidrofil csoportok. Ezen csoportok leggyakrabban oxigén, vagy nitrogén atomot tartalmaznak, mellettük pedig gyakran hidrogén, vagy szén atomok kapcsolódnak, ilyenek például a COOH, NH₂ csoportok. Ezek az erős, poláros csoportok képesek a vízmolekulákkal, H₂O, hidrogén kötésekkel létesíteni, amelyekkel így intermolekuláris, gyenge, másodrendű kötések jönnek létre a vízmolekula és polimer makromolekula atomjai között. Jelen esetben az oxigén és nitrogén atomok elektronokat felvenni képesek a legkülső vegyérték elektron héjaikon, a hidrogén atom pedig képes megosztani a saját vegyérték elektronját ezekkel az atomokkal, így telítetté válik azok vegyérték elektron héja. Ezt a jelenséget nevezzük közvetlen nedvesség felvételnek. Miután a vízmolekula kapcsolódott a polimer molekulalánchoz, ezekhez a vízmolekulákhoz képesek más vízmolekulák kapcsolódni, hasonlóan a közvetlen módhoz, itt is a hidrogén atomok hoznak létre másodrendű kötésekkel a vízmolekula oxigén atomjaival. Ez a közvetett nedvességfelvétel. A két jelenségre és egymáshoz viszonyított kapcsolatára jó szemléltetés a 3. ábra [14-17].



3. ábra Közvetlen és közvetett vízmolekula kapcsolódás a polimer makromolekulához [15]

Szó kell még eszen a nedvességfelvétel harmadik módjáról is, amely nem más, mint a kapilláris nedvesség felvétel. Ebben az esetben kémiai kötéssel ellentétben, a polimer felületén található finom repedések, karcok, pórusok, anyagfolytonossági hiányok idézik elő, az úgy nevezett kapilláris hatást, amely során a polimer felületi feszültsége kellően nagy, továbbá a polimer és a folyadék között fellépő adhéziós erők együttese azt okozza, hogy a folyadékot bekényszeríti a kapilláris hatás ezekbe a finom anyagfolytonossági hiányokba. Ezen nedvesség felvételi mód során, tehát a polimer molekula és a folyadék molekula között nem lép fel kémiai kapcsolat. A közvetlen és közvetett nedvességfelvételhez képest, természetesen a geometriai méretei az adott alkatrésznek némiképp változtathatják az arányokat, jóval csekélyebb mennyiségű nedvességet képes így a polimer felvenni [14].

Azon polimerek esetében, amelyek képesek a kémiai úton nedvességet megkötni, tehát esetükben a közvetlen és közvetett nedvességfelvételtől beszélünk, a felvett nedvesség mennyisége nagyban függ a polimer molekulájának kristályos részarányának, továbbá amorf részarányának a mértékétől. A rendezetten elhelyezkedő, részben kristályos részbe a folyadék molekulák nem, vagy az amorf részekhez képest minimális mértékben képesek beépülni, tehát egy polimer nedvességfelvevő képességét jelentősen befolyásolja a polimer kristályos és amorf részaránya. Minél nagyobb az amorf részarány, ezzel együtt a molekulaláncok orientáltsága minél rendezetlenebb, annál több nedvesség képes diffúzió útján behatolni és kapcsolódni a makromolekulához, ugyanis az amorf részekben, a molekulaláncok közötti távolság, hely, a rendezetlenség okán nagyobb, mint a kristályos területeken, így a folyadék molekulának nagyobb hely áll a rendelkezésére, ahol az a polimer molekulába bejuthat [14, 15].

A különböző polimerek tehát különböző mennyiségben képesek a nedvességet felvenni és megkötni, azonban ezt a mennyiséget még külső tényezők is befolyásolják, a polimer molekulájának alkotó atomjain, molekulaláncainak orientációja, rendezettsége és elhelyezkedése mellett. A két fontos külső tényező a hőmérséklet, és amennyiben nem folyadékba mártásról, hanem csak bizonyos relatív légnedvességű levegőn tartásról beszélünk, a relatív légnedvesség. A hőmérséklet növelésével, a polimer nedvességfelvevő képessége csökken, kevesebb folyadékot képes felvenni és megkötni, mely jelenség többek között a polimer molekulaláncok mozgékonyságának növekedésének köszönhető, hogy a folyadék molekulák nehezebben képesek elérni a poláros atomokat, továbbá, a nagyobb hőmérséklet következtében a folyadék molekulák termikus energiája növekszik, ezzel a folyadék molekula és polimer makromolekula közötti hidrogénkötés energiája csökken, ezentúl a folyadék diffúziós képessége is javul, könnyebben képes a polimer belsejéből, vagy felületéről a környezetbe diffundálni, egyszerűen elpárologni. A relatív légnedvesség alapvetően meghatározza, hogy az adott polimer mennyi nedvességet képes felvenni, az adott

közegben. Az alacsonyabb relatív légnedvességű levegő esetén a levegőben található vízgőz mennyisége alacsonyabb, kevesebb vízgőz áll a polimer rendelkezésére, amit fel tudna venni. Ahogy emelkedik a levegő relatív légnedvessége, úgy válik egyre nagyobb mennyiségű nedvesség elérhetővé a polimer számára, amit fel tudna venni. Fontos kihangsúlyozni, hogy a levegő relatív légnedvessége, és a polimer nedvességfelvevő képessége között a kapcsolat nem lineáris. Van egy további tényező, amely befolyásolja a polimer alkatrész nedvességfelvevő képességét, ez pedig az alkatrész geometriája, térbeli kiterjedése, térfogata, nedvesített felületeinek mérete, falvastagsága [14-16].

A polimerek nedvességfelvételének van egy jól definiált mérőszáma, a diffúziós együttható, amely megmutatja, hogy az adott polimerbe, az adott folyadék milyen intenzitással képes diffundálni. Meghatározására a Fick I. és II. törvénye ad lehetőséget az egyenletek (1-4) megoldásával [15].

$$I = -D \times \frac{\partial c}{\partial x'} \quad (1)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \times \frac{\partial^2 c}{\partial x'^2} \quad (2)$$

$$\frac{q}{Q} = 1.128 \times \frac{A}{V} \times \sqrt{D \times t}, \quad (3)$$

$$c_t = c_{max} \times \frac{2.256}{s} \times \sqrt{D \times t}, \quad (4)$$

A legtöbb esetben az egyes polimerekhez tartozó nedvességfelvételi és nedvesség leadási diagramokat gyártói katalógusokban érhetjük el, ahol a különböző hőmérsékleteken és relatív légnedvességek mellett megkapjuk, hogy az adott polimer telítési görbéi hogyan alakulnak, illetve a nedvesség leadási görbéi. Amennyiben ezek nem állnak rendelkezésre, úgy az adott anyagra kell elvégezni a szabványos kísérleteket a görbék meghatározásához [15].

2.4. Polimerek kopásállósága

Polimerek kopásállósága alatt azt értjük, hogy az adott polimer, a felületét érő adott mechanikai igénybevétel(ek) hatására mekkora anyagvesztést szenved el, azaz a tömegéből mennyit veszít a mechanikai igénybevétel(ek) hatására. Ez alapján, egy polimernek annál jobb a kopásállósága, ha az adott mechanikai igénybevétel hatására minél kisebb anyagvesztés következik be. A kopásállóság kérdésköre elsősorban azon alkalmazások terén válik kulcsfontosságúvá, ahol az egyes alkatrészek valamilyen forgó, vagy alternáló mozgást végeznek, ugyanis a kopás folyamatához elengedhetetlen, hogy valamilyen mechanikai igénybevétel legyen a felület(ek)-en, legyen szó alkatrészek egymáson való elcsúszásáról, szilárd részecskék, folyadék, vagy gáz áramlása az alkatrész felületét érintve. A kopás mértéke és a kopással szembeni ellenállóképessége egy polimernek, azaz kopásállósága sok tényezőtől függ, mint az érintkező felület(ek) érdessége, a felület(ek) Shore keménysége és alakja, geometriája, a felületen található szemcsék mérete, orientációja, alkalmazott

adalékanyagok, töltőanyagok, erősítőanyagok, kenőanyagok típusa, a mechanikai igénybevétel sebessége, időtartama, a terhelés nagysága. Elmondható tehát, hogy egy adott polimer kopásállóságát nem lehet egzakt módon definiálni, hisz az nem csak az adott polimertől függ, hanem a koptató igénybevételt előidéző anyagtól, legyen az egy másik polimer, vagy nem polimer felület, valamilyen folyadék vagy emulzió, esetleg gáz, magának a mechanikai igénybevételnek a tulajdonságaitól, időtartamától [18-20].

A polimerek kopásállósága összefüggésben van azok felületi keménységétől, amelyet a Shore féle keménységmérési módszerrel mérhetünk. Egy adott polimernek annál jobb lesz a kopással szembeni ellenállóképessége, minél nagyobb annak Shore keménysége. A nagyobb keménységgel rendelkező polimerek felületén bekövetkező kopás egy ridegebb, porózusabb képet mutat, míg a kis keménységű polimerek kopása során a felület szívósabban, nagyobb alakváltozásokkal, megnyúlásokkal deformálódik. A polimer keménységét elsősorban a kristályos részarányok növelésével tudjuk elérni, ugyanis a nagyobb rendezettséggel és orientációval rendelkező kristályos részarányok nehezebben képesek az alakváltozásra, mint az amorf részek, így azok az anyagnak nem a szívósságát, hanem a keménységét növelik. Ezzel szemben, természetesen minél nagyobb és rendezetlenebb, kevésbé orientált az amorf részarány, annál szívósabb, de kisebb keménységű anyagot kapunk. Ehhez a témakörhöz kapcsolódik, hogy a hőmérséklet növekedésének hatására a polimer molekulaláncokban meginduló mikro és makro Brown mozgások az anyag lágyulását okozza, tehát emelt hőmérsékleten szívósabbá válik a polimer, ennek következtében pedig a kopásállósága romlik. Ezentúl a szemcseméret is jelentősen befolyásolja, hogy a polimer hogyan fog viselkedni a koptató igénybevétellel szemben. A szemcseméret növekedésével a szemcse anyagszerkezetének homogenitása romlik, továbbá a terhelésfelvevő képessége is inhomogénné válik, ezért a szemcseméret növekedése csökkenti a kopással szembeni ellenállóképességet. Még a csúszási súrlódási együttható is befolyásolja a kopásállóságot, minél nagyobb a két felület között a súrlódási együttható, annál nagyobb lesz az igénybevétel, tehát a nagyobb csúszási súrlódási együttható csökkenti a kopásállóságot [18, 19].

Szó kell még essen a polimerek adalékanyagairól, töltőanyagairól, erősítőanyagairól. A polimerek tulajdonságait jelentős mértékben vagyunk képesek befolyásolni különböző egyéb, hozzáadott anyagokkal, nincs ez másképp a kopásállóság terén sem. Az alkalmazott töltőanyagok lehetnek szervesen szilikátok, mint például kalcium szilikátok, alumínium, vagy egyéb fémek, fluoridok, vagy erősítőanyagok esetében üveg, szén, aramid, esetleg valamilyen természetes szál, vagy nano erősítők, mint a szén nanocsövek, továbbá más polimerek, mint a PTFE. Mindezen adalékok azonban nagyban függnak az adott polimertől, milyen adhézió képes létrejönni a polimer mátrix és az adalékanyag(ok) között, mennyire lehet egyenletesen elosztatni az adalékanyagot az adott polimer mátrixban, létrejönnek e a felületen vagy az anyag belsejében dúsulások, avagy sem. Tehát nincs univerzális adalékanyag, amely bármely polimerrel párosítva, mindenképp javítani fogja a polimer kopásállóságát [18-20].

3. FELHASZNÁLT ANYAGOK, ALKALMAZOTT BERENDEZÉSEK

3.1. Felhasznált alapanyagok

3.1.1. *iglidur® J*

Az általam végzett mérések során az Igus GmbH. vállalat által fejlesztett, iglidur® J néven szabadalmaztatott nagyteljesítményű polimer alapanyagból készült, siklócsapágyakon végeztem méréseket. Az anyag a gyártói adatlapja alapján 1.49 g/cm^3 sűrűséggel, 2400 MPa hajlítási modulusszal, 73 MPa hajlítószilárdsággal, 74 Shore D keménységgel, 0.3 tömegszázalék nedvességfelvevő képességgel 23°C -on 50%-os relatív légnedvesség mellett és 1.3 tömegszázalék nedvességfelvevő képességgel vízbe mártva, valamint 0.06 – 0.18 száraz csúszási súrlódási együtthatóval rendelkezik [8, 9].

3.1.2. *PLA*

A kopásállóság vizsgálatához szükséges volt a vizsgáló berendezéshez olyan készülékek elkészítése, amelyek rögzítik és pozícionálják a próbatestet a mérés során. Ezek a készülékek additív technológiával, 3D nyomtató gépek segítségével lettek legyártva, amelyen egy 3D nyomtatásra optimalizált PLA filament volt az alapanyag.

3.1.3. *EN AW 6060 alumínium ötvözet*

A kopásállóság vizsgálatához szükséges volt a vizsgáló berendezéshez egy olyan készülék elkészítése, amellyel a mechanikai igénybevételt a vizsgáló berendezés a próbatest felületére átvitte. Ez a készülék az EN AW 6060 szabvány jelölésű, AlMgSi alumínium ötvözetből készült [21].

3.1.4. *Csapvíz*

A polimer próbatestek nedvességfelvevő képességének vizsgálata során öt darab próbatestet vízbe mártva vizsgáltam, a nedvességfelvevő képességét. Ezen víz közönséges, nem bevizsgált csapvíz volt.

3.2. Alkalmazott berendezések

3.2.1. *Hőmérő*

A mérések során a terem hőmérsékletének és relatív páratartalmának mérésére egy Testo 608 – H1 digitális hő- és páratartalom mérőt használtam. A mérhető hőmérséklet tartománya 0 °C és 50 °C, az alappontossága ± 0.5 °C. A mérhető páratartalom tartománya 10% és 98%, a pontossága $\pm 3\%$ [22].

3.2.2. *Tolómérő*

A próbatestek méreteinek leméréséhez egy Fowler ProMax Cal 67 0-6" típusú digitális tolómérőt használtam.

3.2.3. *Félmikro mérleg*

A próbatestek tömegének mérésére a Sartorius Quintx 125D – 1CEU félmikro mérleget használtam. A mérési tartománya a mérlegnek 0 és 60 gramm, az ismétlési pontossága 0.0001 gramm, a linearitása 0.0001 gramm [23].

3.2.4. *FT-IR spektrométer*

A próbatestek iglidur® J alapanyagát alkotó polimerek meghatározására egy Bruken Tensor II FTIR FT-IR spektrométert használtam.

3.2.5. *Pin-on-disc tribométer*

A próbatest tapadási és csúszási súrlódási együtthatójának méréséhez egy Anton Paar TRB³ csap – tárcsa tribométert használtam [24].

3.2.6. *Exszikkátor*

A próbatestek nedvességfelvevő és nedvesség leadó képességének méréséhez használtam üvegből készült, összesen négy különböző relatív páratartalmat létrehozó exszikkátort.

3.3. Vizsgálati módszerek

3.3.1. Tömegmérés

A polimer próbatestek nedvességhelnyelő és leadó képességének mérésére a különböző relatív páratartalomra beállított exsikkátorokban, illetve vízben kondicionált próbatesteken végeztem tömegmérést a félmikro mérleg segítségével, megadott időközönként.

3.3.2. Fourier – transzformációs infravörös spektroszkópia

A polimer próbatest alapanyagának, az iglidur® J-nek az összetételét határoztam meg a Fourier – transzformációs infravörös spektroszkópikus vizsgálattal, amely az általa kibocsátott infravörös fény az anyag által elnyelt bizonyos hullámhosszok következtében kirajzolódó elnyelődési mintát méri, és egy adatbázissal össze hasonlítja, ahol ismert anyagok elnyelési mintázatai vannak jelen. Ezzel meghatároztam, hogy nagy biztonsággal, milyen polimerek alkotják az iglidur® J fantázia nevű alapanyagot.

3.3.3. Csap – tárcsa tribométeres súrlódás mérés

A polimer próbatestek tapadási és csúszási súrlódási együtthatóját, illetve a kopásállóságát mértem a csap – tárcsa tribométer segítségével, ahol a vizsgáló berendezés a 3D nyomtatással elkészített készülékbe beragasztott polimer próbatestet az alumínium ötvözetből készült készülékkel előterhelte, majd megadott frekvencián rezgő mozgást végzett a felületen. Így a gép képes mérni az elcsúszó felületek között fellépő súrlódásból adódó erőt, továbbá az anyagveszteségből egy tömegmérés segítségével a kopás mértékét is. Ezzel megvizsgáltam, hogy az iglidur® J fantázia nevű alapanyagoknak milyen a tapadási és csúszási súrlódási együtthatója.

4. KÍSÉRLETI/FEJLESZTÉSI RÉSZ

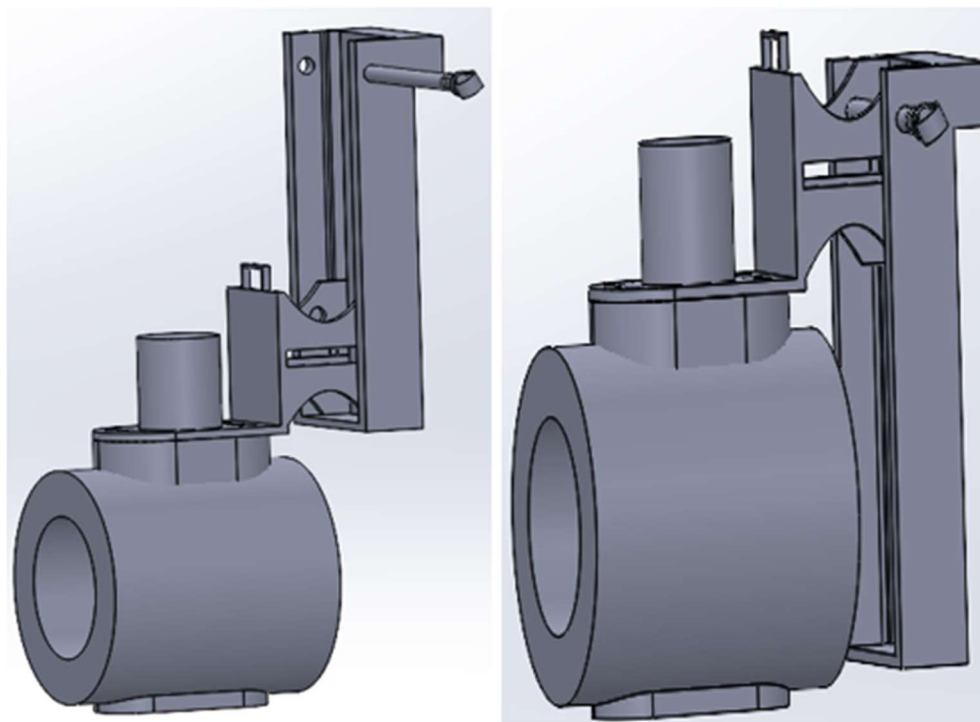
Mint ahogy az a bevezetőben is tisztázásra került, a FLAAR 24-es modell tekintetében a tömeg egy kulcsfontosságú paraméter. Ez a tény azt eredményezi, hogy az egyes alkatrészek, komponensek, részegységek tervezésének és fejlesztésének során nagy hangsúlyt kell fektetni a tömeg minimalizálására. Azaz, hogy az adott alkatrész, komponens, részegység a támasztott követelményeknek, elvárásoknak a lehető legkisebb tömeg mellett feleljen meg. Nem volt ez másképp a motorkiemelő rendszer fejlesztése során sem.

4.1. Piackutatás a már létező és kereskedelmi forgalomban kapható motorkiemelő mechanizmusok terén

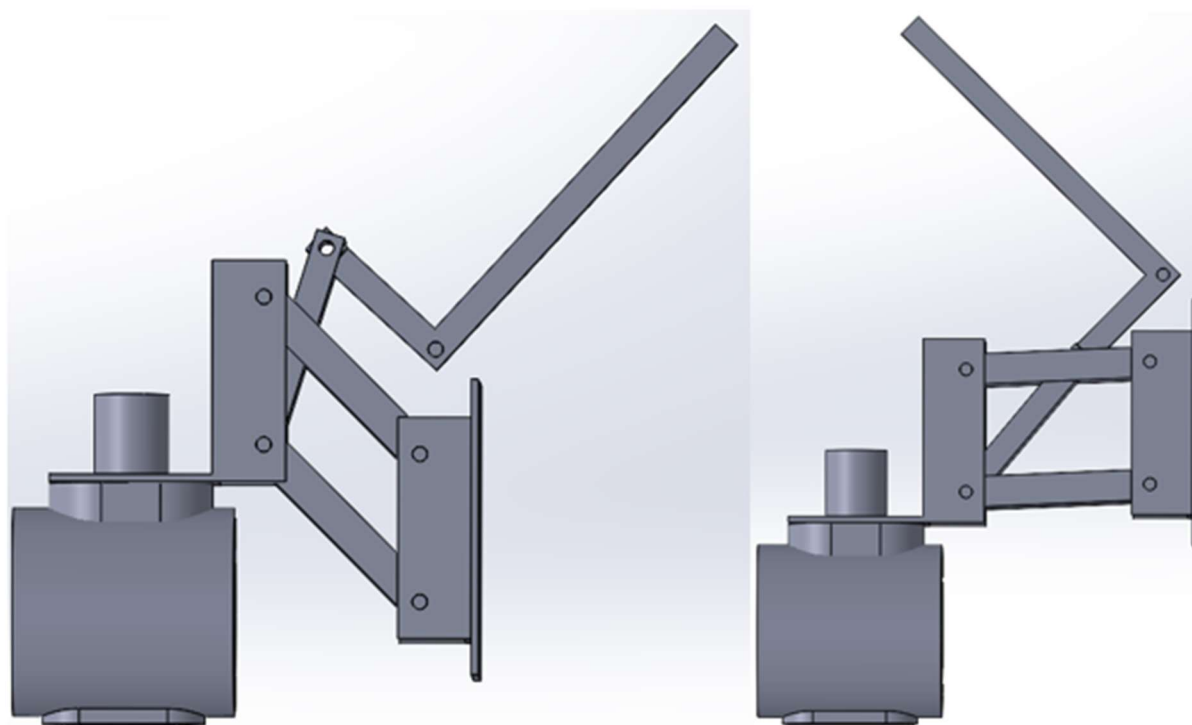
A rendszer tervezésének első lépéseként el kellett dönteni, hogy a motorkiemelő mechanizmus mozgatóját emberi, vagy gépi erő lássa el. Szem előtt tartva a rendszer tömegét, az egyszerű kezelhetőséget és karbantarthatóságot, továbbá a hajótestbe történő beépíthetőséget, amely kapcsán a geometriai méretek nem elhanyagolható korlátot jelentettek, az emberi erővel működtethető mechanizmusok oldalára dőlt a mérleg nyelve azon okokból kifolyólag, hogy egy emberi erővel működtetett rendszer esetében az elektromos segédberendezések, hidraulikus, vagy pneumatikus munkahengerek, vezérlőegység beépítése teljesen elhagyható, az elektromos, hidraulikus, pneumatikus berendezések vezetékeinek elvezetése és szigetelése úgyszintén, a mozgó alkatrészek száma csökkenthető, az üzemeltetéshez elengedhetetlen energia tárolására külön akkumulátor, vagy energiacella beépítése is elhagyható, a különböző hűtő és kenő folyadékok keringtetését és tárolását is el lehet hagyni, a karbantartás során nem szükséges szakember jelenléte és segítsége.

Mivel manapság már számos európai, amerikai és ázsiai gyártó kínál a különböző belsőégésű vagy elektromos külmotorokhoz kész motorkiemelő mechanizmust, amelyet csupán be kell építeni a hajóba, így kézenfekvő volt, hogy először felmértem a különböző hazai, európai és amerikai gyártók és viszont eladók által forgalmazott motorkiemelőket, megoldásokat [25-32]. A kereséseim során igyekeztem nem az egyes gyártók szerint csoportosítani, hanem a mechanizmus elve szerint, hogy az adott megoldás milyen módokon látja el a feladatát, ugyanis a szabadalmak lejártá után, természetesen több gyártó is átvette ugyan annak a megoldásnak az alkalmazását, így ugyan azt a mechanizmust megkaphatjuk több különböző gyártótól is, különbségek a vételárat leszámítva a geometriai méretekben, felhasznált alapanyagokban, esetleg színben voltak. A keresés során természetesen előzetesen felmértem a rendelkezésre álló méreteket a hajótestben, illetve az elhelyezhetőségnek a módját, ugyanis fontos szempont volt, hogy a lehető legkevesebb átalakítással, plusz alkatrész(ek) beszerelése mellett lehessen megvalósítani ennek a motorkiemelő rendszernek a beépítését. Továbbá a POD 3.0 [4, 5] hajtómű geometria méretei, illetve tömegét is figyelembe kellett vennem, ugyanis mint ahogy a későbbiekben látható lesz, vannak olyan

kiemelő mechanizmusok, amelyek nem lineáris mozgással, hanem egy körív mentén elfordulva emelik, illetve süllyeszti a hajtóművet és ha a két végállásban el is fér a hajtómű a kiemelő rendszerrel együtt, lehet, hogy a működtetés közben nem lesz elegendő hely. Az általam talált különböző megoldások, 6., 7., 8. és 9. ábra, eltérő előnyökkel és hátrányokkal rendelkeztek, így azokat összegyűjtöttem, amelyeket kifejezetten érdekesnek és ígéretesnek találtam, azokról vázlatos CAD modelleket készítettem 4. és 5. ábra, hogy az általam elképzeltet minél szemléletesebben tudjam átadni majd a megbeszéléseken a hajó tervezésében és fejlesztésében részt vett kollégákkal együtt.



4. ábra Lineáris sínben csúszó felhúzó mechanizmus leengedett és felhúzott állapotban



5. ábra L karos emelő mechanizmus felhúzott és leengedett állapotban

Többszöri egyeztetés után jutottunk el oda, hogy egy mechanizmuson kívül, az összes többi sikerült kizárni. A választás a 4. ábrán látható, sínés megoldásra jutott, mivel szemben az 5. ábrán szereplő megoldással, bár a fel le mozgató megoldása nem olyan ergonomikus, mert mélyre kell nyúlni a hajó belsejében a fel és leengedéshez, ellentétben az L karos megoldással, ahol egyszerűen a kar előre hátra mozgásával megoldható a mozgás, azonban az L karos megoldással szemben jóval kevesebb helyet igényel magának a fel és le mozgásnak a kivitelezése, továbbá a geometria korlátok következtében az L karos megoldás választása esetén egy egyedi geometriával, kereskedelmi forgalomban nem kapható L kart kellett volna tervezni, amely így lényegesen megnehezítette volna a mechanizmus gyárthatóságát.

4.2. Lineáris sínben csúszó felhúzó mechanizmus fejlesztése és továbbfejlesztése

Miután kiválasztásra került az a mechanizmus, amelyet a leghatékonyabbnak ítélték meg kollégáim és jómagam is, elkezdtem az egyes alkatrészek tervezését, méretezését, figyelembe véve a hajó és a hajtómű adta geometriai korlátokat és megkötéseket. Az alkatrészek tervezésének kezdeti fázisában először a 4. és 8. ábrán látható megoldás irányába indultam el, miszerint egy sín pár helyezkedik el két oldalt, bennük hornyokkal, és a sín pár között, a hornyokban képes fel le mozogni egy L alakú hajtómű rögzítő alkatrész. A hajtómű rögzítő alkatrész mozgását kezdetben egy egyszerű fogantyú segítségével gondoltam megvalósítani, alsó végállásban a tömege tartotta volna a helyén, felső végállásban pedig egy csapot

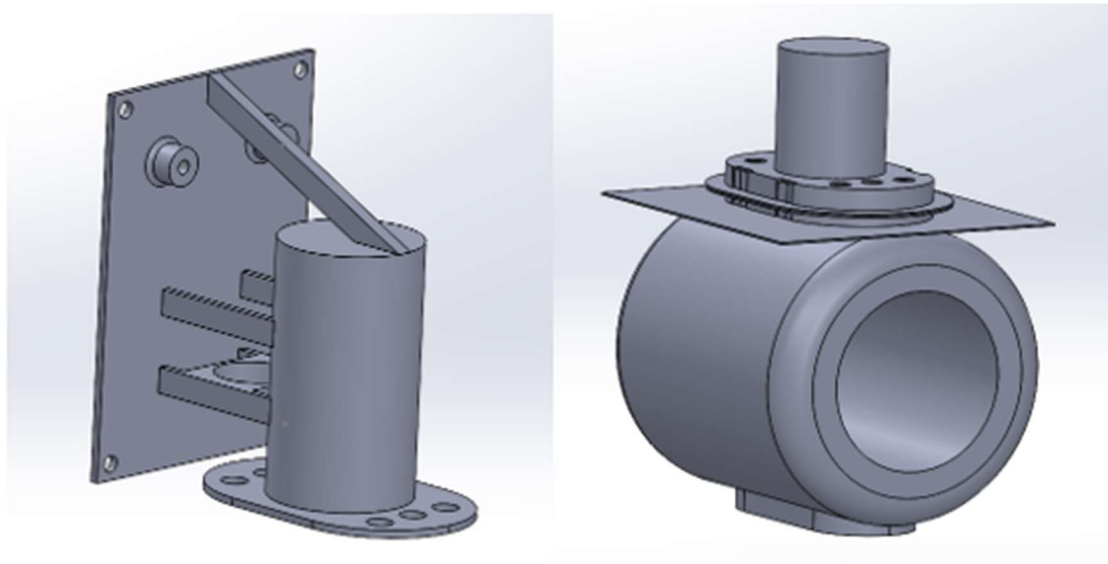
lehetett volna behelyezni a sínre és hajtómű rögzítő alkatrészen keresztül. Ez a megoldás azonban túlságosan sok időt vett volna el, hogyha valamilyen vészhelyzet esetén kellene a hajtóművet vagy leengedni, vagy felhúzni, a csap kihúzása és behelyezése, a hajóba mélyen történő behajolás mind olyan lépések lettek volna, amelyek egy vészhelyzet esetén a kormányos figyelmét és kezét túl hosszú ideig kötik le. Ezentúl a sín pár további kérdéseket vetett fel, ugyanis a motor rögzítő alkatrész mindenképpen egyedi gyártású kellett, hogy legyen, viszont ezen okból kifolyólag nem találtam kereskedelmi forgalomban olyan sín párt, ami tökéletesen illett volna az elképzelésekhez, méretekhez, elhelyezéshez. Nem utolsósorban, egy kollégám ötlete okán a 9. ábrán látható, kötéllel, csigákkal, egy központi sínre történő mozgató irányába indultam tovább [4].

Az Igus Hungária Kft. weboldalán kezdtem el a keresgélést lineáris vezetékekkel kapcsolatban, hogy milyen lehetőségek vannak, egy központi lineáris vezeték és egy sínkocsi kombinációjával, az eddigi elképzeléseim kiváltására [34]. Kereséseim eredménye képen volt három olyan termékcsalád, amelyek méret, mechanikai tulajdonságok, tömeg, alkalmazhatóság és variálhatóság szempontjaiból ígéretesnek tűntek, ezek név szerint a W, N és T – sínes vezetőelem családok. Ennél a pontnál felvettem a kapcsolatot a cég egyik műszaki tanácsadójával, akinek részletesen elmagyaráztam, hogy milyen alkalmazásról lenne szó, milyen terhelések, erők és nyomatékok hatnának a sínre és sínkocsira, az alkalmazási környezetet is ismerttettem, hőmérséklet, páratartalom, nedvesség és korrozív közegek szempontjából, továbbá a geometriai méreteket és megkötéseket is. Néhány levélváltást követően, a cég műszaki tanácsadója a W nevezetű termékcsaládot ajánlotta a feladatra, 10. és 11. ábra [4, 34].

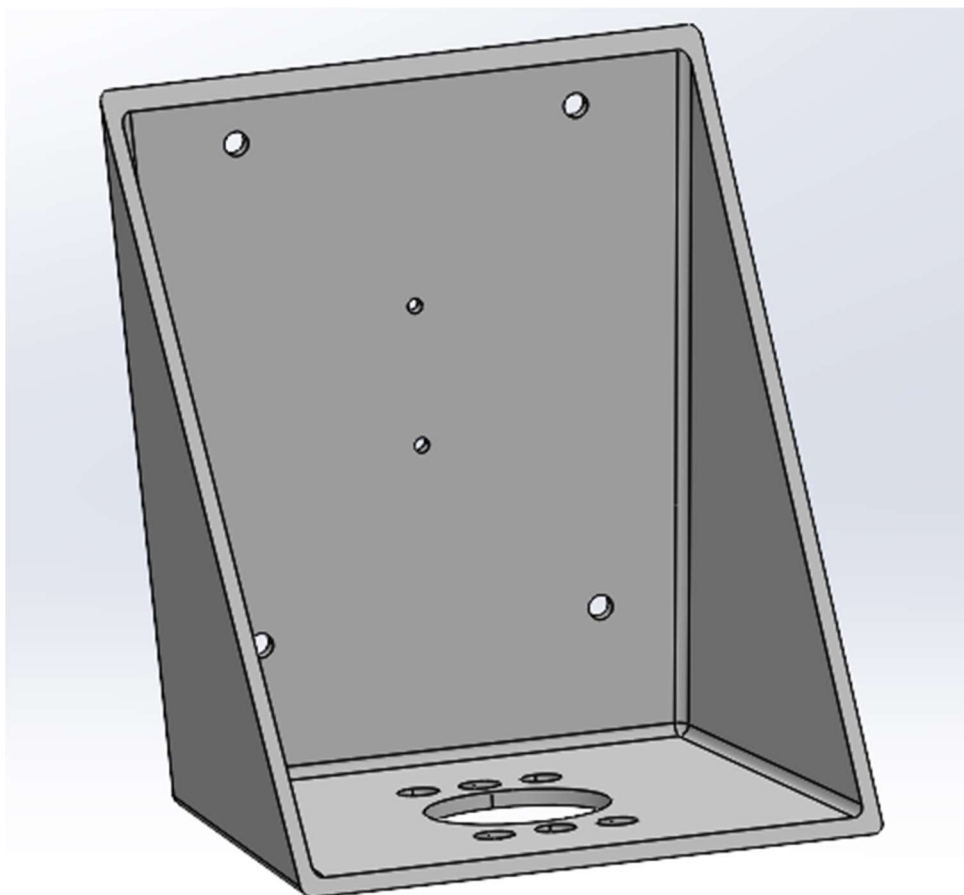
Míndközben egy másik problémára is kerestem a megoldást, ugyanis elvárás volt a motorkiemelő mechanizmussal szemben, hogy mind a felhúzott, mind a leengedett állapotban legyen a hajó alja sík, tehát felhúzott és leengedett állapotban is legyen egy laminát réteg, amely megakadályozza, hogy nagymennyiségű víz juthasson be a mechanizmushoz, mivel így nem lehet hagyni a vízzáró tömítések alkalmazását, nem kell külön megoldás a vízmentes elszigetelésére a mechanizmusnak a hajó többi részétől. Erre a problémára egy olyan megoldást gondoltam az elején, hogy felhúzott állapotában a hajtóműnek, az áldozati anód és a hajtómű közé egy segéd laminát kerül felcsavarozásra, mert azon hajókat, amelyeket ezzel a berendezéssel rendelnek, nem készülnek külön, kivágással a hajó fenéken, hanem ugyanúgy legyártják őket, és később kézi szerszámokkal kerül kivágásra a megfelelő méretű rész a hajó alján, így a lehető legpontosabb illeszkedés érhető el, a hajtómű felhúzott állapotában és a kivágott laminát darab epoxi ragasztóval kerül felragasztásra a segéd laminátra, ezzel minden egyes hajó esetében egyedileg kerül pozícionálásra a kivágott hajófenék laminát, mindezzel kiküszöbölve a gyártási pontatlanságokból fakadó geometriai eltéréseket [4].

A hajtómű leengedett állapotában történő hajófenék elfedése már egy fokkal bonyolultabb probléma volt. Először egy irányba indultam el, hogy hasonlóan az áldozati anód és hajtómű közé felrögzülő segéd lamináthoz, a motor rögzítő

alkatrész és a hajtómű közé kerüljön úgyszintén beépítésre egy olyan segéd laminát, amelyre felragasztható egy fenék laminát. Ezzel a megoldással a legnagyobb probléma az volt, hogy külön le kellett volna gyártani egy segéd laminátot, külön egy fenék laminátot, mindezeket a gyártás során plusz lépésként beépíteni, pozicionálni, holott a leengedett hajtómű mellett a hajó nem halad olyan sebességgel, amely jelentős elárasztódást eredményezne, így fölösleges anyag, idő és energia felhasználás lenne egy ilyen több alkatrészből álló egységgel megoldani. Itt váltottam át arra az elgondolásra, hogy maga a motor rögzítő alkatrész alját, tehát azt a részét, amelyre felcsavarozásra kerül maga a hajtómű, kell úgy megnövelni, hogy leengedett állapotban ez zárja el a víz útját a behatolástól. A 13. és 14. ábrán jól látszik a különbség, hogy míg előbbi esetben még egy olyan modell látható, ahol a külön alkatrészekkel történő megvalósításon dolgoztam, utóbbi már a későbbi, egy alkatrészes megoldást mutatja. Összehasonlítva a két megoldást, utóbbi lényegesen egyszerűbb gyártási, szerelhetőségi szempontokból [4].

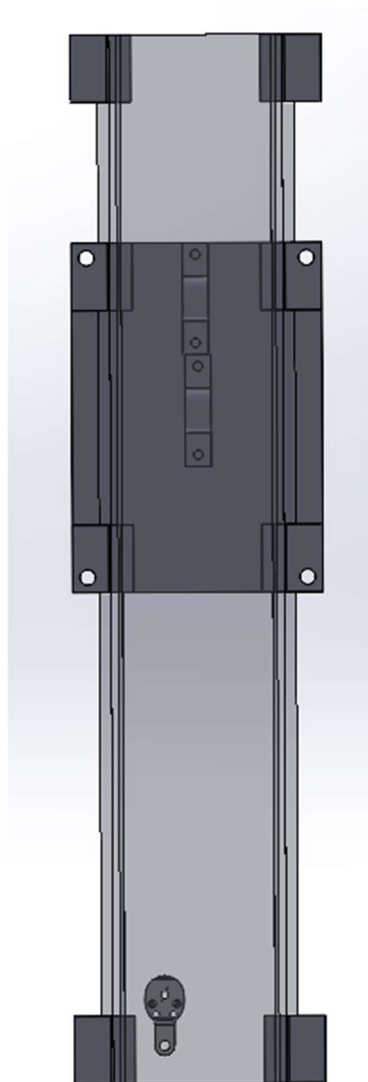


13. ábra Három részes motorrögzítő alkatrész együttes vázlatos modell

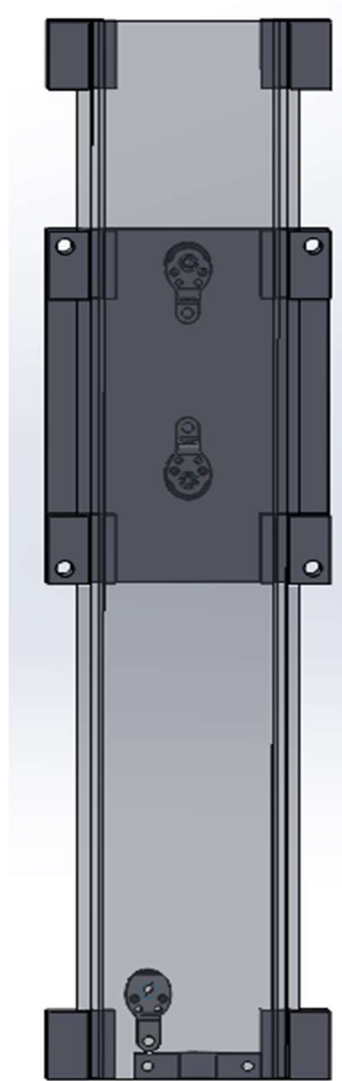


14. ábra Egy részes motor rögzítő alkatrész modell

Ezek után elkészítettem az összeállítását a sínnek, sínkocsinak, motor rögzítő alkatrésznek, ütközőknek, amelyek idő közben még kiválasztásra kerültek, mivel így minden egyes hajóhoz, a gyártási pontatlanságok következtében, pontosan beállítható a felső és alsó végállás helyzete. Majd neki láttam a mozgatókigondolásának. Mivel kötéllal kellett megoldani mind a felfelé, mind a lefelé történő mozgatót, ezért a 9. ábráról inspirálódva, készítettem egy összeállítást áttétel nélküli megvalósítással, 15. ábra, illetve egy egyszeres áttétellel rendelkező megvalósítást, 16. ábra. Jelen pillanatban még folynak a mérések, az áttétel indokoltságát illetően [33].

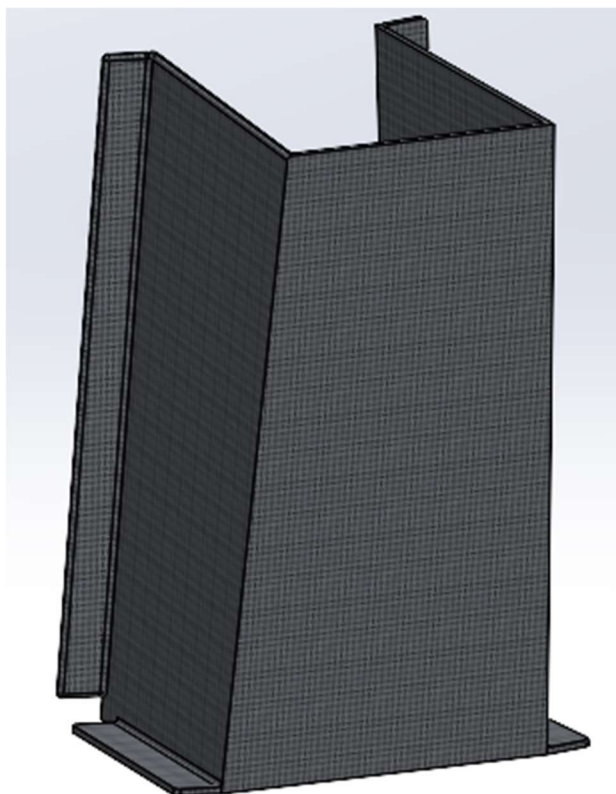


15. ábra Áttétel nélküli elrendezés



16. ábra Egyszeres áttételes elrendezés

Végül az utolsó alkatrész megtervezése következett, amely egy a kiemelő mechanizmust a hajótest belsejének többi részétől elválasztó szoknya volt, amely megakadályozza, hogy a beszivárgó víz elárhassa a hajótest teljes belsejét, továbbá védi a mechanizmust az esetleges behatásoktól is. Ezen alkatrész megtervezéséhez helyszíni méretvételeket kellett végezni, ahol is egy már kész hajón felmértem a pontosan rendelkezésre álló méreteket, amiket nem feltétlenül tudtam volna a CAD modellekben tökéletesen lemérni, majd konzultálva kollégáimmal az ergonomiai oldaláról is a szoknyának, hogy a mechanizmus elérhető és adott esetben tisztítható, karbantartható legyen, elkészítettem a 17. ábrán látható módon a kész szoknyát [3].



17. ábra Motorkiemelő mechanizmus takaró szoknya

4.3. Igus siklócsapágyak vizsgálata

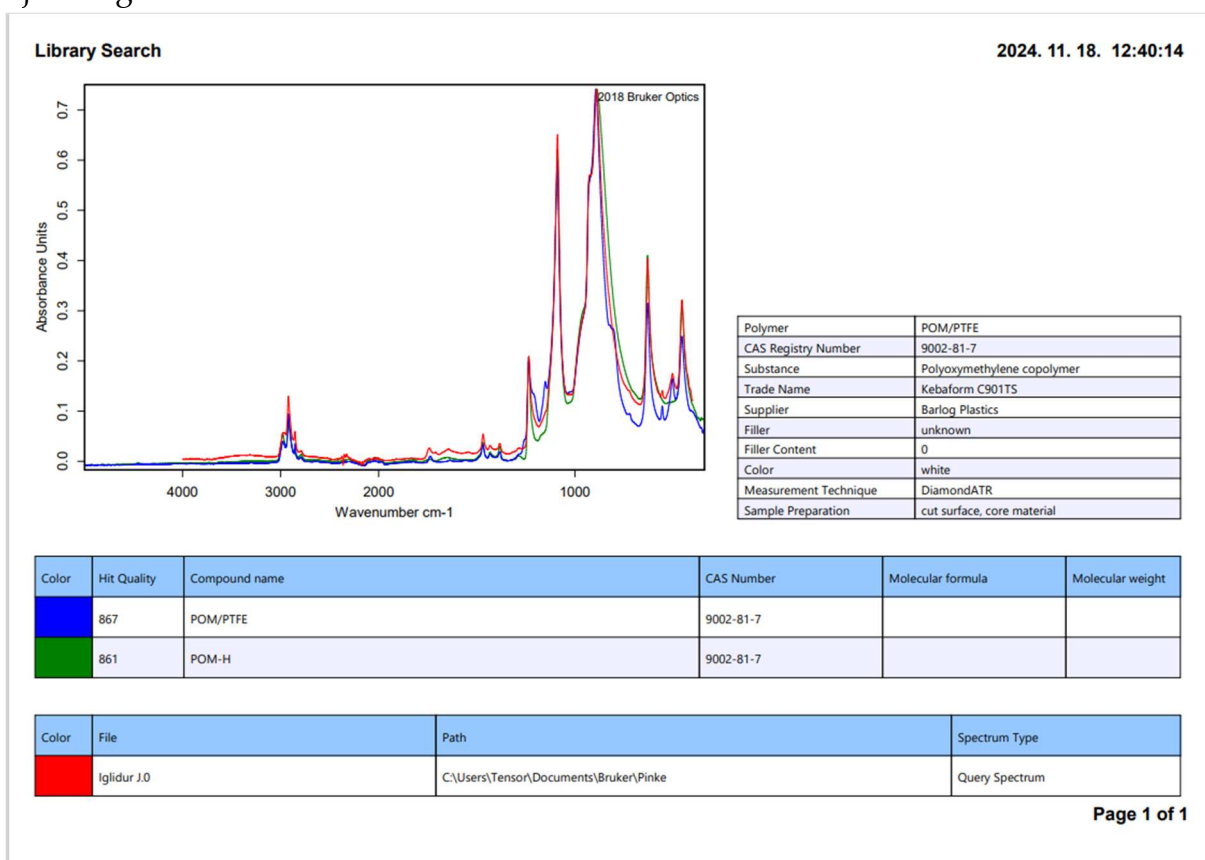
Az Igus cég által gyártott sínkocsik siklócsapágyai, egy, a 3. fejezetben tárgyaltak alapján, iglidur® J fantázia nevű nagyteljesítményű polimer alapanyagból készült, amelyről rendelkezésre álltak dokumentumok az alkalmazási körülményekkel kapcsolatban releváns paraméterekkel együtt, azonban fontosnak gondoltam kollégáimmal együtt, hogy saját kezűleg vizsgálatokkal ellenőrizzük a gyártó által megadott adatokat [8, 9]. Fontos azonban kihangsúlyozni, hogy nem szabványos kísérleteknek lettek a próbatestek alávetve, hanem a konkrét felhasználási környezetet és körülményeket a lehető legjobban szimulálva.

4.3.1. *igidur® J polimer alapanyag alkotóelemeinek meghatározása FT-IR spektroszkópos vizsgálattal*

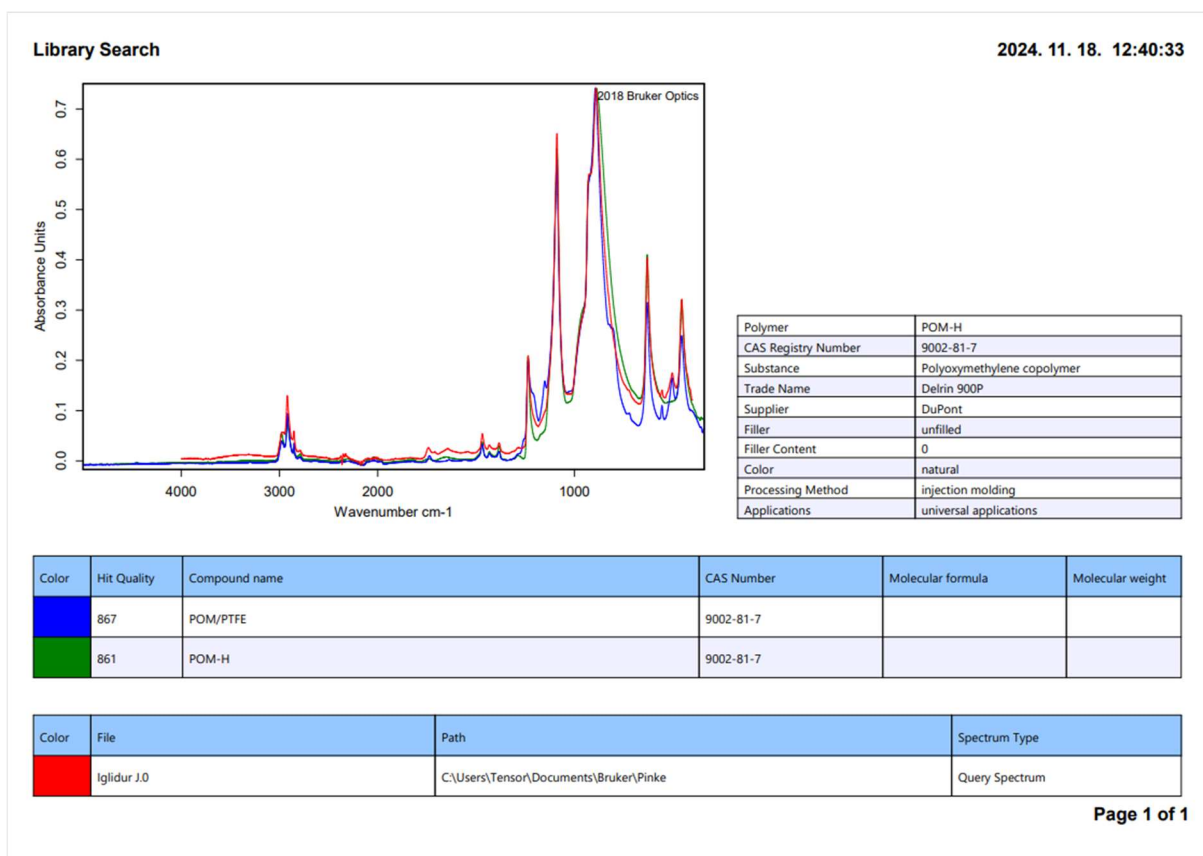
Az első vizsgálat, amelyet elvégeztem az alapanyagot alkotó polimerek típusainak feltárására, az egy Fourier – transzformációs infravörös spektroszkópos vizsgálat volt, amelyben a vizsgáló berendezés a 3.3.2.-es fejezetben tárgyaltak alapján képes meghatározni az alapanyagban található polimerek típusait.

A vizsgálat során egy próbatestből kivágtam a szükséges méretű mintát, majd azt a gépbe helyeztem és elvégeztem a mérést. A kiértékelő szoftver az adatbázissal össze vetette az Iglidur® J alapanyag által adott elnyelődési mintát és a POM-mal mutatott ki egyezést, némi PTFE mellett. A 18. ábrán jól látszik, hogy az adatbázisban található Kebaform C901TS nevű, POM és PTFE-ből álló kopolimerrel 86.7%-os egyezés mutatkozik, továbbá a 19. ábra Delrin 900P nevű POM-H homopolimer anyaggal pedig 86.1%. Ezen mérési adatokból nagy bizonyossággal kijelenthető, hogy az alap polimer a POM, amely PTFE-vel van társítva.

A szakirodalmi kutatások és későbbi vizsgálatok összhangban voltak, a szakirodalomban a POM és PTFE anyagokról leírtakat sikerült a mérések során is reprodukálni, mint az kis súrlódási együttható, alacsony nedvességfelvétel, hidrofób tulajdonság.



18. ábra FT-IR spektroszkóp kiértékelő lap 86.7%-os anyagegyezés információs táblájával



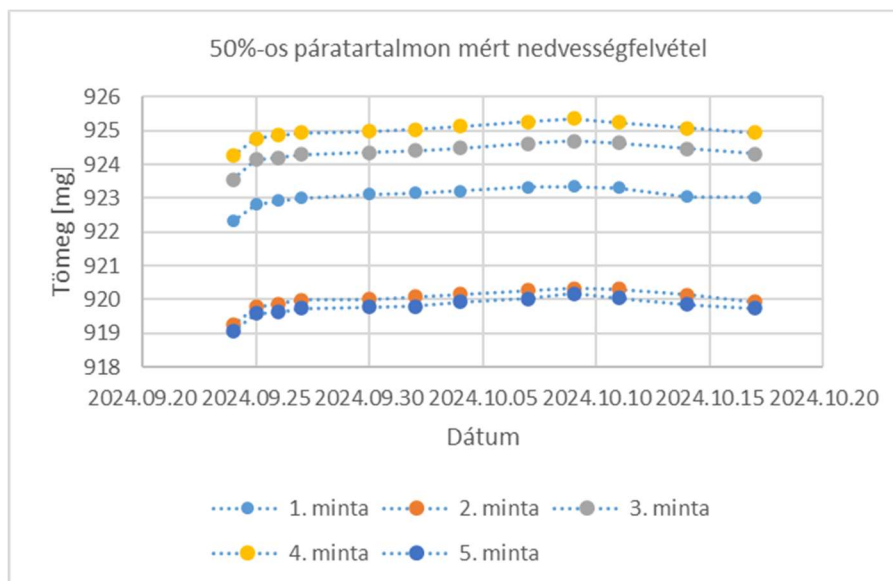
19. ábra FT-IR spektroszkóp kiértékelő lap 86.1%-os anyagegyezés információs táblájával

4.3.2. iglidur® J polimer alapanyag vízfelvételének és víz leadásának vizsgálata exszikkátorok és félmikro mérleg segítségével

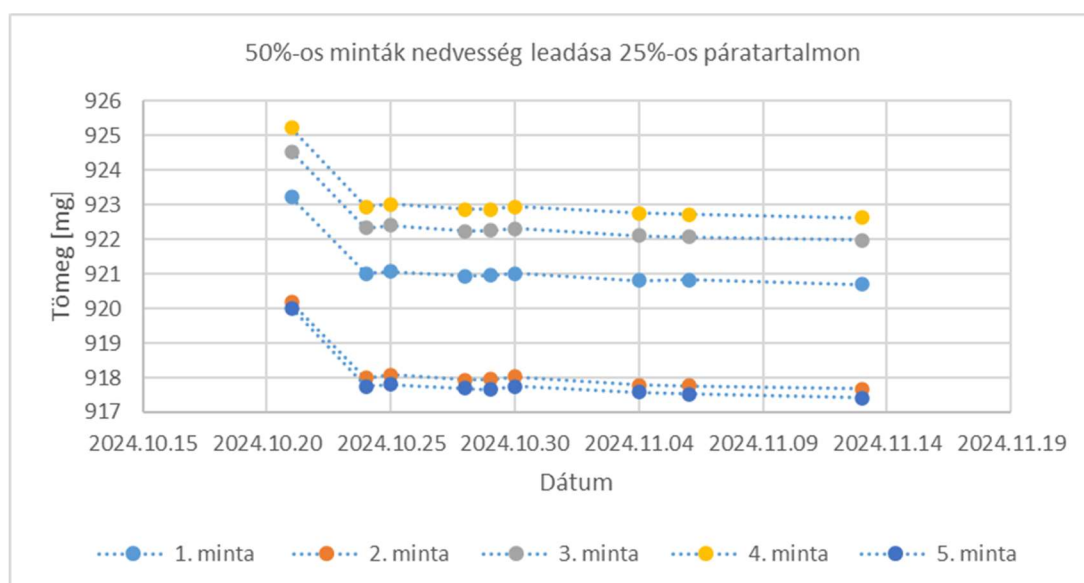
Az alapanyag nedvességfelvő képességének és nedvesség leadó képességének mérésére először egy 50%, 75%, 100% relatív páratartalommal rendelkező exszikkátorokba, valamint csapvízbe helyeztem a próbatesteket, majd a 20. ábrán látható dátumokban lemértem egyesével a próbatestek tömegét félmikro mérleg segítségével. A 20. ábrán olvashatóak az egyes páratartalmakon kondicionált próbatestek tömeg növekedése, százalékos formában is megjelenítve, átlaggal és szórással. Miután a próbatestek elérték a telítettségüket, áthelyeztem őket egy 25% relatív páratartalommal rendelkező exszikkátorba, ahol a 21. ábrán látható dátumokban mértem a tömegüket egyesével. A 21. ábrán olvashatóak az egyes páratartalmakon kondicionált próbatestek tömeg csökkenése, százalékos formában is megjelenítve, átlaggal és szórással. A 22., 23., 24., 25., 26., 27., 28. és 29. ábrákon az egyes páratartalmakon kondicionált próbatestek telítési és száradási diagramjai láthatóak.

Jól látható a mért eredményekből, hogy minél magasabb relatív páratartalom van tárolva a próbatestek, annál nagyobb vízmennyiséget képesek felvenni. Ez a

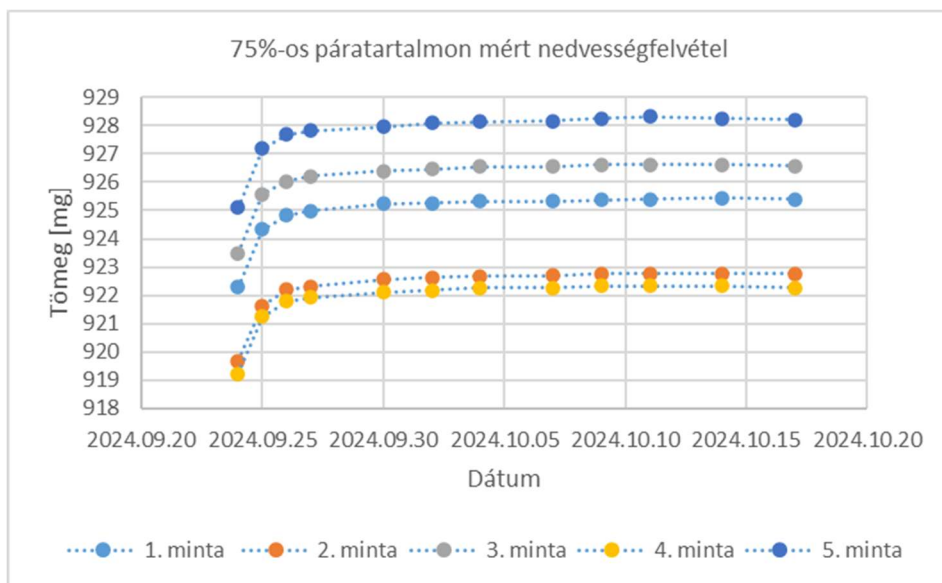
szakirodalomban leírtakkal egyező jelenség [14-17]. A kiugró értékek a vízbe mártott próbatestek esetén mérési hibának tudható be.



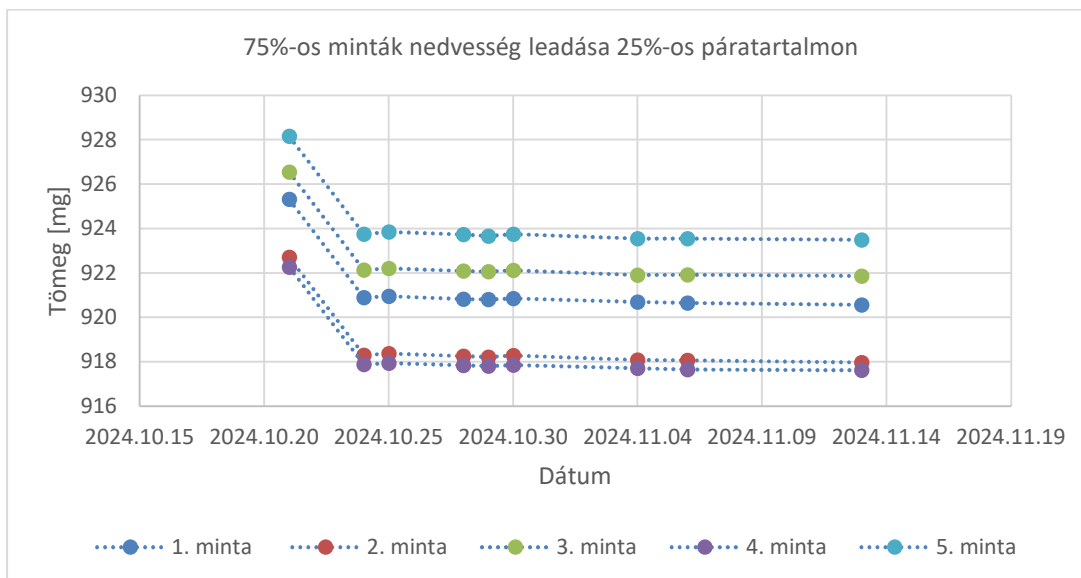
22. ábra 50%-os páratartalomon kondicionált próbatestek telítési diagramja



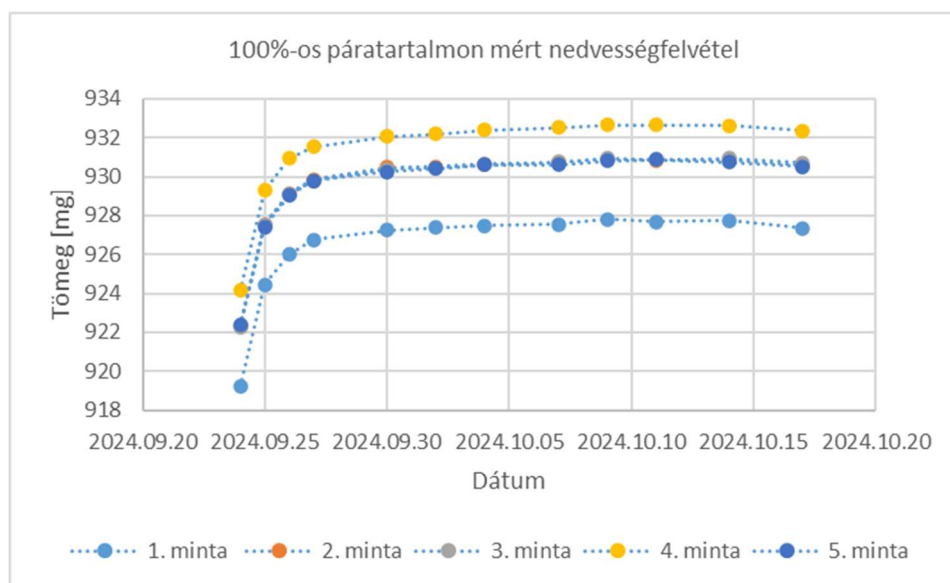
23. ábra 50%-on kondicionált próbatestek 25%-on mért száradási diagramja



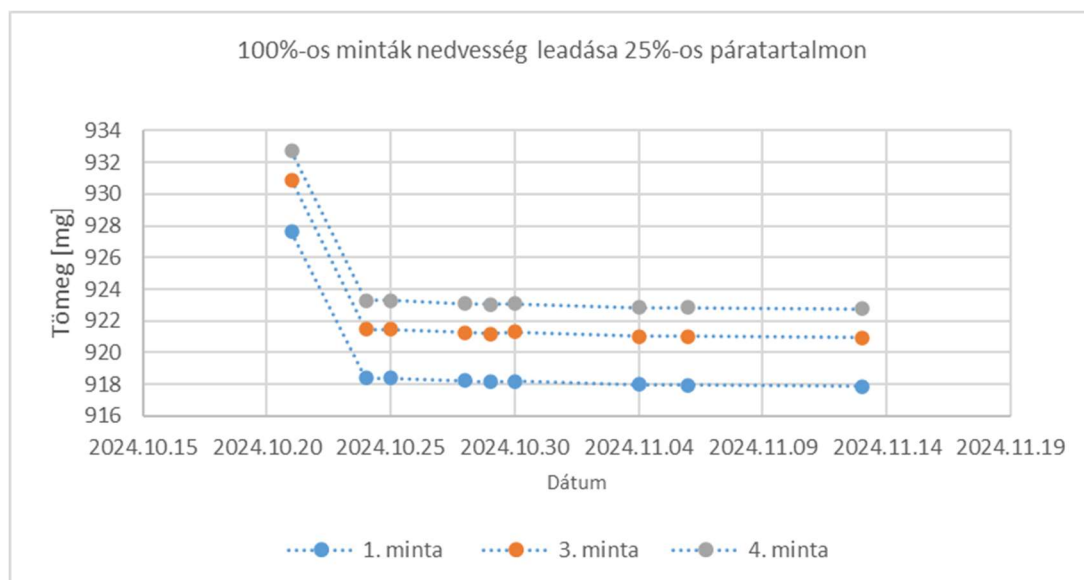
24. ábra 75%-os páratartalomon kondicionált próbatetek telítési diagramja



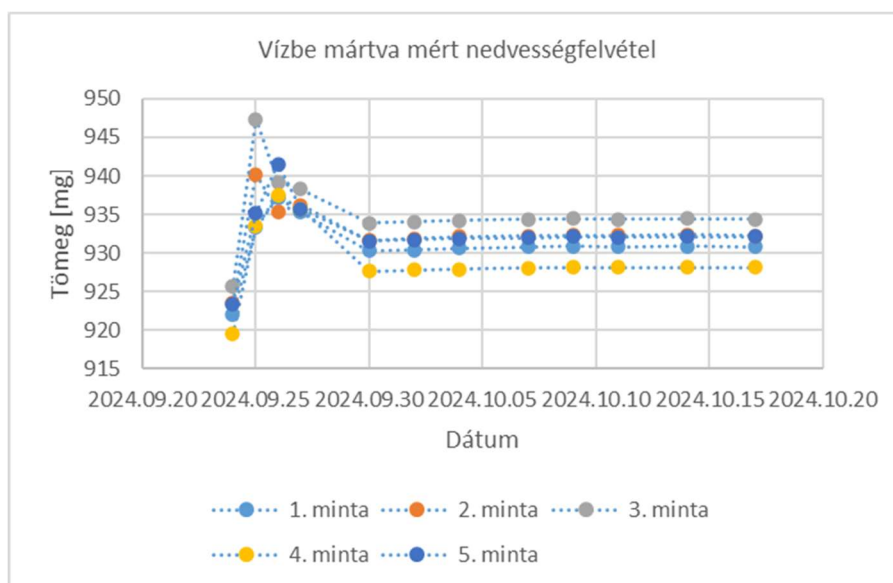
25. ábra 75%-on kondicionált próbatetek 25%-on mért száradási diagramja



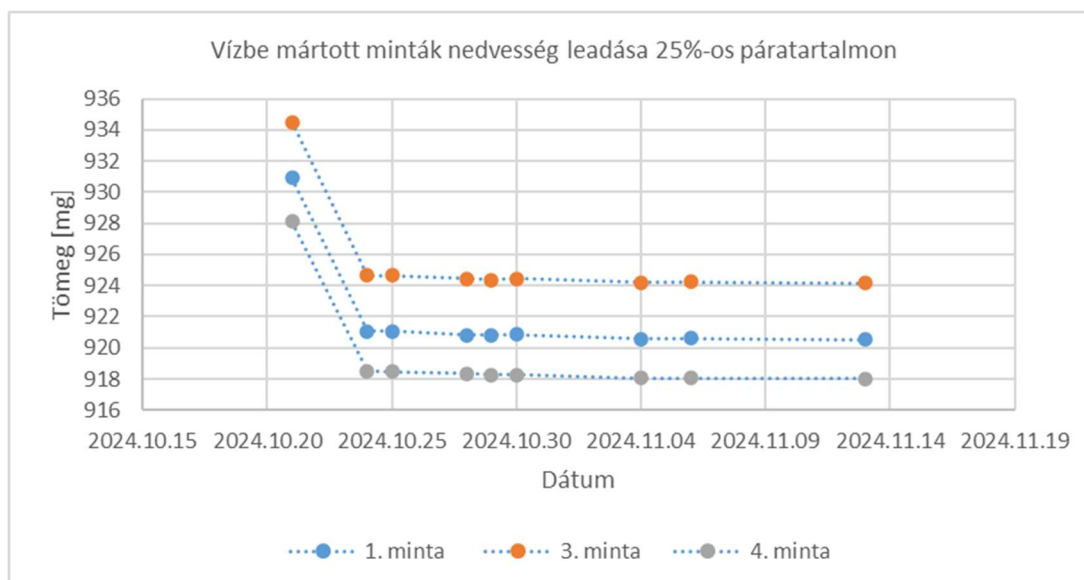
26. ábra 100%-os páratartalmon kondicionált próbatetek telítési diagramja



27. ábra 100%-on kondicionált próbatetek 25%-on mért száradási diagramja



28. ábra Vízbe mártva kondicionált próbatetek telítési diagramja



29. ábra Vízbe mártva kondicionált próbatetek 25%-on mért száradási diagramja

4.3.3. iglidur® J alapanyag tapadási és csúszási súrlódási együtthatójának meghatározása

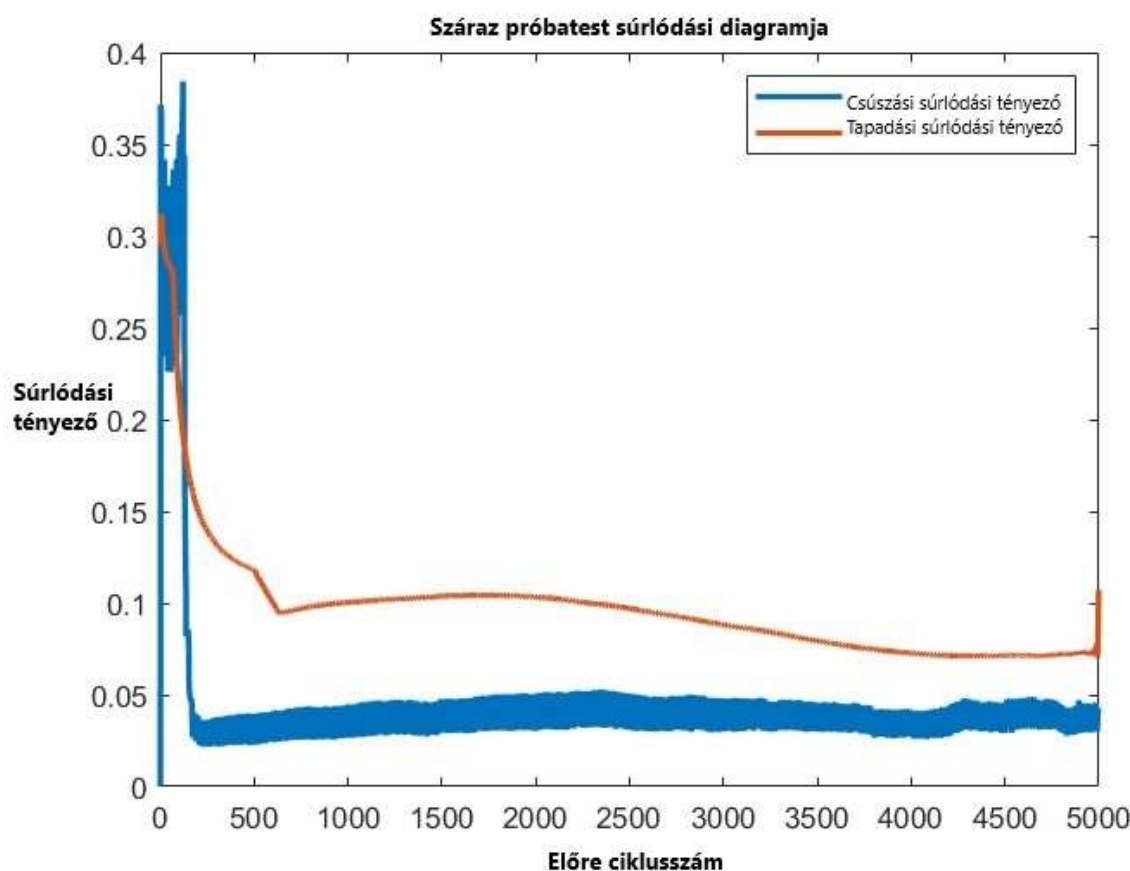
A mérés során egy vízbe mártva kondicionált és egy légköri páratartalomra tárolt próbatest került megmérésre, egy Hz-n, ötezer ciklus bevitelével a csap – tárcsa tribométeren amely mérte a folyamat során a próbatetek tapadási és csúszási súrlódási együtthatóit, 30. ábra. A próbatetek felületén súrlódó készülék a lineáris sínhez hasonló alumínium ötvözetből készült, a minél reprezentatívabb eredmények érdekében. A 31., 32., 33., 34. ábrán láthatjuk a száraz és vízben kondicionált próbatetek súrlódási tényezőinek lefutását a ciklusszám függvényében. Eltérő

eredményeket kapunk az alumínium készülék előre, illetve hátra felé elmozdulása során. Érdekességgéppen a 35., 36., 37. és 38. ábrákon a vizsgálat közben láthatjuk a berendezést, illetve a PLA anyagból készült befogó készüléket.

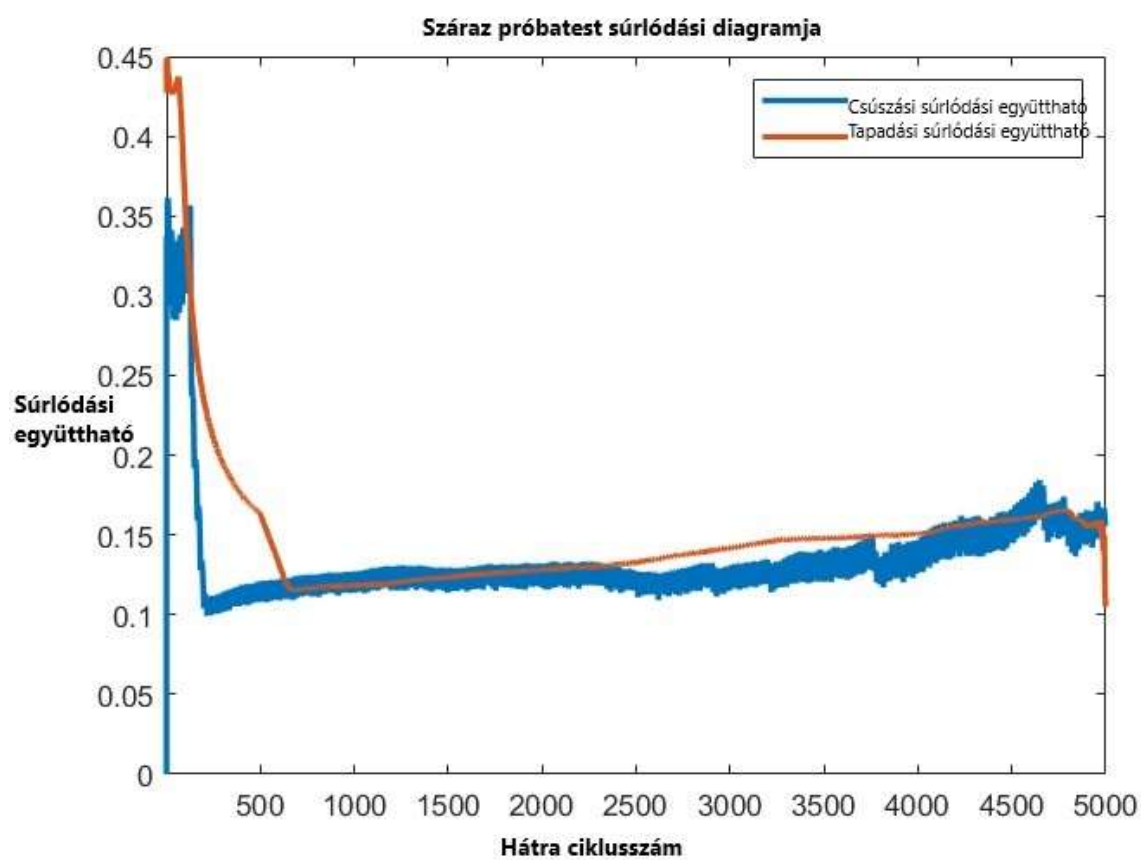
Jól látható, hogy a száraz próbatest esetén kisebb súrlódási együtthatókat mértem, mivel a vízbe mártva kondicionált próbatest a felvett nedvesség hatására duzzadást szenvedett el, a felületi érdessége is megnőtt. Továbbá látszik, hogy a súrlódási tényezőknek van egy beállási ideje, ez a kopással és hőmérséklet változásával van összefüggésben [18-20].

Szárazon mért próbatest		Vízben kondicionált próbatest	
Átlagos tapadási súrlódási együttható előre [-]:	0,0939	Átlagos tapadási súrlódási együttható előre [-]:	0,2777
Átlagos tapadási súrlódási együttható hátra [-]:	0,1454	Átlagos tapadási súrlódási együttható hátra [-]:	0,2318
Átlagos csúszási súrlódási együttható előre [-]:	0,0448	Átlagos csúszási súrlódási együttható előre [-]:	0,2532
Átlagos csúszási súrlódási együttható hátra [-]:	0,1374	Átlagos csúszási súrlódási együttható hátra [-]:	0,1340
Átlagos tapadási súrlódási együttható [-]:	0,1197	Átlagos tapadási súrlódási együttható [-]:	0,2548
Átlagos csúszási súrlódási együttható [-]:	0,0911	Átlagos csúszási súrlódási együttható [-]:	0,1936
Átlagos súrlódási együttható [-]:	0,1054	Átlagos súrlódási együttható [-]:	0,2242
Tapadási súrlódási együttható szórás [-]:	0,036416	Tapadási súrlódási együttható szórás [-]:	0,032456
Csúszási súrlódási együttható [-]:	0,065478	Csúszási súrlódási együttható [-]:	0,084287

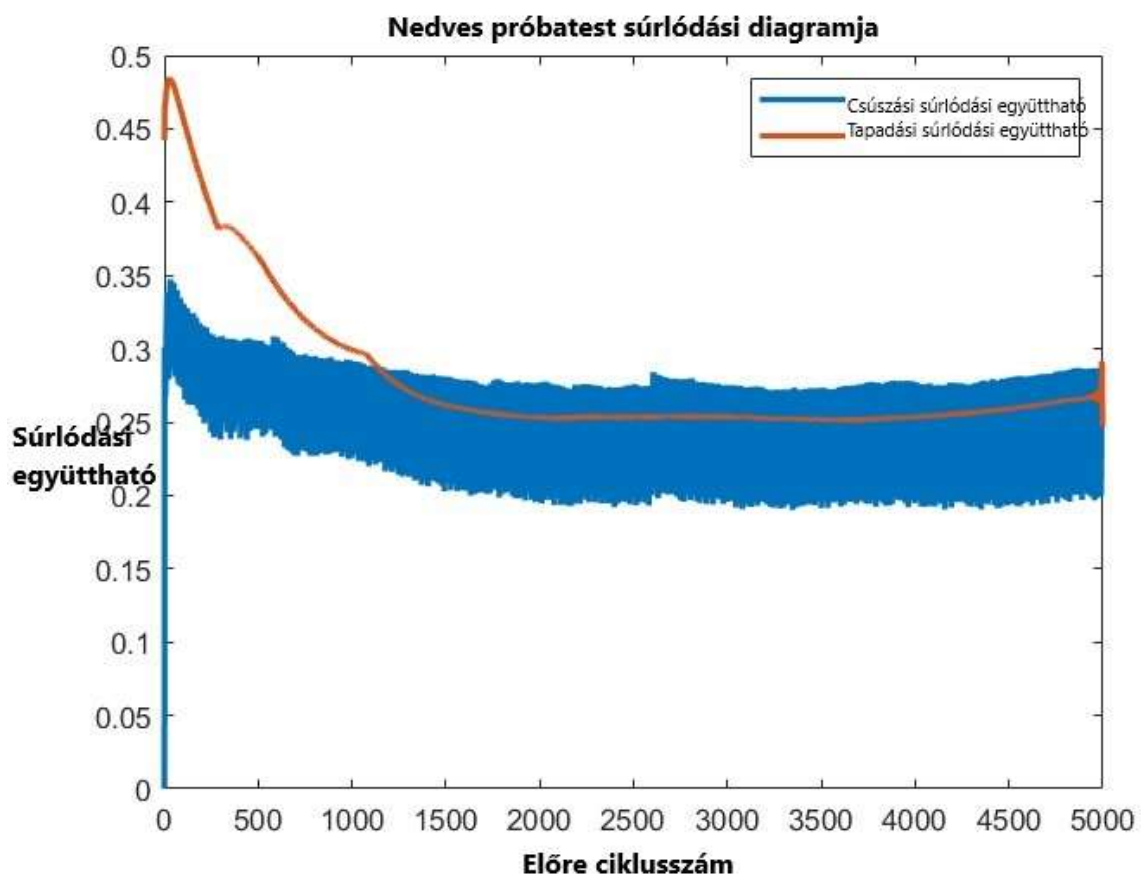
30. ábra A száraz és vízben kondicionált próbatestek egyes átlagos súrlódási tényezői



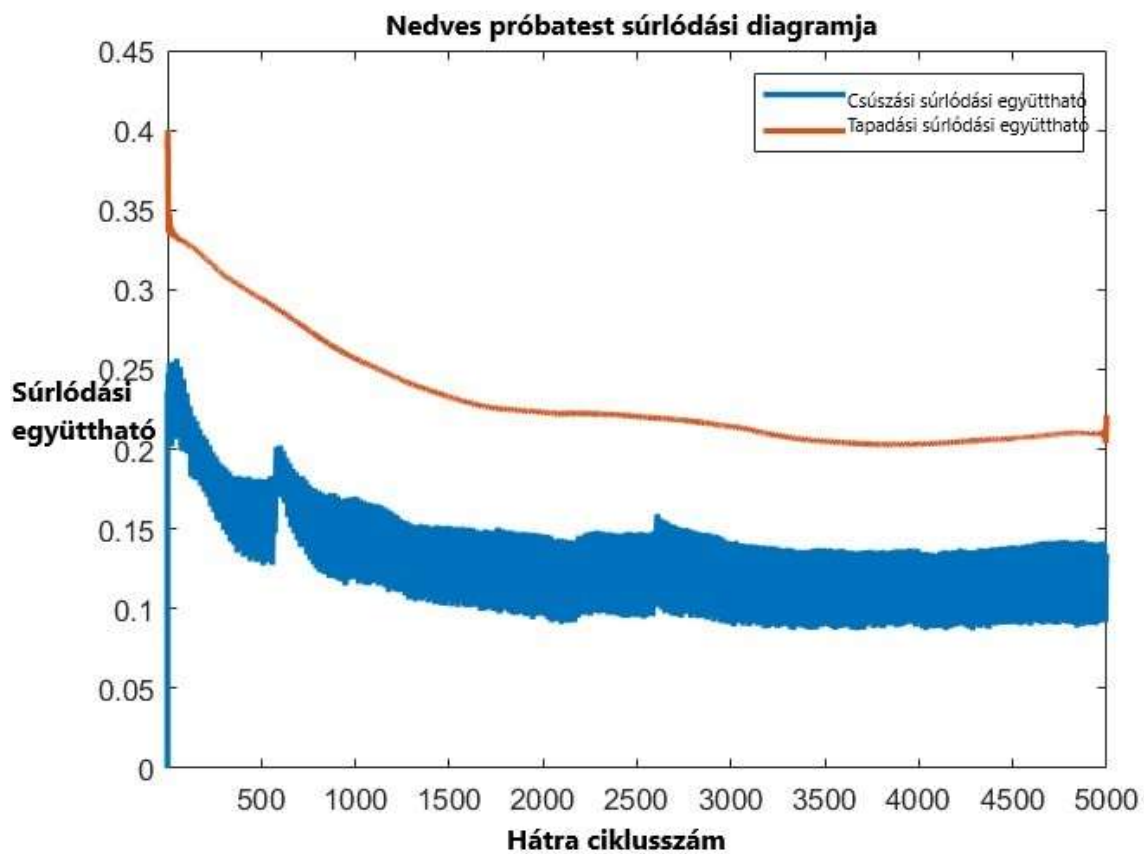
31. ábra Száraz próbatest előre mozgó készüléknél mért súrlódási együtthatók a ciklusszám függvényében



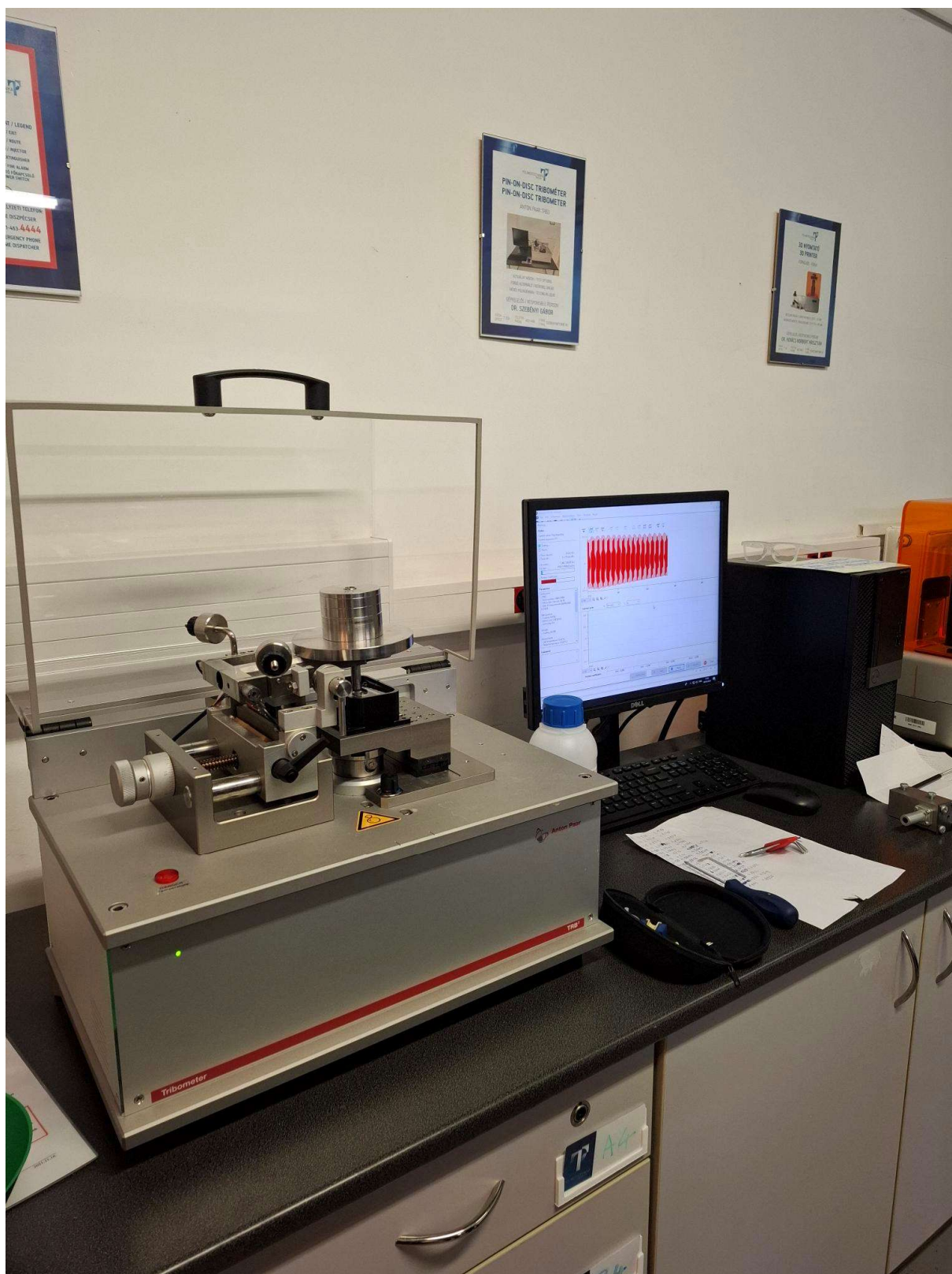
32. ábra Száraz próbatest hátra mozgó készüléknél mért súrlódási együtthatók a ciklusszám függvényében



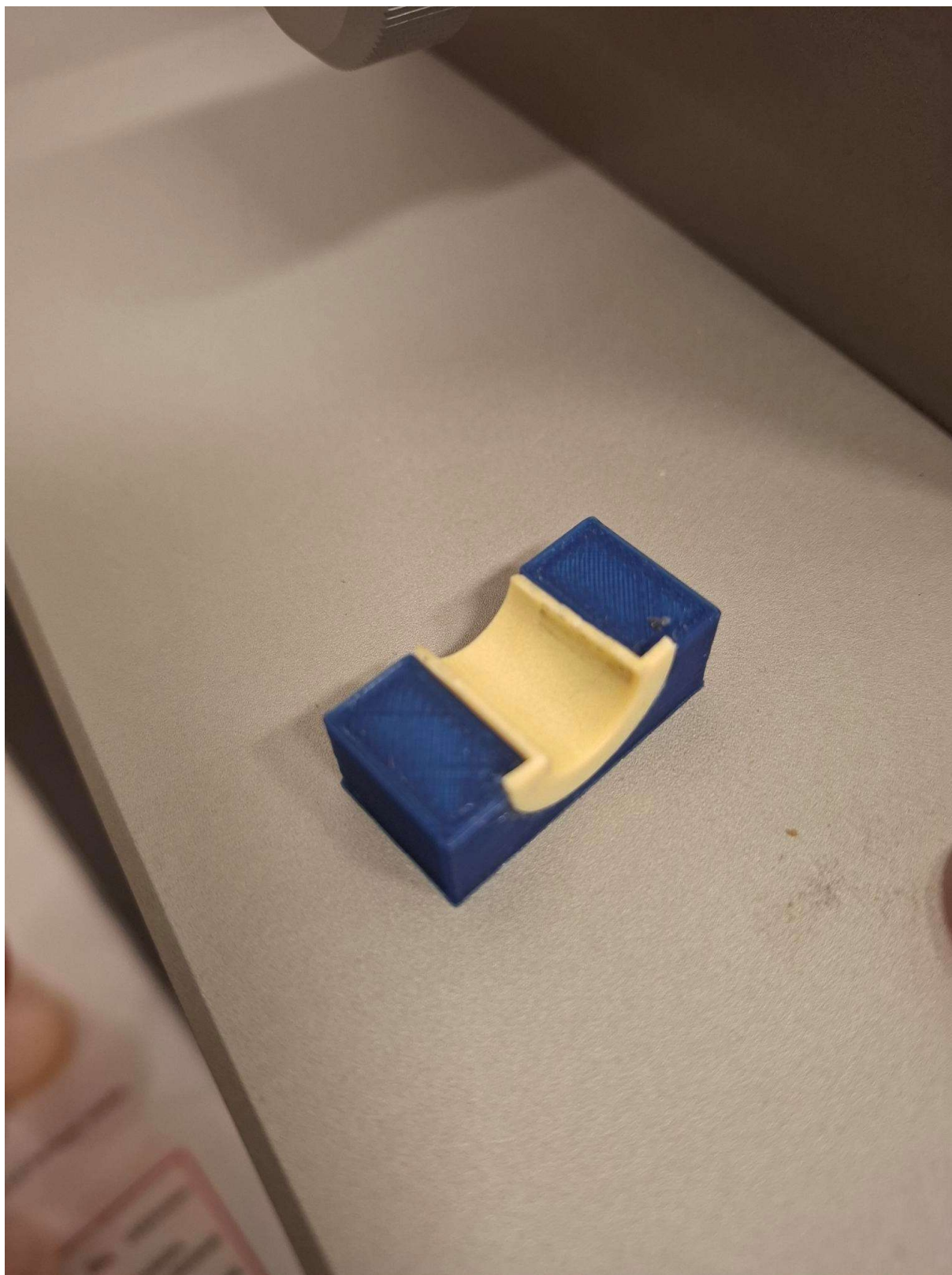
33. ábra Vízben kondicionált próbatest előre mozgó készüléknél mért súrlódási együtthatók a ciklusszám függvényében



34. ábra Vízben kondicionált próbatest hátra mozgó készüléknél mért súrlódási együtthatók a ciklusszám függvényében



35. ábra Csap – tárcsa tribométer működés közben



36. ábra Száraz próbatest beragasztva a PLA készülékbe

5. ÖSSZEFOGLALÁS

5.1. Magyar nyelvű összefoglaló

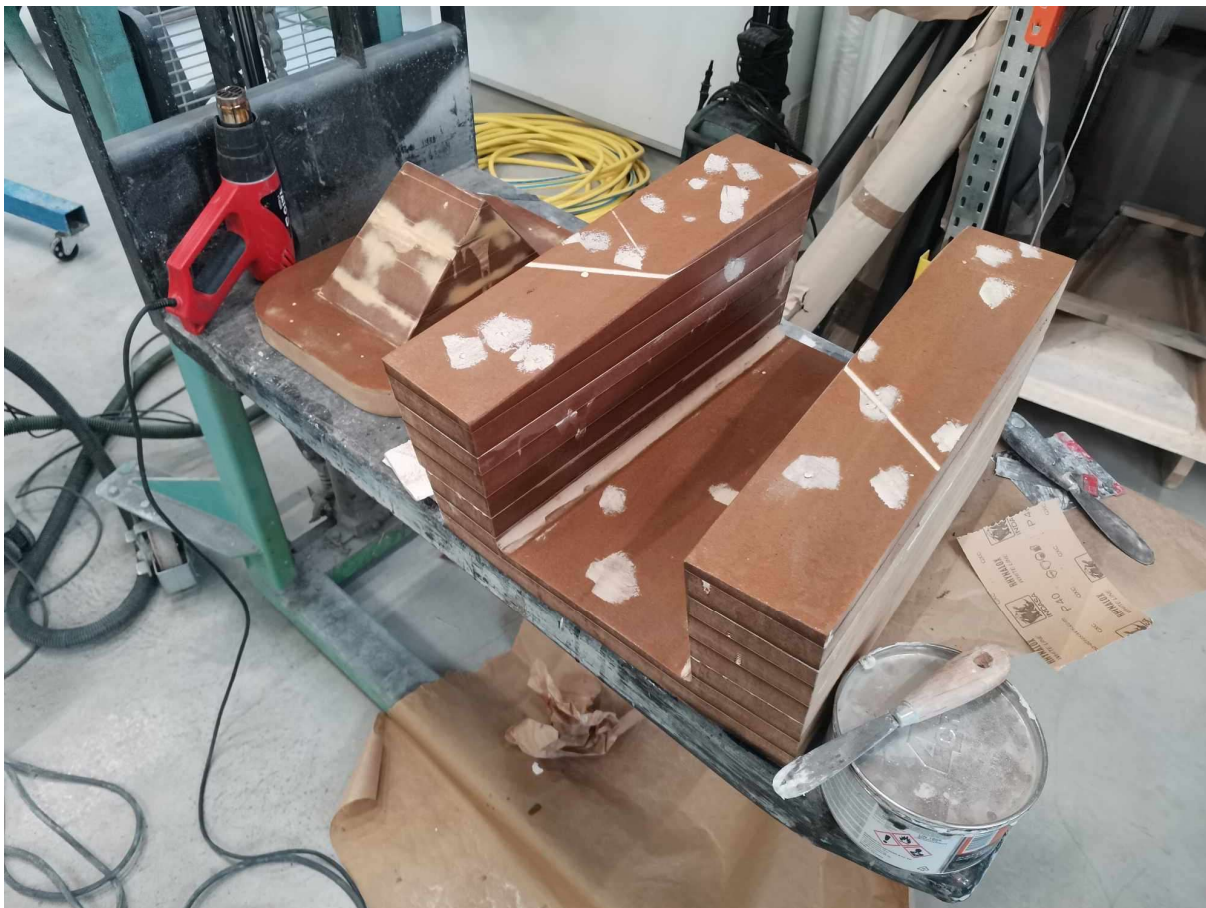
Az általam elvégzett tervezési és fejlesztési feladat során számos, különböző típusú problémával találkoztam, melyeket más és más módokon kellett megoldanom. A tervezés kezdeti szakaszában felkutattam az egyes gyártók és viszont eladók által kínált, már kész motorkiemelő mechanizmusokat, mindegyik tulajdonságait, pozitívakat, negatívakat listáztam, kezdetleges CAD modelleket raktam készítettem az ígéretesebbekről, illetve többször konzultáltam kollégáimmal, az ő véleményüket is kikérve az egyes megoldások, mechanizmusok életképességéről a FLAAR 24-es vitorlás hajóba beépítve.

Miután sikerült meghatározni az irányt, hogy nagyjából milyen típusú lesz a motorkiemelő, folytattam a CAD modellek készítését, alkatrészeket terveztem a geometriai megkötéseit a hajónak és hajtóműnek figyelembe véve, próbáltam minél több fajta részletmegoldást össze gyűjteni, hogy az ismételt megbeszéléseken a tapasztaltabb kollégákkal együtt kiválasszuk a legmegfelelőbbet.

Meg volt a végleges irány, elkezdtem kereskedelmi forgalomban kapható alkatrészeket keresni, amelyeket párosítani lehet az egyedi tervezésű és gyártású alkatrészekkel, felvettem a kapcsolatot műszaki tanácsadóval, így közösen választva ki a lineáris vezetékek elemeit. Ezt követően véglegesítettem az egyedi gyártású alkatrészek méreteit, helyszínen is voltam, hogy biztosan minden méretet helyesen vegyek föl és így elkészülhetett az egyedi gyártású alkatrészek modellje, amelyek azóta már gyártásba kerülnek. Ehhez a mondathoz érdekességképp a 39. és 40. ábrán látható a motorkiemelő rendszer takaró szoknyájának ősmintájához készített szerszám.



39. ábra Motorkiemelő rendszer takaró szoknya ősminta szerszáma egyik nézet



40. ábra Motorkiemelő rendszer takaró szoknya ősminta szerszám másik nézet

Az egyik alkatrész, a sínkocsi siklócsapágyainak a gyártó által meghatározott mechanikai, fizikai, kémiai tulajdonságaival szembeni szkepticizmus okán, a siklócsapágyakat különböző vizsgálatoknak vettem alá, hogy egyrészt megtudjam, milyen polimerek alkotják az iglidur® J fantázia nevű alapanyagot, továbbá, hogy a gyártó által megadott nedvességfelvevő képesség, illetve a súrlódási együtthatók mennyire fedik a valóságot. Mind a nedvességfelvevő és leadó képességet tekintve, mint a tapadási és csúszási súrlódási együttható tekintetében sikerült a gyártó által megadott értékekhez hasonlókat produkálni, így a gyártó által megadott adattáblázatot hitelesnek tekintem.

A szakirodalom kutatással sikerült jobban megértenem az iglidur® J alapanyagául szolgáló POM és PTFE anyagokat, a polimerek nedvességfelvételének és nedvesség leadásának anyagszerkezeti, kémiai és fizikai hátterét, továbbá a polimerek kopásállóságával kapcsolatban is részletesebb ismeretekre tettem szert.

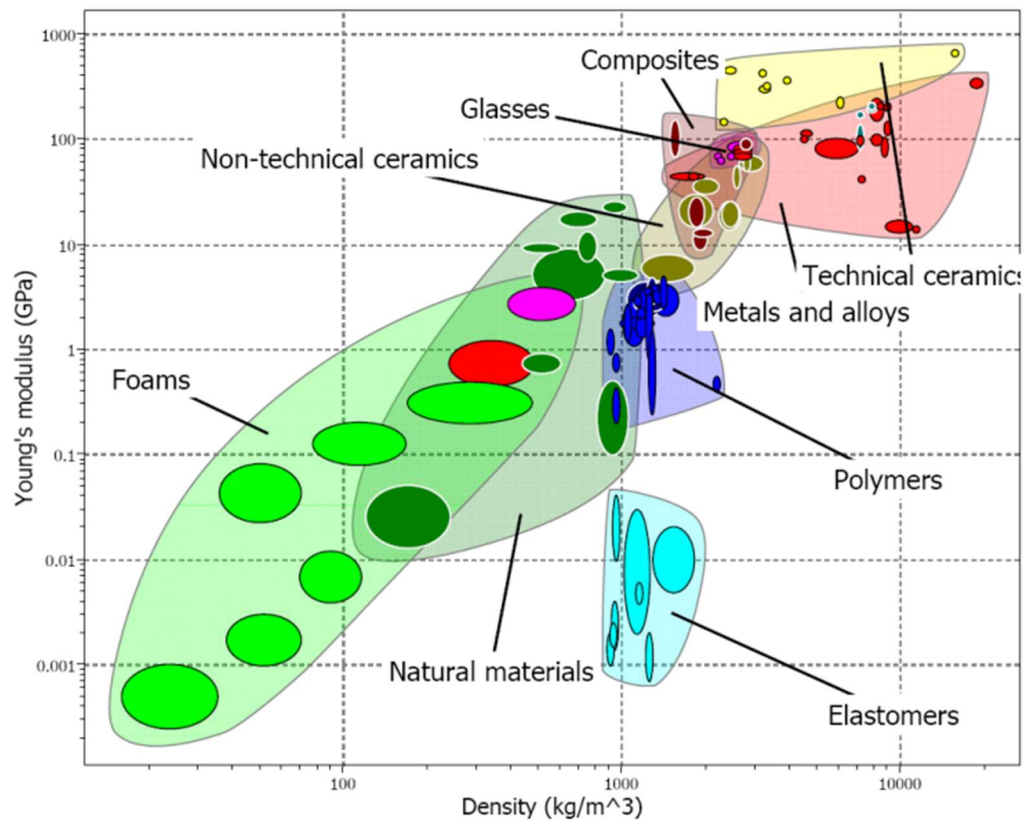
6. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

1. Dr. Mezey Zoltán Tamás: Polimer kompozit hajók tervezése és építése. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék (2024.02.14.).
2. Dr. Tábi Tamás: Polimerek alkalmazásának előnyei-hátrányai. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék.
3. <http://flaar.eu/flaar-24-vitorlas/> (2024.10.30.).
4. <https://rimdrivetechnology.nl/product/pod-3-0/> (2024.10.30.).
5. Sigrid Lüftl., Visakh P.M., Sarath Chandran.: Polyoxymethylene handbook Structure, Properties, Applications and Their Nanocomposites. Scrivener Publishing, 100 Cummings Center, Suite 541J, Beverly, MA 01915-6106 (2014).
6. <https://albatrade2000.hu/termek/polioximetilen-pom/> (2024.10.30.).
7. [https://www.eurolab.net/hu/testler/kimyasal-ve-malzeme-guvenligi-testleri/polioksimetilen-\(pom\)-analizleri/](https://www.eurolab.net/hu/testler/kimyasal-ve-malzeme-guvenligi-testleri/polioksimetilen-(pom)-analizleri/) (2024.10.30.).
8. <https://www.igus.hu/info/plain-bearings-iglidur-j-material-data> (2024.10.30.).
9. Dr. Ralf Selzer.: Product Data Sheet Product: iglidur J (2024).
10. E. Dhanumalayan., Girish M. Joshi.: Performance properties and applications of polytetrafluorethylene (PTFE) – a review. Advanced Composites and Hybrid Materials (2018).
11. <https://highperformancepolymer.hu/pages/what-is-polytetrafluoroethylene-ptfe> (2024.11.08.).
12. Eric N. Brow., Dana M. Dattelbaum.: The role of crystalline phase on fracture and microstructure evolution of polytetrafluorethylene (PTFE). (2005).
13. Masahiro Endo., Katsuaki Yamada., Kenji Tadano., Yoshikazu Nishino., Shinichi Yano.: Miscibility and crystallization of polytetrafluorethylene/poly(tetrafluorethylene-co-perfluoropropylvinyl ether) blends. Macromolecular Rapid Communications, 21, 396-400 (2000).
14. Nagy Roland.: Polimerek fizikai és kémiai alapjai. Pannon Egyetem (2012).
15. Polimertechnológia Polimer termékek tervezése. Pécsi Tudományegyetem
16. G. Baschek., G. Hartwig., F. Zahradnik.: Effect of water absorption in polymers at low and high temperatures. Polymer, 40, 3433-3441 (1999).
17. L. Silva., S. Tognana., W. Salgueiro.: Study of the water absorption and its influence on the Young's modulus in a commercial polyamide. Polymer Testing, 32, 158-164 (2013).

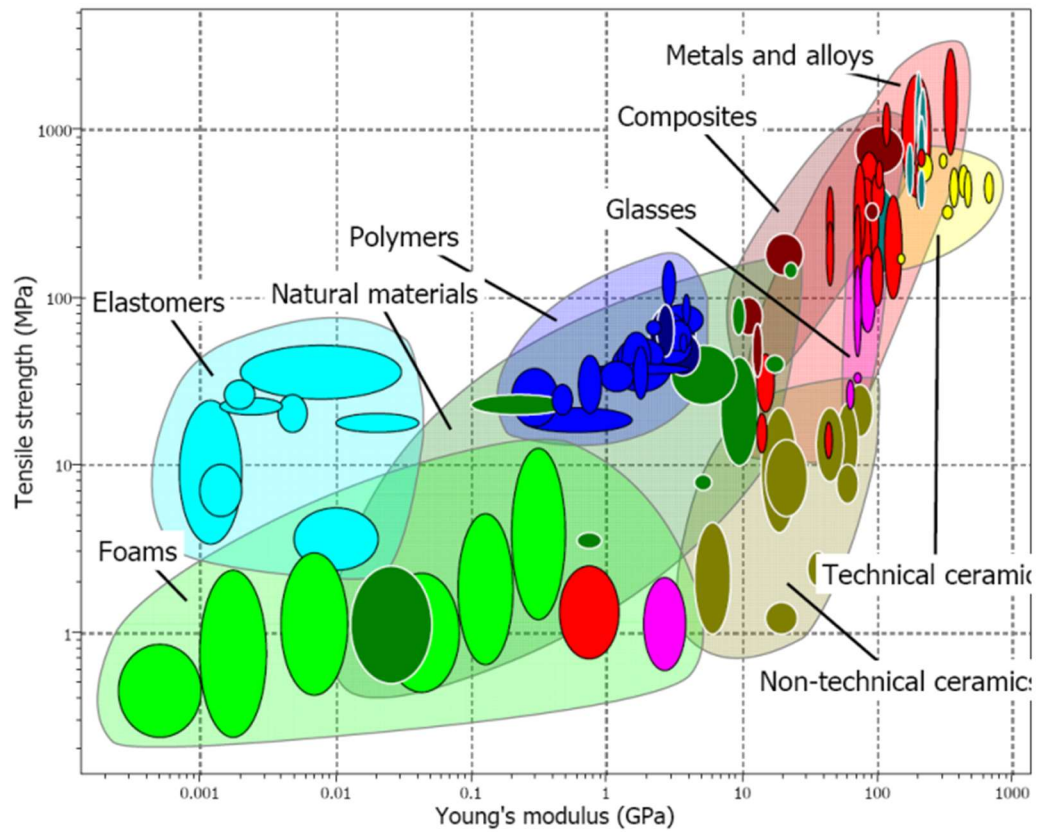
18. J. Bijwe., C. M. Logani., U. S. Tewari.: Influence of Fillers and Fibre Reinforcements on Abrasive Wear Resistance of Some Polymeric Composites. *Wear*, 138, 77-92 (1990).
19. H. Böhm., S. Betz., A. Ball.: The wear resistance of polymers. *Tribology International*, 23, 399-406 (1990).
20. Y. M. Xu., B. G. Mellor.: A comparative study of the wear resistance of thermoplastic and thermoset coatings. *Wear*, 255, 722-733 (2003).
21. <https://ucpcdn.thyssenkrupp.com/legacy/UCPthyssenkruppBAMXUK/assets/files/material-data-sheets/aluminium/aluminium-6060.pdf> (2024.11.18.).
22. https://www.conrad.hu/hu/p/testo-608-h1-digitalis-ho-es-paratartalom-mero-120601.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=HU%20-%20PMAX%20-%20Nonbrand%20-%20High&utm_id=21749768371&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAiG5BhDXARIsAN5SX7on3DrffkjRijpVcDr0qDUJoRKyzie11rKy1wlsZFZoQVxX6S31N6oaAiMeEALw_wcB (2024.11.19.).
23. <https://www.coleparmer.com/i/sartorius-quintix-125d-1s-semi-micro-analytical-balance-60-120-g-x-0-01-1-mg-internal-calibration/1180122> (2024.11.19.).
24. <https://www.anton-paar.com/?eID=documentsDownload&document=56956&L=0> (2024.11.19.).
25. <https://www.torquedo.com/en/outboards-prv.html> (2024.11.03.).
26. https://www.westmarine.com/marinetech-products-adjustable-2-or-4-stroke-outboard-motor-bracket-powder-coat-aluminum-max.-15hp-max.-132lb.-17446873.html?queryID=b723220e826f00ec4f3f15384ac30e95&objectID=17446873&indexName=production_na01_westmarine_demandware_net_WestMarine_products_en_US (2024.11.03.).
27. <https://www.svb24.com/find?query=motor+bracket> (2024.11.03.).
28. <https://forboat.eu/index.php?route=product/search&search=motor%20bracket&description=true> (2024.11.03.).
29. <https://www.yachtshop.eu/en/product-trem/O0500420/Adjustable%20outboard%20motor%20bracket%20max%20load%2035%20kg> (2024.11.03.).
30. <https://www.osculati.com/en/11489-47.376.00/auxiliary-outboard-engine-brackets> (2024.11.03.).
31. <https://www.maritimehajosbolt.hu/termek-kategoria/motorok/motortarto/> (2024.11.03.).
32. https://www.marinesuperstore.com/?s=motor+bracket&post_type=product (2024.11.03.).

33. https://www.harken.com/en/support/selection-tools/system-diagrams/traveler-systems/?srsltid=AfmBOopvP9j8vgtOA9IEUngQb4K6LZkmWX2_lb0hUXYdjB8PImLY2c9r (2024.11.03.).
34. <https://www.igus.hu/drylin/profile-rail-guide> (2024.11.03.).

7. MELLÉKLETEK



1. ábra Különböző mérnöki anyagok Young modulusa a sűrűség függvényében [2]



2. ábra Különböző mérnöki anyagok húzószilárdsága a Young modulus függvényében [2]



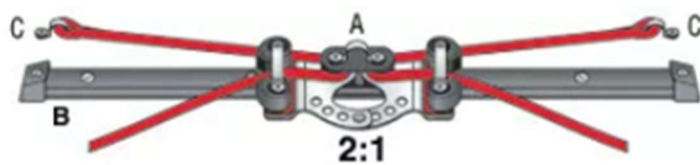
6. ábra Bilincsben csúszó felhúzó mechanizmus



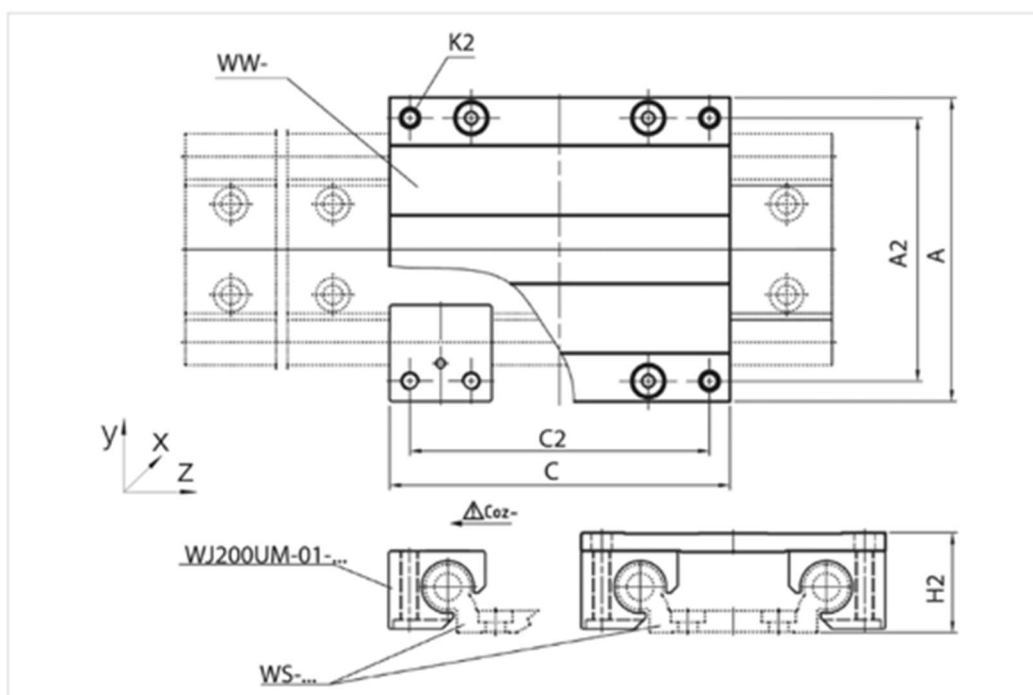
7. ábra Karos emelő mechanizmus



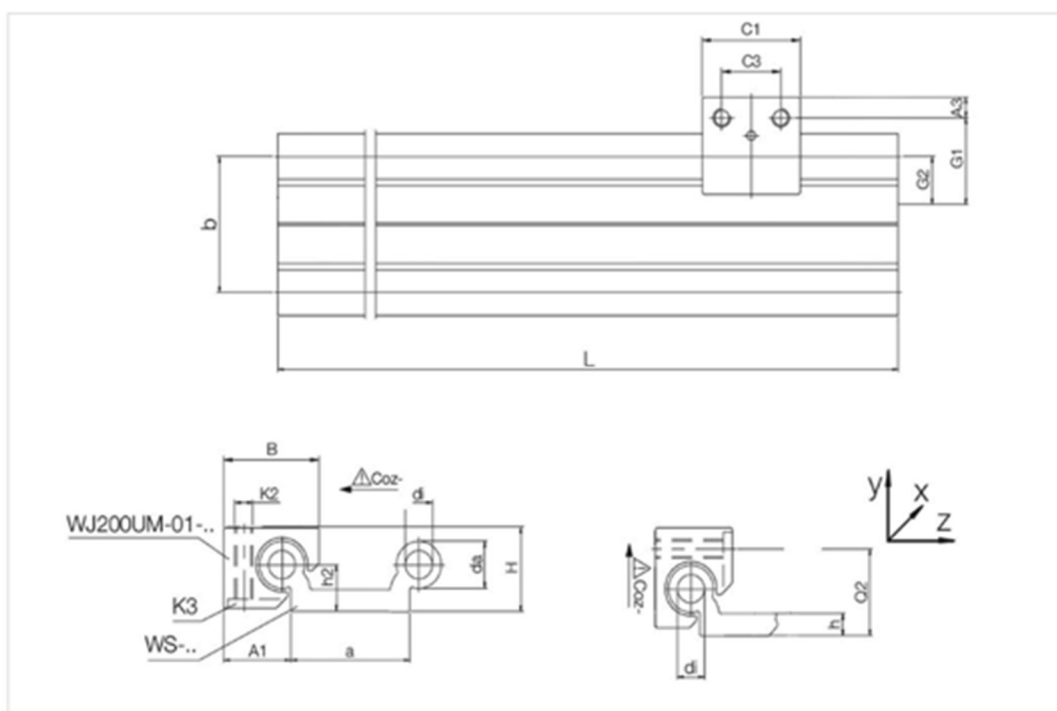
8. ábra Lineáris sínben csúszó felhúzó mechanizmus



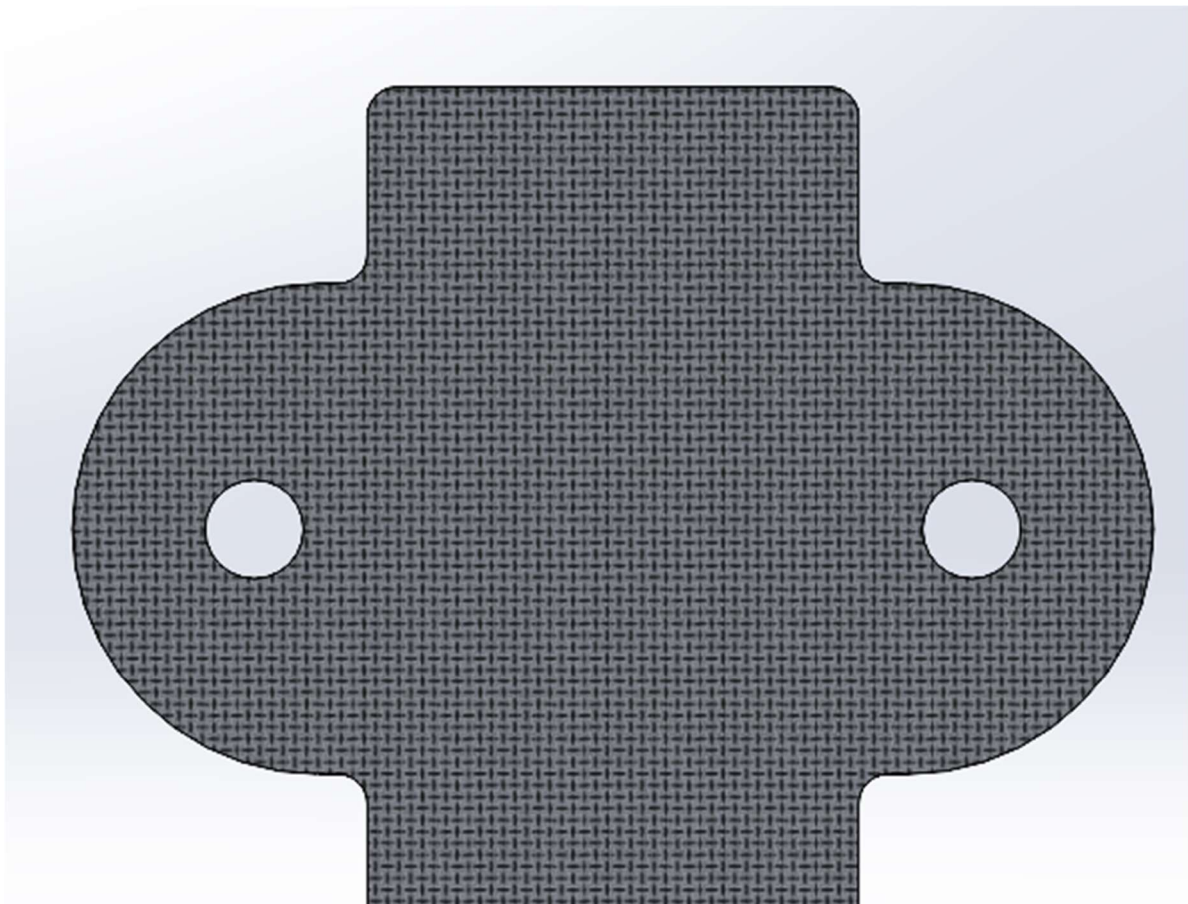
9. ábra Csigás, sínkocsis felhúzó megoldás



10. ábra drylin® W complete slide system WW



11. ábra drylin® W double rail WS



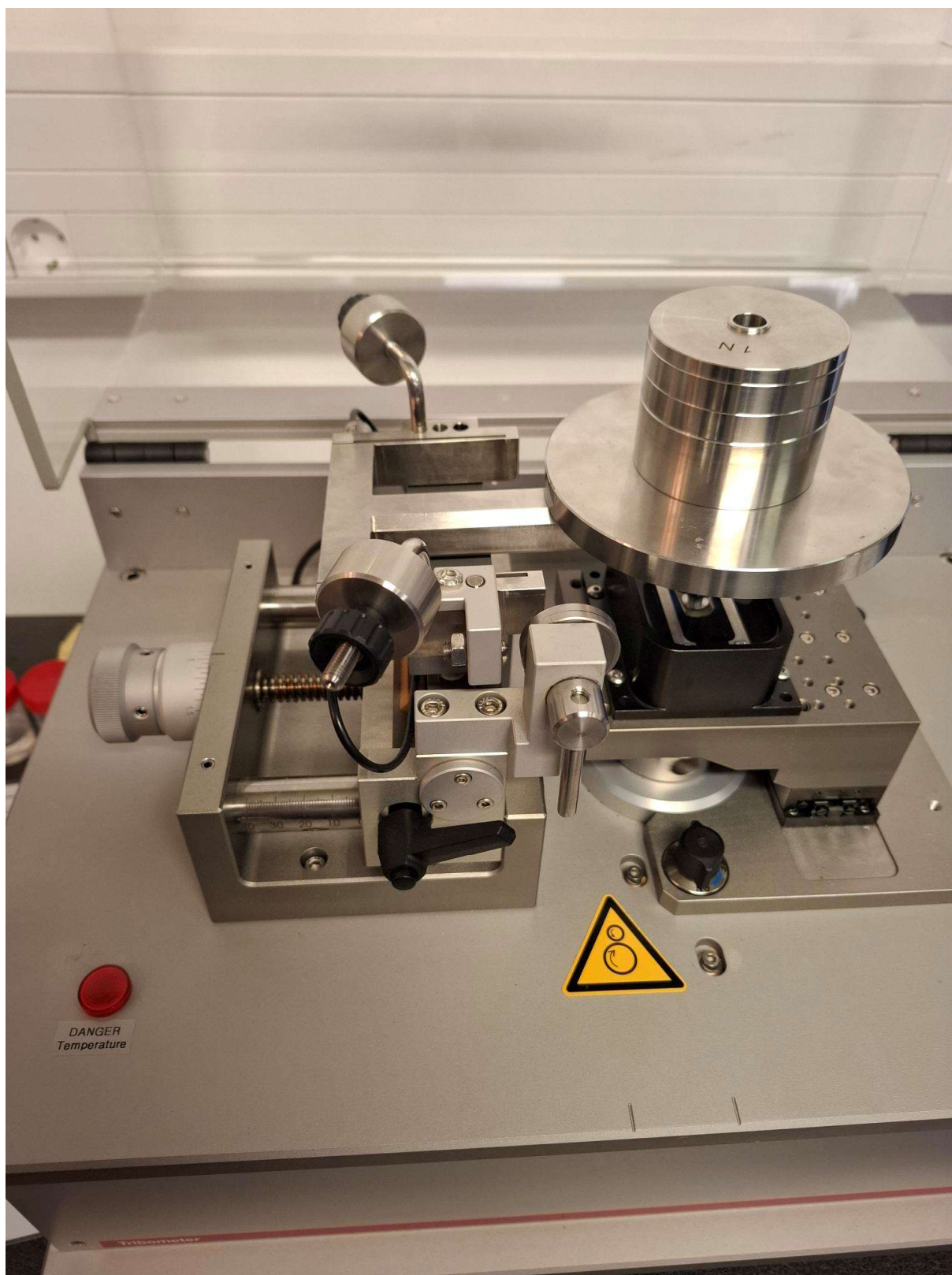
12. ábra Segéd laminát a hajtómű és áldozati anódja közé

Relatív páratartalom [%]	Minta tömege [mg]	Dátum:	2024.09.24	2024.09.25	2024.09.26	2024.09.27	2024.09.30	2024.10.02	2024.10.04	2024.10.07	2024.10.09	2024.10.11	2024.10.14	2024.10.17	tömeg változás [%]	átlag [%]	szórás [%]
50%	1. minta	922,33	922,82	922,92		923,01	923,11	923,15	923,21	923,33	923,34	923,31	923,04	923,03	100,076%		
	2. minta	919,24	919,77	919,87	919,99		920	920,08	920,16	920,28	920,33	920,31	920,14	919,92	100,074%		
	3. minta	923,56	924,14	924,2	924,29	924,36	924,41	924,48	924,62	924,7	924,63	924,46	924,32		100,082%	100,076%	0,004%
	4. minta	924,25	924,77	924,87	924,94	924,98	925,04	925,13	925,26	925,36	925,24	925,07	924,94		100,075%		
	5. minta	919,06	919,58	919,63	919,74	919,77	919,8	919,92	920,03	920,17	920,04	919,85	919,74		100,074%		
75%	1. minta	922,3	924,33	924,82	924,99	925,23	925,25	925,33	925,33	925,38	925,4	925,43	925,39		100,335%		
	2. minta	919,69	921,63	922,19	922,32	922,56	922,64	922,68	922,69	922,76	922,76	922,77	922,76		100,334%		
	3. minta	923,49	925,57	926,04	926,21	926,39	926,47	926,54	926,56	926,61	926,62	926,62	926,58		100,335%	100,334%	0,002%
	4. minta	919,24	921,25	921,79	921,92	922,1	922,18	922,27	922,27	922,34	922,34	922,34	922,27		100,330%		
	5. minta	925,11	927,19	927,68	927,83	927,96	928,09	928,14	928,17	928,25	928,32	928,25	928,21		100,335%		
100%	1. minta	919,2	924,44	925,99	926,77	927,26	927,38	927,49	927,56	927,62	927,69	927,73	927,35		100,887%		
	2. minta	922,33	927,56	929,14	929,86	930,47	930,53	930,63	930,75	930,91	930,86	930,67	930,58		100,894%		
	3. minta	922,29	927,56	929,11	929,8	930,39	930,44	930,62	930,74	930,94	930,88	930,95	930,72		100,914%	100,894%	0,012%
	4. minta	924,14	929,29	930,93	931,54	932,07	932,21	932,4	932,51	932,66	932,64	932,62	932,37		100,891%		
	5. minta	922,36	927,43	929,02	929,78	930,24	930,43	930,61	930,61	930,81	930,88	930,75	930,52		100,885%		
víz	1. minta	922,06	933,33	937,23	935,28	930,28	930,42	930,63	930,8	930,89	930,86	930,9	930,8		100,948%		
	2. minta	923,59	940,23	935,38	936,21	931,69	931,94	932,12	932,22	932,35	932,29	932,38	932,24		100,937%		
	3. minta	925,64	947,35	939,21	938,29	933,86	934,04	934,23	934,36	934,47	934,43	934,48	934,43		100,950%	100,943%	0,006%
	4. minta	919,51	933,5	937,46	935,73	927,68	927,79	927,95	928,05	928,17	928,19	928,2	928,14		100,939%		
	5. minta	923,44	935,1	941,57	935,72	931,58	931,72	931,93	931,98	932,11	932,07	932,18	932,12		100,940%		

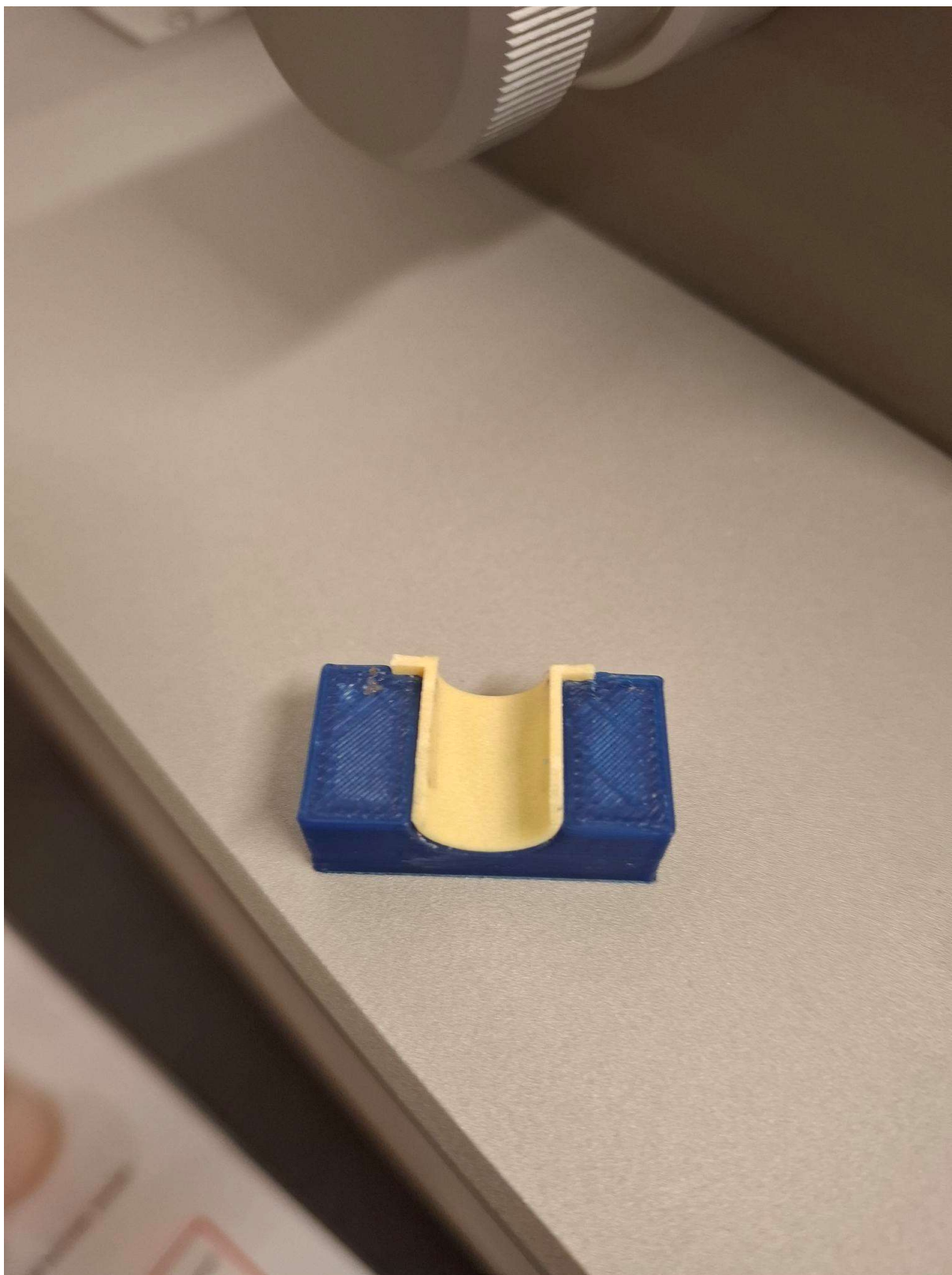
20. ábra iglidur® J alapanyag nedvességh felvétele

Relatív páratartalom [%]	Minta tömege [mg]	Dátum:	2024.10.21	2024.10.24	2024.10.25	2024.10.28	2024.10.29	2024.10.30	2024.11.04	2024.11.06	2024.11.13		tömeg változás [%]	átlag [%]	szórás [%]
50%	1. minta		923,21	921,01	921,06	920,93	920,95	921,02	920,8	920,83	920,69		99,727%	99,723%	0,004%
	2. minta		920,18	917,99	918,08	917,93	917,95	918,02	917,79	917,76	917,67		99,727%		
	3. minta		924,53	922,32	922,4	922,24	922,26	922,3	922,1	922,07	921,98		99,724%		
	4. minta		925,22	922,93	923,02	922,87	922,86	922,94	922,76	922,71	922,62		99,719%		
	5. minta		920,01	917,74	917,81	917,7	917,65	917,74	917,58	917,52	917,42		99,718%		
75%	1. minta		925,32	920,9	920,95	920,83	920,81	920,86	920,69	920,65	920,57		99,487%	99,492%	0,005%
	2. minta		922,71	918,31	918,37	918,26	918,21	918,29	918,08	918,07	917,97		99,486%		
	3. minta		926,55	922,14	922,21	922,1	922,06	922,12	921,91	921,92	921,87		99,495%		
	4. minta		922,27	917,88	917,95	917,84	917,82	917,86	917,71	917,66	917,62		99,496%		
	5. minta		928,16	923,75	923,85	923,74	923,66	923,76	923,55	923,55	923,5		99,498%		
100%	1. minta		927,62	918,39	918,38	918,22	918,14	918,2	917,98	917,94	917,86		98,948%	98,936%	0,011%
	2. minta														
	3. minta		930,92	921,47	921,48	921,26	921,2	921,29	921,03	921,02	920,95		98,929%		
	4. minta		932,73	923,3	923,29	923,1	923,03	923,11	922,85	922,83	922,75		98,930%		
	5. minta														
víz	1. minta		930,92	921,05	921,05	920,83	920,8	920,86	920,58	920,61	920,53		98,884%	98,898%	0,015%
	2. minta														
	3. minta		934,48	924,67	924,64	924,45	924,36	924,44	924,19	924,23	924,16		98,896%		
	4. minta		928,11	918,5	918,46	918,33	918,25	918,26	918,06	918,05	918,03		98,914%		
	5. minta														

21. ábra iglidur® J alapanyag nedvesség leadása



37. ábra Csap – tárcsa tribometer közelről



38. ábra Vízben kondicionált próbatest beragasztva a PLA készülékbe