



**Pannon Egyetem
Intézményi Tudományos Diákköri
Konferencia
2023**



TH alkatrészek forraszthatóságának növelése plazmatisztítással

Készítette: Bárány Panna

Témavezető: Dr. Lukács Attila

Mérnöki Kar, Mechatronikai Képzési és Kutatási Intézet

A pályamunka lezárásának dátuma: 2023. 04. 17.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	1
1.1	Téma indoklása.....	1
2.	Szakirodalmi áttekintés	2
2.1.	A panelszerelésről általánosan.....	2
2.1.1.	Furatszerelés és forrasztási módszerek	3
2.2.	Folyasztószerkek szabványai.....	6
2.2.1.	Folyasztószerkek csoportosítása	9
2.2.2.	Folyasztószerkek piaci kitekintése	13
2.3.	A plazmaállapot, plazmatisztítás a felületszerelésben.....	17
2.3.1.	A plazmák csoportosítása	20
2.3.2.	Plazmaberendezés szerepe a felületkezelésben	21
2.3.3.	A plazmaberendezések piaci kitekintése	22
3.	A TH alkatrészek forraszthatósági vizsgálata	24
3.1.	A kísérlet változó paramétereinek meghatározása	24
3.2.	A kísérlet körülményei	25
3.3.	A kísérlet elvégzésének lépései: előkészítés, plazmatisztítás, nedvesítési teszt.....	26
3.4.	A mérési eredmények feldolgozásának és kiértékelésének lépései	31
3.5.	Az egyes plazmakezelési módszerek a különböző hígítású folyasztószerkek függvényében történő kiértékelése	33
3.5.1.	A plazmakezelési módszerek eredményeinek összesítése és következtetései ...	43
3.5.2.	A plazmával kezelt és kezeletlen alkatrészek forraszthatóságának összehasonlítása, következtetések.....	48
4.	Összefoglalás, javaslatlitételek, további kutatási területek megjelölése	52
5.	Hivatkozások.....	54

1. Bevezetés

Mindennapjainkat behálózzák a különböző elektronikai eszközök használata. Nehéz elképzelni, hogy ne bonyolítsunk le napi több hívást, vagy küldjünk e-maileket számítógépünk segítségével. Gondoljunk bele, mennyi nehézséget okozna, ha nem tudnánk használni autónkat vagy háztartási gépeinket. Ezen elektronikai technológiával ellátott eszközök optimális működéséhez elengedhetetlen azok elektronikai áramköreinek megfelelő kialakítása.

Az elektronikai áramkörök különböző alkatrészekből és a köztük lévő elektromos kapcsolatot létrehozó nyomtatott huzalozású szerelőlemezből állnak. A lemezen való mechanikai rögzítésre és a villamos összekötés biztosítására nyújt lehetőséget a forrasztástechnika. A forrasztás minőségét 3 fő tényező határozza meg: hő, fémötvözet és folyasztószer. A forrasztástechnikai iparban e paraméterek változtatásával igyekeznek ideális kötéseket kialakítani az alapfémek között. A jó kötés alapvető feltétele továbbá a felületi tisztaság, melynek elérésére számtalan innovatív tisztítási eljárás áll rendelkezésre, többek között ilyen a plazmakezelés, melynek hatékonyságát dolgozatomban nedvesíthetőségi tesztek elvégzésével vizsgálom.

1.1 Téma indoklása

A forrasztás minőségét befolyásoló tényezők közül a folyasztószer összetételére, felhasznált mennyiségére irányul a legtöbb fellelhető új kutatás, amelynek oka, hogy annak maradéka ionos szennyeződés, ami jelentősen csökkenti a késztermék élettartamát, vagy szélsőségesebb esetekben azonnali selejtet termel. Továbbá, a meglévő technológiák teljeskörű cseréje nem csak bizonytalan, de túlságosan nagy költséggel járna a vállalatok számára, azonban ökológiai és ökonómiai szempontokból kénytelenek azokat fejleszteni.

Új megoldást jelenthet a plazmakezelés alkalmazása, a gyártási sorba történő integrálása, melynek hatását a furatszerelt alkatrészekre fókuszálva vizsgálom. A panelszerelésben használt folyasztószer mennyisége így töredékére csökkenhet, a forrasztási minőség megőrzése mellett. A téma kapcsán három hipotézist állítok és további két kutatási kérdést teszek fel.

K1: Milyen plazmatisztítási paraméterek mellett érhető el a legjobb forrasztási eredmény?

K2: Van-e különbség az egyszeres és többszörösen plazmakezelt alkatrészek forrasztása között?

K3: Meghatározó-e a folyasztószer oldószere a furatszerelt alkatrészek forrasztásakor, ha plazmatisztítási technológiát is alkalmazunk a gyártás során?

K4: Csökkenthető-e, és ha igen mekkora mértékben a felvitt folyasztószer mennyisége plazmatisztítás használata mellett?

A kutatási kérdésem megválaszolásához szükséges a téma szakirodalmi áttekintése, az egyes eljárásokban való tájékozottság megszerzése. Dolgozatom meghatározó része kísérleteken alapszik. Az egyes alkatrészek lábait plazmaberendezés segítségével kezelem, különböző folyasztószer koncentrátumokkal látom el, majd egy forraszthatóság-mérő eszköz segítségével vizsgálom azok nedvesíthetőségét. Az egyes adatokat Microsoft Excel programban összesítem és értékelem.

2. Szakirodalmi áttekintés

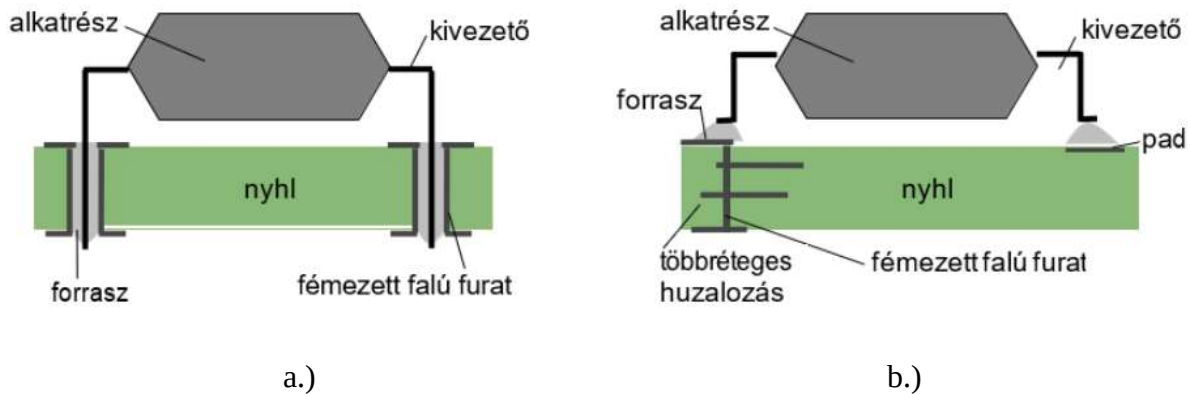
2.1. A panelszerelésről általánosan

Először a kutatási terület alapjául szolgáló elektrotechnikai ismereteket mutatom be. Az elektronikai szereléstechológiában két módszert alkalmaznak:

- Furatszerelési technológia (THT – Through Hole Technology);
- Felületszerelési technológia (SMT – Surface Mount Technology).

A jelenlegi trendek szerint a nyomtatott huzalozású lapokra ültetett alkatrészek 95%-át felületszerelik, vagyis az alkatrészeket egy paszta rétegre helyezik majd azt újraömléssel közvetlen a lap felszínére forrasztják. Ennek az eljárásnak ugyanis nagyobb a helykihasználtsága, ami a miniatürizálás világában egy nélkülözhetetlen tulajdonság. Sok integrált áramkörű alkatrész csak ilyen tokozásban érhető el a piacon. A felületszerelt alkatrészek (1. ábra b.)) (SMD – Surface Mount Device) beültetésével az áramkörök gyorsabban szerelhetőek. A technika sajátossága, hogy a helymegtakarítás érdekében a hordozó rétegei közötti elektromos átvezetések használják, úgynevezett via-kat (elnevezése a latinból ered, utat jelent). *Felhasznált források: (Amerikai Kereskedelmi Kamara (AmCham)*

Elektronikai Gyártók Bizottsága, 2019) (Fonseka & Jayasinghe, 2019.) és (Horowitz & Hill, 2015.)



1. ábra: Furat- és felületszerelt alkatrészek nyomtatott huzalozású lapon

Forrás: (Amerikai Kereskedelmi Kamara (AmCham) Elektronikai Gyártók Bizottsága, 2019)

2.1.1. Furatszerelés és forrasztási módszerek

Kutatásom során részletesebben a furatszerelési technikával (1. ábra a.)) foglalkozom. Ezt leginkább olyan esetekben használják, amelyekben fontos a szorosabb kapcsolat kialakítása a rétegek között. Az átmenő furatú alkatrészlábak átfutnak a táblán, lehetővé téve az alkatrészek számára, hogy ellenálljanak a különböző környezeti terheléseknek. Éppen ezért a TH technológiát leggyakrabban a katonai és repülőgépipari termékeknél használják, amelyek szélsőséges gyorsulásnak, ütközésnek vagy magas hőmérsékletnek vannak kitéve. Léteznek, olyan áramkörtáblák, amelyek forrasztása esetén a technológiákat vegyesen alkalmazzák, mert bizonyos alkatrészek súlyukból adódóan igénylik a lábakkal történő biztosítást. Ide tartoznak a teljesítménytranszisztorok, a nagy kapacitású kondenzátorok, tekercsek, transzformátorok a csatlakozók nagy része és más mechanikai elemek. Az furatszerelt technológia olyan teszt- és prototípus-készítési alkalmazásokban is hasznos, amelyek néha kézi beállításokat és cseréket igényelnek, hiszen sokkal átláthatóbbak. *Felhasznált forrás: (Amerikai Kereskedelmi Kamara (AmCham) Elektronikai Gyártók Bizottsága, 2019)*

A THT eljárást alkalmazva a nyomtatott áramkör alkatrészeinek kivezetéseit (amelyek lehetnek merevek vagy hajlékonyak) a szerelendő oldal furataiba helyezik, majd a panel másik oldalán (a forrasztási oldalon) leforrasztják. A jobb nedvesítés érdekében a forrasztandó felületeket

folyasztószerrel vonják be, majd előmelegítik, végül pedig egy vagy két forrasztóanyag-hullámon átvezetik. Ez az úgynevezett hullámforrasztás, ami az egyik használt technológia. Fontos kritérium, az RoHS irányelv, mely az Európai Unió által előírt szabályozás az elektromos és elektronikus berendezésekben használt veszélyes anyagokra. E direktíva miatt a mai forrasztóanyagok túlnyomó része nem tartalmaz ólmot, az ilyen forrasztóanyagokkal kb. 240-250 °C-on végzik a forrasztást. A kötések létrehozása után a nyomtatott áramkörü panelt lehűtik. *Felhasznált források: (Aziz, és mtsai., 2017.) (Európai Bizottság, 2023.)*

A kialakított kötés akkor mondható megbízhatónak, ha annak létrehozásakor adott a fémtiszta felület, megfelelő összetételű forrasztóanyag és folyasztószer, jól megválasztott forrasztóeszköz és eljárás, valamint a hozzájuk tartozó hőmérséklet. Mindezeknek együttesen és egyszerre kell megvalósulnia.

Környezetvédelmi okokból a felvitt forrasztóanyag mennyiségét igyekeznek csökkenteni, emiatt egyre gyakoribb az úgynevezett szelektív hullámforrasztás, hiszen ez jól paraméterezhető a forrasztandó felületnek megfelelően, így a forrasztóanyag csak a furatszerelt alkatrészek kivezetéseit érinti. Ez történhet úgy, hogy a meglévő hullámforrasztó berendezésben keretben rögzítik a már felületszerelt panelt, mely védelmet biztosít a már rajta lévő SMD alkatrészek számára, vagy egy külön erre szolgáló berendezést használnak. Ilyenkor, a forrasztóanyag adagolása egy adott pontban fúvóka segítségével kerül felvitelre, ami a kivezetések alatt mozog. *Felhasznált forrás: (Seidel, Leibold, Thielen, & Franke, 2020.)*

Ezen kívül jelenleg még két további nagyipari módszer szolgál a THT esetében az alkatrészek rögzítésére az egyik a pin-in-paste (PIP) újraömllesztés a másik a forrasztási preform használata.

A pin-in-paste módszert alkalmazva a furatszerelt alkatrészeket a felületszerelt alkatrészekkel egyszerre lehet forrasztani. Ekkor a pasztát nem csak a panel azon részeire viszik fel, ahová a felületszerelhető alkatrészeket kívánják elhelyezni, hanem a lyukakba is. Ez történhet cseppadagolással vagy stencilnyomtatással. Ezután a furatszerelhető alkatrészeket elhelyezik a furatokban, majd a forrasztópasztát megömlesztik. *Felhasznált forrás: (Al-Ma'aiteh, Krammer, & Illés, 2021.)*

A forrasztási preform gyakorlatilag egy szilárd halmazállapotban, különböző geometriai formában kapható forrasztóanyag, mely már tartalmazza a szükséges folyasztószert. Ezt közvetlen a forrasztás helyére teszik. A két technika kombinációjával optimalizálódhat a forrasztás, jelentősen csökken a folyasztószer felhasznált mennyisége. *Felhasznált forrás: (Tuo, és mtsai., 2021)*

A fent említett eljárások közül a számunkra megfelelő kiválasztásához elengedhetetlen azok előnyeinek és hátrányainak elemzése, mind gyártásidő, mind folyamat- és eszköz költség szempontjából. Nem elhanyagolható tényező a gyártandó termékek száma, összetettsége, részletessége, alkalmazási területe. Ezeket az információkat foglalja össze az 1. táblázat.

1. táblázat: A furatszerelt alkatrészek rögzítésére szolgáló módszerek összehasonlítása – 1.

	Technológia	Előnyök	Hátrányok	Javasolt alkalmazási terület
Hullámforrasztási eljárás	Hullámforrasztás (ragasztással)	- Alacsony anyagköltség - Sok kisebb üzemben használt	- Nehéz az egyenletes hozam létrehozása hullámforrasztással - További folyamat és eszköz a fenntartás	Nagy mennyiségben gyártott, nagy, egy oldalt felületszerelt csatlakozókkal ellátott lapok forrasztásakor
	Szelektív hullámforrasztás - kerettel	- Alacsony anyagköltség - Meglévő berendezést hasznosít - Nagy mennyiségű gyártásban alkalmazható	- Nehéz a magas hozam létrehozása hullámforrasztással - További folyamat és eszköz a fenntartás - Nem rugalmas – keret specifikus - A keretek karbantartási költségei (tisztítás)	Nagy mennyiségben gyártott, két oldalt felület és furatszerelt lapok forrasztásakor
	Szelektív hullámforrasztás - parametrizált pontszerű forrasztás (solder fountain)	- Alacsony anyagköltség - Nagy mennyiségű gyártásban alkalmazható	- Drága kezdeti költségek - Start-up idő – programozás - További folyamat és eszköz a fenntartás	Nagy mennyiségben gyártott, két oldalt felület és furatszerelt lapok forrasztásakor
Paszta folyamat	Pin-in-paste (pasztába ültetés) + túlnyomtatás (stencillel)	- Meglévő eszközt hasznosít - Nincs további folyamat- vagy eszköz költség	- Nehezebb tervezési folyamat a panelek bonyolódásával - További eszköz költség	Vékony nyomtatott huzalozású lapok forrasztáshoz
	Pin-in-paste (pasztába ültetés) + túlnyomtatás, majd oldószeres eltávolítás	Későbbi forrasztanyag hozzáadása is lehetséges	További folyamat és eszköz fenntartás	Vékony nyomtatott huzalozású lapok forrasztáshoz, ahol a felületi kihasználtság miatt nem engedhető meg a stencil használat
Előforma (preform) folyamat	Előforma alkalmazása (folyasztószer bevonattal)	Lehetséges pontos forrasztanyag megadás	- Növeli az anyaglistát (BOM-ot) - Felmerül további eszköz költség a paszta megfelelő helyre történő nyomtatásához	Előírt mennyiségű forrasztanyagot alaklázásakor
	Előforma alkalmazása + forraszpaszta	Lehetséges pontos forrasztanyag megadás, nem szükséges a stencil használata	- Növeli az anyaglistát (BOM-ot) - Növeli a gyártásidőt a forma elhelyezésével	Két oldalt felület és furatszerelt, sok "fine-pitch" alkatrészrel ellátott lapok forrasztásakor

Forrás: Saját szerkesztés (Berntson, Lasky, & Pfluke, 2004.), (Al-Ma'aiteh, Krammer, & Illés, 2021.) és (Tuo, és mtsai., 2021) alapján

Ezen ipari eljárások mellett otthoni felhasználásban vagy egyedi, kis mennyiségben gyártott termékek esetén további eljárásokat szoktak alkalmazni. Ide tartozik a furatok más anyaggal

való feltöltése, mechanikai rögzítése, valamint a villamos kötések pontforrasztással történő kialakítása. Ezek a technológiák olcsóbbak, azonban jelentősen hosszabb időt igényelnek és nem olyan precízek, mint a korábbiakban leírtak. Ezeket az eljárásokat 2. táblázat mutatja be.

2. táblázat: A furatszerelt alkatrészek rögzítésére szolgáló módszerek összehasonlítása – 2.

	Technológia	Előnyök	Hátrányok	Javasolt alkalmazási terület
Mechanikai	Forraszpaszta + Ragasztó, csat és csavar	Mechanikailag erősebb kötés érhető el a lyukak ragasztóval való feltöltésével, a forraszanyag csak a villamos kötéseknek kell létrehoznia	- Növeli az anyaglistát (BOM-ot) - További folyamat és eszköz a fenntartás - Megsérülhet a felület	Nem gyakori, bonyolult kis mennyiségben gyártott lapok forrasztásakor
Pontforrasztás	Robotizált forrasztás forrasztóhuzallal	- Rugalmas megoldás - Alacsony anyagköltség	- Megnövekedő folyamatidő – csak egy pontban történik forrasztás - Start-up idő – programozás - További folyamat és eszköz a fenntartás	Bonyolult kis mennyiségben gyártott lapok forrasztásakor
	Kézi forrasztás forrasztóhuzallal	- Rugalmas megoldás - Alacsony anyagköltség	- Megnövekedő folyamatidő – csak egy pontban történik forrasztás - Munkaerőköltségek	Bonyolult kis mennyiségben gyártott lapok forrasztásakor

Forrás: Saját szerkesztés (Berntson, Lasky, & Pfluke, 2004.). alapján

2.2. Folyasztószeres szabványai

A megfelelő forrasztási kötések létrehozásához elengedhetetlen a felületek jó nedvesíthetősége, így a továbbiakban a kémiai folyasztószereket jellemzem - amelyeknek elsődleges feladata éppen ez - a forraszfelületek nedvesítése a forraszanyag szétterülésének elősegítése. Ez viszont a forrasztott kötés létrejöttének pillanatában be is fejeződik. Használatával tiszta forraszfelületet hozhatunk létre, csökkenthetjük az olvadék felületi feszültségét, javíthatjuk a hőátadást és teljesen kizárhatjuk a környezet oxidáló hatását. Másodlagos feladatként a folyasztószer maradéka a kötés felületét és környezetét bevonja, ott védőréteget képez, de a túlzott mennyiség maradéka már káros, ekkor ionszennyeződésről beszélhetünk.

Tanulmányomban több nemzetközi, ipari szabvány besorolását mutatom be, melyek ismerete segíti a rendszerben való gondolkodást.

Az ISO 9454 szabványsorozata foglalkozik a folyasztószeresek klasszifikációjával, előírásaival. Az 1. része kémiai összetétel alapján osztályozza a folyasztószereseket, míg a 2. részben a rájuk vonatkozó teljesítménybeli előírások vannak összefoglalva. Ezeket a 3. táblázatban mutatom be.

3. táblázat: Folyasztószeresek osztályozása - ISO 9454 alapján

Folyasztószer típusa	Alapanyag	Aktivátor	Halmazállapot
1. Gyantás	1. Természetes gyanta 2. Természetes gyanta mentes	1. Aktivátor mentes 2. Halogén-aktivátorral 3. Halogénmentes	A folyadék B szilárd C paszta
2. Szerves	1. Vízoldható 2. Nem vízoldható	1. Aktivátor mentes 2. Halogén-aktivátorral 3. Halogénmentes	
3. Szervetlen	1. Sók	1. Ammónium-klorid 2. Ammónium-klorid nélkül	
	2. Savak	1. Foszforsav 2. Egyéb sav	
	3. Lúgok (alkalikus)	1. Aminok és/vagy ammónia	

Forrás: Saját szerkesztés (Stannol GmbH, 2017) és (Nemzetközi Szabványügyi Szervezet, 2016) alapján

Az IEC 61190 1-3 szabványsorozatnak szinte teljes mértékben megfeleltethető a MSZ EN 61190 magyar szabvány. A MSZ EN 61190 1 előírásai analógok az amerikai ANSI J-STD-004 szabványéval. Ezeket a szabványokat a fent látható ISO szabvánnyal a 4. táblázat hasonlítja össze. *Felhasznált források: (Stannol GmbH, 2017), (Nemzetközi Szabványügyi Szervezet, 2016) és (Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság, 2017.)*

4. táblázat: Folyasztószer osztályozása - MSZ EN 61190 IEC 61190 1-3 és ISO 9454 1-2 összehasonlítása

Hordozó	Folyasztószer-aktivitás (halogén-tartalom, %)	Folyasztószer osztályba sorolása		
		IEC szerint	MSZ EN 61190 szerint	ISO szerint
Természetes gyanta - RO (rosin)	Alacsony (0%)	ROL0	L0	1.1.1
	Alacsony (<0,5%)	ROL1	L1	1.1.2.W, 1.1.2.X
	Mérsékelt (0%)	ROM0	M0	1.1.3
	Mérsékelt (0,5-2,0%)	ROM1	M1	1.1.2.Y, 1.1.2.Z
	Magas (0%)	ROH0	H0	1.1.3.X
	Magas (>2%)	ROH1	H1	1.1.2.Z
Mesterséges gyanta - RE (resin)	Alacsony (0%)	REL0	L0	1.2.1
	Alacsony (<0,5%)	REL1	L1	1.2.2.W, 1.2.2.X
	Mérsékelt (0%)	REM0	M0	1.2.3
	Mérsékelt (0,5-2,0%)	REM1	M1	1.2.2.Y, 1.2.2.Z
	Magas (0%)	REH0	H0	1.2.3.X
	Magas (>2%)	REH1	H1	1.2.2.Z
Szerves - OR (organic)	Alacsony (0%)	ORL1	L0	2.2.1, 2.2.3.E
	Alacsony (<0,5%)	ORL1	L1	-
	Mérsékelt (0%)	ORM0	M0	-
	Mérsékelt (0,5-2,0%)	ORM1	M1	2.1.2, 2.2.2
	Magas (0%)	ORH0	H0	2.2.3.0
	Magas (>2%)	ORH1	H1	2.2.2
Szervetlen - IN (inorganic)	Alacsony (0%)	INL0	L0	Nem feleltethető meg a többi besorolásnak
	Alacsony (<0,5%)	INL1	L1	
	Mérsékelt (0%)	INM0	M0	
	Mérsékelt (0,5-2,0%)	INM1	M1	
	Magas (0%)	INH0	H0	
	Magas (>2%)	INH1	H1	

Forrás: Saját szerkesztés (Stannol GmbH, 2017), (Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság, 2017.) és (Nemzetközi Szabványügyi Szervezet, 2016) alapján

Rádai (2010) az alábbi módon csoportosítja a folyasztószer alkotórészeit:

- hordozó, vagy „test” anyag, bázis,
- aktivátorok,
- oldószer,
- egyéb adalékok.

Ez alapján könnyebb a fenti szabványok értelmezése. A bázis lehet gyanta, műgyanta, szerves vagy szervetlen anyag.

A Nemzetközi Szabványügyi Szervezet a 3. táblázatban látható módon először számmal megjelöli a hordozó típusát, majd a következő számmal specifikálja azt. A Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság jelölésrendszerében az első két betű együttesen fejezi ki a fő típust.

Válójában a folyasztószer érdemi munkáját az aktivátor végzi. A jó forrasztás alapfeltétele egy fémtiszta felület létrehozása. E kémiai reakcióképes, általában aktív szerves vegyületek távolítják el a felületi oxidréteget és a további esetleges szennyeződéseket.

Az ISO és az IEC másként közelíti meg jelölését. Előbbi egy harmadik számmal tünteti fel, hogy tartalmaz-e és, ha igen milyen aktivátort, majd X, Y, Z betűjelöléssel azonosítja annak tömegszázalékát a folyasztószerben. Utóbbi egy harmadik betűvel a fennmaradó folyasztószer aktivitására utal: H-magas, M-közepes, L-alacsony ionaktivitást jelöl. A szám pedig a halogéntartalmat jelöli (1-tartalmaz, 0 - nem tartalmaz). Általánosan elmondható, hogy a halogén tartalmú folyasztószeresek aktívabbak, így jobban nedvesítenek, azonban így nagyobb a kockázata a fennmaradó szennyeződésnek, illetve a korrózióknak.

2.2.1. Folyasztószeresek csoportosítása

A folyasztószeresek további csoportosításának megértéséhez és a számunkra megfelelő kiválasztásához ismerni kell azok 3 fő attribútumát. Ezek a jellemzők azok, amelyek meghatározzák, hogy forrasztás után szükséges-e a forrasztott NYÁK-ok további tisztítása. (Előbbi meghatározása azonban nem egyértelműen előírt, az egyes termékek elfogadhatósági szintje annak rendeltetésétől is függ.) *Felhasznált forrás: (Groves & Wol, 2017.)*

Tehát, a 3 fő tulajdonság:

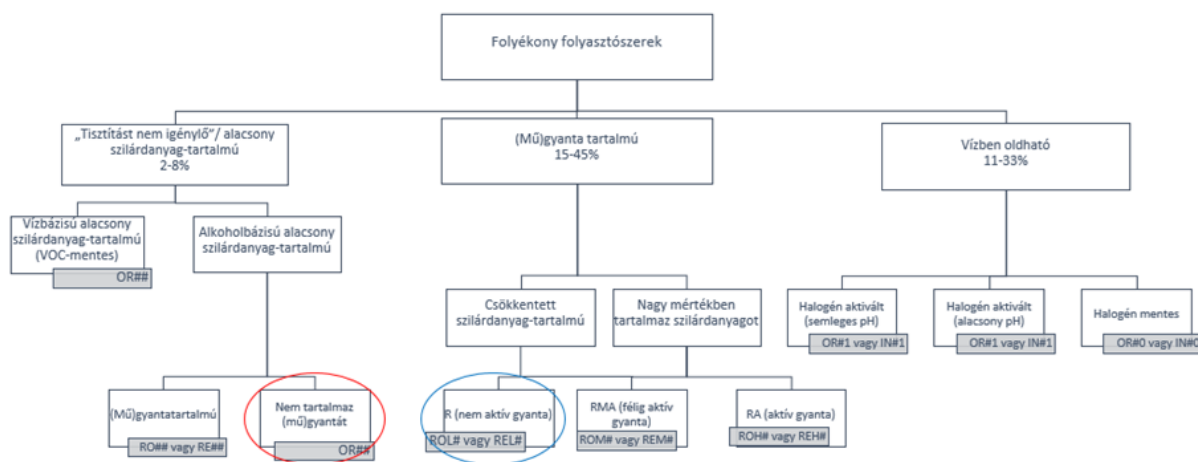
- a hordozó anyag típusa,
- fennmaradó anyag ionaktivitása,
- szilárdanyag-tartalom.

Az első alapján alapvetően megkülönböztetünk két altípust - aktív és semleges hordozóanyagokat. Az aktív hordozóanyagok már önmagukban is folyasztószernek

tekinthetőek. Az utóbbi kettő tulajdonság alapján a forrasztás annál biztosabbnak mondható, minél alacsonyabb az értékük. *Felhasznált források: (Stannol GmbH, 2017) és (Rádai, 2010)*

A hordozó anyagtípusával és a fennmaradó anyag ionaktivitásával a korábban bemutatott szabványbesorolások foglalkoznak, míg a szilárdanyag-tartalmi csoportosítást a továbbiakban ismertetem.

A klasszikus értelemben vett folyasztószernek nagymértékben tartalmaznak gyantát, vagyis a szilárdanyag-tartalmuk magas. Az új törekvések ennek csökkentésére irányulnak: létrehozták a piacon a „No Residue” (maradékmentes), „Low Residue” (csekélymaradékú), vagy „No Clean” (tisztítást nem igénylő) jelzőkkel hirdetett folyasztószerket, melyek a korábbiakhoz viszonyítottan csökkentett szilárdanyaggal rendelkeznek (15-45% gyantatartalomhoz képest 2-8% szilárdanyag). Az innovációk célja a fennmaradó folyasztószer utólagos káros hatásainak minimalizálása, illetve a forrasztás utáni tisztítási procedúrák elhagyásának lehetővé tétele, ami azonban a gyakorlatban nem minden esetben kivitelezhető. *Felhasznált források: (Stannol GmbH, 2017) és (Rádai, 2010)*



2. ábra: Folyasztószer szilárdanyag-tartalom szerinti csoportosítása

Forrás: Saját szerkesztés (Groves & Wol, 2017.) alapján

Mint az 2. ábra szemlélteti, az egyes csoportok alatt megjelennek a betű-szám kódjelű azonosítók, melyek akár átfedést is mutathatnak, mert a szilárdanyag-tartalom nem mutatkozik a jelölésrendszerben. Így folyasztószer vásárláskor érdemes annak adatlapját is elolvasni.

A három fő megkülönböztethető csoport a „tisztítást nem igénylő”, a (mű)gyantatartalmú és a vízben oldható folyasztószer, melyeket a következőkben részletesen bemutatok, előnyeiket és hátrányaikat táblázatos formában ismertetem.

1. „Tisztítást nem igénylő”

A szilárdanyag-tartalom csökkentése érdekében két újfajta bázist fejlesztettek ki (az oldószer tölti be a bázis/hordozó funkciót). Az egyik vízbázisú (de ezek nem feltételen vízben oldhatóak), a másik alkoholos. Az alkoholtartalmúak között még megkülönböztetünk olyanokat, amik kis mértékben tartalmaznak gyantát, illetve abszolút gyanta mentesek. A „Tisztítást nem igénylő” folyasztszerek, kifejezetten közkedveltek az iparban, kísérleteim elvégzéséhez éppen ezért választottam a 2. ábrán pirossal jelölt csoportba tartozó IF 2005C alkoholbázisú folyasztszert. *Felhasznált források: (Interflux Electronics, 2020.) és (Groves & Wol, 2017.)*

5. táblázat: „Tisztítást nem igénylő” folyasztszerek előnyei és hátrányai

„Tisztítást nem igénylő”	
Előnyök	jó – nagyon jó forrasztási eredmény
	kevesebb forrasztás utáni maradék - lehetséges a tisztítás elhagyása
	alacsonyabb előmelegítési folyamatokat tesz lehetővé
	a változatos folyasztszert választék változatos alkalmazási területeket fed le
	könnyen kezelhető
Alkoholbázisú alacsony szilárdanyag-tartalmú	nagyon tisztán ég el
Vízbázisú (VOC-mentes)	nincs illékony oldószer, aktívabb és hosszabb "élettartamot" biztosít a gyanta (műgyanta) tartalmával, vagy alkoholossal szemben
Hátrányok	kisebb aktivitás és folyamatablak, a gyanta (műgyanta) tartalmú és vízben oldhatóval szemben
	magas hőmérsékletű alkalmazásoknál nehézségek jelentkezhetnek, ezzel csökken a folyamatablak
	előfordulhat, hogy szükséges további tisztítás, nem kívánt és nem biztonságos a maradékanyag
Alkoholbázisú alacsony szilárdanyag-tartalmú	rövidebb "élettartam"
Vízbázisú (VOC-mentes)	több előmelegítést igényel, így szükségtelenül megnövelheti a ciklusidőt
	nem feltétlenül olyan tiszta, mint az alkoholos

Forrás: Saját szerkesztés (Groves & Wol, 2017.) alapján

Az ide sorolható folyasztszerek azért tehetek szert nagy népszerűsége, mert széles körben alkalmazhatóak, könnyen kezelhetőek, illetve jelentősen kisebb mennyiség marad fenn belőlük a forrasztás elvégzése után, ezzel csökkentve a további tisztítási eljárások környezetre káros hatását és materiális hozadékát.

2. Műgyantatartalmú

A gyantatartalmúak között megtalálhatóak a klasszikus 35-45%-os szilárdanyaggal jellemezhető folyasztószerke, illetve a csökkentett gyantatartalmúak, melyek szilárdanyag-tartalma 15-20% közé tehető. Ezeket a folyasztószerkeket tovább lehet csoportosítani a gyanta aktivitása szerint: nem aktív, fél-aktív és aktív. A kísérletem során a szélesebb körű információ gyűjtés végett méréseket végeztem a 2. ábrán kékkel jelölt alcsoportba tartozó 95-DRX-M+ vízbázisú, gyantatartalmú folyasztószerkevel is. *Felhasznált források: (Groves & Wol, 2017.) és (Balver Zinn - Cobar, 2021.)*

6. táblázat: Gyanta (műgyanta) tartalmú folyasztószerke előnyei és hátrányai

Gyanta (műgyanta) tartalmú	
Előnyök	nagyon jó - kitűnő forrasztási eredmény
	nagyon jó - kitűnő nagy megbízhatóságot igénylő alkalmazásokkor
	nagyon jó - kitűnő magas hőmérsékletű alkalmazások esetén
	hosszú "élettartam"
Hátrányok	több előmelegítést igényel
	a maradványokat el kell távolítani - eljárás és gépterület költségek
	a berendezések karbantartást igényelnek és nehézségeket okozhat a további folyamatokban: ICT, AOI, stb.
	gyakran szükség lehet a folyasztószerke felvivő karbantartására
	egyes alkalmazásokban a maradványok megbízhatósági aggályokat vetnek fel

Forrás: Saját szerkesztés (Groves & Wol, 2017.) alapján

A gyantatartalmú folyasztószerkeket használják legrégebb óta iparban, ebből adódóan már egy nagyobb tapasztalati tudástár áll rendelkezésre róluk, azonban ezek a folyasztószerke hagyják maguk után a legmagasabb szilárdanyag tartalmú maradékot.

3. Vízben oldható

A vízben oldható folyasztószerke újabb csoportot alkotnak, melyek alapja nem feltétlenül víz. Az ide sorolható folyasztószerkeket halogén tartalmuk alapján tovább osztályozhatjuk. A számunkra megfelelő folyasztószerke kiválasztásakor külön aspektus a „VOC” - illékony szerves vegyület tartam, amelyet azért érdemes és kell vizsgálni, mert nagy környezetvédelmi jelentősége van, ezért azt az Európai Unió több jogszabálya is szabályozza. *Felhasznált forrás: (Groves & Wol, 2017.)*

7. táblázat: Vízben oldható folyasztószerek előnyei és hátrányai

Vízben oldható	
Előnyök	kitűnő forrasztás - széles folyamatablak
	kitűnő nagy megbízhatóságot igénylő alkalmazásokkor - függ a tisztítási eljárástól és termék elvárásoktól
	Használható magas hőmérsékletű alkalmazások esetén
Hátrányok	több előmelegítést igényel
	a maradványokat feltétlen el kell távolítani - eljárás és gépterület költségek
	a tisztítási folyamatot folyamatosan figyelni kell az ionvándorlás tekintetében
	a tisztítási folyamatot folyasztószer gyártó által előírt időn belül el kell végezni
	fokozott gépkarbantartás - vegyileg károsítja a berendezéseket
	szennyezi a hordozókat és egyéb munkafelületeket
	szükség lehet a folyasztószer felvivő és maga a folyasztószer fejlesztésére
	enyhe maradványok lokális hibát idézhetnek elő

Forrás: Saját szerkesztés (Groves & Wol, 2017.) alapján

A vízben oldható folyasztószerek a többi folyasztószerhez képest több utólagos tisztítást igényelnek, mert korróziós problémát okozhatnak, ennek pedig eszköz és energiaköltsége számottevő. Ettől függetlenül az általa létrehozható kiváló forrasztási felület ígéretes, ezért van még létjogosultsága a forrasztástechnikában.

2.2.2. Folyasztószerek piaci kitekintése

Annak érdekében, hogy a korábban bemutatott folyasztószer típusok felhasználási tendenciáját meghatározzam, Európa 3 jelentős folyasztószer gyártójának kínálatát ismertetem, melyek közvetlen Magyarországra is kihatással vannak. Az Interflux, a Balver Zinn – Cobar és a Henkel vállalatok mind fontos értéküknek tekintik a fenntarthatóságot és nagy hangsúlyt fektetnek az innovációra. A következő táblázatokban összegyűjtöttem az egyes folyasztószerek kiemelkedő tulajdonságait, javasolt alkalmazási területét, a hordozó anyag típusát, a fennmaradó anyag ionaktivitását és szilárdanyag-tartalmát.

Az Interflux egy belga vállalat, központja Gentben található. 12 országban rendelkezik leányvállalattal (köztük Magyarországon is), és 3 gyártóegységet üzemeltet. A vállalat nagyon büszke innovációira, hiszen ez volt az első vállalat, amely tisztítást nem igénylő folyasztószert dobott a piacra. A vállalat emellett a fenntarthatóságra is nagy hangsúlyt helyez. *Felhasznált forrás: (Interflux Electronics, 2022.)*

8. táblázat: Interflux által gyártott folyasztozszerkek és tulajdonságaik

Megnevezés	Jellemző tulajdonság, felhasználási terület, értékeajánlat	Szilárdanyag - tartalom	Csoportosítás szilárdanyag-tartalom szerint	Besorolás ISO szerint	Besorolás IEC szerint
IF 2005C	Folyasztozohab, permetező fluxus, hullámforrasztás, mérítési forrasztás, Jet fluxus, szelektív forrasztás - nincs szükség utólagos tisztításra	3,30%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	nincs az adatlapon feltüntetve	ORL0
IF 2005M	Hullámforrasztás, Mérítési forrasztás, szelektív forrasztás, folyasztozohab, permetező fluxus, Jet fluxus	1,85%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	nincs az adatlapon feltüntetve	ORL0
OSPI 3311M	OSP lapok forrasztásához, Szelektív forrasztás, hullámforrasztás	5,30%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	nincs az adatlapon feltüntetve	ORL0
IF 2005K	Folyasztozohab, Jet fluxus, szelektív forrasztás, hullámforrasztás, permetező fluxus	2,50%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	nincs az adatlapon feltüntetve	ORL0
IF 3006	Hullámforrasztás, Jet fluxus, permetező fluxus, folyasztozohab, szelektív forrasztás, előbádogozás; csökkentett alkoholtartalom	3,20%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	nincs az adatlapon feltüntetve	ORL0
SelectIF 2040	szelektív forrasztás, jet fluxus	6,50%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	nincs az adatlapon feltüntetve	ORL0
PacIFic 2009M	szelektív forrasztás, jet fluxus, permetező fluxus, előbádogozás, hullámforrasztás	3,70%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	nincs az adatlapon feltüntetve	ORL0
PacIFic 2009MLF	szelektív forrasztás, jet fluxus, permetező fluxus, hullámforrasztás	3,60%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	nincs az adatlapon feltüntetve	ORL0
PacIF 2009MLF-E	szelektív forrasztás, jet fluxus, permetező fluxus, hullámforrasztás	3,60%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	nincs az adatlapon feltüntetve	ORL0
PacIFic 2010F	folyasztozohab, hullámforrasztás, jet fluxus, permetező fluxus	2,50%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	nincs az adatlapon feltüntetve	ORL0
AF 4818-PbF	hullámforrasztás, permetező fluxus, jet fluxus	5,00%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ gyantatartalmú	nincs az adatlapon feltüntetve	ROL0
IF 8300	stencilnyomatás, kiadagolás, reflow forrasztás, mérítési forrasztás, átdolgozás és javítás	-	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ műgyantatartalmú	nincs az adatlapon feltüntetve	REL0
IF 7500 HAB	stencilnyomatás, kiadagolás, reflow forrasztás, mérítési forrasztás, átdolgozás és javítás	-	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ gyantatartalmú	nincs az adatlapon feltüntetve	ROM0
IF 8001	átdolgozás és javítás, kézi forrasztás	-	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ műgyantatartalmú	nincs az adatlapon feltüntetve	REL0
IF 6000	átdolgozás és javítás, kézi forrasztás	-	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ gyantatartalmú	nincs az adatlapon feltüntetve	ROL0
TerrIFic RP65	átdolgozás és javítás, kézi forrasztás	-	„Tisztítást nem igénylő”/Vízbázisú	nincs az adatlapon feltüntetve	ORL0

Forrás: Saját szerkesztés a gyártó weblapja (Interflux Electronics, 2022.) alapján

A Balver Zinn szintén a vezető forrasztással foglalkozó vállalatok közé tartozik. Központja Németországban, Balve-ban található. 2007-ben beolvadt a cégbe a Cobar vállalat is, így ezóta Balver Zinn Cobar néven ismert a csoport. A német központ mellett Hollandiában és az USA-ban rendelkezik leányvállalatokkal. *Felhasznált forrás: (Balver Zinn - Cobar, 2022.)*

9. táblázat: Balver Zinn – Cobar által gyártott folyaszttőszerek és tulajdonságaik

Megnevezés	Jellemző tulajdonság, felhasználási terület, értékeajánlat	Szilárdanyag - tartalom	Csoportosítás	Besorolás ISO szerint	Besorolás IEC szerint
95-DRX-M+	Alapja szerves savak, alig hagy maga után szennyeződést. Megszünteti a hídkepződést.	3,30%	(Mű)gyantatartalmú/ Csökkentett szilárdanyag-tartalmú/ R (nem aktív)	2.1.3.1	ORL0
95-DRX-M	Részben vízbázisú folyaszttőszert hullámforrasztáshoz. Műgyanta alapú megakadályozza a forrasztóköbök képződését.	1,80%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	1.2.3.A	REL0
95-SEL	Részben vízbázisú folyaszttőszert hullámforrasztáshoz. Műgyanta alapú standard felhasználásra	1,80%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	1.2.3.A	REL0
94-SEL	Részben vízbázisú folyaszttőszert hullámforrasztáshoz. Műgyanta alapú, magas megbízhatóságú	2,60%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	1.2.3.A	REL0
327-SEL	Szelektív forrasztáshoz, természetes gyantaalapú, magas SIR értékekkel	4,90%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholvázisú/ gyantatartalmú	1.1.3.A	ROL0
385-SEL	Szelektív forrasztáshoz, természetes gyantaalapú	1,90%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholvázisú/ műgyantatartalmú	1.2.3.A	REL0
323-ITM	Szelektív forrasztáshoz, természetes gyantaalapú	3,80%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholvázisú/ gyantatartalmú	1.2.2.2	ROL1
385-D	Magas megbízhatóságú automatizált forrasztáshoz, nitrogén atmoszférában, műgyanta alapú, megakadályozza a dendritképződést	2,70%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholvázisú/ műgyantatartalmú	1.2.3.A	REL0
390-RO-HT	Magas megbízhatóságú applikációhoz, magas SIR érték	3,40%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholvázisú/ gyantatartalmú	1.1.2.A	ROL0
390-RX-HT	Magas megbízhatóságú automatizált applikációhoz, magas SIR érték	2,20%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholvázisú/ műgyantatartalmú	1.2.2.2	REL0
390-RX-HT+	Hullámforrasztáshoz, magas megbízhatóságú automatizált forrasztáshoz. Nincs látható maradék, magas SIR érték	3,00%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholvázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.2.1	ORL0
REGI-007	Hullámforrasztáshoz, természetes gyanta alapú, alig hagy maga után szennyeződést Megakadályozza a hídkepződést	4,00%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholvázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.1.3.1	ORL0
327	A maradékok nem higroszkóposak, ezért nagyon ellenállóak a korrózióval szemben.	4,90%	(Mű)gyantatartalmú/ csökkentett gyantatartalmú	1.1.2.A	ROL1

Forrás: Saját szerkesztés, a gyártó weblapja (Balver Zinn - Cobar, 2022.) alapján

A Stannol egy több, mint 140 éves múlttal rendelkező német vállalat, melynek székhelye Velbert-ben található. A forrasztástechnológia egyik vezető európai vállalata. Termékpalettájának részei például: forraszhuzalok, forraszpaszták, folyasztószeres és mérőeszközök. *Felhasznált forrás: (Stannol GmbH, 2023)*

10. táblázat: Stannol által gyártott folyasztószeres és tulajdonságai

Megnevezés	Jellemző tulajdonság, felhasználási terület, értékajánlat	Szilárdanyag - tartalom	Csoportosítás	Besorolás ISO szerint	Besorolás IEC szerint
EF200	Szelektív hullámforrasztás	2%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORL0
EF210	Szelektív hullámforrasztás	2,1%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORL0
EF250	Szelektív hullámforrasztás	2,5%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORL0
EF270	Szelektív hullámforrasztás	2,7%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORL0
EF270F	Szelektív hullámforrasztás	2,7%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORL0
EF330	Szelektív hullámforrasztás	3,3%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORL0
EF350	Szelektív hullámforrasztás	3,5%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORL0
EF350 Bio	Szelektív hullámforrasztás	3,5%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORL0
WF130	Szelektív hullámforrasztás	3%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	2.1.3.A	ORL0
WF131	Szelektív hullámforrasztás	2,6%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	2.1.3.A	ORL0
WF300F	Hullámforrasztás	4,6%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	2.1.3.A	ORM0
WF300S	Hullámforrasztás	4,6%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	2.1.3.A	ORM0
SF1000	Szelektív hullámforrasztás	2,5%	„Tisztítást nem igénylő”/ Vízbázisú	2.1.3.A	ORL0
500-6B	Szelektív hullámforrasztás	6%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ gyantatartalmú	1.1.3.A	ROL0
500-17-1	Felületszerelt alkatrészekhez	15%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ gyantatartalmú	1.1.3.A	ROL0
500-3431BF	Hullámforrasztás	4,4%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORL0
900-7-1H	Felületszerelt alkatrészekhez	1,7%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.1.2.A	ORM1
HW139	Szelektív hullámforrasztás	2,5%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORM0
HW240	Szelektív hullámforrasztás	2,4%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORL0

X33-08i	Szelektív hullámforrasztás	2%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORL0
L2	Szelektív hullámforrasztás	2%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORL0
P770	Szelektív hullámforrasztás	2,3%	„Tisztítást nem igénylő”/Alkoholbázisú/ nem tartalmaz (mű)gyantát	2.2.3.A	ORL0
P981	Szelektív hullámforrasztás	2,7%	„Tisztítást nem igénylő”/ Alkoholbázisú/ műgyantatartalmú	1.2.3.A	REL0

Forrás: Saját szerkesztés a gyártó weblapja (Stannol GmbH, 2023) alapján

Mint a 8., 9. és 10. táblázatok mutatják a piacot a „Tisztítást nem igénylő”/Alkohol bázisú folyasztszerek uralják. A kísérleteim elvégzéséhez, így egyértelmű volt, hogy egy ilyen típusú folyasztszert választok. Választásom az Interflux által forgalmazott (a 2. ábrán pirossal jelölt) IF 2005C (ORL0) esett. A Balver Zinn – Cobar által gyártott (a 2. ábrán kézzel jelölt) 95-DRX-M+ (REL0) folyasztszert, pedig azért használtam a mérések során, mert az átfogó kép kialakításhoz, fontosnak tartottam, egy a hagyományos gyantatartalmú csökkentett szilárdanyag-tartalommal rendelkezők közül is kiemelni egyet. A döntésemben az is szerepet játszott, hogy a jó eredményütköztetéshez, a két folyasztszer bázisa/oldószer eltérő legyen, ennek pedig eleget is tesznek, mert előbbi bázisa alkohol, utóbbi részben szintetikus gyanta és víz. Mindemellett mindkét folyasztszer megfelel a napjaink döntő iparát meghatározó ólommentes forrasztás által előírt feltételeknek, illetve környezetbarátok, nem tartalmaznak halogéneket.

Továbbá, az általam választott folyasztszereket indokolja a kutatási témában vizsgált forrasztási eljárás. Az IF 2005C különösen ajánlott szelektív forrasztáshoz, alkalmas helyi adagoláshoz (drop jet), a konform (forrasztás gátló) bevonatokkal pedig teljes mértékben kompatibilis. A 95-DRX-M+ pedig kifejezetten hullámforrasztáshoz kifejlesztett folyasztszer.

Felhasznált források: (Interflux Electronics, 2020.) és (Balver Zinn - Cobar, 2021.)

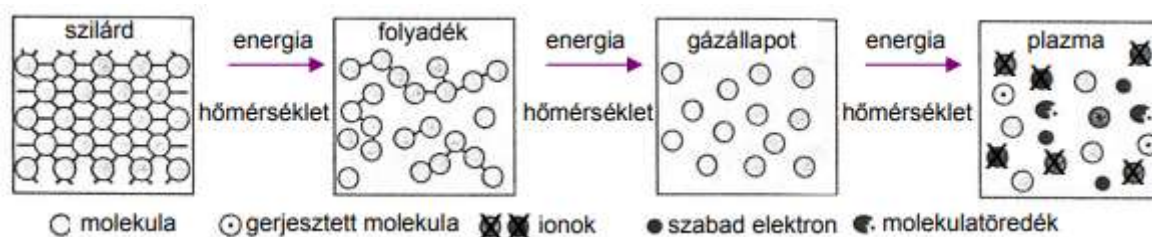
2.3. A plazmaállapot, plazmatisztítás a felületszerelésben

A folyasztszer fő használati céljának kiváltására több új eljárást hoztak létre, kezdtek használni az iparban. Többek között ilyen újszerű törekvés a plazmatisztítás. Alkalmazásával a panel és az alkatrész felületén lévő oxidréteg átalakítható, eltávolítható.

Thanu és csapata 2019-ben teljeskörű kutatást végzett a plazmákról. Rámutatnak a plazmatisztítás jelentőségére az orvosi eszközök sterilizálásában (a jelenlegi fertőtlenítő szerek kiváltására, vagy az azokból fenmaradó szennyeződések eltávolításában), továbbá feltérképezték hatékonyságát az elektronika és az optika területén, vizsgálták hatékonyságát többek között félvezető anyagokon és polimerek felületén. Bizonyították, hogy a technológia megfelel az EU WEEE (Waste from Electrical and Electronic Equipment) direktívájának, mivel a plazmatechnikák abszolút nem vagy csak csekély mennyiségű hulladékot termelnek. Állításuk szerint a plazma alkalmazása a kulcsfontosságú folyamatok tisztítás paramétereinek optimalizálásával drasztikus teljesítményjavulást eredményezhet szinte minden területen. *Felhasznált források: (Thanu, Srinadhu, Zhao, Dole, & Keswani, 2019) és (Európai Bizottság, 2023.)*

Az univerzum anyagának jelentős része plazma állapotú, a szakirodalom ezt a negyedik halmazállapotnak is szokta nevezni. A fizikában plazmának azt hívják, amikor valamilyen gáz ionizált állapotba kerül, ezzel magyarázható, hogy a plazma a gázokra jellemző tulajdonságokkal rendelkezik. Érzékeny az elektromágneses terekre vagy reagál az ilyenfajta manipulálásokra, valamint vezeti az áramot. *Felhasznált forrás: (Dr. Halmai & Dr. Samu, 2014.)*

A plazma a közvetlen környezetünkben, a mindennapi életben is több helyen előfordul, ezek közül talán legismertebb a légköri kisülések, hétköznapi nevén a villámlások. Továbbá mesterségesen, ember által előállított formában, már csupán a műszaki világ felhasználói oldalán is rendszeresen találkozhatunk vele. Például a plazmakijelzőkben, neoncsövekben, fénycsővekben, vagy a fázisceruzában, de plazmát használnak plazmamarásnál, villamos ívhegesztésnél, vagy sok esetben részecskegyorsítóknál. *Felhasznált forrás (Dr. Halmai & Dr. Samu, 2014.)*



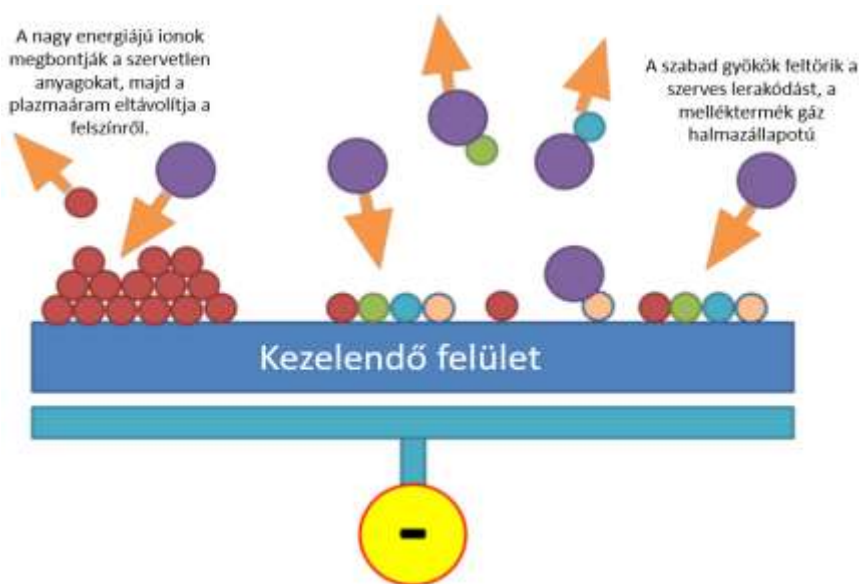
3. ábra: A plazma, mint negyedik halmazállapot

Forrás: (Dr. Bánhegyi, 2011.)

A plazma – mint ahogy a korábbiakban említettem – ionizált gáz (3. ábra). Az „ionizált” itt azt jelenti, hogy az anyag atomjairól egy vagy több elektron leszakad, ezáltal a plazma a levált szabad elektronok, szabad gyökök és a megmaradt ionok keveréke. A plazma szót ionizált gázokra először Langmuir alkalmazta 1929-ben. *Felhasznált forrás: (Sasmazel, Alazzawi, & Alsahib, 2021)*

Tulajdonképpen a plazma akkor keletkezik, ha egy gáz nagyon magas hőmérsékleten kerül ionizált állapotba, ez pedig több módon is kivitelezhető. Sasmazel és társai (2021), példaként azt az esetet elemezték ki, mely során áramot (egyen vagy váltakozó) folytatnak át egy alacsony nyomású (atmoszférikus) gázon, így létrejön benne egy olyan gágréteg, ahol hirtelen hatalmas energia szabadul fel (ez vezet az elektromos kisüléshez). A 3 lejátszódó folyamat a gerjesztés, ionizáció, disszociáció. A plazma huzamos idejű fenntartásához éppen ezért van szükség jelentős mennyiségű energiára.

A gázok ionizálása többlépcsős is lehet, vagyis az ionizálás mértéke az elektronszámától függően változtatható (pl. $N \rightarrow N^+ \rightarrow N^{++}$ vagy $Ar \rightarrow Ar^+ \rightarrow Ar^{++} \rightarrow Ar^{+++}$). Ilyen esetekben nagyobb energiára van szükség és a plazmahőmérséklet is megnő. *Felhasznált forrás: (Bagyinszki & Bitay, 2009.)*



4. ábra: A plazma hatása a kezelendő felületre

Forrás: Saját szerkesztés (Marshall, 2020.) alapján

A plazmával történő felületkezelés hatásának lépéseit:

1. A felületi szennyeződések feloldódnak
2. A szennyeződés eltávolítódik
3. A felületi molekulakapcsolatokkal kölcsönhatás alakul ki
4. A felület aktívvá válik

A felületi határrétegbe, nagy energiával csapódnak a plazma részecskéi, itt új kötéstípusokat, funkcionális csoportokat hoznak létre, ezzel növelve a felületi energiát. *Felhasznált források: (Kelar, Shekargoftar, Krumpolec, & Homola, 2018.) és (Mui, Silva, Prysiashnyi, & Kostov, 2017.)*

2.3.1. A plazmák csoportosítása

A valóságban a teljes részecskesűrűség csak egy hányadát teszi ki az ionok, jellemzően atomokat és molekulákat is tartalmaz az elegy, így az ionizációs tényező (hány százaléka ion) értéke szerint két jellegzetes plazmatartományt lehet megkülönböztetni:

- fizikai plazmák vagy „nagyértékben” ionizáltak, melyek ionizációs tényezőjének közel 1, és hőmérsékletük 10^7 °C nagyságrendű (pl. magfúziónál)
- technikai vagy technológiai plazmák vagy „kismértékben” ionizáltak, melyek ionizációs tényezőjének értéke jellemzően 10^{-4} -nél kisebb, és hőmérsékletük 5000 – 50000 °C közötti tartományba esik (pl. anyagmegmunkálásnál).

Forrasztás technológiai alkalmazás szempontjából tehát az utóbbi típusba sorolható plazmát érdemes vizsgálni. *Felhasznált forrás: (Bagyinszki & Bitay, 2009.)*

A plazmákat nem csak az ionizáció mértéke (hőmérséklet) szerint lehet osztályozni, a szakirodalomban, gyakran lehet találkozni az alábbi csoportosításokkal:

nyomás szerint:

- nagy
- alacsony (vákuum)
- légköri (hideg)

gerjesztés szerint:

- alacsony frekvenciás: 40-50 kHz
- rádiófrekvenciás: 13,56 MHz
- mikrohullámú: 2,54 GHz

Felhasznált forrás: (Dr. Halmai & Dr. Samu, 2014.)

2.3.2. Plazmaberendezés szerepe a felületkezelésben

A plazmagenerátort legtöbbször egyenáramú tápegységről működtetik. A plazmagenerátorokban katódként (negatív pólus) tóriumozott volfrámelektrodát, anódként (pozitív pólus) egy hengeres furatú rézfúvókát (gyűrűt) vagy magát a munkadarabot alkalmazzák. A kettő közötti keskeny részen áramlik keresztül a plazmaképző gáz. Az elektrodák közötti nagyfeszültségű, nagyfrekvenciás szikrakisülés fent említett szűk csatornájában kialakul az úgynevezett plazma ív, melyet a gázáramlás, illetve a mágneses tér stabilizálja. Tehát, a plazmaív az elektróda-elektroda vagy az elektróda és munkadarab között létrejövő villamos ív és egy keskeny furaton nagysebességgel keresztülmenő gáz egyszerre fellépő, közös hatására jön létre, úgy, hogy a gázáram a vele azonos tengelyű elektromos ívet összehúzza. Az első esetben nem átvitt ívről (belső ívről), vagyis plazmasugárról, a második esetben átvitt ívről (külső ívről), vagyis plazmaívről beszélünk. Az elsődleges tényezők, amik meghatározzák a plazmaív vagy plazmasugár teljesítményét, koncentráltóságát, a megmunkálendő felületre jutó teljesítménysűrűséget az a plazmafúvóka átmérője és kialakítása, a plazmagáz fajtája és térfogatárama, illetve a védőgáz fajtája. *Felhasznált forrás: (Bagyinszki & Bitay, 2009.)*

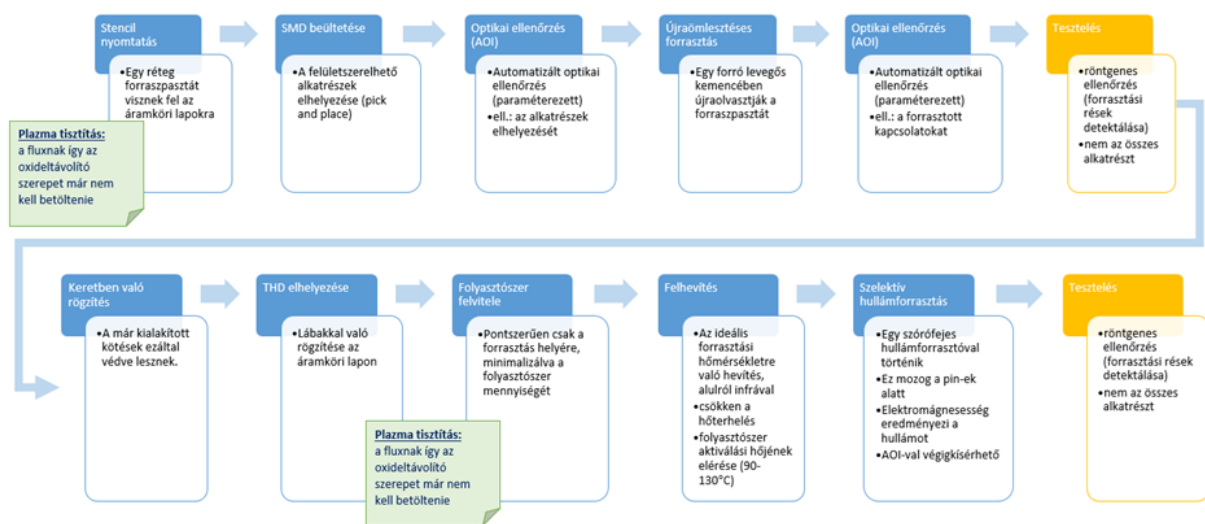
A plazmaívet befolyásolja a plazma- és a védőgáz összetétele, előbbiek hőmérséklete és térfogatárama, illetve esetleg fókuszáló gáz alkalmazása. A fúvóka hűtésével szintén szabályozható. Az áramlás belső mozgását az eszköz teljesítménye határozza meg. Az iparban a lamináris (párhuzamréteges) áramlást preferálják a turbulens (örvényessel) szemben mert annak kedvezőbb a hőmérséklet-eloszlása, előbbi azonban nagyobb teljesítményt igényel. *Felhasznált forrás: (Bagyinszki & Bitay, 2009.)*

Alapvetően minden plazmát használó berendezésben megtalálhatók a következő részek: fő és segédív tápegység, gázellátó-egység: plazmagáz (vivőgáz), védőgáz, plazmagenerátor gyújtóegység és hűtőegység, beállító- és vezérlőegység, illetve szivattyú és poradagoló. A más-

más célt szolgáló gépeket mindössze a fenti elemek paraméterei különbözteti meg. *Felhasznált forrás: (Bagyinszki & Bitay, 2009.)*

A plazmaberendezés használata legnagyobb ökológiai és műszaki tudományi hasznot a forrasztás technológia gyártásban a folyasztószer elsődleges feladatának kiváltásával jelentene.

Egy általános forrasztási láncba a felületszerelt alkatrész beültetése előtt illetve furatszerelt alkatrész elhelyezése után és a folyasztószer felvitele közötti helyen szerepelhetne a plazmakezelés, valamint továbbá a nyers panelok tisztítására is alkalmas lehet. Ezt a folyamatot következő ábra szemlélteti.



5. ábra: Forrasztási lánc plazmaszereléssel

Forrás: Saját szerkesztés

2.3.3. A plazmaberendezések piaci kitekintése

Jelenleg a világ vezetőpiacán több cég is foglalkozik plazmaberendezések gyártásával. Az alábbi táblázat megközelítőlegesen összefoglalásul szolgál arra, hogy melyik vállalatok állnak a vásárlók rendelkezésére.

11. táblázat: Plazmaberendezések beszerzési forrásai

	gyártó	ország	weboldal
1.	MAP PAMMINGER GMBH	4810 Gmunden, Ausztria	https://www.teilereinigung-pamminger.at/reinigungsanlagen/
2.	PLASMA ELECTRONIC GmbH	79395 Neuenburg am Rhein, Németország	https://plasma-electronic.com/en/plasma-devices/
3.	Plasmatreat GmbH	33803 Steinhagen, Németország	https://www.plasmatreat.com/plasma-treatment/plasma-pretreatment/plasma-activation_surface-activation.html
4.	Diener electronic GmbH + Co. KG	72224 Ebhausen, Németország	https://www.plasma.com/en/
5.	Relyon Plasma GmbH	93055 Regensburg, Németország	https://www.relyon-plasma.com/products/?lang=en
6.	Aurion Anlagentechnik GmbH	63500 Seligenstadt, Németország	https://aurion.de/en/plasma-systems.html
7.	Nordson Corporation	92010 Carlsbad, USA	https://www.nordson.com/en/divisions/march/products/plasma-treatment-systems
8.	Plasma Etch	89706 Carson City, Nevada, USA	https://www.plasmaetch.com/?gclid=CjwKCAjwzY2bBhB6EiwAPpUpZrjleDyuS2N-T2JTk8F0uESZL3oV_eoR71CJHbDITYDYHMvfVbX7yhoCT8kQAvD_BwE
9.	DONGGUAN KEQI AUTOMATION EQUIPMENT CO.,LTD	523820 Guangdong PR, Kína	https://www.gluingsystem.com/plasma-treatment-equipment.html
10.	Shenzhen Fangrui Technology Co.,Ltd	518000 Sencsen, Kína	https://www.fariplasma.com/vacuum-plasma-cleaner/?gclid=CjwKCAjwzY2bBhB6EiwAPpUpZtb3vzxvWwXfxHd_xMRqUYJ-LeM9LnXoludGmeInUjHJGNanXvlFMhoC1CgQAvD_BwE
11.	KEYLINK TECHNOLOGY CO., LTD	325207 Ruian City, Zhejiang Province, Kína	https://www.keylinktech.com/
12.	AntiTeck Life Sciences Limited	510810 Guangzhou, Kína	https://antiteck.com/hu/plazma-tiszt%C3%ADt%C3%B3-2/
13.	Australian Vacuum Services Pty Ltd	2153 Új-Dél-Wales, Ausztrália	https://plasmatreatment.co.uk/products-services
14.	Ulbrich Kft.	Budapest, Magyarország	https://www.ulbrich.hu/plazma-berendezesek-feluletkezeshez

Forrás: Saját szerkesztés a táblázatban megjelölt weboldalak alapján

Mint megfigyelhető a cégek döntő többsége Németországban, Kínában és az Amerikai Egyesült Államokban található. Valamennyiük nemzetközi szintű szállítást biztosít.

A kínálatról egyértelműen elmondható, hogy igyekszik a felhasználó igényének eleget tenni. Kézi és asztali konstellációk is rendelkezésre állnak. A gépek java több fajta plazmagázzal alkalmazható, laborkörülményeket nem igényel. Az áruk széles skálán mozog, nagyságrendileg több 10 000 euró.

3. A TH alkatrészek forraszthatósági vizsgálata

A szerelt áramköri lapokon megtalálható alkatrészsűrűség és változó felület megnehezíti a felületkezelést. Mindezen kihívásokat tovább növeli az alacsonyabb költség iránti igény. A vegyes technológiájú áramköri lapok sikeres gyártásának egyik fő kihívása a megfelelő forrasztás, az átmenő furatos elemek esetében merül fel.

3.1. A kísérlet változó paramétereinek meghatározása

Az ideális folyasztószer mennyiség meghatározása érdekében 4 fő paraméter megváltoztatásának hatását vizsgáltam. Ezek nem mások, mint, a plazmakeverék összetétele, a plazma kezelési ideje, a folyasztószer bázisa és a folyasztószer felviteli mennyisége. A plazma kezelési eredményét továbbá olyan aspektusból is megvizsgáltam, hogy a kezelendő alkatrészlábakat, egyszeresen vagy kétszeresen tisztítottam meg.

A vizsgálatokat két különböző alkatrészen is végeztem: 0,5 mm lábátmérőjű kondenzátoron és 0,7 mm lábátmérőjű ellenálláson.

A fentieket az alábbiak szerint konkretizáltam.

Formálógáz típusok:

- Sűrített nitrogén-hidrogén gáz 5%-s hidrogén tartalommal.
- Sűrített nitrogén-hidrogén gáz 10%-s hidrogén tartalommal.

Plazma kezelési sebesség:

- 2,3 cm/s – normál sebesség – egyszeres kezelés
- 2,3 cm/s – normál sebesség – kétszeres kezelés
- 3,3 cm/s – gyorsított sebesség – egyszeres kezelés

Folyasztószer típusa, bázisa:

- folyasztószer alkalmazása nélkül,
- Cobar 95-DRX-M+ – vízbázisú,
- IF 2005C – alkoholbázisú.

A folyasztószer felviteli mennyiségét a folyasztószer koncentrációjának megváltoztatásával értem el. A hígítás az IF 2005C esetében izopropil alkohollal, míg a Cobar 95-DRX-M+ esetén izopropil és desztilláltvíz 1:1 keverékével történt.

Folyasztószer koncentrációja:

- 100%;
- 50%;
- 25%;
- 12,5%

3.2. A kísérlet körülményei

A kísérlet helyszínéül a Flextronics International Kft. zalaegerszegi Zrínyi Miklós út telephely laboratóriuma szolgált, a plazmakezelést a Plasmatrete Openair FG 5001, RD1004 plazma forgófúvókával felszerelt berendezéssel végeztem. A forraszthatósági kísérletekhez pedig a MUST System 3 típusú eszközt alkalmaztam.

A vizsgált alkatrészek, mind az ellenállások (R) és mind a kondenzátorok (C) egy gyártótól egy beszerzés alatt kerültek megvásárlásra.

Plazma kezelés az alábbi körülmények között történt:

- raktár épületben, melyben nem volt lehetséges konstans hőmérséklet és páratartalom mellett végezni a kísérleteket

A forrasztási vizsgálatok alatt a labort és a mérést az alábbi körülmények jellemezték:

- labor hőmérséklet: 23 °C,
- labor páratartalom: 55-60 %,
- forrasztó ón hőmérséklete 250 °C,
- plazma kezelés és forrasztási vizsgálat között eltel idő: 25 perc

Továbbá a mérési eredményeket az alábbi tényezők befolyásolhatták:

- az alkatrészek lábait műszerész csipesszel vágtam egyforma hosszúságúra plazmatisztítás előtt, mely befolyásolhatta a mérési eredményeket.
- a szállítás során és a plazma kezelés alatt nem voltak konstans hőmérsékleti és páratartalmi értékek, mely a laborban pára kicsapódást okozhatott. A szállítás a

telephely udvarán történt.

- A vizsgáló berendezés érzékeny a rezgésekre (pl.: egy erőbben becsukott ajtó a diagramot eltorzíthatja)

3.3. A kísérlet elvégzésének lépései: előkészítés, plazmatisztítás, nedvesítési teszt

Első lépésként a vizsgálandó alkatrészeket kellett előkészíteni, a lábaikat egyforma hosszúságúra volt szükséges vágni, ezzel biztosítva, hogy a forraszkádba merítéskor, a lábak egyforma mélyre kerüljenek merítve, ezzel lehetővé téve az összehasonlíthatóságot.

Az ellenállások lába a lenti ábrán láthatóan nem egyforma hosszúságúra lett vágva, ez abból adódik, hogy a csipesszel való megfogatása a Wetting balance teszt során csak ilyen formában volt lehetséges. Fontos kritérium volt továbbá a lábak párhuzamos helyzetbe történő állítása, annak érdekében, hogy a forraszkádba való merítés során a két láb egyszerre, merőlegesen keresztezze a forrasztó ón felületét.

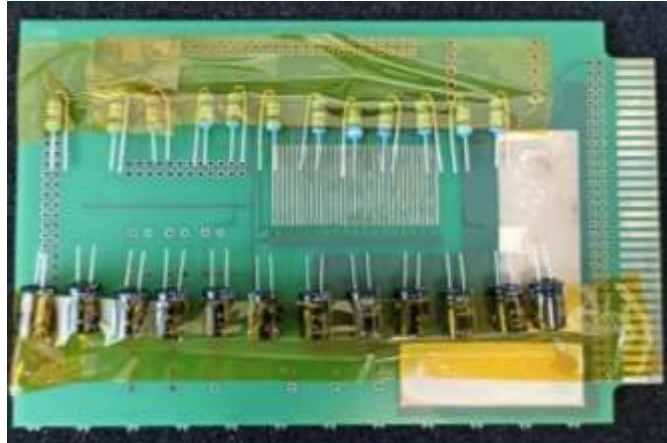


6. ábra: Alkatrészek lábak beállítása: ellenállás (bal) és kondenzátor (jobb)

Forrás: Saját kép

Az előkészítés második lépéseként - a plazmakezelés előtt - az egyes alkatrészeket egy hordozón rögzítettem a 7. ábrán látható módon.

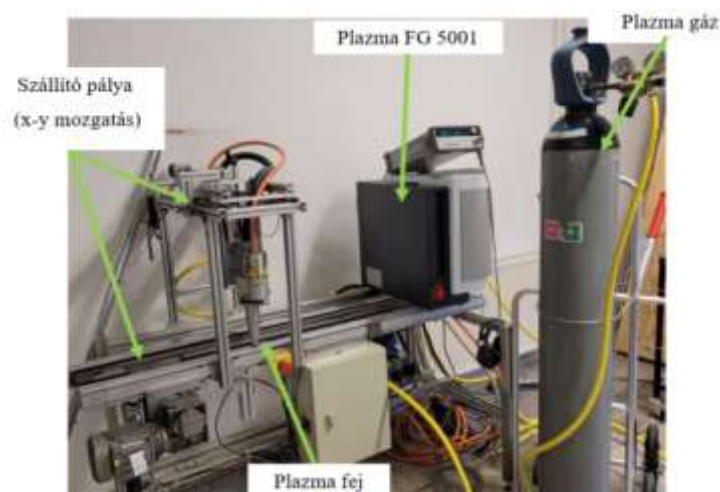
Ezen panel alkalmazása azért volt szükséges, hogy a teszt készülék pályájára fel tudjam helyezni a tisztítandó alkatrészeket, tovább a pozicionálást el tudjam rajta végezni. Így az alkatrészek lábainak helyzete plazmázáskor a plazma fej alatt minden alkalommal azonos, a plazmanyaláb egyforma felületen éri őket.



7. ábra: Az alkatrészek rögzítése a hordozón

Forrás: Saját kép

Harmadik lépés maga a plazmakezelés elvégzése volt, melyhez a Plasmatreteat Openair FG 5001 Plasma generátort alkalmaztam RD1004 plazma forgófűvőkás plazmafejjel, melyet hideg plazma előállítására használnak. Ez a plazmafűvőka különösen alkalmas termikusan érzékeny és geometriailag összetett felületek és anyagok kezelésére. A szabadalmaztatott forgórendszer egyenletesen osztja el a plazmahatást a kezelendő anyagokon. Az atmoszférikus plazmával végzett száraz plazmatisztítás lehetővé teszi az anyagok azonnali feldolgozását. Az alkalmazás tiszta és költséghatékony teljes felület-előkezelést tesz lehetővé. *Felhasznált forrás: (Plasmatreteat GmbH, 2022)*



8. ábra: A használt plazmaberendezés

Forrás: Saját kép

A tisztítás során a hordozó panelt mozog a szállítópálya segítségével X irányba, míg a plazma fejet Y irányú mozgást végez. X irányban szenzoros vezérléssel lépteti a panelt. Az Y irány mozgását 2 db jeladó vezérli, amelyre ha ráfut, a panelt lépteti a plazma fej méretével és ellentétes irányba folytatja a mozgást.

Z irányban a plazma fejet manuálisan lehet állítani, ezt a távolságot a tesztek során 10 mm-re állítottam a hordozó paneltől egy a géphez javasolt mérőhasáb segítségével.

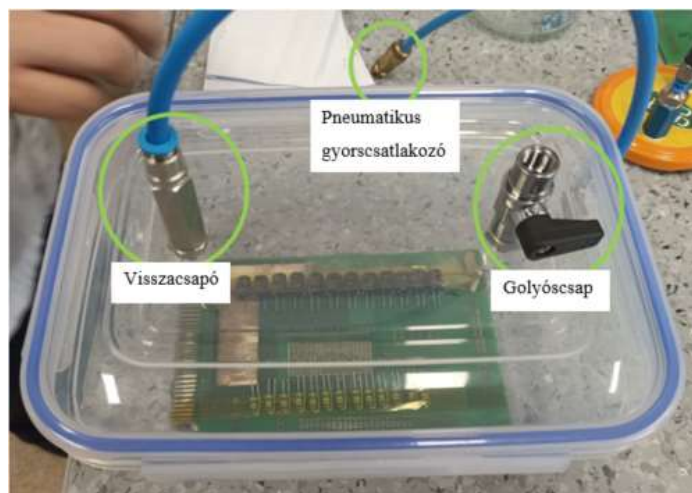


9. ábra: Plazmafej működés közben

Forrás: Saját kép

Mivel a plazma- és a nedvesítési erőt mérő berendezés nem egy épületben voltak megtalálhatóak, ezért a plazmakezelt minták visszaoxidálás nélküli szállítására egy védőgázzal ellátott edény kialakítása volt szükséges.

Egy tömítéssel ellátott éthordó edényt alakítottam át, úgy, hogy az edény tetejére egy gömbcsapot és egy gyorscsatlakozóval ellátott visszacsapó szelepet szereltem.

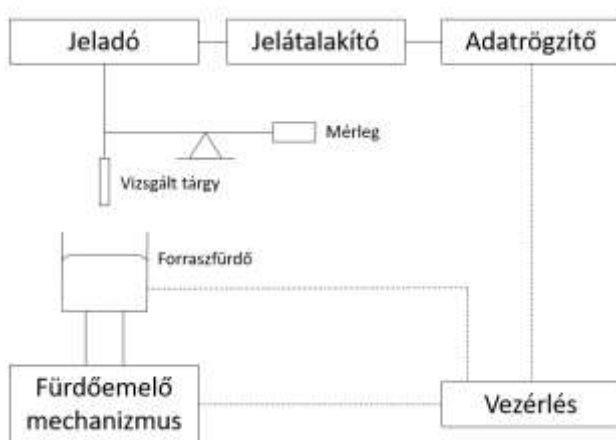


10. ábra: A szállító doboz kialakítása

Forrás: Saját kép

A gyorscsatlakozón keresztül plazmaképző gázt, mint védőgázt engedtem az előkezelt alkatrészekre. A golyós csap ilyenkor nyitva van, majd mikor elzárásra került a védőgáz a golyóscsapot is elzártam. A gyorscsatlakozó leválasztásakor a visszacsapó szelep akadályozza meg a védőgáz elillanását a térből. A hordozó panelről ezután mindig csipesszel került eltávolításra a minta közvetlenül a forraszthatósági vizsgálat előtt.

A szállítást követő, így ötödik lépés a laboratóriumi kísérlet, a nedvesítési erő mérési feladata volt. A mai, korszerű forraszthatóság-mérő gépek, mind a nedvesítési erő mérésén alapulnak, sémáját a 11. ábra szemlélteti.

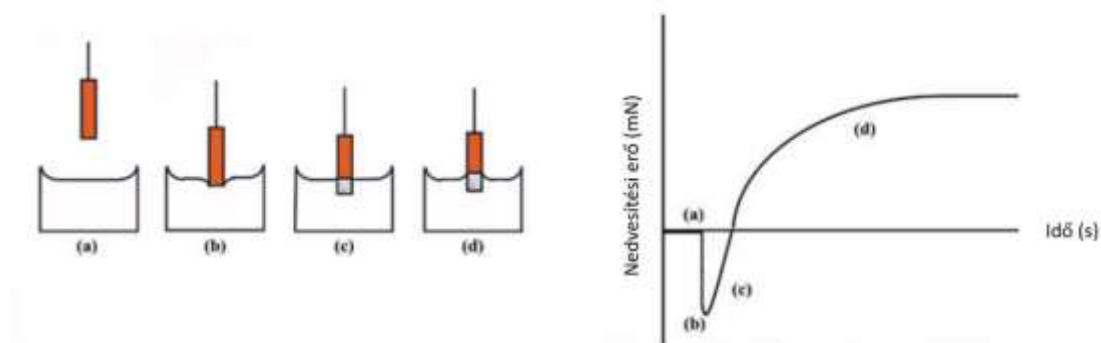


11. ábra: Nedvesítési erő mérés elvi vázlata

Forrás: Saját szerkesztés (Regős, 2006.) és (Jung & Jung, 2019.)

A műszerbe csipesz segítségével lehet befogni a vizsgálni kívánt felületszerelt és furatszerelt alkatrészeket, valamint a nyomtatott huzalozású áramköri lemezek forraszthatósági elemzésére is ilyen megfogatás szolgál. A mérőfejbe fogott tárgyat függőlegesen, megfelelően megválasztott sebességgel forraszfürdőbe merül, (vagy megömlesztett forraszcseppel kerül érintkezésbe) mindeközben állandó hőmérsékleten maradva. Ekkor a gép a nedvesítési erőt méri és egy LVDT jelátalakító segítségével digitális jel formájában rögzíti a nedvesítési görbét az idő függvényében. *Felhasznált forrás: (Jung & Jung, 2019.)*

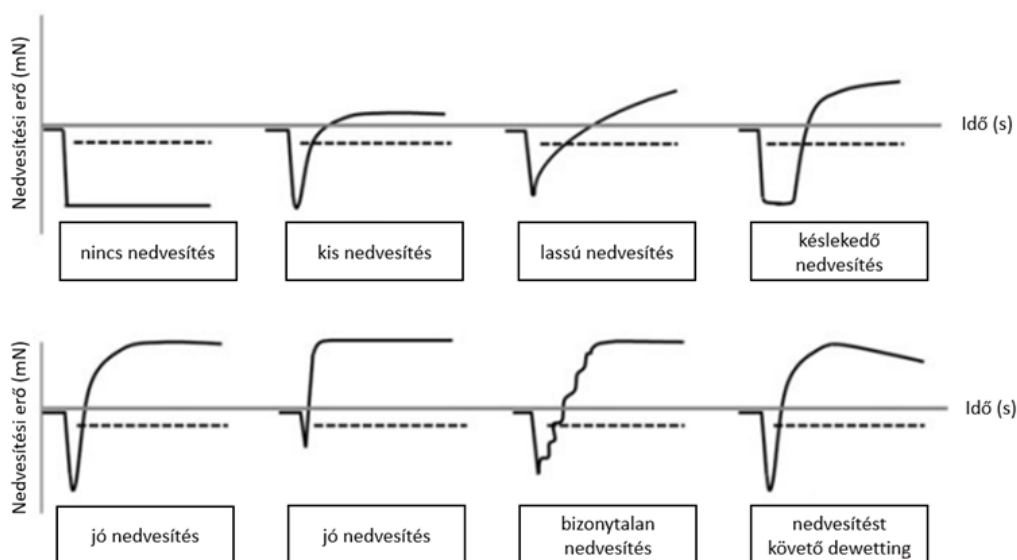
A nedvesítési görbe több jól elkülöníthető szakaszra bontható, ezeket mutatja be az alábbi ábra.



12. ábra: A nedvesítés folyamatának lépései és jelleggörbéje

Forrás: Saját szerkesztés (Regős, 2006.) és (Jung & Jung, 2019.)

A 12. ábrán látható, hogy az (a) szakasz során a vizsgálandó tárggyal megközelítik a forraszfürdőt. A (b) szakaszban felhajtóerő ébred az alkatrészen, és tart addig, amíg a felületi feszültség hat, ekkor a nedvesítési erő mértéke a szenzor által negatívan értelmezett (nyomás). A valódi nedvesítés (c) ponton kezdődik meg, ekkor a nedvesítési szög éppen 90° , a „behorpadt” felszín kisimul, a diagramon ekkor metszi az x tengelyt, azonban a legpontosabb meghatározás egy úgynevezett korrigált nulla bevezetését igényli, ami valamennyivel a 0 pont alatt található. A (d) szakasz során a forrasanyag felkúszik a tárgy fémezésén, a szenzor ezt húzóerőként értelmezi, a görbe pozitív tartományba vált. *Felhasznált forrás: (Jung & Jung, 2019.)*



13. ábra: Különböző jelleget mutató nedvesítési görbék

Forrás: Saját szerkesztés (Jung & Jung, 2019.) alapján

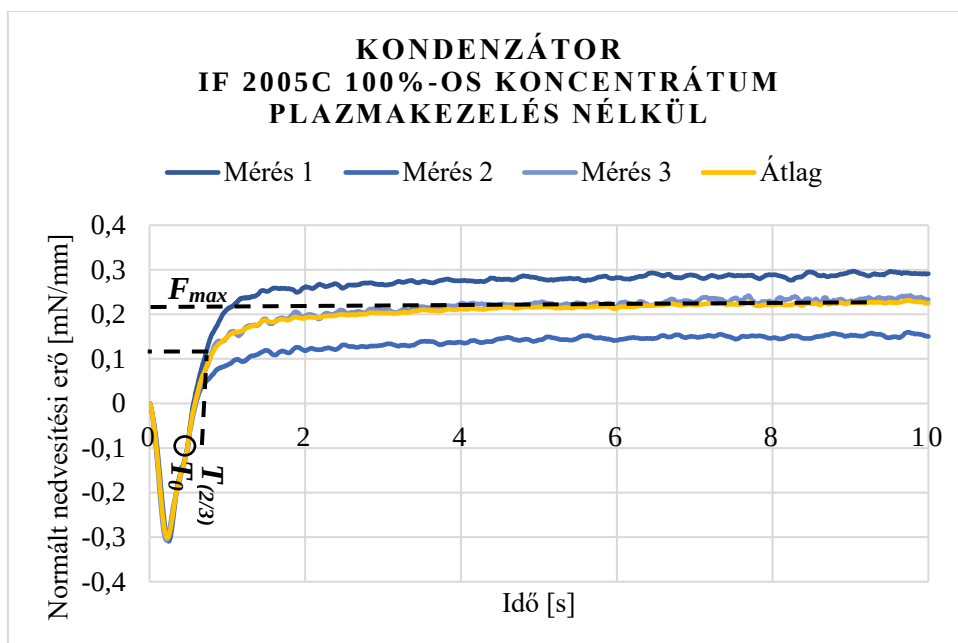
A 13. ábra különböző eredményekre mutat példát, mint látható az eredmények egyértelműen kvalitatív módon kerülnek kiértékelésre, jó eredményre is több példa látható. A kis, lassú, bizonytalan vagy a dewetting (forrasz-visszahúzódás) jelenségét mutató eredmények ipari felhasználásra alkalmatlanok, az ilyen eredményt adó forrasztási paraméterekkel elkészített forrasztási kötés rövid élettartalmú, gyors meghibásodáshoz vezet.

3.4. A mérési eredmények feldolgozásának és kiértékelésének lépései

A két különböző alkatrészen minden paraméter beállítási kombinációt háromszor elvégezve, összesen 378db mérést futtattam. A nagy mennyiségű adathalmazból kinyert eredmények könnyebb összehasonlíthatósága érdekében a nedvesítési görbe elemzése mellett Xu és társai két 2015-ben kidolgozott kvantitatív kiértékelési módszerét alkalmaztam. A nyers adatokat egy pendrivera mentettem, mely szükség esetén elérhető.

Nulladik lépésként azonban a nedvesítési erőt mérő berendezés szoftvere által kinyert adatokat volt szükséges megfelelő módon átkonvertálni, hogy azt később Microsoft Excel szoftver segítségével kiértékelni tudjam. Egy alkatrész mérési ideje 10 másodperc, melyet a szoftver 2000 mérési pontra oszt fel, tehát 0,005 másodpercenként történt mintavételezés. Azért, hogy a különböző típusú alkatrészek nedvesítését össze lehessen hasonlítani a későbbiekben egymással, a nedvesítési erőt a bemerülő alkatrészek nedvesíthető kerületével normáltam (mN/mm). Az alkatrészek mindkét lába egyszerre került bemerítésre, így a 0,5 mm lábátmérőjű

kondenzátor esetén 3,14-dal, még a 0,7 mm lábátmérőjű ellenállásnál 4,40-dal osztottam le az egyes időpontokban mért nedvesítési erő eredményét. Az azonos beállítású mérési eredményeket egy táblába rendeztem és az adatok átlagát vettem.



14. ábra: Mérési diagram

Forrás: Saját szerkesztés

A pontmodell az átlaggörbe nevezetes pontjain alapszik, melyek nem másak, mint a nedvesítés kezdőpillanata (T_0), a maximális erő 2/3-ához tartozó időpillanat ($T_{(2/3)}$) és a maximális nedvesítési erő (F_{max}). Ezeket a pontokat az XY átlagszemplétető ábra mutatja. Az egyes pontokat komplex Excel függvények segítségével nyertem ki.

Xu és társai az egyes nevezetes pontokat külön-külön minősíti, értéket rendel hozzá, majd ezeket összesíti. Az összpontszámokat skálázással, táblázatos formában értékeli, mely alapján kiváló, jó, elfogadható és rossz minősítést kaphatnak a görbék.

12. táblázat: Pontmodell értékelése

T_0 [s]	Pont	$T_{(2/3)}$ [s]	Pont	F_{max} [mN/mm]	Pont	Összpontszám	Értékelés
$T_0 > 3$	0	$T_{(2/3)} > 3$	0	$F_{max} \leq 0,1$	0	9-10	kiváló
$T_0 > 2$	1	$T_{(2/3)} > 2$	1	$F_{max} > 0,1$	1	7-8	jó
$T_0 > 1$	2	$T_{(2/3)} > 1,5$	2	$F_{max} > 0,2$	2	4-6	elfogadható
$T_0 \leq 1$	3	$T_{(2/3)} > 1$	3	$F_{max} > 0,3$	3	0-3	rossz
		$T_{(2/3)} \leq 1$	4				

Forrás: Saját szerkesztés (Xu Ph.D, Farrell, & Mohanty Ph.D., 2015.) alapján

Az integrálmodell azt veszi alapul, hogy a T_0 pillanattól vett görbe az, ami a valójában vett nedvesítést jellemzi, így az ez alatti terület értékét 3-mal megszorozva minősíti azt egy 5 fokozatú skálán. Az integrált trapéz módszerrel számítottam. Az értékelési rendszert kidolgozó kutatócsoport azért javasolja a 3-mal való szorzást, mert így a megfigyeléseik alapján analóg, vagy legalábbis nagyon hasonló eredmények kaphatóak a pontmodellel.

13. táblázat: Integrálmodell értékelése

Területintegrál	Értékelés
> 9	kiváló
> 7	jó
> 4	elfogadható
> 2	rossz
≤ 2	nagyon rossz

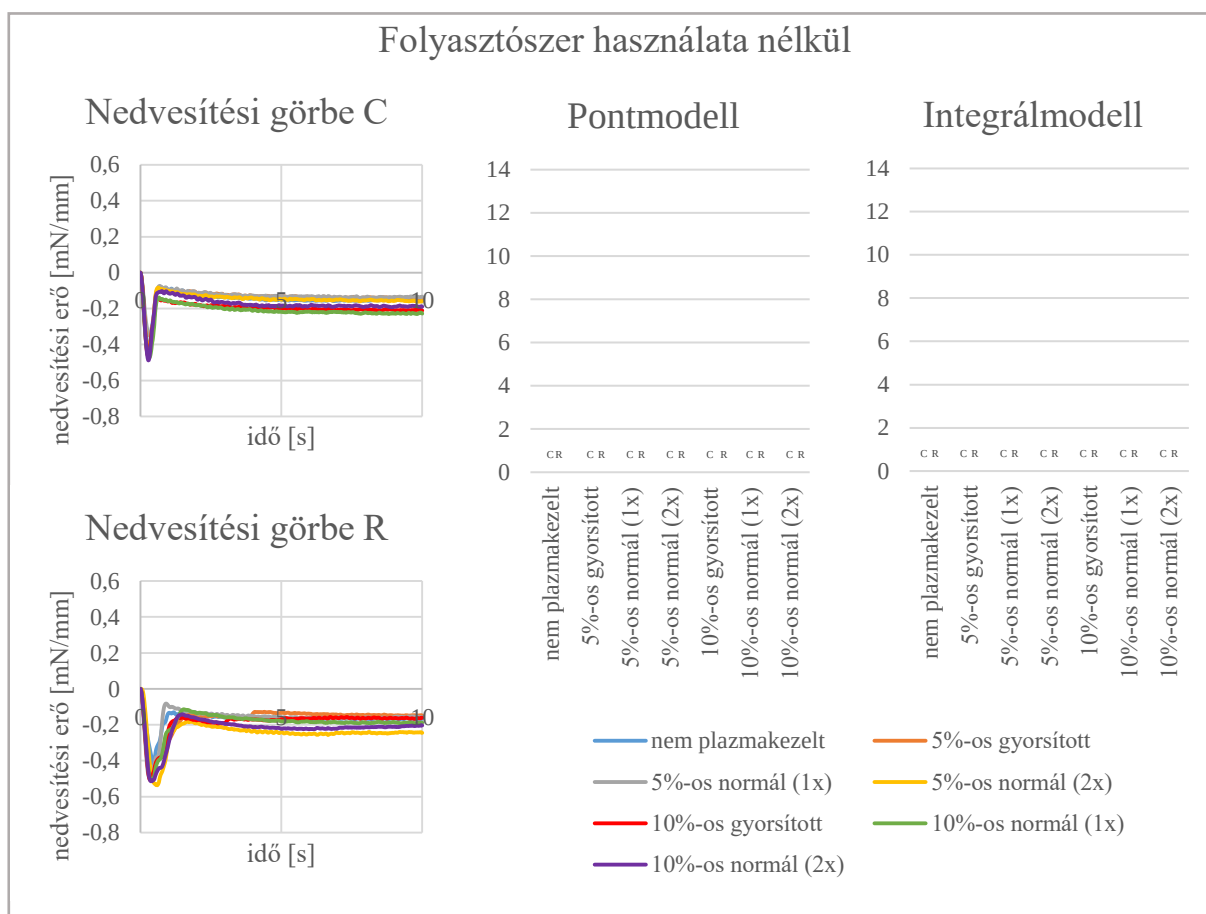
Forrás: Saját szerkesztés (Xu Ph.D, Farrell, & Mohanty Ph.D., 2015.) alapján

3.5. Az egyes plazmakezelési módszerek a különböző hígítású folyasztszerek függvényében történő kiértékelése

A korábbiakban ismertetett lépések alapján az egyes alkatrészekre külön-külön alkalmazva ismertetem az egyes modellek szerinti eredményeimet.

A szemléltető ábrák elrendezését valamennyi folyasztszerek koncentrációját azonos módon építettem fel. Az összefoglaló ábra „oszlopos” elrendezésre bontható: a bal oldali oszlopban a már normált – így összehasonlítható – jelleggörbék találhatók (felső – kondenzátor, alsó – ellenállás); a középső oszlopban a pontmodell szerinti értékek, még a jobb oldali oszlopban az integrálmodell által kapott eredmények oszlopdiagramja látható. A nedvesítési erőt mindig a $(-0,8) - (0,6)$ mN/mm tartományban, még a modellek szerinti értékeket egy 0-tól 14-ig terjedő intervallumon ábrázoltam, így 15.-23. ábrák szintén összevethetővé válnak.

a) Folyasztószer használata nélkül:



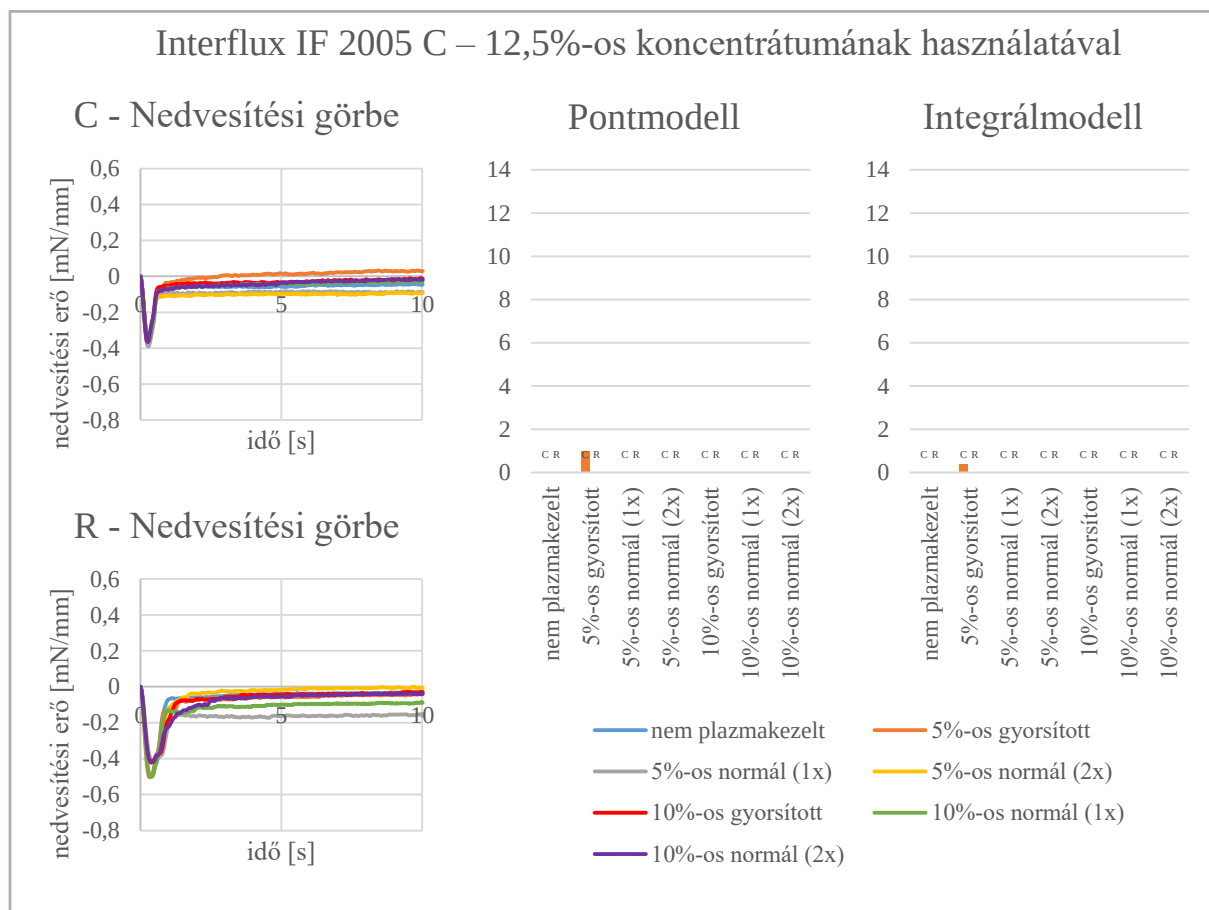
15. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – folyasztószer használata nélkül

Forrás: Saját szerkesztés

Először a plazmakezeléseket bármilyen folyasztószer használata nélkül hasonlítottam össze. A két jelleggörbét megvizsgálva, már előre tudható, hogy a két modell nem fog látható eredményt adni, hiszen valódi nedvesítés nem következik be, sőt a dewetting jelensége is megfigyelhető. A plazmatisztítás önmagában nem bizonyul hatékonynak.

A folyasztószer mentes eset után az alkoholos bázisú folyasztószerrel végzett kísérletek eredményeit részletezem. Először a jelenleg használt folyasztószer mennyiség 1/8-ának megfelelő 12,5%-os folyasztószer koncentráció használata mellett figyelem meg a plazmakezelések hatását, majd az 1/4-ének, 1/2-ének és egészének alkalmazása esetén is elemzem azokat.

b) Alkoholbázisú folyasztsó 12,5%-os koncentrációjának használatával:

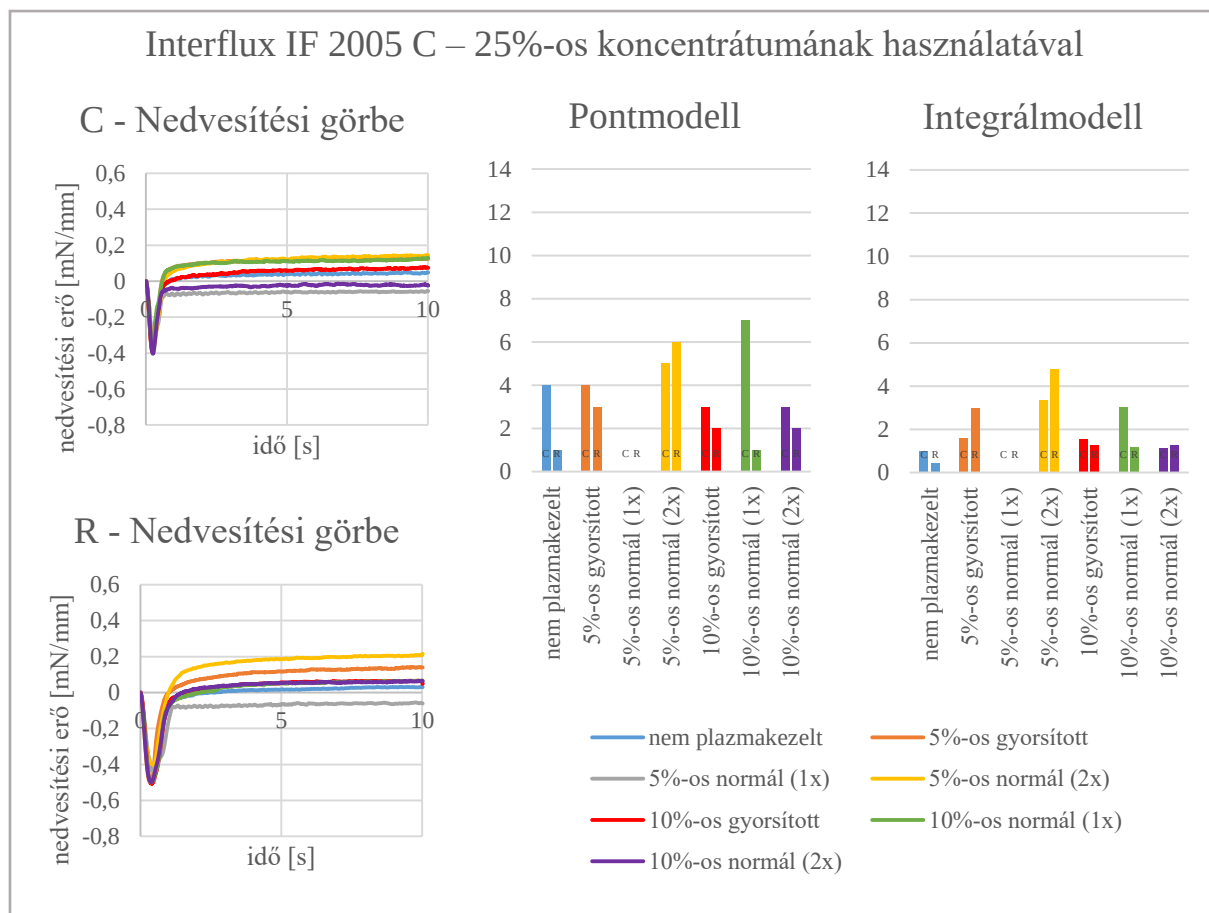


16. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 12,5%-os koncentrációjú alkoholbázisú folyasztsó használatakor

Forrás: Saját szerkesztés

A forrasztási eredmények jelleggörbéin látható, hogy nedvesítési erő továbbra is negatív tartományban marad, egyedül az 5%-os gyorsított plazmával sikerült kondenzátor esetén egy kismértékű nedvesítést elérni. Megjegyzendő, hogyha a korrigált 0-tól, vagyis a valódi nedvesítés megkezdésétől számolom az egyes modellek értékét, akkor kismértékű nedvesítésről minden esetben beszélhetünk.

c) Alkoholbázisú folyasztószer 25%-os koncentrátumának használatával:



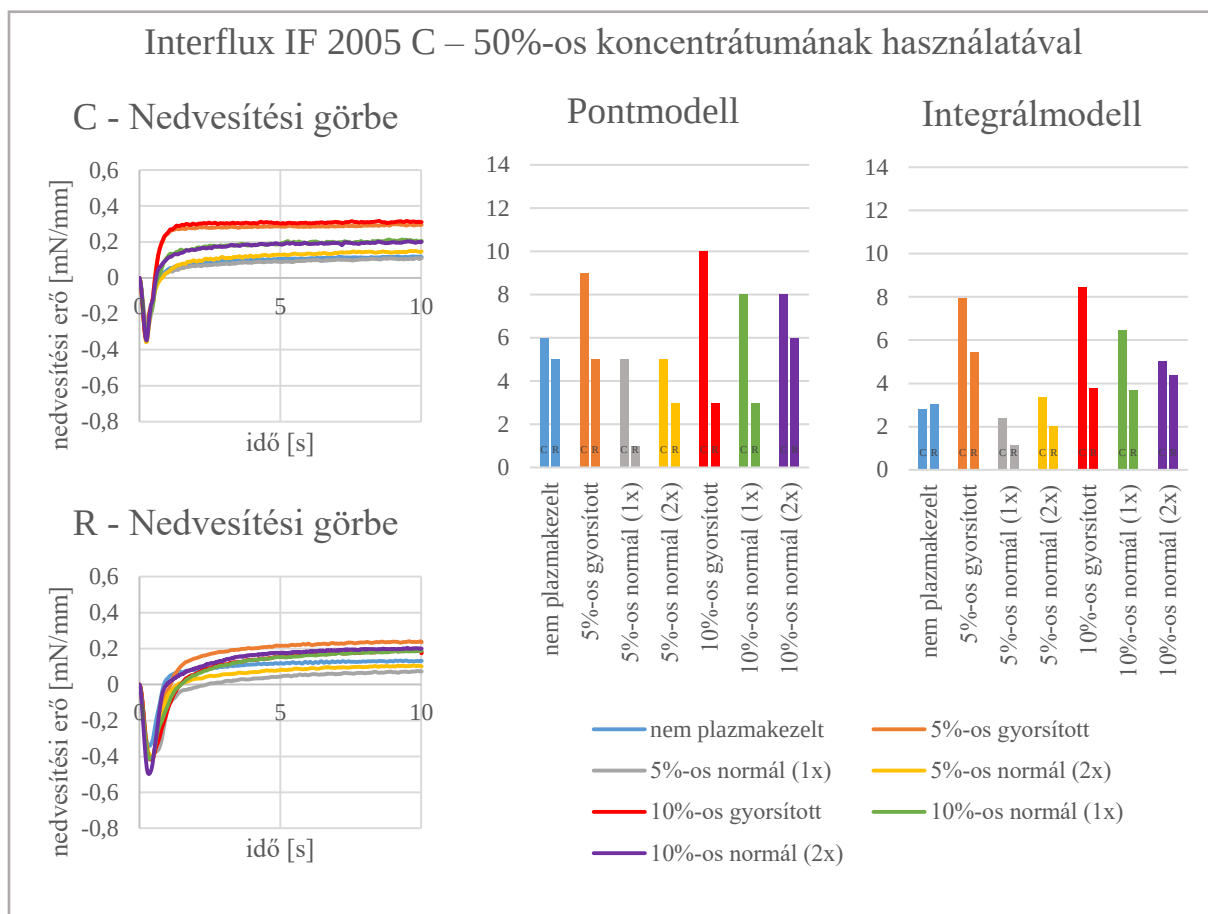
17. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 25%-os koncentrátumú alkoholbázisú folyasztószer használatakor

Forrás: Saját szerkesztés

Az egyes alkatrészek nedvesítési erejének normálása ellenére az egyes alkatrészek nem egybevágó eredményt adtak az egyes plazmakezelés hatására, ennek oka az alkatrész lábak eltérő anyagösszetételéből adódhat. Általánosan az ellenállás esetében nem lehetett olyan jó eredményt elérni, mint a kondenzátornál.

A kiemelkedő érték a 10%-os normál sebességű egyszeres plazmakezelésű kondenzátor pontmodell szerinti eredménye. Az eredmény a modellek közötti azon alapvető különbségből adódik, hogy a pontmodell nagyobb súlyt helyez a felfutás gyorsaságára. A görbét megfigyelve, ennek van a legrövidebb idejű felfutása a maximális erő eléréig.

d) Alkoholbázisú folyasztószer 50%-os koncentrátumának használatával:

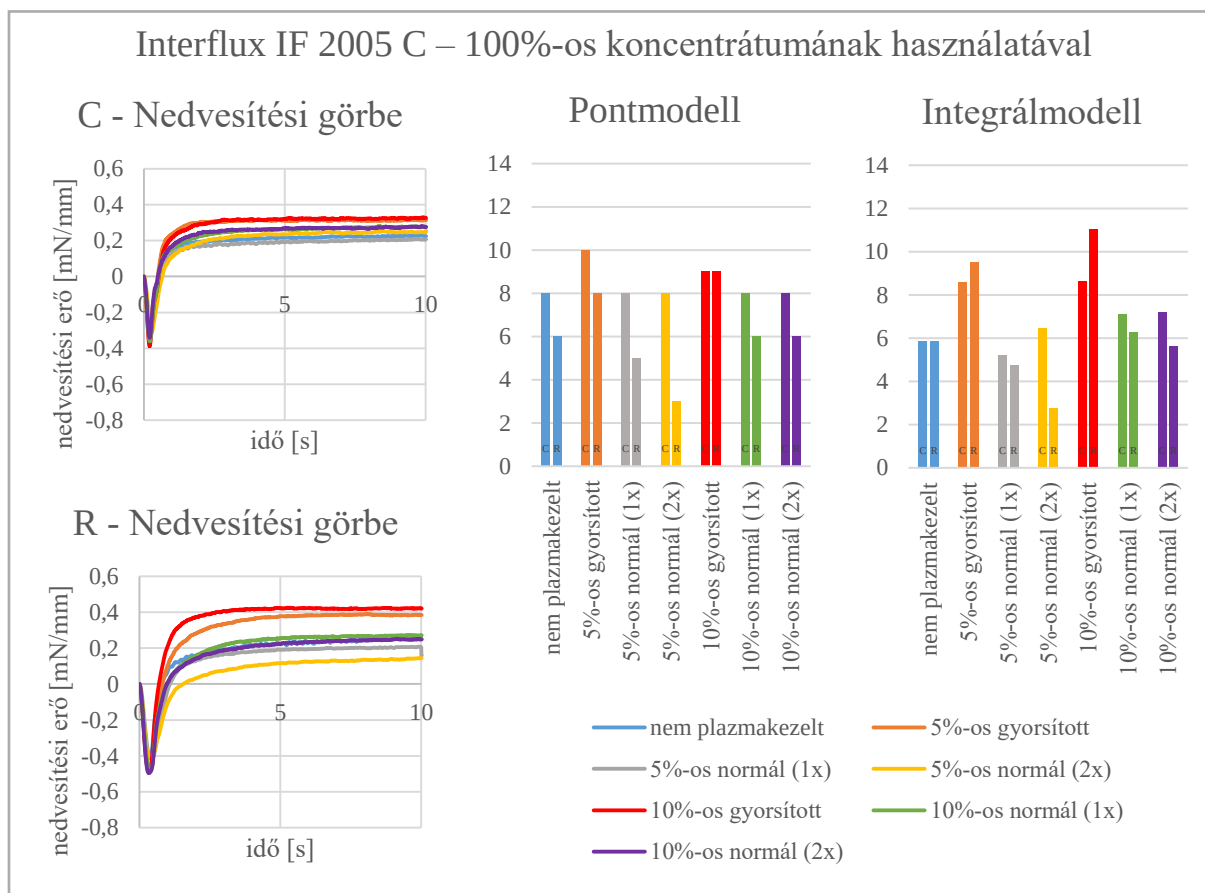


18. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 50%-os koncentrátumú alkoholbázisú folyasztószer használatakor

Forrás: Saját szerkesztés

A modellek szerinti eredményeket megvizsgálva szintén megállapítható, hogy a kondenzátor esetén jobb nedvesítés érhető el. A legjobb eredményeket a gyorsított plazmakezeléssel lehetett elérni, továbbá a 10%-os plazmagázzal kezelt alkatrészek bizonyulnak jónak.

e) Alkoholbázisú folyasztószer 100%-os koncentrátumának használatával:



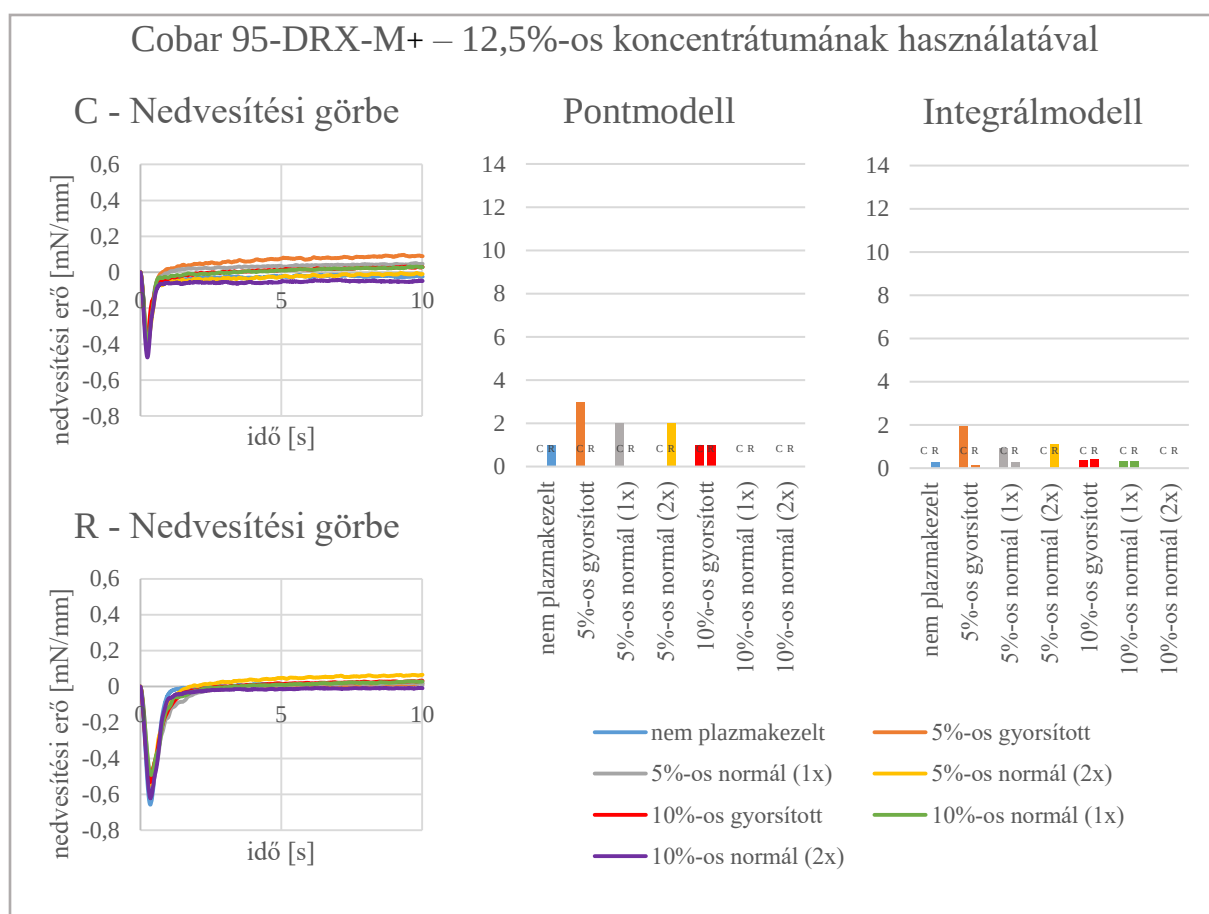
19. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 100%-os koncentrátumú alkoholbázisú folyasztószer használatakor

Forrás: Saját szerkesztés

A legjobb eredmények ebben az esetben is a gyorsított plazmakezelések mellett lettek elérve. A görbék jellegét tekintve, ismételten megállapítható, hogy a kondenzátorok jobb forrasztathatósági eredményt hoznak. Ezek az alkatrészek esetében egy konzisztensebb gyors nedvesítés jött létre, még az ellenállások eredményei nagyobb mértékben eltérnek és a kondenzátorhoz képest lassabb nedvesítés következett be.

Végül a víz bázisú folyasztószerrel végzett kísérletek eredményeit mutatom be. Ebben az esetben is először a 12,5%-os, majd a 25%-os 50%-os és 100%-os folyasztószer koncentrációk használata mellett vizsgálom a különböző paraméterbeállítású plazmák hatását.

f) Vízbázisú folyasztószer 12,5%-os koncentrációjának használatával:

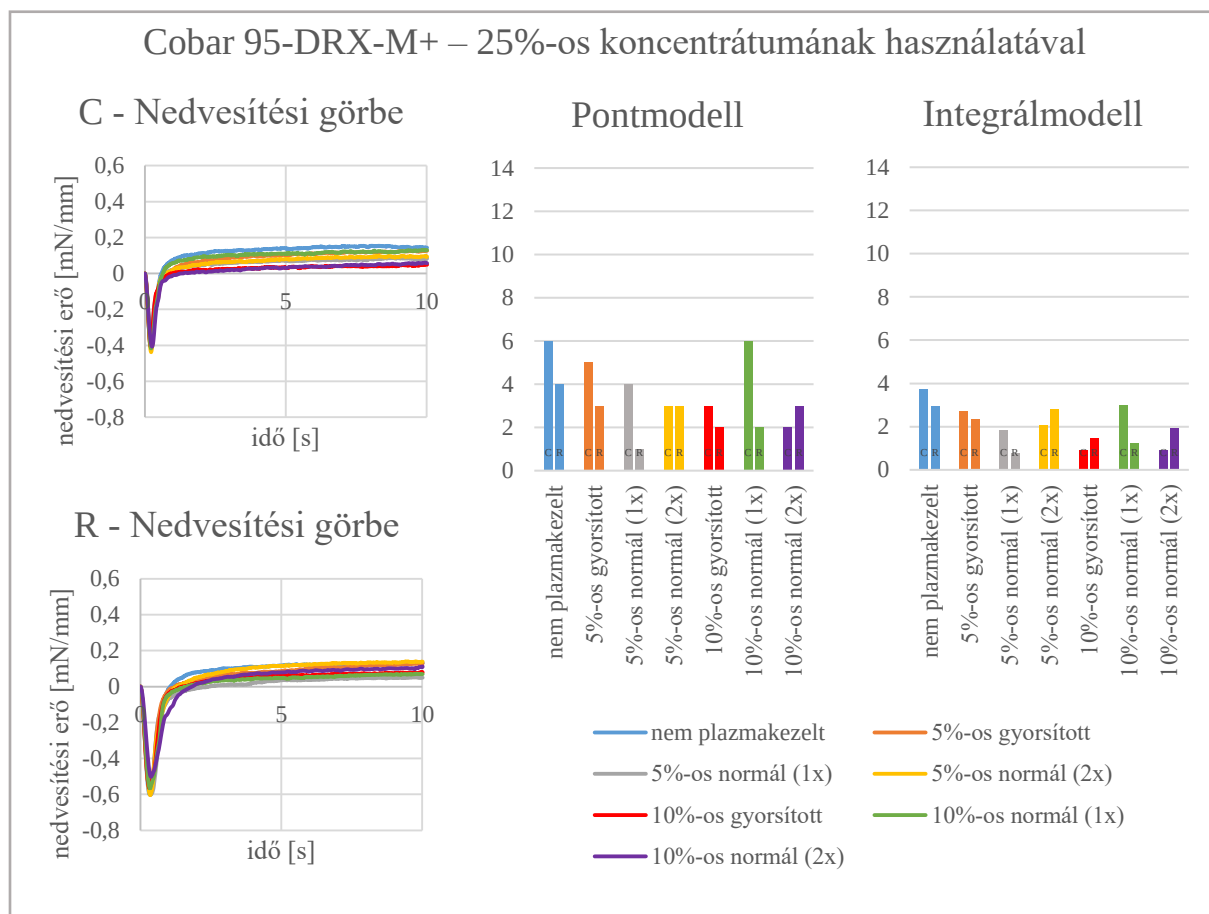


20. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 12,5%-os koncentrációjú vízbázisú folyasztószer használatakor

Forrás: Saját szerkesztés

Néhány esetben a korrigált 0 figyelembevétele nélkül is megfigyelhető kismértékű nedvesítés. A már a korábbiakban megfigyelt jobb eredményt hozó gyorsított plazmaeljárások itt is jobb eredményt biztosítanak, továbbá az 5%-os plazmagáz hozott jobb nedvesítési eredményeket.

g) Vízbázisú folyasztószer 25%-os koncentrátumának használatával:

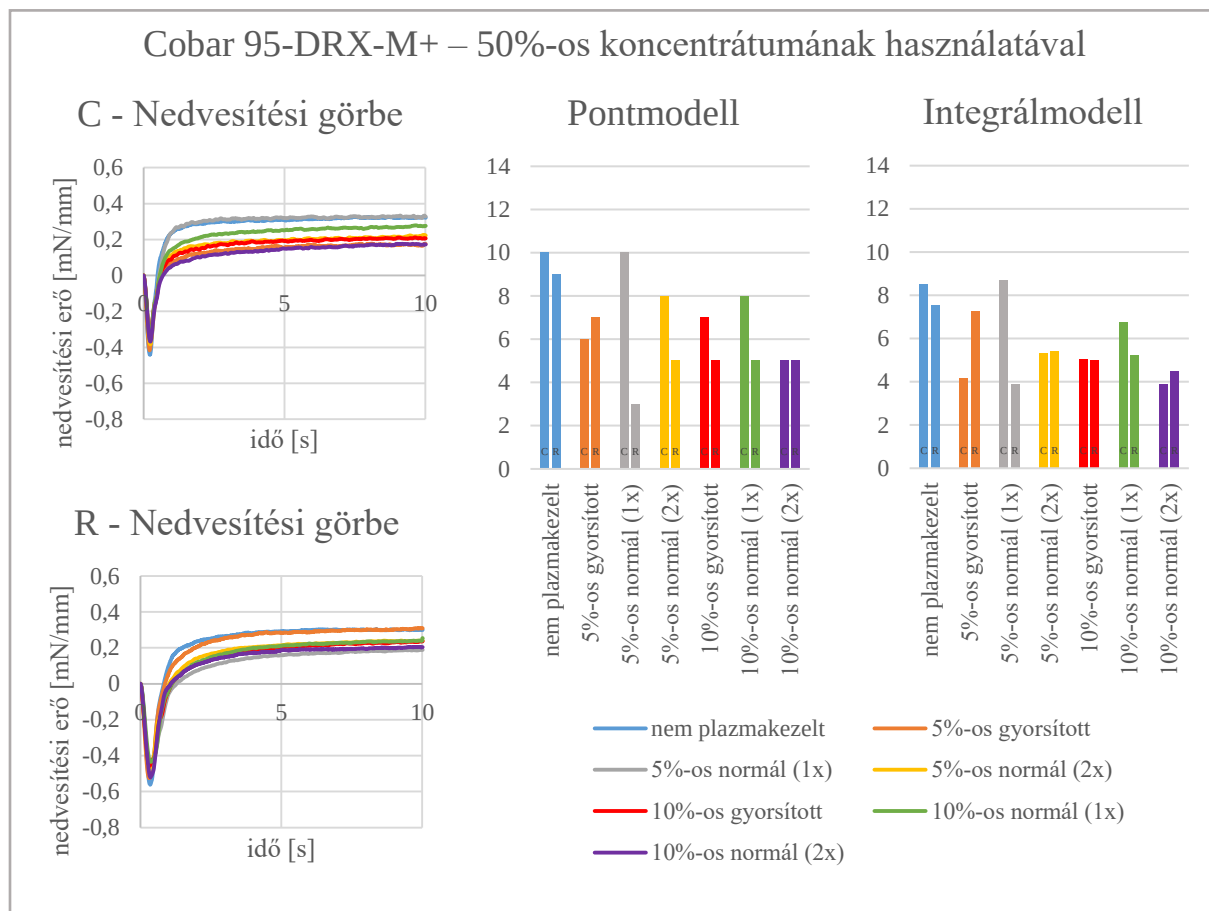


21. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 25%-os koncentrátumú vízbázisú folyasztószer használatakor

Forrás: Saját szerkesztés

Az alkohol bázisú 25%-os koncentrátumú folyasztószer (17. ábra) jellemzésekor leírt kiemelkedő érték ismételten mutatkozik. Emellett az oszlopdiaagramokról leolvasható, hogy a nem plazmakezelt eljárás, illetve az 5%-os gyorsított plazmakezelés hasonló eredményeket adnak, még a többi kezelés rosszabbnak bizonyul.

h) Vízbázisú folyasztószer 50%-os koncentrátumának használatával:

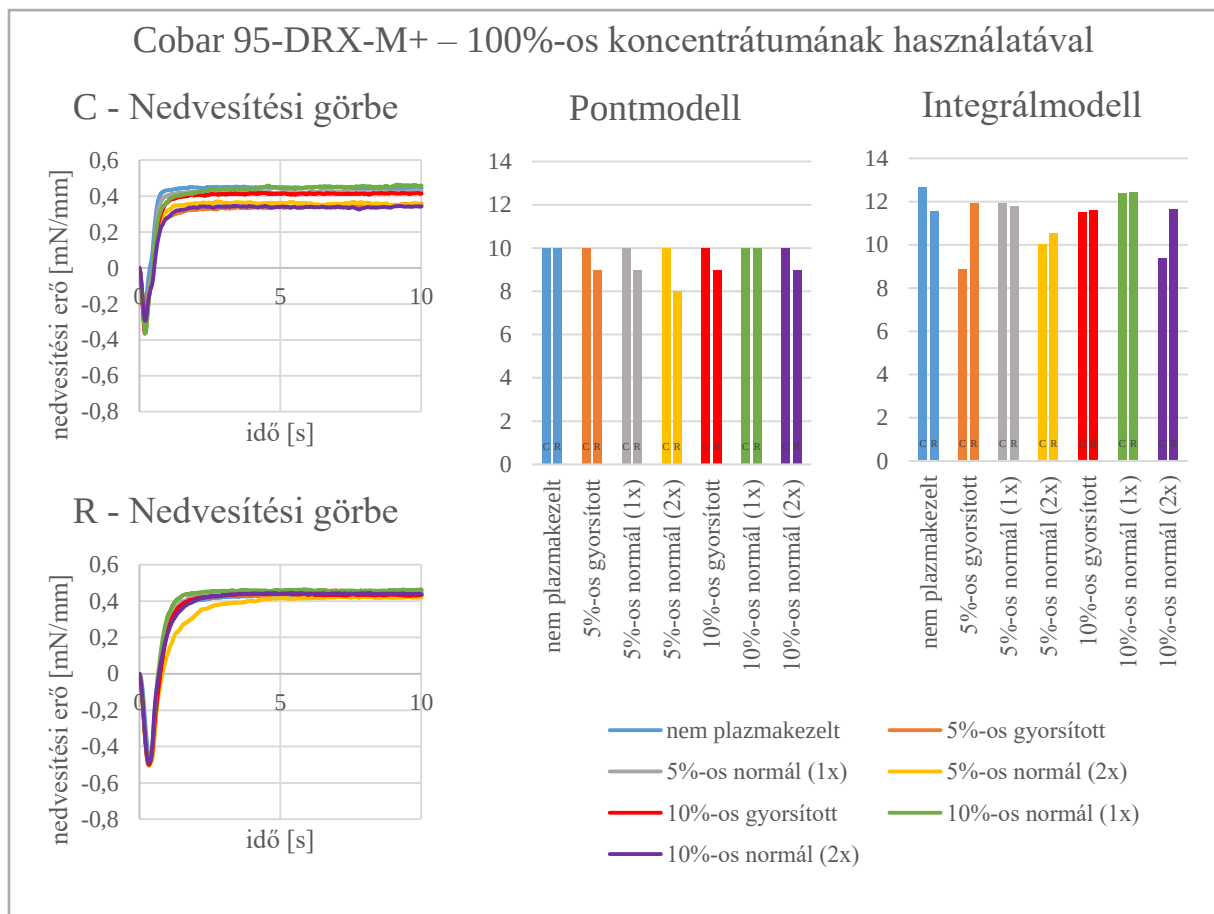


22. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 50%-os koncentrátumú vízbázisú folyasztószer használatakor

Forrás: Saját szerkesztés

A plazmakezelések modelljeit áttekintve, a nem plazmakezelt eredmények újból jobb eredményt hozott, a plazmakezelési eljárásokkal egy közel azonos az a mindenkori referencia értéknél (nem plazmakezelt) rosszabb értéket mutatnak.

i) Vízbázisú folyasztószer 100%-os koncentrátumának használatával:



23. ábra: Forrasztási eredmények különböző plazmakezelések mellett – 100%-os koncentrátumú vízbázisú folyasztószer használatakor

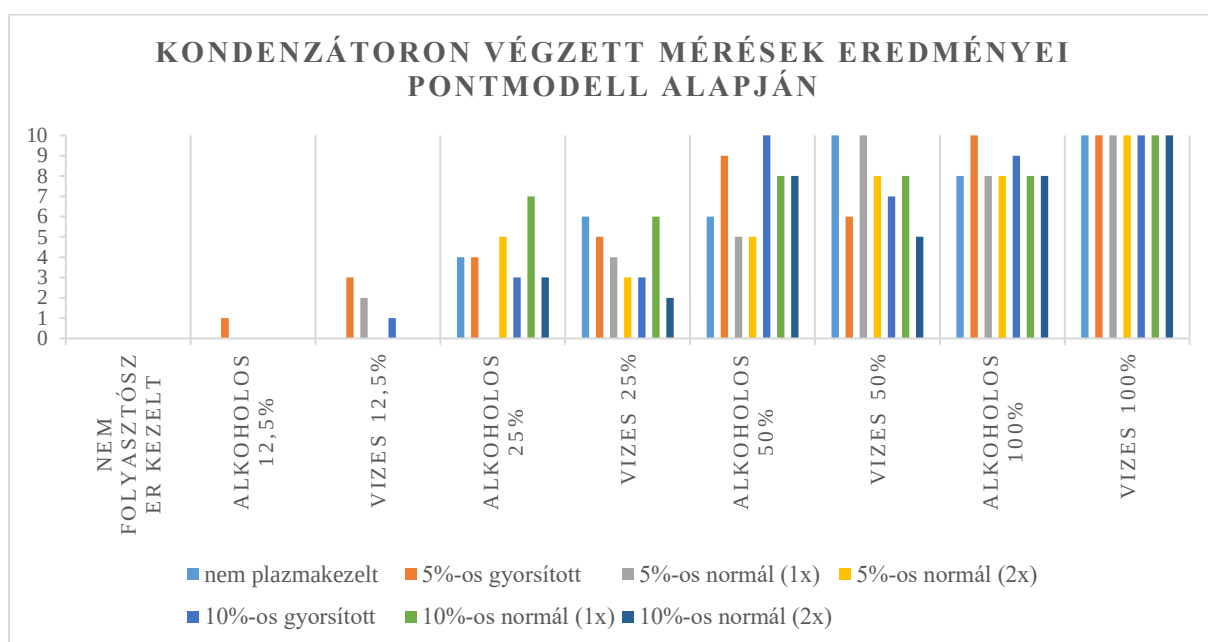
Forrás: Saját szerkesztés

A 100%-ban vízbázisú folyasztószerrel kezelt esetben szintén a nem plazmázott alkatrészekkel lett a legjobb eredmény elérve. A plazmakezelt alkatrészek tekintetében pedig a 10%-os hidrogén összetételű normál sebességgel egyszeresen kezelt plazmával született a legjobb eredmény.

A nem plazmázott alkatrészek többszöri jobb eredménye arra enged következtetni, hogy a plazmakezelési eljárás során az alkatrészek felülete megéghetett, így a felület aktivizálása helyett, további szennyeződés alakult ki a forrasztandó alkatrész lábakon.

3.5.1. A plazmakezelési módszerek eredményeinek összesítése és következtetései

Kutatási kérdéseim megválaszolásához az előbbi eredményeket az alábbi módon foglaltam össze. A két modell szerint a két alkatrésztípus eredményeit külön rendeztem a jól megjeleníthetőség miatt. A folyaszttószerk összehasonlítása miatt az azonos hígításúakat rendeztem egymás mellé.



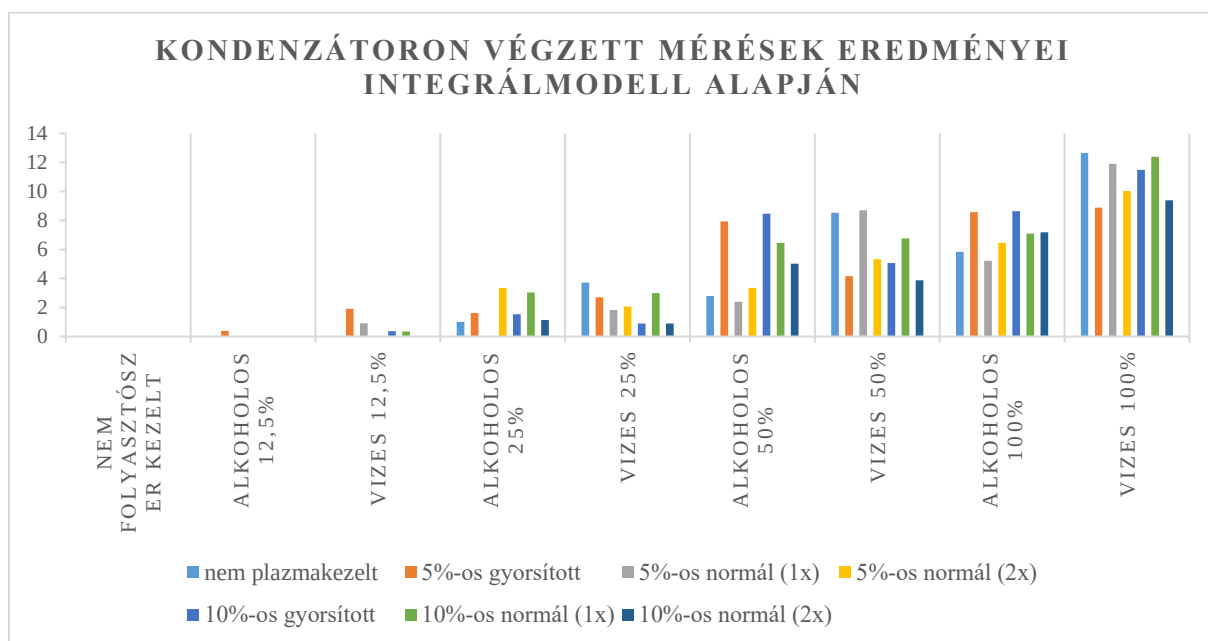
24. ábra: Kondenzátoron végzett mérések pontmodell szerinti diagramjai

Forrás: Saját szerkesztés

14. táblázat: Kondenzátoron végzett mérések pontmodell szerinti táblázata

	nem folyaszttószer kezelt	alkoholos 12,5%	vizes 12,5%	alkoholos 25%	vizes 25%	alkoholos 50%	vizes 50%	alkoholos 100%	vizes 100%
nem plazmakezelt	0	0	0	4	6	6	10	8	10
5%-os gyorsított	0	1	3	4	5	9	6	10	10
5%-os normál (1x)	0	0	2	0	4	5	10	8	10
5%-os normál (2x)	0	0	0	5	3	5	8	8	10
10%-os gyorsított	0	0	1	3	3	10	7	9	10
10%-os normál (1x)	0	0	0	7	6	8	8	8	10
10%-os normál (2x)	0	0	0	3	2	8	5	8	10

Forrás: Saját szerkesztés



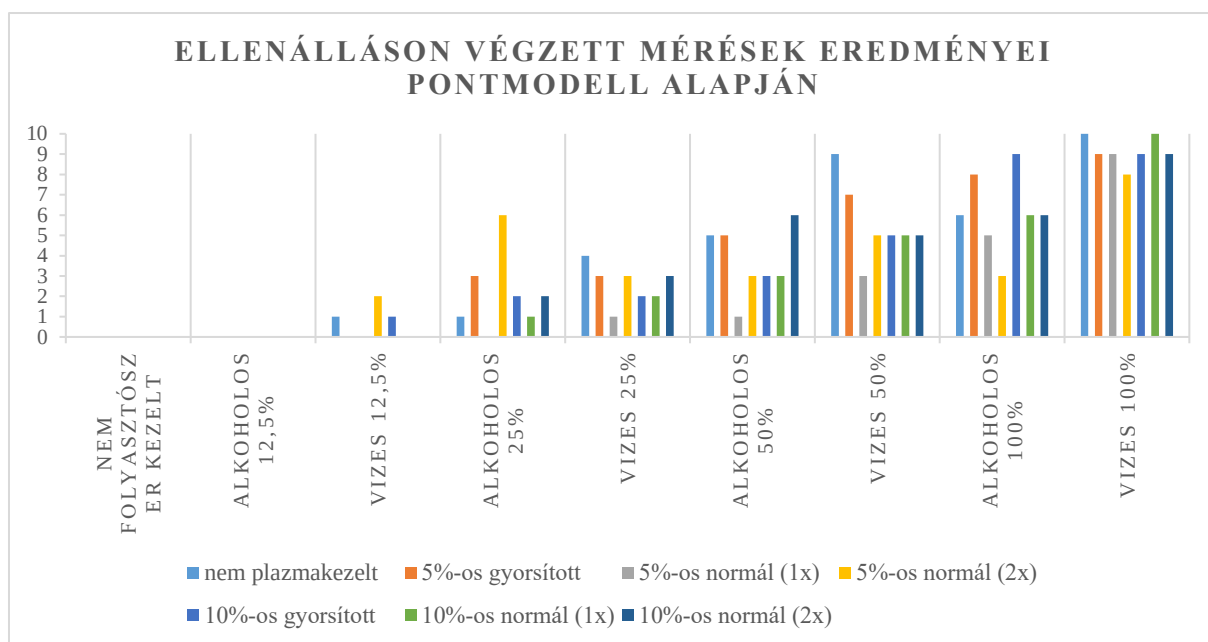
25. ábra: Kondenzátoron végzett mérések integrálmodell szerinti diagramjai

Forrás: Saját szerkesztés

15. táblázat: Kondenzátoron végzett mérések integrálmodell szerinti táblázata

	nem folyasztószer kezelt	alkoholos 12,5%	vizes 12,5%	alkoholos 25%	vizes 25%	alkoholos 50%	vizes 50%	alkoholos 100%	vizes 100%
nem plazmakezelt	0,00	0,00	0,00	1,01	3,71	2,79	8,52	5,84	12,64
5%-os gyorsított	0,00	0,39	1,91	1,62	2,71	7,93	4,17	8,57	8,87
5%-os normál (1x)	0,00	0,00	0,92	0,00	1,82	2,40	8,71	5,23	11,91
5%-os normál (2x)	0,00	0,00	0,00	3,35	2,06	3,35	5,33	6,46	10,03
10%-os gyorsított	0,00	0,00	0,37	1,54	0,88	8,46	5,06	8,64	11,48
10%-os normál (1x)	0,00	0,00	0,33	3,04	2,98	6,46	6,75	7,09	12,38
10%-os normál (2x)	0,00	0,00	0,00	1,13	0,89	5,02	3,87	7,19	9,38

Forrás: Saját szerkesztés



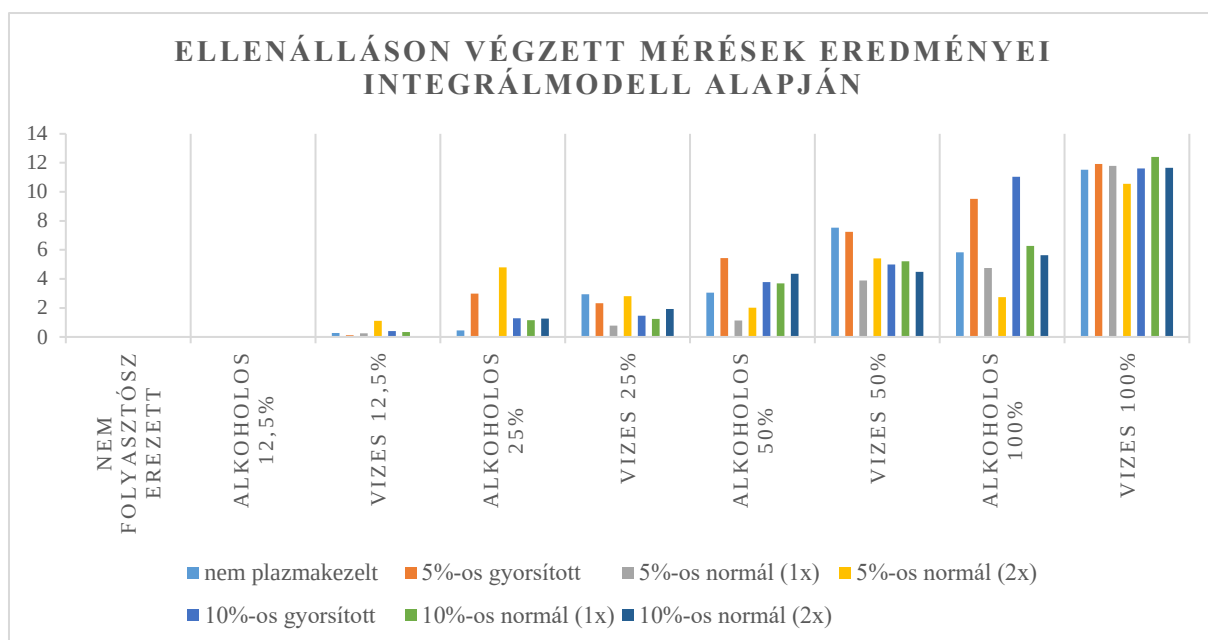
26. ábra Ellenálláson végzett mérések pontmodell szerinti diagramjai

Forrás: Saját szerkesztés

16. táblázat: Ellenálláson végzett mérések pontmodell szerinti táblázata

	nem folyasztószer kezelt	alkoholos 12,5%	vizes 12,5%	alkoholos 25%	vizes 25%	alkoholos 50%	vizes 50%	alkoholos 100%	vizes 100%
nem plazmakezelt	0	0	1	1	4	5	9	6	10
5%-os gyorsított	0	0	0	3	3	5	7	8	9
5%-os normál (1x)	0	0	0	0	1	1	3	5	9
5%-os normál (2x)	0	0	2	6	3	3	5	3	8
10%-os gyorsított	0	0	1	2	2	3	5	9	9
10%-os normál (1x)	0	0	0	1	2	3	5	6	10
10%-os normál (2x)	0	0	0	2	3	6	5	6	9

Forrás: Saját szerkesztés



27. ábra: Ellenálláson végzett mérések integrálmodell szerinti diagramjai

Forrás: Saját szerkesztés

17. táblázat: Ellenálláson végzett mérések integrálmodell szerinti táblázata

	nem folyasztószér kezelt	alkoholos 12,5%	vizes 12,5%	alkoholos 25%	vizes 25%	alkoholos 50%	vizes 50%	alkoholos 100%	vizes 100%
nem plazmakezelt	0,00	0,00	0,27	0,45	2,95	3,05	7,54	5,83	11,53
5%-os gyorsított	0,00	0,00	0,12	2,98	2,32	5,43	7,24	9,52	11,93
5%-os normál (1x)	0,00	0,00	0,26	0,00	0,78	1,13	3,89	4,76	11,78
5%-os normál (2x)	0,00	0,00	1,11	4,80	2,81	2,01	5,41	2,74	10,55
10%-os gyorsított	0,00	0,00	0,41	1,28	1,46	3,77	4,99	11,04	11,60
10%-os normál (1x)	0,00	0,00	0,33	1,16	1,24	3,69	5,21	6,28	12,41
10%-os normál (2x)	0,00	0,00	0,00	1,26	1,92	4,35	4,50	5,63	11,66

Forrás: Saját szerkesztés

K1: Milyen plazmatisztítási paraméterek mellett érhető el a legjobb forrasztási eredmény?

Az ideális forrasztási paraméter beállítás meghatározásához a 14., 15., 16. és 17. táblázatokat vettem alapul. Ahhoz, hogy rangsoroljam az egyes plazmabeállításokat, a két modell értékelési intervallumait vettem alapul, osztályzatokként értelmeztem őket. A pontmodell esetén a kiváló értékelésre 3, a jóra 2, a megfelelőre 1 és a rosszra 0 pontot adtam. Az integrálmodellnél a kiváló értékelés 3, a jó 2, a megfelelő 1, a rossz és nagyon rossz eredmények esetén 0 pontot rendeltem az eredményhez. Az egyes plazmázási beállítások osztályzatait ezután összegeztem és így rangsoroltam azokat.

18. táblázat: A plazmabeállítások rangsorolása

Rangsor	Plazmabeállítás	Összesített osztályzat
I	5%-os gyorsított	36
II	10%-os gyorsított	33
III	nem plazmakezelt	32
IV	10%-os normál (1x)	29
V	10%-os normál (2x)	26
VI	5%-os normál (1x)	24
VII	5%-os normál (2x)	23

Forrás: Saját szerkesztés

Az összesített osztályzat megmutatja, hogy átlagosan melyik beállítással érhető el a legjobb nedvesítési eredmény, ez alapján az 5% hidrogén tartalmú nitrogén gáz keverékből előállított plazma 3,3 cm/s sebességű egyszeres kezelésű plazmabeállítás bizonyult a leghatékonyabbnak.

A 18. táblázatból továbbá arra lehet következtetni, hogy a plazma sebessége nagyobb jelentőséggel bír a forrasztathóságra, mint a plazma összetétele. A nem gyorsított plazmakezelések során valószínű, hogy az alkatrészlábak több alkalommal megégtek, így azok rontottak a lábak nedvesíthetőségén a nem plazmakezelt esethez viszonyítva.

A plazmaösszetétel tekintetében általánosan a 10% hidrogéntartalmú nitrogén gázból képzett plazmák jobb nedvesítést biztosítottak, de ebből egyértelmű következtetés nem vonható azért, mert, ha azt feltételezzük, hogy az alkatrészlábak megégtek 2,3 cm/s sebesség mellett, akkor előfordulhat, hogy a 10%-os plazmagáz csupán kevésbé égette meg azokat.

K2: Van-e különbség az egyszeres és többszörösen plazmakezelt alkatrészek forrasztása között?

A kutatáshoz szükséges kísérleti paraméterek meghatározásakor 3 kezelési sebesség módot jelöltem meg. A plazmatisztító berendezés alapbeállításai szerint a lehető leglassabb kezelési sebesség 2,3 cm/s. A másik két mód megjelölésekor ezt vettem alapul. a gyorsított sebesség így lett 3,3 cm/s, illetve a többszörös (kétszeres) kezelés során is ezeket a beállításokat használtam.

A kérdés megválaszolásához a K1 következtetései elengedhetetlenek. Ezekből kiderül, hogy 2,3 cm/s sebességgel kezelt alkatrészlábak forrasztathósága rosszabb, mint a plazmakezeletlen esetben, így ez arra enged tovább következtetni, hogy az ezzel a sebességgel többszörösen

kezelt alkatrészek forraszthatósága tovább romlik, ezt bizonyítja a 18. táblázat rangsora is, melyben az azonos formálógázzal egyszeresen vagy kétszeresen kezelt alkatrészek forraszthatóságát összehasonlítva, az egyszeresen kezelték jobb forraszthatósági eredményt nyújtanak. Feltételezem, hogy mivel a gyorsabb plazmabeállítás jobb eredményt hozott a plazmakezeletlenhez képest, azt a beállítást többszörösen használva viszont a forrasztási eredmény további javulást mutatna.

3.5.2. A plazmával kezelt és kezeletlen alkatrészek forraszthatóságának összehasonlítása, következtetések

K3 és K4 kutatási kérdéseim megválaszolásához a két – jónak megítélt, tehát a plazmakezeletlen állapothoz képest jobb nedvesíthetőséget biztosító – gyorsított plazmakezelési eljárással foglalkozom a továbbiakban. A két eljárást külön-külön elemzem. Referenciának a plazmatisztítás nélküli, 100%-os, hígítatlan alkoholos (IF 2005 C) és vizes (95-DRX-M+) bázisú folyasztszert alkalmazását tekintettem. Ezeket vettem össze a plazmatisztított alkatrészek hígítás nélküli, illetve az 50, 25 és 12,5%-os koncentrátumú folyasztszert használata esetén kapott eredményekkel, hogy meghatározzam, hogy mennyivel jobb vagy rosszabb nedvesítés érhető el a plazma alkalmazásával. Ezeket az értékeket a modellek és alkatrészek szerint táblázatba foglaltam. Mivel a két módszer értékei és az egyes alkatrészek eredményei is összehasonlíthatóak egymással, így koncentrátumonként az eredmények átlagát vettem, majd azt oszlopdiagramokon ábrázoltam.

19. táblázat: 5%-os gyorsított kezelés hatása alkoholbázisú folyasztszert mellett

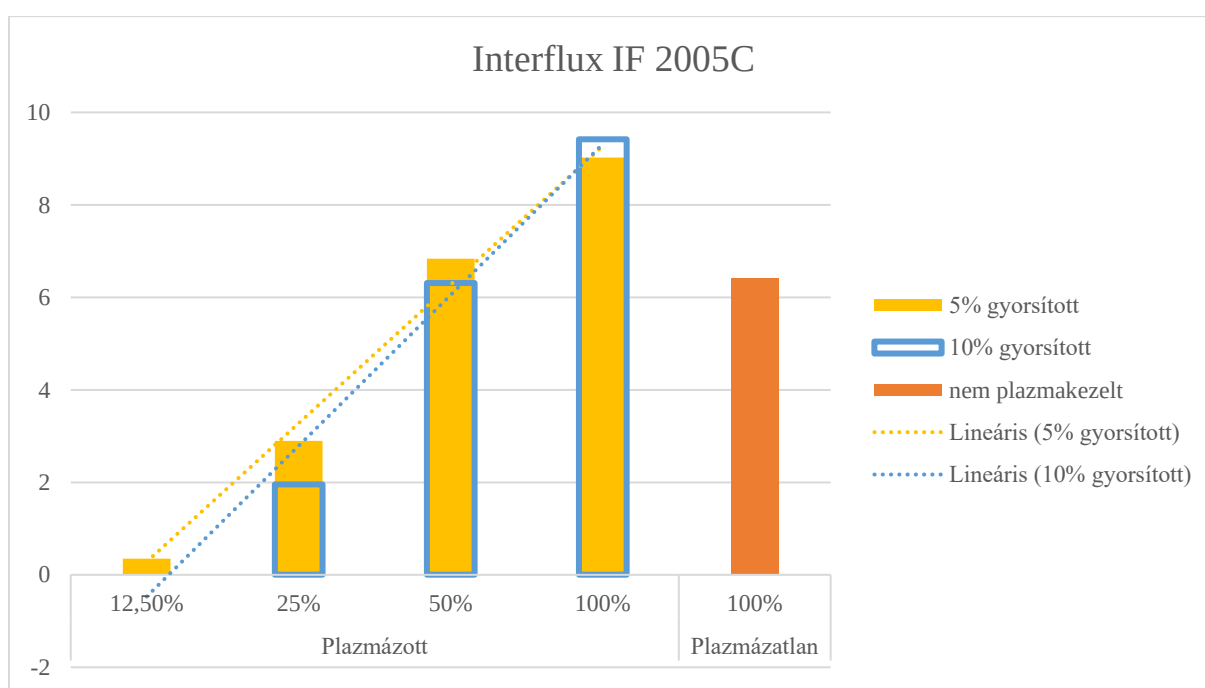
	Plazmakezelt (5%-os gyorsított)				Kezeletlen
	alkoholos 12,50%	alkoholos 25%	alkoholos 50%	alkoholos 100%	alkoholos 100%
Kondenzátor pontmodell	1	4	9	10	8
Kondenzátor integrálmodell	0,39	1,62	7,93	8,57	5,84
Ellenállás pontmodell	0	3	5	8	6
Ellenállás integrálmodell	0	2,98	5,43	9,52	5,83
Átlag	0,35	2,90	6,84	9,02	6,42

Forrás: Saját szerkesztés

20. táblázat: 10%-os gyorsított kezelés hatása alkoholbázisú folyasztószer mellett

	Plazmakezelt (10%-os gyorsított)				Kezeletlen
	alkoholos 12,50%	alkoholos 25%	alkoholos 50%	alkoholos 100%	alkoholos 100%
Kondenzátor pontmodell	0	3	10	9	8
Kondenzátor integrálmodell	0	1,54	8,46	8,64	5,84
Ellenállás pontmodell	0	2	3	9	6
Ellenállás integrálmodell	0	1,28	3,77	11,04	5,83
Átlag	0	1,96	6,31	9,42	6,42

Forrás: Saját szerkesztés



28. ábra: Gyorsított plazmakezelések hatása alkoholbázisú folyasztószer mellett

Forrás: Saját szerkesztés

21. táblázat: 5%-os gyorsított kezelés hatása vízbázisú folyasztószer mellett

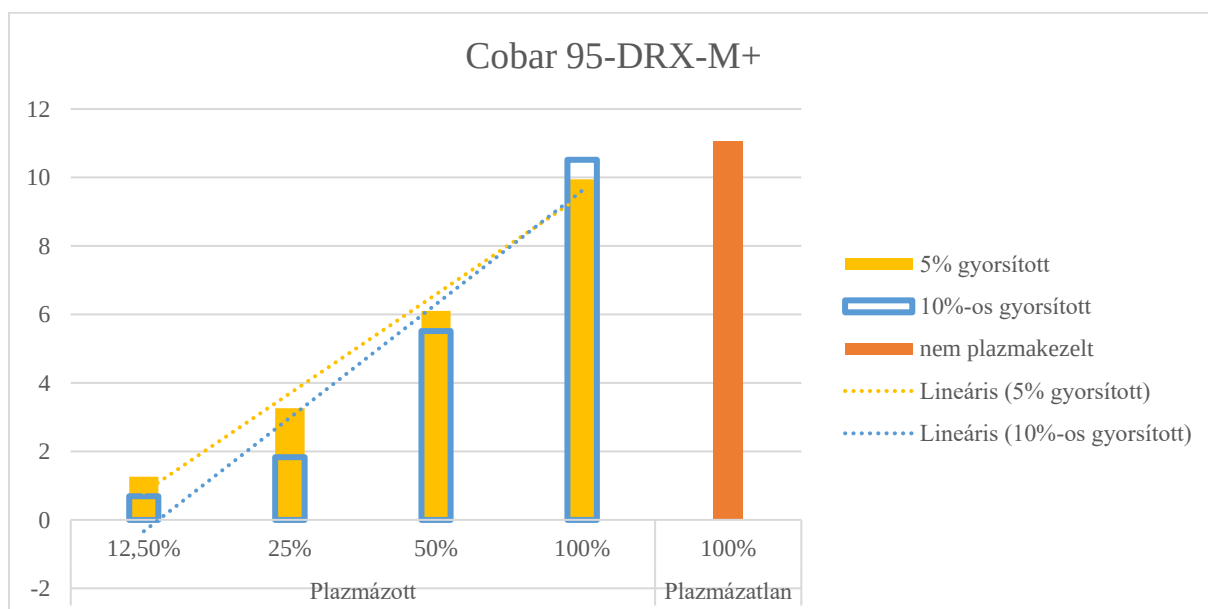
	Plazmakezelt (5%-os gyorsított)				Kezeletlen
	vizes 12,5%	vizes 25%	vizes 50%	vizes 100%	vizes 100%
Kondenzátor pontmodell	3	5	6	10	10
Kondenzátor integrálmodell	1,91	2,71	4,17	8,87	12,64
Ellenállás pontmodell	0	3	7	9	10
Ellenállás integrálmodell	0,12	2,32	7,24	11,93	11,53
Átlag	1,26	3,26	6,10	9,95	11,04

Forrás: Saját szerkesztés

22. táblázat: 10%-os gyorsított kezelés hatása vízbázisú folyasztószer mellett

	Plazmakezelt (10%-os gyorsított)				Kezeletlen
	vizes 12,5%	vizes 25%	vizes 50%	vizes 100%	vizes 100%
Kondenzátor pontmodell	1	3	7	10	10
Kondenzátor integrálmodell	0,37	0,88	5,06	11,48	12,64
Ellenállás pontmodell	1	2	5	9	10
Ellenállás integrálmodell	0,40	1,46	4,99	11,60	11,53
Átlag	0,69	1,84	5,51	10,52	11,04

Forrás: Saját szerkesztés



29. ábra: Gyorsított plazmakezelések hatása vízbázisú folyasztószer mellett

Forrás: Saját szerkesztés

K3: Meghatározó-e a folyasztószer oldószere a furatszerelt alkatrészek forrasztásakor, ha plazmatisztítási technológiát is alkalmazunk a gyártás során?

A harmadik kutatási kérdés megválaszolásához először a 24., 25., 26. és 27. ábrák elemzésére van szükség. Mindegyik ábra tekintetében az egyes koncentrációs szintek mellett többségében a vízbázisú folyasztószerrel lehetett jobb forrasztási eredményt elérni. A gyorsított kezelések további vizsgálata azonban tovább árnyalja a választ. Az az érdekes jelenség figyelhető meg, hogy míg az alkohol bázisú folyasztószer esetén (28. ábra) a plazmakezelés javított a forraszthatóságon addig a vízbázisú folyasztószerrel használva (29. ábra) nincs látható javulás a plazmázott alkatrészek forraszthatóságában.

Tehát összességében kijelenthető, hogy meghatározó a folyasztószer bázisa a furatszerelt alkatrészek forrasztásakor, ha plazmatisztítási eljárást is alkalmazunk. A hagyományos, de csökkentett szilárdanyag tartalmú Cobar DRX-95-M+ vízbázisú folyasztószerrel és a további utólagos tisztítást nem igénylő Interflux IF 2005 C alkoholbázisú folyasztószerrel végzett kísérletek alapján a plazmakezeléstől függetlenül a vízbázisú folyasztószerrel jobb eredményt lehet elérni, viszont, ha a plazmatisztítási eljárást is alkalmazzuk hasonló eredményt érhetünk el az alkoholbázisú folyasztószerrel.

K4: Csökkenthető-e, és ha igen mekkora mértékben a felvitt folyasztószer mennyisége plazmatisztítás használata mellett?

A K3 kutatási kérdésre adott válasz alapján jelentős optimalizálási eredményről csak az alkoholbázisú folyasztószer használatakor beszélhetünk. Ebben az esetben, ahogyan a 28. ábrán is látszik, gyorsított plazmakezelést alkalmazva a felhasznált folyasztószer a felére csökkenthető.

4. Összefoglalás, javaslatlétélek, további kutatási területek megjelölése

Kutatásaim alapján megállapítható, hogy a plazmakezelés fő meghatározója a plazmakezelési sebesség. Eredményeimből kiderült, hogy a gyorsított (3,3 cm/s) eljárással érhető el jobb nedvesítési eredmény, ezért javaslom a kezelési sebesség további növelésével elért nedvesíthetőségi vizsgálatokat.

A 28. és 29. ábra a két plazmakeverék (5% és 10% hidrogéntartamú nitrogénből képzett plazma) gyorsított sebességű hatását vizsgálta. Az összehasonlítás fő célja az volt, hogy rámutasson, hogy az adott bázisú folyasztószer koncentrációjának csökkentésével sikerül-e továbbra is olyan nedvesítési eredményt elérni, mint a hígítatlan folyasztószer használata melletti plazmakezeletlen alkatrészeknél. Tovább megvizsgálva az egyes keverékek eredményeit, az tapasztalható, hogy míg az 10%-os esetén a 100%-os folyasztószerrel jobb nedvesítés érhető el, addig az eredményekre illeszthető lineáris trendvonalak eltérő meredeksége miatt, az 5%-os keverék eredménye a felére csökkentett folyasztószer mennyiséget vizsgálva jobb eredményt ad. További kutatás szükséges a plazmakeverék összetételének hatásvizsgálatára.

Habár a 10%-os plazmakeverék esetében 100%-os folyasztószer használata mellett jobb nedvesíthetőség érhető el, az alacsonyabb koncentrációjú folyasztószer alkalmazásakor az 5 %-os plazmatisztítás következtében kisebb mértékben romlanak az eredmények. Ezért a 50 és 25 és 12,5%-os hígításokat megvizsgálva az 5%-os plazma mondható effektívebb keveréknek. Ezt az eltérést bizonyítja az ábrákon látható trendvonalak meredeksége közötti különbség is.

A kísérletek arra is rámutattak, hogy csak az alkoholbázisú folyasztószer használata mellett van jelentős eredménye a plazmatisztításnak. Ezt a kombinált tisztítási technológiát alkalmazva hasonló eredmények kaphatóak, mint a plazmakezeletlen vízbázisú hígítatlan folyasztószerrel kezelt alkatrészek esetén.

Eredményeim alapján, a vizsgált eljárások közül, így az 5% gyorsított plazmabeállítást javaslom a TH alkatrészek kezelésére, mert ezzel a jelenleg felhasznált alkoholos folyasztószer mennyiségét felére lehetséges csökkenteni. Ez azért bír ipari jelentőséggel, mert a technikát alkalmazva nem csak a folyasztószer mennyisége csökken drasztikusan, de mivel a módszer további tisztítást nem igénylő folyasztószerrel működőképes, így nincs szükség későbbi vegyi mosásra sem, egy sokkal környezetbarátabb megoldásról beszélhetünk.

A teljes gyártósori folyasztószer felvitel optimalizálása érdekében további kísérleteket javaslok az SMD alkatrészek és a nyers panelok plazmatisztítással való kezelésére is.

5. Hivatkozások

- Al-Ma'aiteh, T., Krammer, O., & Illés, B. (2021.). Transient Numerical Modelling of the Pin-in-Paste Technology. *Applied Sciences*, 11(10), 4670.
- Amerikai Kereskedelmi Kamara (AmCham) Elektronikai Gyártók Bizottsága. (2019). *Elektronikai Gyártás*. Debrecen: Ábrahám László, NI Hungary ügyvezető igazgató, AmCham Elektronikai Gyártók Bizottság elnöke.
- AntiTeck Life Sciences Limited. (2022.). Letöltés dátuma: 2022. november 25, forrás: <https://antiteck.com/hu/plazma-tiszt%C3%ADt%C3%B3-2/>
- Aurion Anlagentechnik GmbH. (2022.). Letöltés dátuma: november. 25., forrás: <https://aurion.de/en/plasma-systems.html>
- Australian Vacuum Services Pty Ltd. (2022.). Letöltés dátuma: 2022. november 26., forrás: <https://plasmamatreatment.co.uk/products-services>
- Aziz, M., Abdullah, M., Khor, C., Azid, I., Jalar, A., & Ani, F. (2017.). Influence of printed circuit board thickness in wave soldering. *Scientia Iranica*, 24(6), 2963-2976.
- Bagyinszki, G., & Bitay, E. (2009.). *Felületkezelés*. Kolozsvár: Az Erdélyi Múzeum-Egyesület.
- Balver Zinn - Cobar. (2021.). 95-DRX-M+. Letöltés dátuma: 2022. augusztus 11., forrás: https://www.balverzinn.com/files/userdata/produkt/flussmittel/produktdatenblatt/PDS_95-DRX-M%2B_EN.pdf
- Balver Zinn - Cobar. (2022.). Letöltés dátuma: 2022. december 12., forrás: <https://www.balverzinn.com/en/>
- Berntson, R., Lasky, R., & Pfluke, K. (2004.). Through-Hole Assembly Options for Mixed Technology Boards. *Indium Corporation of America* . Utica.
- Diener electronic GmbH + Co. KG. (2022.). Letöltés dátuma: 2022.. november 25., forrás: <https://www.plasma.com/en>
- DONGGUAN KEQI AUTOMATION EQUIPMENT CO. LTD. (2022.). Letöltés dátuma: 2022. november 25., forrás: <https://www.gluingsystem.com/plasma-treatment-equipment.html>

- Dr. Bánhegyi, G. (2011.). Műanyagok felületének kezelése plazmával. *Műanyagipari szemle*, 2011(3).
- Dr. Halmai, A., & Dr. Samu, K. (2014.). *Mikromechanika*. BME MOGI.
- Európai Bizottság. (2023.). *Restriction of Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS)*. Letöltés dátuma: 2023. április, forrás: An official website of the European Union: https://ec.europa.eu/environment/waste/rohs_eee/index_en.htm
- Európai Bizottság. (2023.). *Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE)*. Letöltés dátuma: 2023. március 14., forrás: An official website of the European Union: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en
- Fonseka, C., & Jayasinghe, J. (2019.). Implementation of an Automatic Optical Inspection System for Solder Quality Classification of THT Solder Joints. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 9(2), 353-366.
- Groves, E., & Wol, J. (2017.). Choosing the Correct Flux - Types and Their Advantages/Disadvantages. *SMT Surface Mount Technology Magazine*, 32(1), 102-111. Letöltés dátuma: 2022. október 8.
- Horowitz, P., & Hill, W. (2015.). *The Art of Electronics, Third Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Interflux Electronics. (2020.). IF 2005C. Letöltés dátuma: 2022. augusztus 10., forrás: IF 2005C: <https://cdn.interflux.com/documents/products/IF-2005C/TD-IF-2005C-EN.pdf>
- Interflux Electronics. (2022.). Letöltés dátuma: 2022. december 10., forrás: <https://interflux.com/en/products/soldering-fluxes>
- Jung, D.-H., & Jung, J.-P. (2019.). Review of the wettability of solder with a wetting balance test for recent advanced microelectronic packaging. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 44(4), 324-343-.
- Kelar, J., Shekargoftar, M., Krumpolec, R., & Homola, T. (2018.). Activation of polycarbonate (PC) surfaces by atmospheric pressure plasma in ambient air. *Polymer Testing*, 67, 428-434.

- KEYLINK TECHNOLOGY CO. LTD. (2022.). Letöltés dátuma: 2022. november 26., forrás:
<https://www.keylinktech.com/>
- MAP PAMMINGER GMBH. (2022.). Letöltés dátuma: 2022. november 25., forrás:
<https://www.teilereinigung-pamminger.at/reinigungsanlagen/>
- Marshall, A. (2020.). Explanation of Low Pressure Plasma Cleaning. ineto. Forrás:
<https://www.ineto.co.uk/explanation-of-low-pressure-plasma-cleaning-ikb-014/#:~:text=Low%20Pressure%20Plasma%20Cleaning%20involves%20the%20removal%20of,mixtures%20such%20as%20air%20and%20Hydrogen%20%2F%20Nitrogen.>
- Mui, T., Silva, L., Prysiashnyi, V., & Kostov, K. (2017.). Surface modification of aluminium alloys by atmospheric pressure plasma treatments for enhancement of their adhesion properties. *Surface and Coatings Technology*, 312, 32-36.
- Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság. (2017.). IEC 61190-1-3 International standard - Requirements for electronic grade solder alloys and fluxes and non-fluxed solid solder for electronic soldering applications. Geneva.
- Nemzetközi Szabványügyi Szervezet. (2016). ISO 9454-1 Soft soldering fluxes - Classification and requirements - Part 1: Classification, labelling and packaging.
- Nordson Corporation. (2022.). Letöltés dátuma: 2022. november 25., forrás:
<https://www.nordson.com/en/divisions/march/products/plasma-treatment-systems>
- PLASMA ELECTRONIC GmnH. (2022.). Letöltés dátuma: 2022.. november 25., forrás:
<https://plasma-electronic.com/en/plasma-devices/>
- Plasma Etch. (2022.). Letöltés dátuma: 2022. november 26., forrás:
https://www.plasmaetch.com/?gclid=CjwKCAjwzY2bBhB6EiwAPpUpZrjIeDyuS2N-T2JTk8F0uESZL3oV_eoR71CJHbDITYDYHMvfVbX7yhoCT8kQAvD_BwE
- Plasmatreat GmbH. (2022.). Letöltés dátuma: 2022. január 15., forrás:
<https://www.plasmatreat.com/plasma-system-components/plasma-generators/plasma-generator-fg5001.html>
- Plasmatreat GmbH. (2022.). Letöltés dátuma: 2022.. november 25., forrás:
https://www.plasmatreat.com/plasma-treatment/plasma-pretreatment/plasma-activation_surface-activation.html

- Rádai, S. (2010). A forrasztástechnika egyik ősi problémája: Az ionos szennyeződések. Letöltés dátuma: 2022. november 10., forrás: https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/Ionos_szennyezés_RadaiS.pdf
- Regős, P. (2006.). A forraszthatóság és a forraszthatóság vizsgálata. *ELEKTRONet*, XV.(7.), 65-68.
- Reylon Plasma GmbH. (2022.). Forrás: <https://www.reylon-plasma.com/products/?lang=en>
- Sasmazel, H., Alazzawi, M., & Alsaheb, N. (2021). Atmospheric Pressure Plasma Surface Treatment of Polymers and Influence on Cell Cultivation. *Molecules*, 26(6), 1665.
- Seidel, R., Leibold, F., Thielen, N., & Franke, J. (2020.). Prediction of the Solder Rise in Selective Wave Soldering Comparing Decision Tree and Logistic Regression. *2020 43rd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, old.: 1-7. Demanovska Valley: IEEE.
- Shenzhen Fangrui Technology Co. Ltd. (2022.). Letöltés dátuma: 2022. november 26., forrás: https://www.fariplasma.com/vacuum-plasma-cleaner/?gclid=CjwKCAjwzY2bBhB6EiwAPpUpZtb3vzxvWwXfxHd_xMRqUYJ-LeM9LnXoludGmeInUjHJGNanXvlFMhoC1CgQAvD_BwE
- Stannol GmbH. (2017). *Standards for soldering fluxes*. Letöltés dátuma: 2023. február 20., forrás: Soselectronic: https://www.soselectronic.com/a_info/resource/pdf/ine/Fluxes_EN.pdf
- Stannol GmbH. (2023. január 6.). Letöltés dátuma: 2023. január 6., forrás: <https://www.stannol.de/en/index.html>
- Thanu, D., Srinadhu, E., Zhao, M., Dole, N., & Keswani, M. (2019). Chapter 8 - Fundamentals and Applications of Plasma Cleaning. In *Developments in Surface Contamination and Cleaning: Applications of Cleaning Techniques* (old.: 289-353.). Elsevier.
- Tuo, C., Yao, Z., Liu, W., Liu, S., Liu, L., Chen, Z., . . . Cao, X. (2021). Fabrication and characteristics of Cu@Ag composite solder preform by electromagnetic compaction for power electronics. *Journal of Materials Processing Tech.*, 292, 117056.
- Ulbrich Kft. (2022.). Letöltés dátuma: 2022.. november 26., forrás: <https://www.ulbrich.hu/plazma-berendezesek-feluletkezeleshez>

Xu Ph.D, F., Farrell, R., & Mohanty Ph.D., R. (2015.). *To Quantify a Wetting Balance Curve*.
West Haven: Enthone Inc.