

Vízkezelésre közvetlenül alkalmazható klórmentes és lúgszegény ferrátkoncentrátumok előállítása és hosszútávú eltarthatóságának, valamint szállíthatóságának biztosítása

Horváth Ádám, Holofon Zrt

Abstract

A Holofon Műanyag Újrahasznosító, Alapanyaggyártó és Forgalmazó Zártkörűen Működő Részvénytársaság és az Imsys Mérnöki Szolgáltató Korlátolt Felelősségű Társaság kutatás-fejlesztési támogatást nyert el „Vízkezelésre közvetlenül alkalmazható klórmentes és lúgszegény ferrátkoncentrátumok előállítása és hosszútávú eltarthatóságának, valamint szállíthatóságának biztosítása” című projekt megvalósítására.

A fejlesztés célja nátrium- vagy kálium-ferrátot nagy koncentrációban tartalmazó termék előállítása olyan formában, amely közvetlenül alkalmazható vízkezelésre. Az e célra történő hatékony alkalmazhatóság két igen fontos feltétele, hogy a termék klórmentes legyen és legfeljebb csekély mennyiségű lúgot tartalmazzon. A lúgos ferrátoldatok elektrokémiai előállítására már léteznek módszerek, amelyeknek számos előnyük van az ún. nedves kémiai eljárással szemben, pl. az elektrokémiai módszerrel előállított oldatokban lényegesen kevesebb szennyező anyag fordul elő. A projekt keretében megoldandó egyik fontos kutatási feladat a ferrát-oldatok elektrokémiai úton történő előállításának tökéletesítése. Sajnos, az elektrokémiai módszerrel előállított oldatok esetében is súlyos problémát jelent a jelentős lúgtartalom. Ismeretes, hogy a ferrátok víztisztításhoz történő hatékony alkalmazására a $7 < \text{pH} < 10$ tartomány a legalkalmasabb. Ez azt jelenti, hogy az alkalmazás során a lúgos oldatot semlegesíteni kell, ami jelentősen növeli a költségeket. Ezért fontos feladat lenne a nátrium- vagy kálium-ferrát-tartalmú terméknek az elektrokémiai úton előállított oldatokból kiinduló, minél kevesebb lúgot tartalmazó koncentrátumként történő előállítása.

A projekt keretein belül további célkitűzésünk, hogy anyagkutatással és kísérleti fejlesztési tevékenységgel olyan műanyag alapanyagot keressünk, amely ellenáll a lúgos közegnek és képes a ferrát redox potenciálját megtartani.

A Solver Unio Kft. a csomagolóanyaggal kapcsolatos irodalom és szabadalomkutatást, a csomagolás és a csomagológép megtervezését, illetve a csomagolóanyag anyagtudományi vizsgálatait végzi. A csomagolás módját 5 g tömegű, 30% nedvességtartalmú K-ferrát

alapanyag adagolására és tárolására kell meghatározni úgy, hogy a redox potenciál csökkenése a 10%-ot lehetőleg ne haladja meg.

A FERRÁT (VI) SZEREPE A VÍZTISZTÍTÁSBAN

A ferrát (VI) a vas oxidált formái közé tartozik, amely a közelmúltban komoly figyelmet kapott rendkívüli oxidációs képessége miatt. Napjainkban a ferrát (VI) környezetbarát módszerként szolgál a mérgező vegyületek széles skálájának vízben való eltávolítására. A ferrát (VI) megoldhatja a környezetre káros szerves és szervetlen vegyületek eltávolítását nagy kapacitása miatt. A ferrát (VI) a többi jelenlegi oxidálószerrel összehasonlítva olcsó és alacsony kockázatú. Három módszert fejlesztettek ki a ferrát (VI) előállítására, beleértve az (1) elektrokémiai eljárást, (2) termikus eljárást, és (3) kémiai módszert. Az analitikai módszerek felhasználhatók a ferrát (VI) típusok kapacitásának és szerkezetének jellemzésére is. A ferrátot (VI) oxidálószerként, koagulánsként és fertőtlenítőszerként is használhatjuk víz- és szennyvízkezelésben. A ferrátot (VI) alkalmazzák olyan szennyező anyagok, mint például gyógyszerek, ammónium, cianidok, szulfidok, foszfátok, arzén, ösztrogének, anilinek és fenolok eltávolítására. Számos tanulmányt készült a ferrát (VI) előállításáról 1950 és 1960 között. A víz és szennyvízkezelés céljából történő felhasználás tanulmányozása azonban az elmúlt évtized óta jellemző.

A vas különböző oxidációs állapotai számos alkalmazásban megjelennek, például mágneses pigmentek, katalizátorok és mágneses folyadékok előállításánál. Az amorf vas-oxidokat előszeretettel használják az egyes iparágakban, valamint a víztisztítási technológiákban. Az elmúlt években a nanorészecskék formájában képződő vas-oxidok számos technológiai alkalmazásban egyedülálló tulajdonságokat mutattak. A vas nanorészecskék és a vas-oxidok oxigénnel és hidrogén-peroxiddal kombinálva ígéretes eredményeket mutatnak az oxidációnak ellenálló vegyületek oxidációjában. A három stabil 0, +2 és +3 vas-oxidációs állapot mellett a magasabb oxidációs állapotba való emelkedés is megfigyelhető erős oxidáló képességű környezetben (pl. +8, +6, +5, +4, stb.). Ezeket a vas oxidációs állapotokat ferrátnak nevezik. A ferrátok közül a +6 oxidációs állapot viszonylag stabil és könnyebben szintetizálható a többihez képest. Meg kell jegyezni, hogy a +4 és +5 oxidációs állapotok aktivitása magasabb, mint a +6 állapot. A ferrátok alkalmazása a modernkori szennyező anyagok, mint például az arzén, az ösztrogén és a kibocsátott gyógyszerek környezetbe történő eltávolításában jól ismert. A ferrátokat a közelmúltban zöld kémiai vegyületként tartják számon a fent említett szerves vegyületek eliminálása, valamint a mérgező hulladék vízből való eltávolítása végett.

A FERRÁT (VI) ELŐÁLLÍTÁSI MÓDSZEREI

A mai napig a ferrátok (VI) preparatív, azaz kémiai módszerei „száraz” és „nedves” folyamatokba csoportosíthatók, amelyeket az elektroszintézis számos változata egészít ki. Az előbbi a vas-fém vagy vas-oxidok / -hidroxidok erős oxidálószerrel (alkáli-nitrátok, peroxidok, szuperoxidok) való reakciója szilárd állapotban vagy olvadékban. Mivel a kapott reakcióelegyek feldolgozása nehéz, és nem hoz létre tiszta vegyületeket, amelyek elfogadható hozammal rendelkeznek, a termékeket nyers oxidálószerként használjuk. A leggyakrabban használt „nedves eljárás” még mindig a Fe(II)- vagy Fe(III)-sók vagy oxidok / hidroxidok hipoklorittal történő oxidálása erősen lúgos oldatban. Más oxidáló szerek, így pl. a peroxiszulfátok stb. gyenge eredményt adnak. Az elektroszintézist szintén erősen lúgos oldatban végezzük NaOH vagy NaOH / KOH alkalmazásával, mint elektrolitok. A feldolgozás a $K_2[FeO_4]$ kicsapódásán alapul, amelyet ezután más sókká alakíthatunk. Figyelemre méltó, hogy a mai napig a ferrátokat (VI) kereskedelmi forgalomban kínálják a finom kémiai piacon, azonban nagyobb mennyiségben ritkán elérhető. A $[FeO_4]$ „hiánya” több mint két évszázadon át kihívást jelentett a kísérletezők számára. A ruténium- és ozmium-kémiai analógokhoz, a $[RuO_4]$ és $[OsO_4]$ -hoz való könnyű hozzáférés számos szintetikus kísérletet váltott ki, amelyek eddig nem voltak sikeresek. A sikertelen munka nagy része valószínűleg nem publikált. Számos újabb elméleti tanulmány azonban rávilágított a megfoghatatlan és még „nem létező” $[FeO_4]$ molekula (az alábbiakban) számított energetikájára és szerkezetére. Ezek a vizsgálatok magukban foglalják az anion $[FeO_4]$ -ot is, amely jelenleg a legmagasabb Fe(VII) oxidációs állapotú vassal rendelkezik (Schmidbaur, 2018).

Az utóbbi években a klasszikus preparatív módszerek (fentebb) finomításra kerültek, és a ferrátok (VI) típusai teljesen tiszta állapotban állíthatók elő. Ezek közé tartozik az összes alkáli-ferrát (VI) $M_2[FeO_4]$ ($M = Li, Na, K, Rb$ és Cs), de például kvaterner ammónium-kationok, például $[Me_4N]^+$, $[Me_3NBz]^+$ vagy $[Me_3NPh]^+$. valamint bizonyos alkáliföldfém kationokkal, mint az $M'[FeO_4]$ ($M' = Ca, Sr, Ba$) alkotott vegyületek formájában. A listát az ezüst (I) ferrát (VI) $Ag_2[FeO_4]$ egészíti ki, mint az átmenetifém-ferrátok (VI) egyedi példája (Schmidbaur, 2018).

A kémiai módszerek lényege, hogy valamilyen ferri-vegyületet (pl. ferri-kloridot vagy oxidot) reagáltatnak oxidálószerrel. A reakció történhet lúgos körülmények között nedves eljárással

vagy száraz eljárással, kontrollált hőmérséklet és erre alkalmas atmoszféra biztosítása mellett. A száraz módszerrel előállított ferrátsó stabil, de a gyártás igen költséges. Az elektrokémiai módszer esetén vasanódot, lúgos közeget és elektrokémiai oxidációt alkalmaznak (Alsheyab et al., 2009). A nedves módszerrel előállított ferrát technológiának számos előnye van, így például a helyben elkészítés, általánosan használt vegyszerekkel, ami miatt nem kell a frissen gyártott vegyszer tárolási költségeire sem számítani, illetve oldat formájában is előállítható, amely az adagolást könnyíti meg (Sharma, 2006).

A FERRÁT (VI) TÁROLÁS ELŐZMÉNYEI

A ferrát előállítási technológiáról 1986. óta jegyeznek szabadalmakat. Számos szabadalom a ferrát előállításáról (US patent 4606843, 5284642) mások a felhasználási lehetőségekről (US Patent 5607504, 6267896, 6471788, 7045024) szólnak. A tárolással kapcsolatosan azonban csak egyetlen jelentős, az edény anyagára vonatkozó szabadalom látott napvilágot a japán Shinpo, Hachiro bejelentése 1995-ben, amelyben a zárható üvegedényt jelöli meg a ferrát tárolására leginkább alkalmas anyagként. Természetesen számos iparjogvédelmi oltalom keletkezett a XXI. században is (EP166825, WO2006049692, WO2010045657), de azok mindegyike az üveg alapanyagra támaszkodva, különféle zárható, csapos, egybeöntött üveg alapú tároló megoldásra vonatkozik. Ezek közül a legjelentősebb a Monzyk et al. nevével jegyzett, 2014-ben szabadalmi oltalmat elnyert, 8663607 lajstromszámú beadvány, amely az üveg kristályszerkezetét kihasználva, a kristályszerkezetet megnövelve, egy méhsejtre hasonlító eszközben tárolja és szállítja a folyékony ferrátot. A kutatás célja, hogy a fentieket ismerve olyan tárolási-csomagolási eljárást dolgozzunk ki, amely lehetővé teszi a ferrát kereskedelmi, gazdaságos szállítását és felhasználását.

Amennyiben sikerül a hosszabb ideig eltartható, szennyezőktől mentes és csak kevés lúgot tartalmazó, koncentrált ferrátsót tartalmazó termék előállítása, akkor a speciális, biológiailag nem, vagy csak nehezen lebontható szerves anyagokkal terhelt ipari szennyvizek tisztításán túl olyan alkalmazások is szóba jöhetnek, amelyekre korábban nem volt lehetőség. Ide tartozik például a katasztrófavédelem, pl. természeti csapások esetén a kálium-ferrát alkalmazásával az ivóvíz (vagy az egyéb vizek) fertőtlenítése a helyszínen megoldható lenne. E hasznosítási formák jelentősége nemzetgazdasági szinten is számottevő, gondoljunk csak az árvizek, tüzesetek, földrengés, ipari és egyéb balesetek során bekövetkező szennyezésekre. Emellett a kisebb mennyiségben keletkező, pl. biológiailag, vagy halogéntartalmú szerves anyagokkal

szennyezett vizek ártalmatlanítása is megvalósítható lenne a keletkezés helyszínén (úszómedence, jakuzzi, különféle mosókban keletkező szennyezett víz, kórházi szennyvíz stb.), beleértve elszennyeződött csővezeték-szakaszok gyors és hatékony fertőtlenítésének a lehetőségét is.

CSOMAGOLÁSRA HASZNÁLT MŰANYAGOK MŰSZAKI TULAJDONSÁGAI

A csomagolóipar szempontjai alapján a leggyakrabban használt, hőre lágyuló műanyagok:

- kristályos hőre lágyulók: LDPE, HDPE, PP, PET, PS

Míg a hőre lágyulók feldolgozása egyszerű képlékeny alakítás (fröccsöntés, extrúzió, kalanderezés, melegen /vákuummal/- formázás stb.) – addig a hőre nem lágyuló feldolgozása reaktív technológia, ahol rendszerint magában a szerszámban, a feldolgozás során alakítjuk ki, visszafordíthatatlan kémiai reakcióban a kívánt sűrűségű térhálót (Cvikovszky et al., 2007).

A hőre lágyuló kiemelését az is indokolja, hogy ez a csoport adja a szintetikus polimerek legsikeresebb, legnagyobb volumenben gyártott hányadát, a 20. század második felének forradalmian új anyagait. A manapság gyártott polimerek 85–90 %-a hőre lágyuló (Cvikovszky et al., 2007).

A leggyakoribb, hőre lágyuló műanyagfajták a következők: PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS. Mindegyik műanyag fellelhető különböző színekben, emiatt sokszor igen nehéz őket megkülönböztetni. Számos műanyag termékre a gyártás során elhelyezik az úgynevezett műanyag azonosító kódot, amely segíti a megkülönböztetést, és ezáltal az újrahasznosítást. A műanyag azonosító egy nyilakból álló háromszög, alatta vagy benne a műanyag típusával vagy azonosító számával. Amennyiben nem szerepel azonosító kód a terméken, további információkért érdemes lehet felkeresni a gyártót.

A hőre keményedő műanyagok természetüknél fogva törekenyek, és kémiai szintézissel képződnek, és mint ilyenek, nem lehet őket újraolvasztani, újralakítani. Ezzel szemben, a hőre lágyuló anyagok, mint például a polietilén, a nejlón és a polipropilén, kemények és újraalakíthatók. A hőre lágyuló kompozitok ugyanolyan domináns tulajdonságokkal

rendelkeznek, mint a hagyományos kompozitok, de a következő előnyökkel bírnak:

- a szál térfogati frakciója adott szakaszon 0 és 65% között változhat - ez nem lehetséges a hagyományos technológiával
- a keményebb mátrix miatt nagyobb komponens robusztusság
- jobb környezeti tolerancia tulajdonságok
- az anyag formájának utólagos alakítása
- a nyersanyagok olcsóbbak és sokkal hosszabb eltarthatósági idővel rendelkeznek, mint a hagyományos kompozitok
- a gyors gyártási sebesség lehetősége
- környezetbarát kompozitok - újrahasznosított / oldószer visszanyerés, hulladék alapanyagok
- a mátrix / rost kombinációk és a szál frakciók nagyobb változatossága
- az alkalmazás által igényelt fizikai és mechanikai tulajdonságok

A megfelelő polimer kiválasztásának súlya, fontossága nyilvánvaló. A célnak megfelelő műanyag polimernek összhangban kell lennie:

- a termék fő céljával, az alapkoncepcióval,
- a termék funkcionális követelményeivel (mechanikai, fizikai, kémiai, termikus stb. igénybevételeivel),
- árával, élettartamával, újrahasznosíthatóságával stb.

MŰANYAGOK KÉMIAI ELLENÁLLÓKÉPESSÉGE

A polimer-környezet kölcsönhatások lehetnek reverzibilisek (lágýtáshoz és duzzadáshoz vezető felszívódás) vagy irreverzibilisek (oxidáció). Ezeket fizikai (reverzibilis) vagy kémiai (irreverzibilis) kölcsönhatásoknak is nevezhetjük, bár a fizikai kölcsönhatások kémiai szempontból jelentős változást okozhatnak a másodlagos, láncközi kötések törések révén. Általában a polimerek ellenállnak a gyenge savaknak, gyenge bázisoknak és sóoldatoknak. Az erős savak oxidálhatják a polimert, ami zavarodáshoz vezet. Ezt a hatást gyakran poliolefinekben figyelhetjük meg. Az üzemanyagok, zsírok, olajok és szerves oldószerek duzzadást, lágylást és végül oldódást okoznak. Ezeket a mechanizmusokat diffúzió szabályozza.

A legtöbb kémiai bomlás rendszer-specifikus egy adott polimerre és folyadékra vagy gázra. Valószínűtlen, hogy a polimerek és a komplex hulladékkeverékek közötti kémiai összeférhetőségi információk megtalálhatóak lennének az irodalomban; ezért a kiválasztott anyagok kompatibilitási vizsgálatot igényelnek szimulált hulladékokkal. Kevés polimer vagy műanyag kapható tiszta formában. A legtöbb antioxidánsokat, lágyítószereket, hőstabilizátorokat, feldolgozási segédanyagokat, maradék katalizátorokat és egyéb adalékanyagokat és szennyeződések tartalmaz (SANDIA Report, 1994).

Az anyag kémiai ellenállása a jelen lévő vegyületek mennyiségétől és típusától függ. A készítmények széles választéka sokféle variációt jelent állítólag azonos anyagok kémiai ellenállása esetében. Ha megállapítást nyer, hogy az ilyen variabilitás jelentős kémiai kompatibilitási veszélyt jelent, akkor vizsgálat szükséges. A polimereket legnagyobb mennyiségben érő anyagok (oxigén, ózon és víz) valószínűleg nem fontosak a tömítés és a bélésanyagok kiválasztásában, kivéve a kondenzációs polimerek, mint például a poliészterek, poliamidok vagy a hidrolízisre hajlamos uretán alapú anyagok. Az erős lúgok, szerves oldószerek és oxidálószer felhívódása úgy tűnik, hogy a műanyagok fő veszélyeztetői. Az oldószer abszorpciója a hőre lágyuló láncok elválasztását eredményezi anélkül, hogy az elsődleges kötéseket megszakítaná. Csak másodlagos, láncközi erők (Van der Waals vagy sav / bázis kölcsönhatások) sérülnek. A másodlagos erők kevesebb mint egytizede olyan erős, mint az elsődleges kötések. Mivel az elsődleges kötések nem érintettek, az oldószerek és a hőre lágyuló polimerek közötti kölcsönhatás hasonló az alacsonyabb molekulatömegű szerves vegyületekével, és az oldhatósági paraméterek használhatók a kompatibilitási viselkedés jellemzéséhez. A permeabilitás kulcsfontosságú tényező az oldószer degradáló hatását illetően (Giroud, 1984).

A polimereknek nyitott szerkezete vagy szabad térfogata van, amely lehetővé teszi a kis molekulák áthaladását. A láncközi kötések átszervezése lehetővé teszi a szabad térfogat újraelosztását, azaz az oldószer-molekulák későbbi diffúzióját. A nyomásgradiensek és a szolvatációs hatások növelik az áthatolási sebességet. A nagyobb molekulák nagyobb molekuláris lyukakat igényelnek, és lassabb diffúziós sebességük van. Az elasztomerekben a diffúzió sokkal könnyebb, ha az elasztomer a nagyobb szabad térfogat miatt az üvegesedési hőmérséklet felett van. Az elasztomer tömítőanyagok szobahőmérsékleten az üvegesedési hőmérsékletük felett vannak, és diffúzió léphet fel. A permeáns és a polimer közötti kémiai reakció jelentősen megváltoztathatja a permeabilitást. Az átjárhatóság a polimer készítmény, a folyadék vagy a gáz összetétele, a hőmérséklet és a geometria függvénye. Egy adott polimer-

permeáns kombináció esetében a lenti egyenlet adja meg a folyadék behatoló mennyisége és a permeabilitási együttható közötti kapcsolatot.

$$q = PtA(p_1-p_2)/l$$

q = permeáló folyadék mennyisége (g)

P = permeabilitási koefficiens (g/m*sec*Pa)

t = idő (sec)

A = érintett felület (m²)

p_1, p_2 = az anyag két oldalán lévő folyadék parciális nyomása (Pa)

l = anyagvastagság (m)

ANYAGTUDOMÁNYI KUTATÁSUNK EREDMÉNYE

Az előállított ferrát hosszabb idejű tárolásához és célhelyre juttatásához, az általunk kifejleszteni kívánt, akár a műanyag alapanyagból akár a műanyag hulladékból nyert csomagolás környezetkímélőbb és kellően masszív ahhoz, hogy megfeleljen.

Oxidáló tulajdonságú vegyszerek tárolására a szakirodalom szerint a polipropilén és polietilén műanyagok a legalkalmasabbak. Nem megfelelő csomagolás esetén az alábbi változások következhetnek be a különböző műanyag típusok szerkezetében:

- tömegváltozás, méretváltozás,
- szilárdság megváltozása,
- színváltozás,
- hajlékonyság → ridegség megjelenése,
- felület megváltozása.

A nagy léptékű folyamatokban a ferrát-felhasználás korlátozó tényezője nemcsak a viszonylag drága előállítás, hanem főként a nedves környezetben a magas oxidációs erő miatt kialakuló instabilitás. A kapszulázás és a kontrollált kiszabadulási technológia rendkívül hatékony módszer az oldott szennyeződések kezelésére, így hozzájárulásunkban háromdimenziós nyomtatási technológiát alkalmaztunk nátrium- és kálium-ferrát kapszulák készítéséhez. Az

elektrokémiailag előállított ferrát stabilitását különböző típusú polimer kapszulákban (PVA, HPMC, zselatin) vizsgáltuk. A 3D nyomtatott kapszulákban különböző ferrát-koncentrációkat használtunk. A vizsgálati eredmények azonban kimutatták, hogy az alkalmazott, biológiailag lebomló csomagolóanyagok reakcióba lépnek a Na- és K-ferrát vegyületekkel, így alkalmatlanok azok csomagolására.

Tovább lépve, a Holofon Zrt. által szolgáltatott, adott anyagösszetételű, szintetikus műanyag granulátumokból próbatesteket állítottunk elő, ezt követően pedig a próbatesteket a kísérleti ferráttal kezeltük, majd elvégeztük az anyagtudományi vizsgálatokat. Az ASTM D543 – 95 szabványos vizsgálati módszerei a műanyagok vegyi reagensekkel szembeni ellenállóképességének értékelésére szolgálnak. A különböző kémiai reagensekkel szembeni ellenállás meghatározása a dimenzióváltozás, megjelenés és szilárdsági tulajdonságok alapján, meghatározott ideig tartó expozíció után történik. A vizsgálati módszer szerint a különböző típusú műanyag mintadarabokat lúgos kémhatású ferrát koncentrátumba merítettük, illetve kentünk el diónyi mennyiségben a minták felületén.

A vizsgált, 8 műanyag típus közül a PP-H, azaz a polipropilén homopolimer bizonyult megfelelő választásnak. A PP-H olyan anyag, amely kiválóan ellenáll a mechanikai és termikus stressznek, ugyanis a polipropilén termékek kiválóan viselkednek kémiaileg agresszív közegeknek kitéve. A propilénből készült termékek legfőbb előnyei a szilárdság, és a megbízhatóság.

ANYAGTUDOMÁNYI VIZSGÁLATAINK EREDMÉNYE

A mintadarabok tesztelésének célja a levegőtől való elzárás biztosítása, a csomagolóanyag semlegességének megtartása. A megtervezett specifikációk alapján adott alapanyagösszetételből legyártott mintadarabok tesztelését végeztük. Adott anyagösszetételű granulátumokból próbatesteket állítottunk elő, ezt követően pedig a próbatesteket a kísérleti ferráttal kezeltük, majd elvégeztük az anyagtudományi vizsgálatokat. Az ASTM D543 – 95 szabványos vizsgálati módszerei a műanyagok vegyi reagensekkel szembeni ellenállóképességének értékelésére szolgálnak.

A különböző kémiai reagensekkel szembeni ellenállás meghatározása a dimenzióváltozás, megjelenés és szilárdsági tulajdonságok alapján, meghatározott ideig tartó expozíció után

történt. Teszteltük az anyagminták keménységét, szakítószilárdságát, környezetszimulációval mesterségesen öregítettük az anyagmintákat annak érdekében, hogy UV- és napfényállóságot, korrózióvizsgálatot végezzünk, valamint vizsgáljuk, hogy drasztikus hőmérsékletváltozások hatására az anyagminták hogyan reagálnak. A mintadarabok vizsgálatáról tesztjegyzőkönyvet készítettünk.

A PP-H-val szemben, szabvány szerint vizsgált, hőre lágyuló műanyagok jelentős tömeg-, vastagság, szélesség, és hosszúságbeli változást szenvedtek el. Emellett nem őrizték meg kellő mértékben mechanikai szilárdságukat, illetve légtömörségüket, így ezek alkalmatlannak bizonyultak a ferrát (VI) tárolására és adagolására fejlesztendő berendezés alapanyagaként.