



Nemzeti Kutatás-nyilvántartási Rendszer

A Nemzeti Kutatás-nyilvántartási Rendszerről szóló 160/2001. (IX. 12.) Korm. rendelet (megjelent a Magyar Közlöny 2001/99. számában) megnyitotta az utat a közpénzekből finanszírozott magyarországi kutatási–fejlesztési projektek teljes körű, naprakész, egységes szerkezetű és informatikai háttérű nyilvántartásához, lekérdezéséhez és archiválásához. Az oktatási miniszter által felügyelt Nyilvántartási Rendszer – amellett, hogy lehetőséget teremt az állami K+F támogatások átláthatóságának növelésére, a párhuzamos támogatások kiszűrésére – elősegíti a magyarországi kutatási, fejlesztési eredmények hasznosítását, valamint a hazai és nemzetközi kutató szervezetek együttműködését.

Az adatszolgáltatók köre, az adatszolgáltatás tartalma

A Nyilvántartási Rendszer kötelező, valamint önkéntes jelleggel szolgáltatott adatokból épül fel. Kötelező az adatszolgáltatás minden olyan kutatást–fejlesztést végző szervezet számára, amely a szóban forgó kutatásához az államháztartás valamely alrendszeréből közpénzt használ fel. Az adatszolgáltatás ez esetben a támogató szervezeteken keresztül történik. A kutatásaikhoz közpénzt igénybe nem vevő szervezetek saját maguk, önkéntes alapon küldhetnek adatokat a Nyilvántartási Rendszer részére. A kormányrendelet részletesen meghatározza azon adatok körét, amelyeket az adatszolgáltatók a Nyilvántartási Rendszernek kötelesek megküldeni (illetve önkéntesen szolgáltathatnak). A magyar és angol nyelven azonos tartalommal megküldött adatok kiterjednek a kutatási téma azonosítására, tudományági besorolására, ráfordításaira, időtartamára és eredményeire. A kormányrendelet a kötelező adatszolgáltatás körében a 2002. január 1-je után megkötött kutatási–fejlesztési szerződésekre terjed ki. Az önkéntes adatszolgáltatás korábban megkezdett kutatásokra is vonatkozhat.

Adatkezelés, adatvédelem

A Nyilvántartási Rendszer adatkezeléssel és adatvédelemmel kapcsolatos feladatai összhangban vannak a személyes adatok védelméről és a közérdekű adatok nyilvánosságáról szóló 1992. évi LXIII. törvény előírásaival. Az adatszolgáltatók által megküldött közérdekű adatokat a működtető szervezet teljes körűen kezeli, és nyilvánosságra hozza. A személyes adatok kezelésére és nyilvánosságra hozatalára csak az érintettek előzetes hozzájárulása esetén kerül sor.

A Nyilvántartási Rendszer szervezete, működtetése

A Nyilvántartási Rendszerrel kapcsolatos feladatokat két szervezeti egység látja el; a rendszer kiépítését és működtetését a Budapesti Műszaki Egyetemen belül működő Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár munkatársai végzik, a nyilvántartásra épülő elemző és döntéselőkészítő tevékenység pedig az Oktatási Minisztérium Elemzési és Értékelési Osztálya köztisztviselőinek feladata.

Az adatszolgáltatás módja

Az adatszolgáltatás elektronikus úton és hagyományos módon történik. Az adatlapok letölthetők az alábbi címről:

<http://www.omikk.bme.hu/NKR/>

A Nyilvántartási Rendszerről tájékoztatás kérhető a BME OMIKK Nemzeti Kutatás-nyilvántartási osztályán Dr. Tichy-Rács Ádám osztályvezetőtől a **06(1)457-5343** telefonszámon, a **tichy@info.omikk.bme.hu** e-mail címen vagy levélben, a **1011 Budapest, Gyorskocsi u. 5-7.** postacímen.

1.1 | Polimerek élettartamának előrejelzése 1.3 | rugalmas olajipari csővezetékben 3.8

Tárgyszavak: poliamid 11; poli(vinil-fluorid); olajbányászat; rugalmas csővezeték; öregedés; élettartam; vizsgálat; előrejelzés.

Poliamidok és poli(vinilidén-fluorid) alkalmazása rugalmas csővezetékben

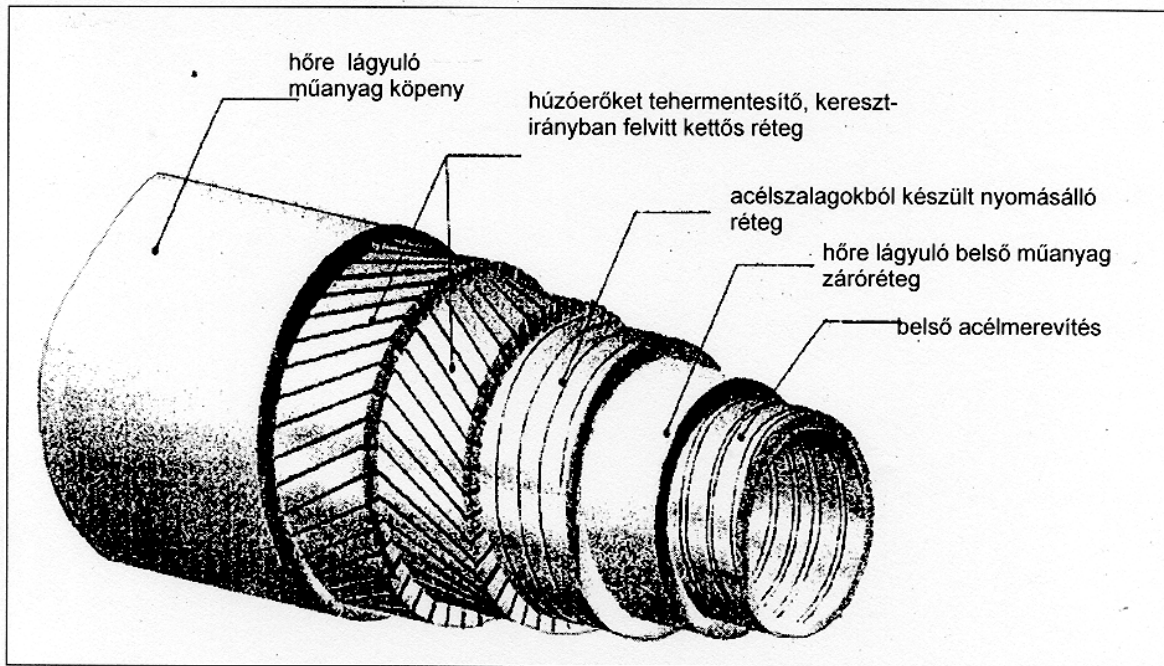
A különleges műszaki műanyagnak számító PA 11-et és a poli(vinilidén-fluoridot) (PVDF) tengerparti olajkitermelésnél rugalmas csővezetékek bélelésére alkalmazzák. Ezeken a helyeken a biztonság igen fontos szempont, ezért jól kell ismerni az anyagok élettartamát és az öregedés során bekövetkező tulajdonságváltozásokat.

A poliamid 11-et és 12-t széles körben alkalmazzák az autóiparban is, pl. a teherautók légfékjeiben vagy az üzemanyag-vezetékben. Poliamid 11-et (más poliamidok mellett) az Atofina cég gyárt. Az Ensigner cég sokféle műszaki műanyag között ugyancsak kínálja a PA 11-et, továbbá az ebből készített félkész termékek (rudak, lemezek, csövek, profilok) széles választékát is. Gyártmányait az Abot cég Lengyelországban is forgalmazza. A PVDF (pl. a Solvay cég Solef PVDF jelű terméke) ugyancsak lehet kábelköpenyek anyaga vagy záróréteg üzemanyag-vezetékben. Mindezt tekintetbe véve a PVDF és a PA 11 öregedési tulajdonságait alaposan meg kell ismerni.

Egy francia olajipari kutatóintézet 14 éves fejlesztőmunkája után, 1972-ben vezették be a rugalmas csöveket a tengerparti olajkitermelésbe. E csövek feladata, hogy összekössék a tengerfenéken levő furatot az úszó kitermelő szigettel, és kiegyenlítsék a sziget elmozdulásait. A rugalmas csövek másik előnye a gyors üzembe helyezhetőség, ugyanis egy hajóról közvetlenül a tengerbe csévélhetők. Az ilyen csövek bonyolult szerkezetűek (1. ábra), ahol a különféle anyagok ideális együttműködésére van szükség ahhoz, hogy elláthassák feladatukat. Minden speciális rugalmas csőhöz kifejlesztettek egy prototípust, amely a megfelelő hossz és átmérő mellett ellenáll egy adott nyomásértékeknek és hajlítási igénybevételnek.

A belső acélmerevítés szerepe az, hogy nyomásesés esetén megakadályozza a műanyag cső összeroppanását. A belső műanyag záróréteg biztosít

ja, hogy a szállított folyadék ne jusson ki, és ne okozzon kárt a külső szerkezeti elemekben. A műanyag zárórétegnek egyszersmind elég rugalmasnak kell lennie ahhoz, hogy lehetővé tegye a felcsévélést. Különböző acélerősítések adják meg a vezetéknek a szükséges hajlítási szilárdságot, valamint a tengelyirányú szilárdságot. Néha polimercsíkokat is tesznek az acélszalagok közé, hogy csökkentsék kopásukat, ha a dinamikus igénybevétel során egymáson elcsúsznak. Végül egy külső polimerköpeny védi az erősítést a tengervíz okozta korróziótól.



1. ábra A tengerparti olajkitermelésnél alkalmazott rugalmas csővezeték szerkezete

Tekintetbe véve, hogy a szállított folyadékok és gázok gyakran meglehetősen korrozívak, és hőmérsékletük 4–130 °C között változhat, vagy adott esetben még e fölé is mehet, továbbá hogy a megkívánt élettartam ilyen környezetben 10–30 év, könnyen megérthető, milyen magas követelményt jelent ez az alkalmazott műanyagokkal szemben. Miután az első csövek már 28 éve használatban vannak, és viszonylag kevés volt a meghibásodások száma, ezek a csövek bebizonyították alkalmasságukat az adott feladatra.

Kifejlesztettek egy olyan módszert, amellyel ebben a bonyolult alkalmazásban is jól megbecsülhető az alkalmazott műanyagok várható élettartama. Ennek akkor van nagy jelentősége, ha új anyagokat kívánnak alkalmazni vagy

kifejleszteni az adott alkalmazásra, de jól használható arra is, hogy megállapítsák a már használt anyagok biztonsági határértékeit.

Élettartam-vizsgálati módszerek

Új berendezés kifejlesztésekor a mérnökök a biztonságot és a teljesítményt tekintik elsődlegesnek, és szívesebben választanak olyan anyagok közül, amelyeket már ismernek, és amelyek alkalmazás közbeni tulajdonságairól elég tapasztalat áll rendelkezésre. Ez azért is fontos, mert jelenleg nincs olyan biztos módszer, amellyel megjósolható egy anyag öregedése az összetett igénybevétel során. Nagy kockázatot vállal az, aki az élettartambecslésnél egyetlen módszerre hagyatkozik. Az egyszerű kitéti vizsgálatok – amelyekben hónapokon vagy éveken keresztül követik az anyag szakítási tulajdonságait az idő függvényében – csődöt mondanak, ha a valóságos igénybevétel dinamikus jellegű. Tudomásul kell venni, hogy nincs egyszerű módszer az öregedés vizsgálatára. A vizsgálatoknál abból kell kiindulni, hogy különböző jól meghatározott értékeket kell követni a legkülönbözőbb módszerekkel, és ezek között kell korrelációt találni ahhoz, hogy megbízható előrejelzést készíthessenek egy anyag hosszú távú viselkedéséről.

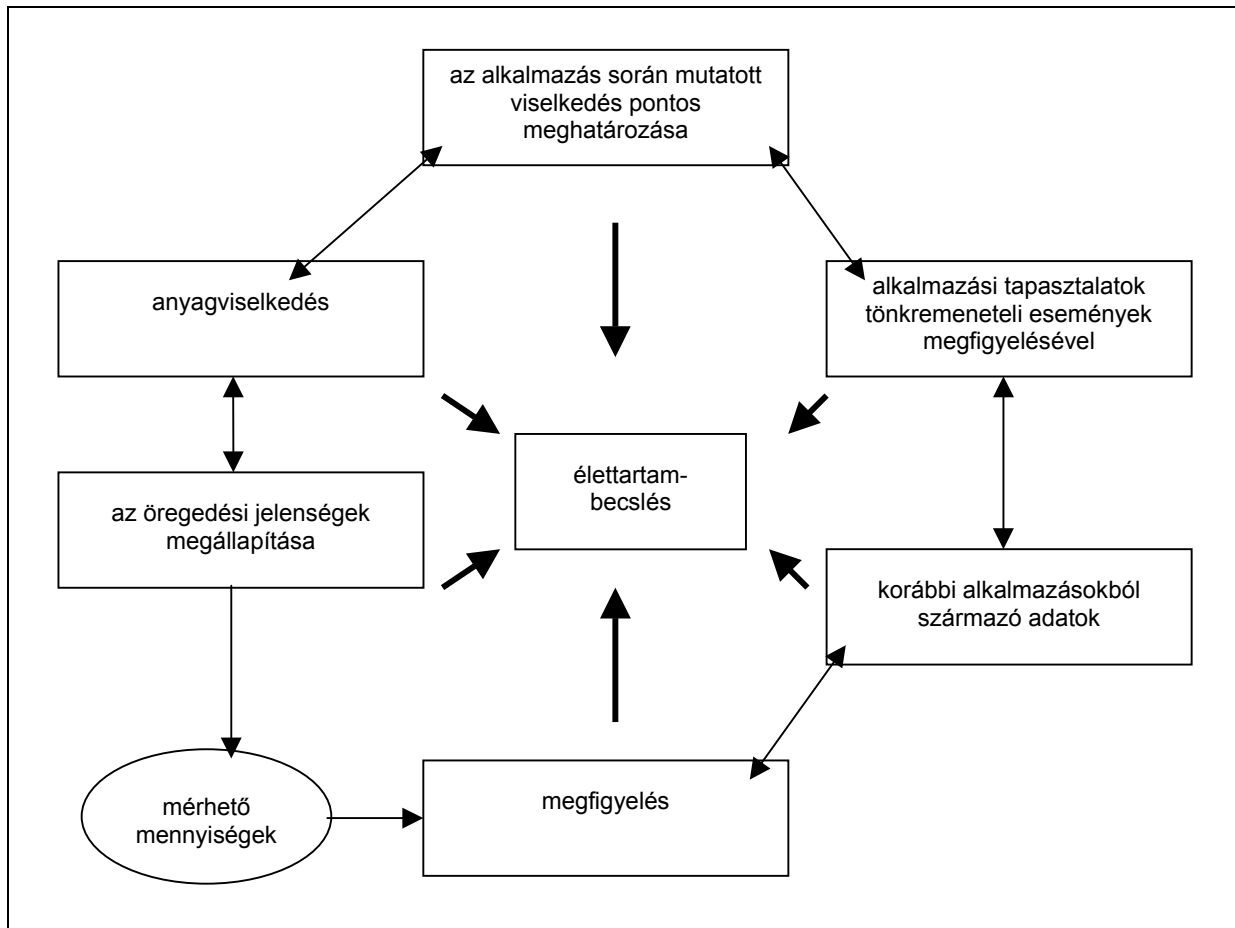
Első lépésben definiálni kell az anyag viselkedését leíró paramétereket az adott alkalmazásban, ami nem tűnik bonyolult feladatnak. Alapvető hibákat azonban már itt is el lehet követni. A precíz meghatározásnak ugyanis tartalmaznia kell nem csak a megkövetelt termomechanikai tulajdonságokat, hanem pl. a korrózió vagy más olyan események hatását is, amelyek károsíthatják az anyagot. Ezen a téren különösen értékes a gyakorlati alkalmazási tapasztalat, amelyet nagy súllyal kell figyelembe venni. Fontos eszköz az élettartam becslésekor az alkalmazás közbeni öregedés folyamatos megfigyelése, és az anyag kritikus jellemzőinek követése. A tönkremenetel megfigyelése és elemzése hozzásegíthet a károsító mechanizmusok és az ehhez vezető folyamatok jobb megértéséhez. Ennek birtokában még pontosabban lehet meghatározni a tulajdonsági határértékeket és a követelményeket.

A hagyományos szerkezeti anyagokkal, pl. az acéllal összehasonlítva a hőre lágyuló műanyagok viszonylag „fiatal” anyagok, és a belőlük készített hosszú élettartamú termékekről nem túl sok tapasztalat áll rendelkezésre. Kivételt jelent ez alól a poliamidok és a PVDF alkalmazása rugalmas csővezetékben, amelyeken ezért jól lehet tanulmányozni az élettartambecslés módszertanát (2. ábra).

A PA 11 hosszú távú viselkedése

A rugalmas csővezetékek belső nyomásfelvevő rétegére vonatkozó alkalmazási feltételek meglehetősen jól definiáltak, és megtalálhatók az API 17B és API 17J szabványokban. A sok jellemző közül az egyik legfontosabb a ru

galmasság és a hajlékonyság, amire szükség van ahhoz, hogy a csővezeték felcsévélhető legyen, és utána hosszú ideig ellenálljon az alkalmazás során fellépő deformációknak. Kimutatható, hogy a felcsévélés során szenved el az anyag a legnagyobb deformációt. A felcsévélés során a vezeték külső részének megnyúlása könnyen kiszámítható a vezeték átmérőjéből, ill. a dob görbületi sugarából. Eszerint a maximális nyúlás 7,7%, ami a külső és belső réteg esetében kismértékben különbözhet.

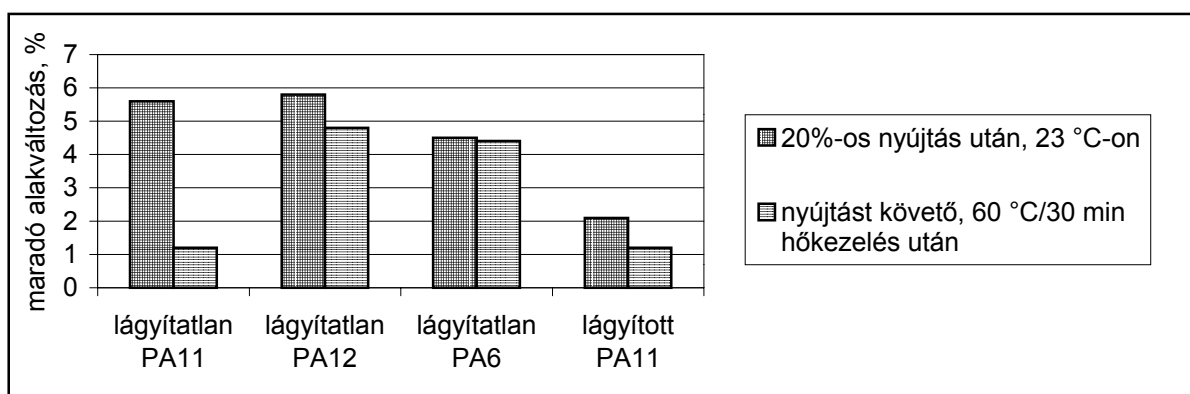


2. ábra Az öregedési vizsgálatok és az élettartam-becslés módszertana

Mechanikai tulajdonságok, plasztikus deformáció

Fontos hogy az adott deformáció esetén az anyag a rugalmassági határok között maradjon, vagyis nagyon fontos a folyási határ megállapítása. A műanyagok esetében éppúgy, mint a fémeknél a folyáshatár jelenti a választóvonalat a rugalmas és a plasztikus, a reverzibilis és irreverzibilis alakváltozás között. A felcsévélés szempontjából előnyösebb egy lágyabb anyag haszn

nálata, ahol a feszültségrelaxáció felemésztí a kialakuló feszültségeket. Viszkoelasztikus jelenségről van szó, amely függ az időtől, a hőmérséklettől és a deformáció sebességétől. Mivel az olajiparban használt PA 11 a felhasználás hőmérsékletén az üvegesedési hőmérséklet fölött van, ez elég rugalmasságot biztosít ahhoz, hogy akár 15%-os deformáció is helyreálljon. A 3. ábrán látható a különféle PA típusoknál 20%-os deformáció után fellépő maradó alakváltozás. A mérések egy részében a nyújtás után 30 perces 60 °C-os hőkezelést alkalmaztak, hogy felgyorsítsák a viszkoelasztikus helyreállást, és elválaszthassák azt a valóban irreverzibilis, plasztikus deformációtól. Az adatokból jól látható, hogy a vizsgált típusok közül a PA 11 a legrugalmasabb, azaz a PA 11 plasztikus deformációja a legkisebb. A műanyagok rugalmasságának változását a hőmérséklettel legegyszerűbben dinamikus mechanikai analízissel (DMA) lehet vizsgálni, amely periodikus igénybevétel mellett mutatja a modulus és a veszteség értékét a hőmérséklet függvényében. Ezek a változások a szerkezet változásával vannak kapcsolatban: alacsony hőmérsékleten, ahol a polimerláncok mozgékonyasága elenyésző, a modulus értéke nagy, míg az üvegesedési hőmérséklet fölött a modulus értéke nagyságrendet csökken, mert a láncok nagyobb része mozgékonyává válik. Az amorf polimerek ilyenkor gumyszerű állapotba kerülnek, ahol modulusuk igen alacsony, de a részlegesen kristályos polimerek esetében, mint amilyen a PA 11 is, nem ez a helyzet. Ilyen esetben az üvegesedési hőmérséklet fölött a mozgékony amorf részek láncjai a kristályos részek között helyezkednek el, tehát úgy lehet tekinteni, hogy a gumi mintegy fizikai térhálópontokkal rendelkezik. A lágy (gumiszerű) amorf fázis és a merev kristályos fázis kombinációja adja a részlegesen kristályos polimerek jellegzetes tulajdonságait az üvegesedési hőmérséklet fölötti, de a kristályos olvadáspont alatti hőmérséklet-tartományban. A nem tökéletes kristallitok olvadáspont-tartománya az a természetes határ, ameddig egy részlegesen kristályos polimert szerkezeti anyagként alkalmazni lehet.

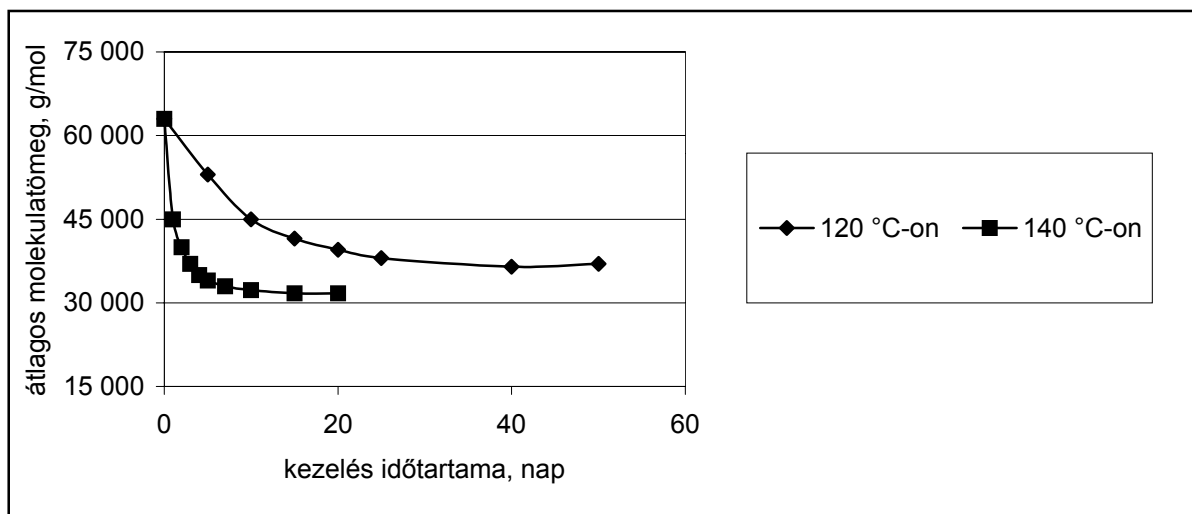


3. ábra Különféle poliamid típusokon 20%-os nyújtás után mérhető maradó alakváltozás

Tartós terhelés esetén mindig figyelembe kell venni a hőre lágyuló polimerek kúszását, amelyet elsősorban a molekulaláncok mozgékonyasága és a kristályosság mértéke határoz meg. A kúszás adott hőmérsékleten annál nagyobb, minél alacsonyabb a DMA görbén meghatározott rugalmassági modulus. Terhelés esetén a műanyag először egy kvázielasztikus deformációt mutat, majd ezt követően lép fel a hosszú idejű kúszás, amely annál gyorsabb, minél magasabb a hőmérséklet.

Vegyszerállóság, hidrolízis

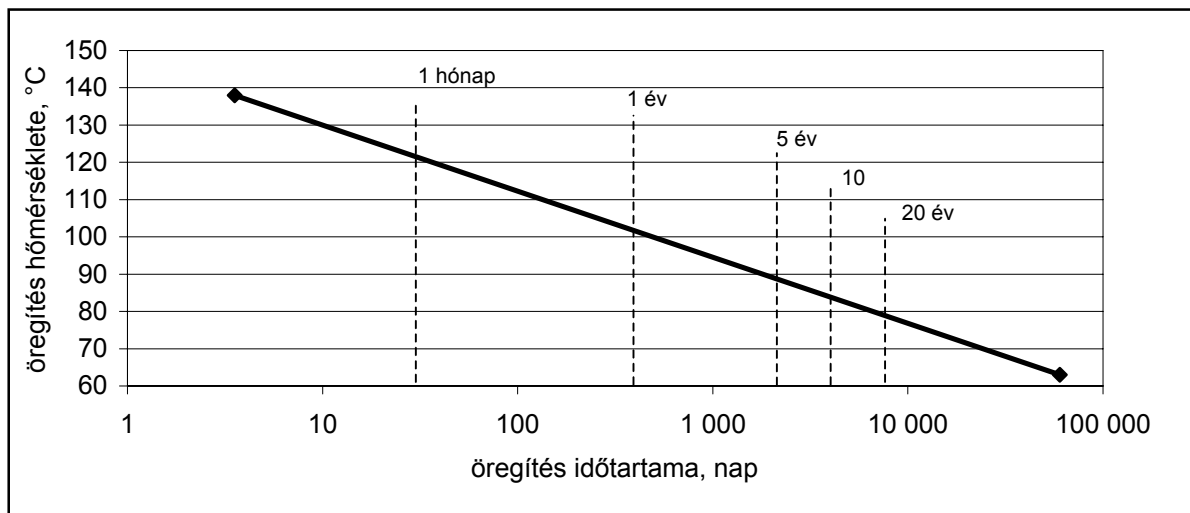
A mechanikai tulajdonságok mellett nagyon fontos szerepet játszik az alkalmazott polimerek ellenállása az agresszív közeggel szemben, amely lehet kőolaj, földgáz vagy tengervíz, és amelynek hőmérséklete széles határok között változhat, 4 °C-tól egészen a víz forráspontja feletti hőmérsékletekig. Az acél alkatrészeket megtámadják a nafténsavak, a tengervíz, a kőolajban adott esetben előforduló szén-dioxid és kén-hidrogén. Ezek a korrozív anyagok viszont kevésbé hatnak a legtöbb hőre lágyuló műanyagra, legfeljebb kismértékű felületi elváltozást okoznak. A PA 11 viszont hidrolitikus lebomlást szenvedhet. A PA 11 előnye (pl. a PA 6-tal szemben) a viszonylag alacsony egyensúlyi vízfelvétel, ami lassítja a hidrolitikus lebomlást.



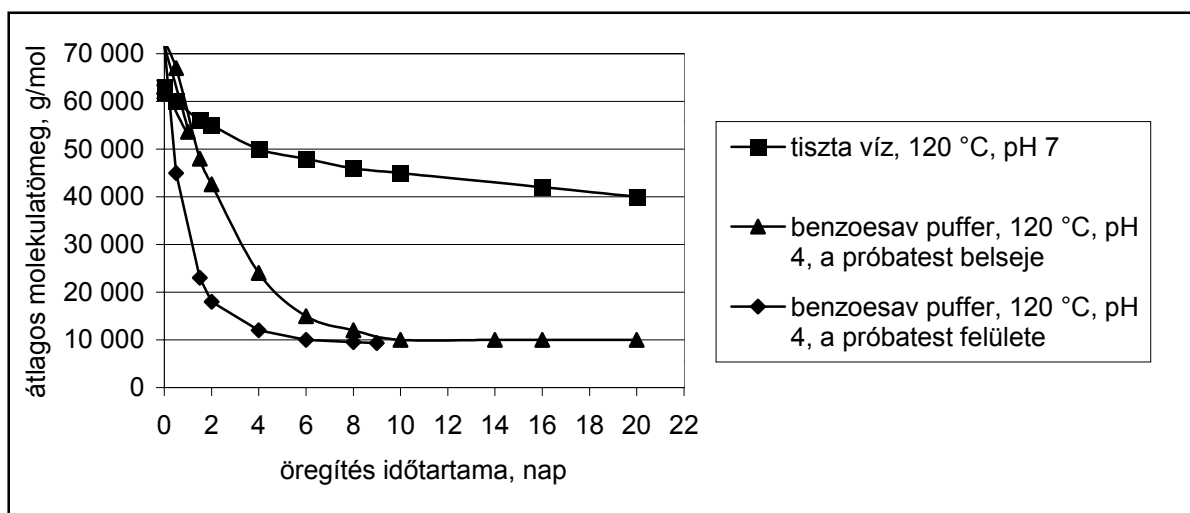
4. ábra A PA 11 gélpermeációs kromatográfiával meghatározott átlagos molekulatömegének változása hidrolitikus körülmények között. (A hidrolízist 120 és 140 °C-on, pH = 7 értékű vízben, nitrogénatmoszférában végezték.)

Átlagos alkalmazási körülmények között ennek a hidrolitikus lebomlásnak alig van jelentősége. A polikondenzációs reakciók 200–350 °C között játszódnak le, ezért a fordított irányú reakciók sebessége szobahőmérsékleten vagy nem sokkal afölött elhanyagolható. A hosszú idejű alkalmazás esetén 65 °C-

on vagy afölött is csak évek múltán válik a hidrolitikus lebomlás megfigyelhetővé. A 4. ábrán látható, hogy a bomlás sebessége és a molekulatömeg határértéke, amely felé a folyamat tart, erősen hőmérsékletfüggő. Ez azért van, mert mind a bomlás kinetikai állandói, mind az egyensúlyi állandó értéke hőmérsékletfüggő. Mindebből élettartambecslést is lehet végezni, ha sikerül egyértelmű összefüggést találni a molekulatömeg és a felhasználhatóságot meghatározó mechanikai tulajdonságok között.



5. ábra A PA 11 becsléssel meghatározott élettartamgörbéje a hőmérséklet függvényében tiszta vízben végzett hidrolízis (öregítés) alapján



6. ábra A PA 11 minták átlagos molekulatömegének csökkenése az idő függvényében, 120 °C-on vízben, pH = 7 és pH = 4 mellett. (A pH-t benzoésav-alapú pufferrel állították be. A minták átlagos vastagsága 7 mm.)

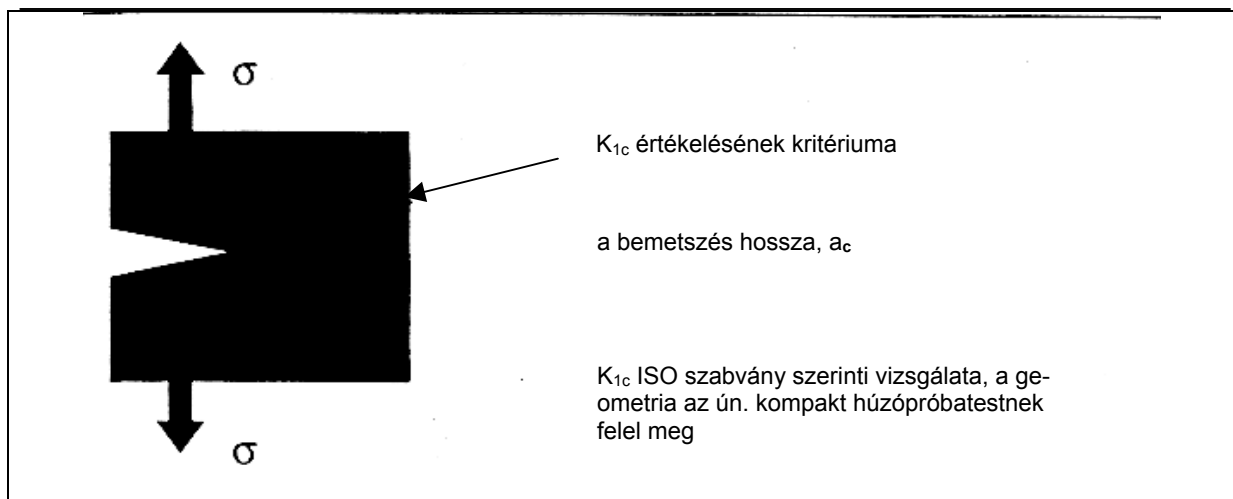
Első közelítésben feltételezték, hogy a PA 11 34 000–35 000 g/mol molekulatömegig használható. Az Arrhenius összefüggés segítségével e határfeltétel alapján számolt élettartamokat az 5. ábra mutatja. Az alacsony hőmérsékletekre való extrapoláció jogosságát természetesen gondosan meg kell vizsgálni, vagyis a valós hosszú idejű kísérleti adatokat össze kell vetni az elméletből számoltakkal. Tekintetbe kell venni azt is, hogy a PA 11 a valóságban nem tiszta vízzel, hanem olaj–víz keverékkel érintkezik. A vizsgálatok megállapították, hogy amennyiben a víz önálló fázist alkot a keverékben, és a poliamid vízzel telítődik, az öregedés mechanizmusa és kinetikája nem változik meg lényegesen. Bonyolítja a helyzetet, ha savas komponensek, pl. CO₂, H₂S vagy nafténsavak vannak jelen, mert ezek jelenléte nemcsak gyorsítja a lebomlást, hanem fokozatosan eltünteti azt a molekulatömeg-határértéket, amely semleges közegben megfigyelhető volt, vagyis a makromolekulák degradációja folyamatossá válik. Szerencsére nafténsavak esetében a jelenség a minták felszínére korlátozódik (6. ábra), mert a nagyobb molekulák diffúziója lassúbb, mint maga a lebomlási folyamat. Ezek után el kell döntenie, hogy ilyen körülmények között milyen összefüggés van a molekulatömeg és az élettartamot meghatározó fizikai tulajdonságok között, és hogy mit tekintsenek döntő paraméternek az élettartam meghatározásakor. Tekintetbe kell venni, hogy a hidrolitikus lebomlás mellett párhuzamosan egyéb folyamatok is zajlanak, pl. a fizikai öregedés vagy a lágysívesítés. A leglényegesebb, kvantitatív módon követhető paraméter mégis a molekulatömeg változása, ezért legcélszerűbb korrelációt találni ezen mennyiség, és más, az élettartamot meghatározó paraméterek között.

Az élettartamot meghatározó paraméterek kritikus értékeinek megállapítása

Az élettartamot meghatározó paraméterek kritikus értékeinek meghatározásában segítséget nyújt a tönkrement csővezetékek vizsgálata – bár az ilyen eseteket általában nem verik nagydobra. Egy jól leírt, konkrét esetben a meghibásodást pl. az okozta, hogy korrózió miatt tönkrement az acélváz, és a vezeték elveszítette a rugalmasságát. A konkrét meghibásodás okainak elemzéséhez pontosan ismerni kell nemcsak a nyomási és hőmérsékleti viszonyokat, hanem pl. a nyomásnövekedés sebességét vagy az esetleges lökéshullámok jelenlétét is. A törési kép vizsgálatából el lehet döntenie, hogy az anyag öregedett meg, vagy a nyomás volt túl nagy; hogy ridegen tört-e a vezeték, vagy egy nyomáslökés, esetleg kifáradás következett-e be. Rideg törés akkor lép fel, ha a kémiai (hidrolitikus) degradáció következtében a molekulatömeg túlságosan lecsökken. Ilyen rideg törést egy adott esetben akkor tapasztaltak, amikor hosszabb nyugalom után alacsony hőmérsékleten a csövet hirtelen meghajlították. Egy másik esetben úgy alakult ki a repedés, hogy ismétlődő (feltehetőleg termikus eredetű) feszültségciklusok hatására a repedési front fokozatosan

haladt előre. Ezt tekintetbe véve szükségesnek látszott néhány törésmechanikai alapvizsgálat elvégzése.

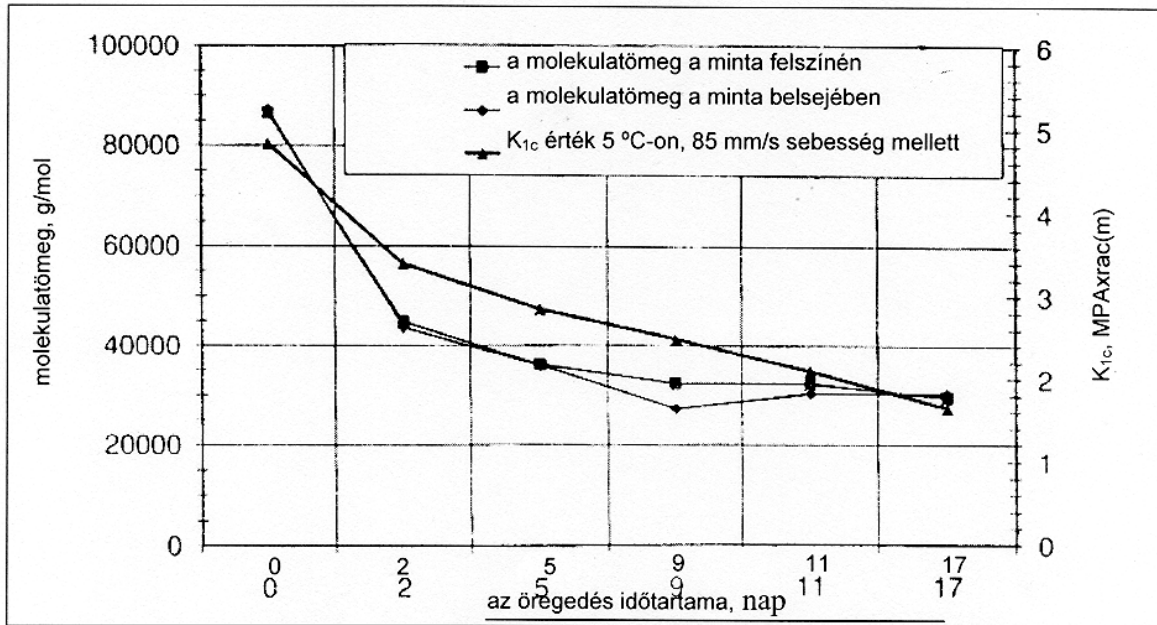
Az egyik esetben viszonylag alacsony hőmérsékleten vizsgálták az anyag törési szívósságát ISO/DIS 13586 szabvány szerint. Ennek mérőszáma az ún. K_{1c} érték. A vizsgálat azt a helyzetet próbálja modellezni, amikor a meghibásodás felcsévélés során lép fel. A vizsgálati próbatestet a 7. ábra mutatja. A próbatesteket extrudált lemezből vágják ki, majd 5 °C-on 85 mm/s sebességgel húzó igénybevételnek teszik ki. Megfigyelték, hogy hidrolitikus öregedés hatására csökken a mintán tönkremenetel előtt észlelhető maximális erő és az elnyelt energia, ami a rugalmasság elvesztésére, ridegedésre vall. Egyértelmű kapcsolat található a molekulatömeg csökkenése és a K_{1c} érték csökkenése között (8. ábra). Ezzel a megfigyeléssel jó összhangban van az, hogy az öregedés hatására a mintán megfigyelhető, rugalmas alakváltozásra visszavezethető zónák nagysága az öregedés során csökken.



7. ábra A törési szívósság (K_{1c}) meghatározásához használt próbatest és a terhelés iránya

A tönkremenetel másik fontos tényezője az anyag kifáradása. A kifáradási repedezés meghatározó tényezői a pontos geometriai és feszültségviszonyok, továbbá a kiindulási repedések nagysága, amely a fáradás során nőhet. A fáradást kiválthatják hőciklusok éppúgy, mint a tenger hullámozása. Minden egyes esetben pontosan meg kell becsülni a fellépő feszültségek nagyságát és irányát. Az aktuális kísérletekben a feszültséget állandó értéken tartották, hogy az 4%-os megnyúlást eredményezzen, és 1 Hz-es fáradtási terheléssel dolgoztak, hogy melegedés ne lépjen fel. Az egyik kísérletben magából az extrudált bélésből vágják ki a próbatesteket, hogy a geometria teljesen megegyezzen az eredetivel. Itt is jó korrelációt találtak a molekulatömeg csökkenése és a fáradással szembeni ellenálló képesség romlása között. A mérésekből úgy tűnt,

hogy a sebességet a repedések kialakulása határozza meg, a repedések növekedési sebességére már nem gyakorolt nagy hatást a degradáció. Ezt a jelentőséget gyakran figyelték meg hőre lágyuló műanyagokon. A kérdés tehát az, hogy milyen küszöbérték mellett alakulnak ki a repedések, és mekkora az a kritikus repedésméret, amely már a továbbiakban növekedni tud.



8. ábra Összefüggés a molekulatömeg és a törési szívósság között

A PVDF öregedése

A fluortartalmú polimereknek általában kitűnő a vegyszer- és hőállósága. A fluoropolimerek közül viszonylag legkönnyebben a PVDF dolgozható fel, ennek a polimernek ezenkívül jó a gázzáró képessége és csekély a kúszása. Az adott alkalmazás szempontjából hátrányos a nagy rugalmassági modulusa, mert a merevség megnehezíti a csővezeték felcsévévelését. Ez a hátrány kétféle módszerrel küszöbölhető ki: kopolimerizációval vagy kismolekulájú lágyítókkal. A kopolimerek (1. táblázat) magasabb hőmérsékleten gyorsabban veszítenek szilárdságukból, valamint rugalmasságuk és ütésállóságuk is kisebb, mint a lágyított termékeké, ezért manapság elsősorban a lágyított típusokat alkalmazzák. A 2. táblázatban a lágyítatlan, valamint az új és a 9 évig 150 °C-on öregített, lágyított minták fizikai tulajdonságai láthatók. Az öregedés hatására keveset változik az anyag, viszont ha a lágyítót eltávolítják belőle, sokkal merevebbé válik. Olajjal való érintkezés során az esetleg eltávozó lágyítót pótolják a kőolaj kismolekulájú komponensei. A lágyítóvesztés kinetikája elég jól ismert, és különösen magas hőmérsékleten gyors. Ezért ha élettartam-

kísérleteket akarnak végezni, a kritikus paramétereket érdemes lágyítómentes mintákon meghatározni. A gyakorlatban a lágyítóvesztés a kúszással együtt elég jelentős térfogatváltozást okoz az anyagban, ami különösen a csővezetékek végeinél okozhat problémát. Ezt úgy szokták kiküszöbölni, hogy a csövek végén lágyítómentesítik a polimert, mielőtt a csatlakozásokat rögzítik.

Kémiai változást (pl. oxidatív lánchasadást vagy térhálósodást) nem észleltek a PVDF-nél, az egyetlen vegyi degradációs folyamat a HF-vesztés, amely csak az olvadáspont (170 °C) fölött, és ott is csak lassan következik be. Ezen a hőmérsékleten az anyag 50 év alatt is csak kb. 0,1% hidrogén-fluoridot veszít. A fizikai öregedésnek sokféle oka lehet, és ezek relatív hatása az adott viszonyoktól függ. Mivel a PVDF-et főként magas hőmérsékletű csővezetékekben alkalmazzák, a fizikai tulajdonságok változását is magas hőmérsékleten célszerű követni. A fizikai tulajdonságokat meghatározó tényezők között van egy kristályos átalakulás, amelynek során 150 °C körül az α -kristálymódosulat γ -módosulattá alakul. Ezen a hőmérsékleten a γ -módosulat stabilabb és rugalmasabb, mint az α -módosulat. A 2. táblázatban említett, 9 évig öregített minta nagyrészt γ -módosulatot tartalmaz.

1. táblázat

PVDF homo- és kopolimer, valamint egy lágyított PVDF típus tulajdonságai

Tulajdonság	Egység	PVDF homopolimer	CTFE kopolimer	Lágyított PVDF homopolimer
Olvadáspont	°C	170	165	168
Hajlítómódulus	MPa	2000	1400	800
Izod ütésállóság -30 °C-on	J/m	49	100	130

2. táblázat

Lágyított és lágyítatlan PVDF homopolimer, valamint egy 9 évig, 150 °C-on öregített lágyított PVDF homopolimer minta tulajdonságai

Minta	Nyúlás a folyáshatáron, %	Feszültség a folyáshatáron, MPa	Szakadási nyúlás, %	Szakítószilárdság MPa
Lágyított, új	24	31	50	30
Lágyítómentes, új	9	51	45	42
Lágyított, öregített	17,5	51	50	34

Jelenleg sokféle vizsgálatot folytatnak a PVDF élettartamát meghatározó tényezők felderítésére. Hamarosan olyan új lágyított PVDF típust készülnék bevezetni, amelyből a lágyító nem extrahálható ki, ezért megszűnnek a magas

hőmérsékleten tapasztalt lágyítóveszteséggel kapcsolatos problémák, de megmarad a lágyított típusok jobb rugalmassága és ütésállósága.

(Bánhegyiné Dr. Tóth Ágnes)

Dang, P.; Geramin, Y. stb.: Die Vorhersage der Lebensdauer von PA 11 und PVDF im Ölfeldeinsatz – ein syntetischer Lösungsansatz. = Gummi Fasern Kunststoffe, 54. k. 8. sz. 2001. p. 507–514.

Rilsan® B (poliamide 11). = Atofina termékismertetője. www.atofina.com. 2002. 04. 02.

Technische Kunststoffe Ensigner. Technical Data Sheet: Tecamid 11. = Ensigner gyártmányismertetője.

Tecamid 11. = Az Abot cég gyártmányismertetője. www.abot.com/pa11.htm. 2002. 04.02.

Solvay – Markets. Energy production – The Oil Industry. = www.solvay.com/markets/markoi1.htm. 2002. 04.02.