



Mórocza Árpád

HIDRAULIKUS MŰSZAKI MENTŐ SZERSZÁMOK TELJESÍTMÉNYÉNEK MÓDOSULÁSA A VIZSGÁLT ANYAGOK HŐMÉRSÉKLET VÁLTOZÁSÁNAK FÜGGVÉNYÉBEN

Absztrakt

A hipotézis szerint a mentési folyamatot gyorsítani lehet a sérült acélelemek lokális hűtésével. Ennek vizsgálatát szén-dioxid hóval és cseppfolyósított nitrogénnel hűtött acélprofil anyagok viselkedését vizsgálta kísérletsorozatban a szerző. A kísérletekhez hidraulikus vágót, különféle méretű és anyagú acélprofilokat és egy áramlásmérővel kombinált digitális manométert használt. Felvette, hogy milyen nyomásokon vágta át a vágó a szobahőmérsékletű acélt és a hűtött acélt. Az eredmények alapján új eljárásokat javasolt, amelyek további kísérletek kedvező eredményei esetén alkalmazhatók az iparban és a járművek mentésében is.

Kulcsszavak: hidraulikus szerszámok, műszaki mentés, rideg acél, szakítószilárdság

THE CHANGE OF HYDRAULIC RESCUE TOOL'S PERFORMANCE DEPENDING ON THE TEMPERATURE OF THE TESTED MATERIALS

Abstrakt

According to the hypothesis the rescue process can be accelerated by local cooling of the damaged steel elements. To investigate this, the author examined the behavior of steel profile materials cooled with carbon dioxide snow and liquefied nitrogen in a series of experiments. For these he used a hydraulic cutter, steel profiles of various sizes and materials, and a digital



manometer combined with a flow meter. He recorded the pressures at which the cutter cut through room temperature and chilled steel. Based on the results he proposed new procedures that can be in case of some other experiments positive results are given in the industry and in vehicle extrication situations as well.

Keywords: hydraulic tools, vehicle extrication, brittle steel, tensile strength

BEVEZETÉS

A közúti, üzemi és egyéb baleseteknél a személyi mentésben hatékony eszközök a hidraulikus feszítő-vágó berendezések. Jelen kísérletsorozat nem csak a beszorult sérültek kiszabadítását segítheti, hanem olyan, speciális területeken is alkalmazható, ahol külső tényezők miatt a láng,- és szikraképződéssel járó roncsolásos technikák (pl. lángvágás, korongos gyorsdaraboló alkalmazása) nem jöhetnek számításba. Ilyen területek lehetnek a potenciálisan robbanásveszélyes területek: finomítók, olajfűró tornyok, vasúti katasztrófák veszélyes anyagok szállítása esetén.

Tanulmányaimból és ismereteimből arra a következtetésre jutottam, hogy a mentési folyamatot gyorsítani lehet a sérült acélelemek lokális hűtésével, hiszen alacsony hőmérsékleten – várhatóan – jóval ridegebben viselkedik az acélelem, így az kisebb erővel vágható.

1. ÁLLAPOTTÉNYEZŐK HATÁSA AZ ACÉL VISELKEDÉSÉRE

Általánosságban elmondható, hogy egy acéltípus töréssel szembeni viselkedését az alapanyag és az állapot tényezők határozzák meg. [1]

Állapot tényezők:



- az anyag feszültségi állapota
- terhelési sebesség
- vizsgálati / üzemelési hőmérséklet.

1.1. Acélok viselkedése terhelés hatására

Az anyagok lehetnek szívósak, képlékenyek és viselkedhetnek ridegen. A kis karbon tartalmú acélokra jellemző, hogy a szobahőmérsékleten mutatott szívós viselkedést hűtés hatására elvesztik. Hűtött állapotban ugyanaz az acél ridegebben viselkedik, mint szobahőmérsékleten. Azt a módszert, amivel megállapítható, hogy az anyag viselkedése hol vált szívósból ridegbe, átmeneti hőmérséklet meghatározásának hívjuk. Charpy-féle ütővizsgálati próbatesteket különböző hőmérsékletre hűtve felvehetjük az átmeneti hőmérsékleti diagramot. [2]

Dolgozatomban az acélminták üzemelési/vizsgálati hőmérsékleti változásának hatását vizsgálom, mert jelen feltételezésem szerint műszaki mentéskor ezt az egy állapottényezőt tudom befolyásolni.

2. KÍSÉRLETI TERV LÉPÉSEI

A kísérlet végrehajtásának lépései a következők voltak:

- Elgondolás: a kísérleti elrendezés körvonalazása, logisztikai háttér feltérképezése.
- Anyag és eszközigény meghatározása: CU 4050 C NCT II vágóolló és Keller LEO Record digitális manométer beszerzése.
- Szerszámrögzítő mobil állvány tervezése, legyártása: a mobil állvány kettős célokat szolgál, mert a kísérleten túlmenően a napi karbantartási munkámhoz is tudom használni. Méretei miatt azonos magasságú platformot képez a hazánkban készenlétben álló gépjármű fecskendők és műszaki mentő gépjárművek hidraulikus feszítő-vágó



berendezés hordozó állványaiival, így a nagy tömegű berendezéseket egy ember is könnyen tudja mozgatni.

- Próbatestek beszerzése.
- Próbatestek darabolása, emelőfuratok kimunkálása. A furatokat csak a hűtésre kerülő próbadarabokon alakítottam ki.
- A cseppfolyósított nitrogén tárolásához, szállításához és kiöntéséhez megfelelő speciális DEWAR edény beszerzése.
- Cseppfolyósított nitrogén beszerzése, lefejtése, szállítása.
- Mérési jegyzőkönyvek elkészítése, nyomtatása, kísérlet során történő vezetése.
- Egyeztetés a **DUNAFERR LABOR Nonprofit Kft.** munkatársaival a kísérlet lefolytatásának helyéről, idejéről.
- Kísérletek végrehajtása.
- Értékelés.
- Eszközök, szerszámok ellenőrzése, karbantartása.

3. A VIZSGÁLAT MENETE

A vizsgálatok minden esetben két részből tevődtek össze:

- mechanikai vizsgálatok
- hidraulikus vágóollóval/ feszítőszerszámmal történő mérések.

4.1. Vizsgálati mintatípusok

1. *Ø60,3 x 2,9 mm méretű, P235GH+N TC1 minőségű acélcső*
2. *6,0 mm névleges vastagságú, S355 kiinduló minőségű acéllemez*



3. $\varnothing 21 \times 4,5$ mm méretű, ismeretlen minőségű, nagyszilárdságú acélcső

A mechanikai vizsgálatok a szakító próbatestek gyártásával és vizsgálatával kezdődtek, a $\varnothing 60,3 \times 2,9$ mm méretű csőnél és az acéllemeznél Charpy-féle ütővizsgálattal folytatódtak.

A $\varnothing 21 \times 4,5$ mm méretű csőből a méretei miatt nem volt kialakítható az ütővizsgálati próbatest, így ott nem tudtam felvenni az alapanyag átmeneti hőmérsékletét.

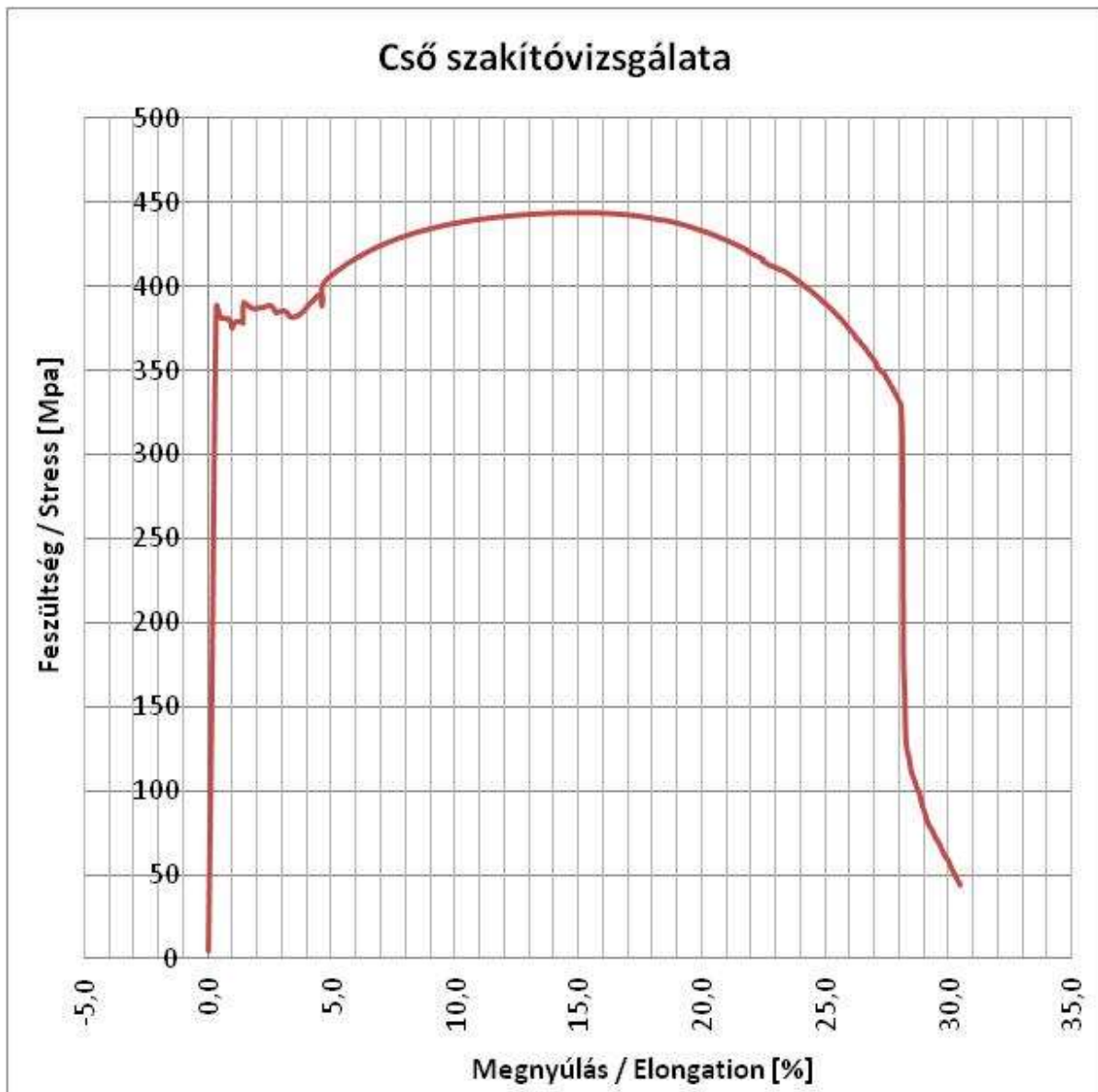
A hidraulikus ollóval történő vágás során a rendszer hidraulika nyomását tudtam mérni a PFM 1 C mérőegységre szerelt Keller LEO Record típusú digitális manométerrel, mely a Keller LOGGER 5.3 szoftverrel kommunikált.

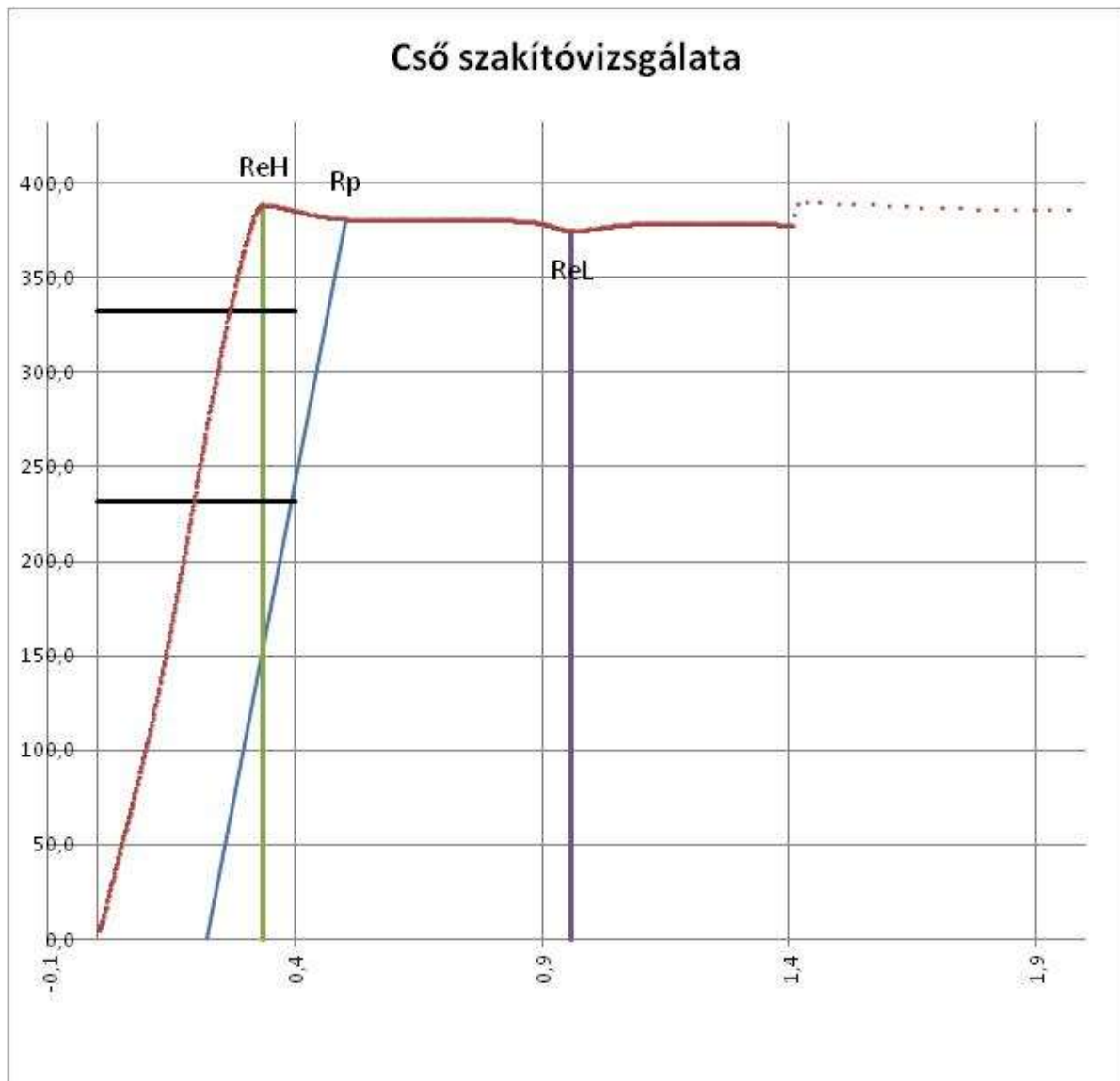
A különböző hőmérsékleten történő vágásoknál a nyomásértékeket és a vágási (roppantási) folyamat időbeli lefolyását rögzítettem.



4.2. $\varnothing 60,3 \times 2,9$ mm méretű acélcső

A $\varnothing 60,3 \times 2,9$ mm méretű, P235GH+N TC1 minőségű csővel a személygépkocsik „B” oszlopának összetett keresztmetszeti alakját és szilárdságát modelleztem. A csőből íves szakító próbatestek [3] és Charpy-féle ütővizsgálati próbatestek készültek.







1. ábra A szerző a szakítóvizsgálat közben

A cső alapanyagának átmeneti hőmérsékletét szerettem volna kimérni, hogy a hidraulikus vágóval végzendő kísérlet próbatest hőmérsékletét meg tudjam határozni.

A csőből készült ütő próbatestek szobahőmérsékletű ütőértéke 44 J, a -75°C -on végzett vizsgálatok eredménye 42 J volt. A vizsgálatokból adódott, hogy ez az alapanyag -75°C -on még nem veszti el a szívósságát, az átmeneti hőmérséklete -75°C alatt van, ezért a közbenső hőmérsékleteken nem végeztem el az ütővizsgálatot. A -196°C -on végzett ütővizsgálat 1 Joule eredményt adott, így megállapítottam, hogy a cső alapanyaga rideggé vált ezen a hőmérsékleten.

Hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	Átlag ütőérték [J]
23	44
-75	42
-196	1



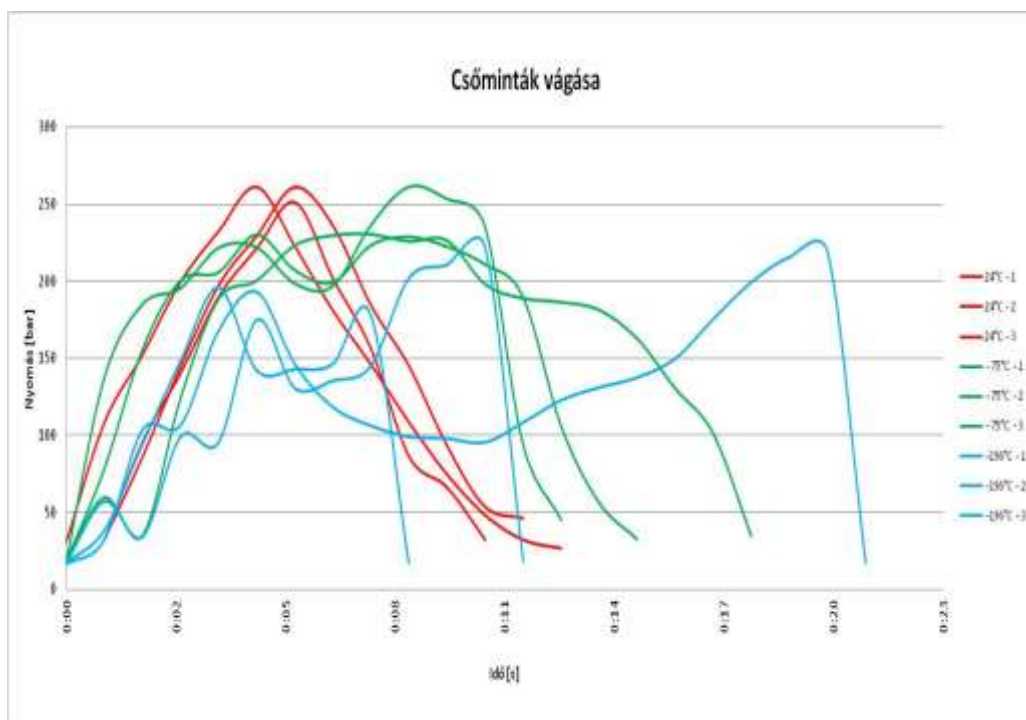
A fentiek alapján három hőmérsékleten vágtam el a csöveket:

- szobahőmérsékleten,
- -75°C -on,
- -196°C -on.

A Charpy-féle ütő- és a cső próbatest -75°C -ra való hűtését – hó közlő közegként alkalmazott-
etil-alkoholban feloldott szénsavhóval, a -196°C -ra hűtést cseppfolyósított nitrogénnel
végeztem.

Hűtési idő -75°C -on 5 perc, -196°C -on 2 perc volt.

A szobahőmérsékleten történt vágás maximális hidraulikus nyomása 260 bar volt. Ez a
nyomásérték -75°C -on 220 bar-ra, -196°C -on pedig 100 bar-ra csökkent.





Sorszám	Hőmérséklet [°C]	Nyomás [bar]	Szín
1.	23	260	piros
2.	-75	220	zöld
3.	-196	100	kék

A kísérlet kiértékelésekor megállapítottam, hogy a „modell” valószínűleg túldimenzionált volt egy tényleges gépkocsi „B” oszlophoz képest. További nehézséget okozott az, hogy -196°C -on a cső hosszirányban hasadt szét négy részre. A négy rész összecsiszított egy keresztmetszetbe, ez okozta a kék színű diagramokon látható nyomásnövekedést, valamint a vágás időbeli lefutásának meghosszabbodását.

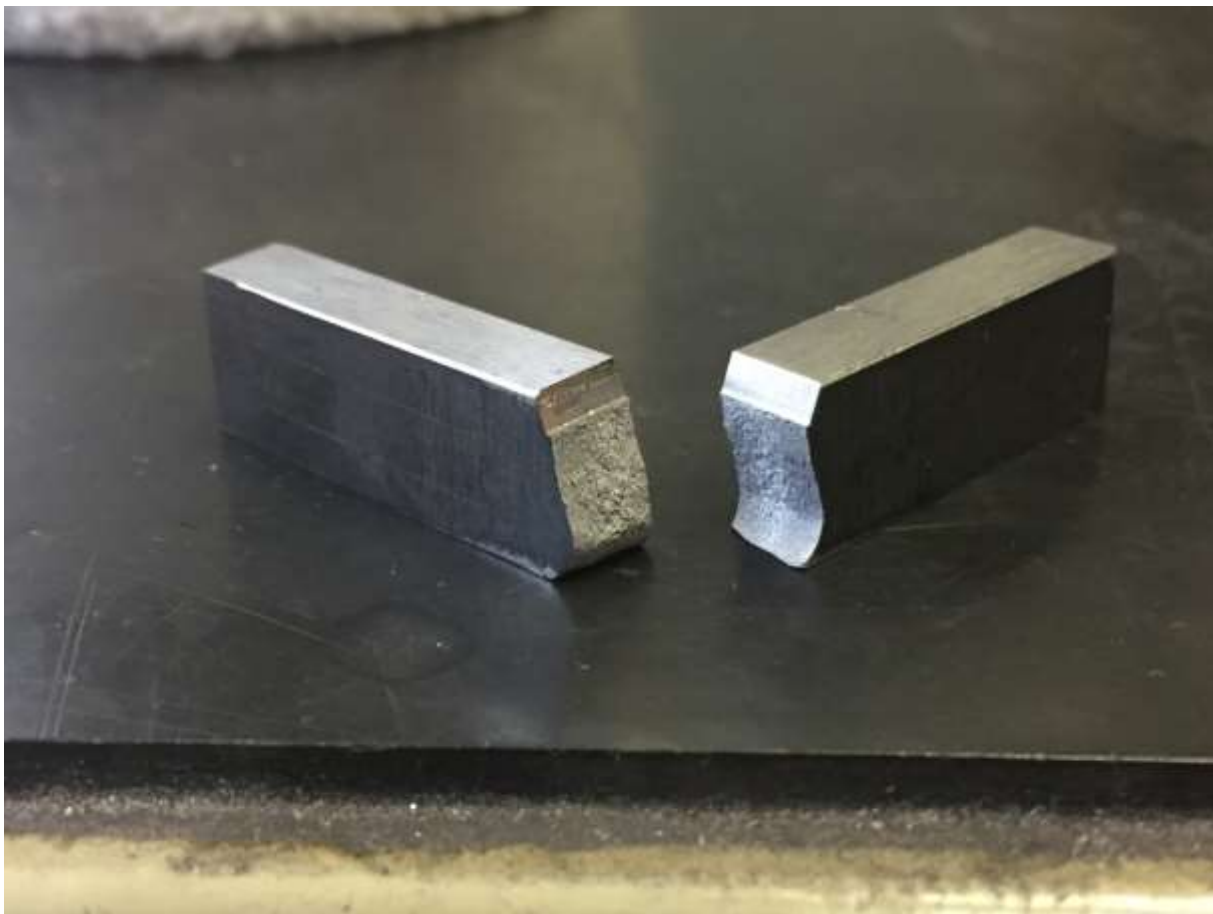


2. ábra Nitrogénnel hűtött acélcső a vágást követően

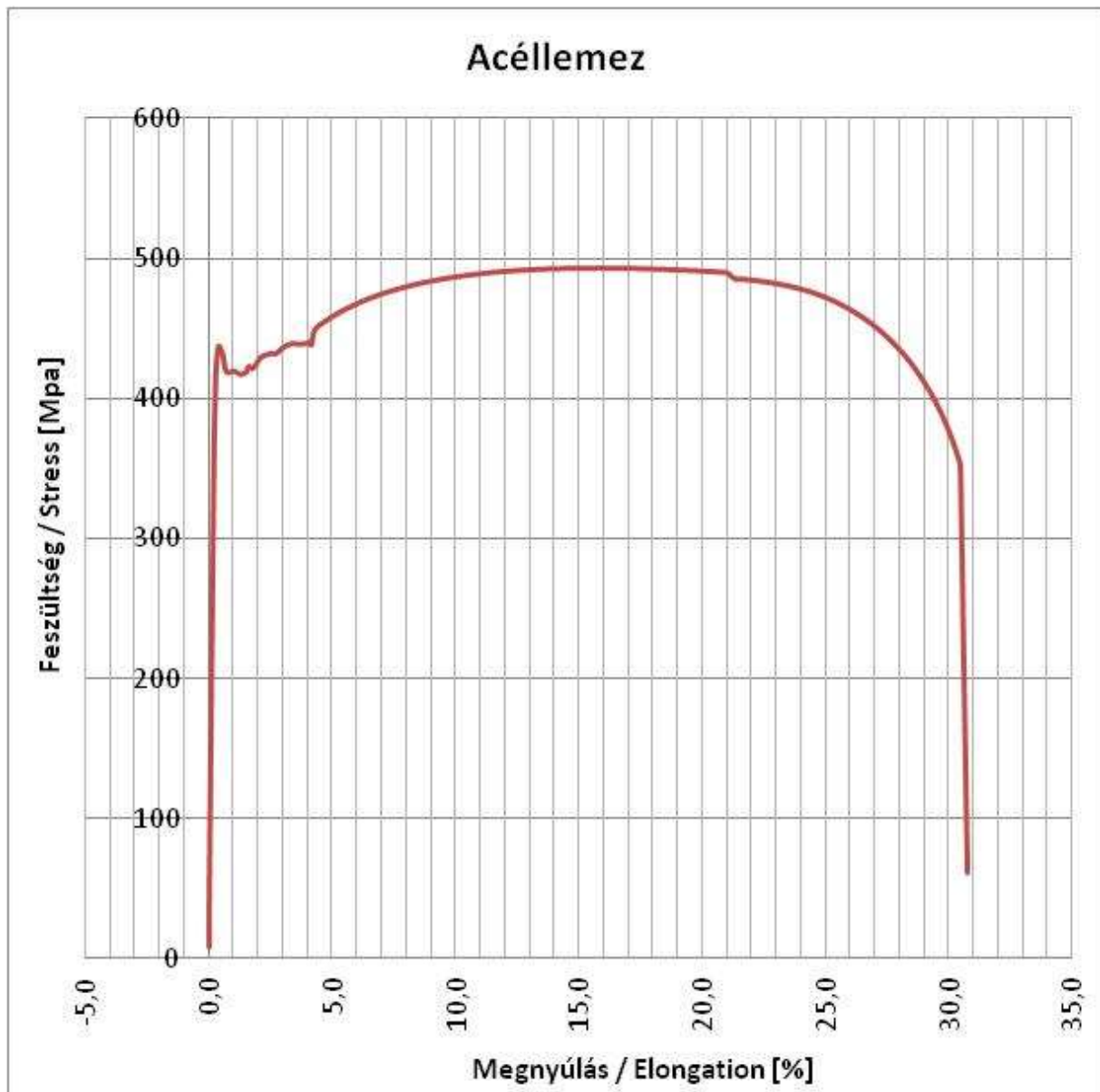


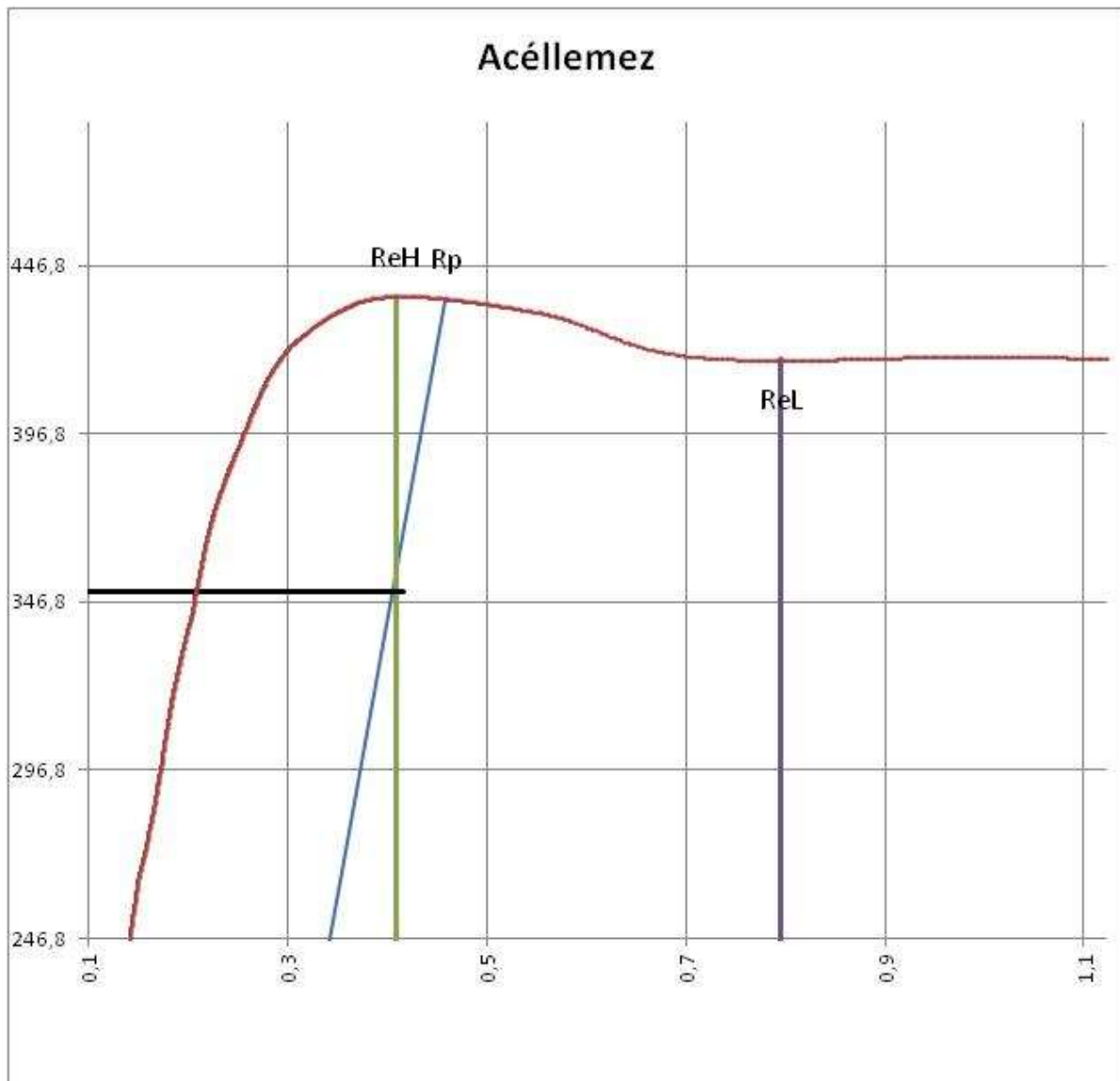
4.3. S355 kiinduló minőségű, 6 mm névleges vastagságú acéllemez

A második vizsgálati anyagom az S355 kiinduló minőségű, 6 mm névleges vastagságú acéllemez lett. A vágott próbatestek szélessége 20 mm volt. A próbatesteket vizsgálat előtt a laboratóriumban [4] hőkezelték, ezért hivatkozok rá, mint ismeretlen vagy S355 kiinduló minőségű anyagra.



3. ábra Charpy-féle próbadarabok a nitrogénes hűtést követően

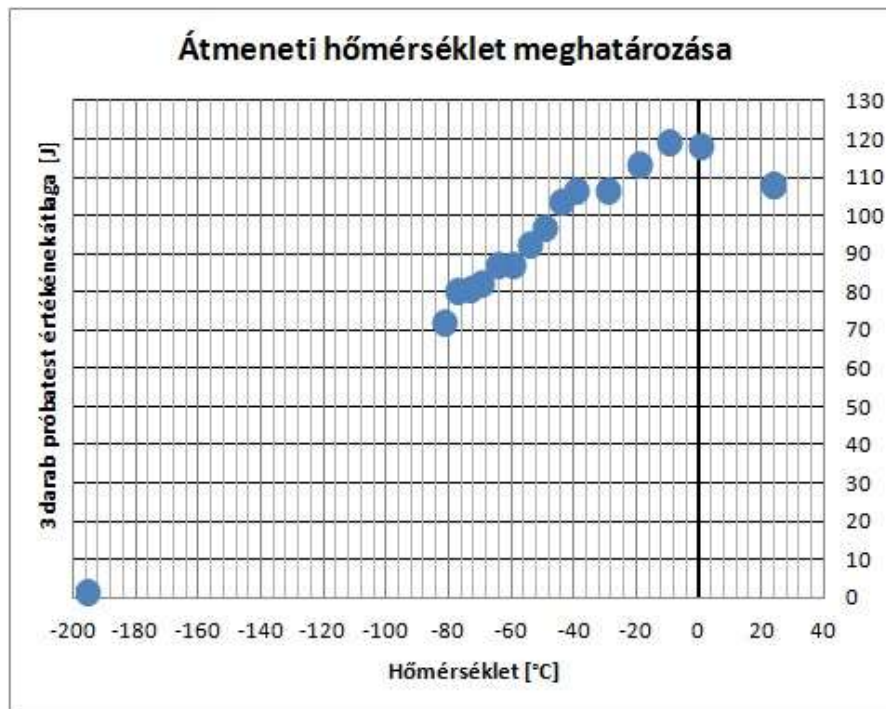




Ennél az anyagnál már csökkenő szívósságot tapasztaltam a hőmérséklet csökkenésének hatására. Az etil-alkohol és a szilárd széndioxid hűtőközeggel -82°C -ig tudtam hűteni. Az utolsó mérési pontom a folyékony nitrogénben hűtött próbatestek ütőértékei. A mérések során minden hűtött mérési pontnál 5 perc volt a hűtési idő, mert az MSZ EN ISO 148-1 szabvány ennyit ír elő.

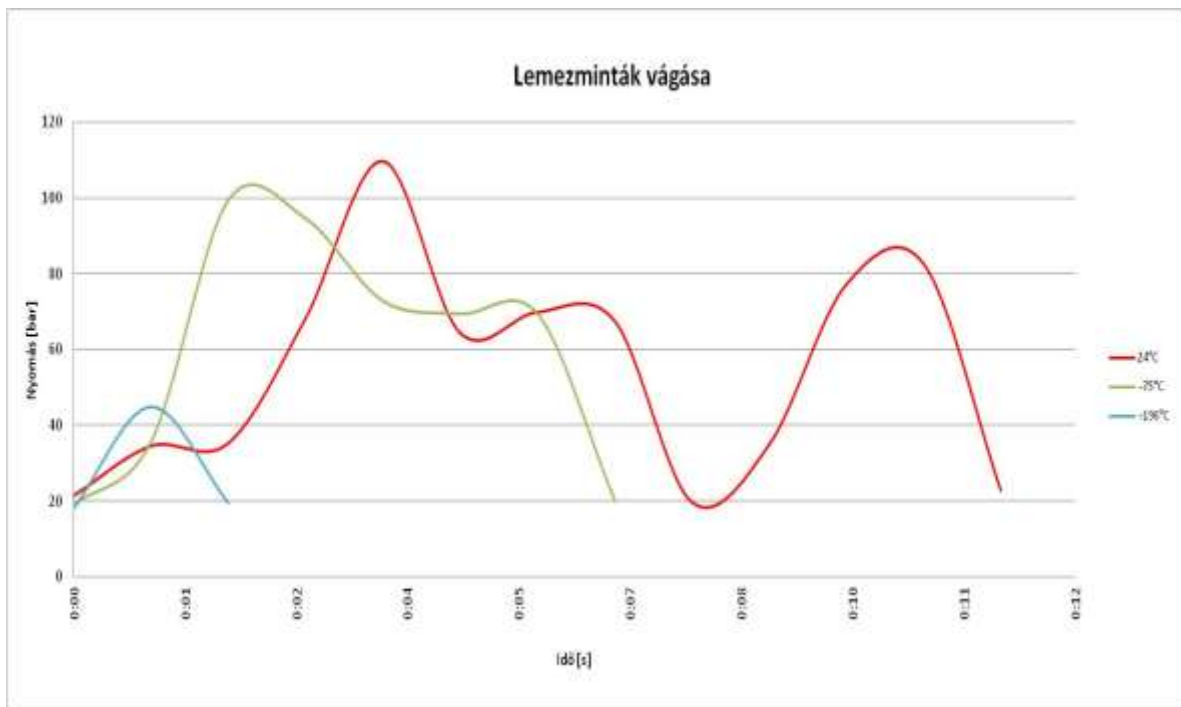


Hőmérséklet [°C]	Átlag ütőérték [J]
23	108
23	108
0	118
-10	119
-20	113
-30	107
-40	107
-45	104
-50	97
-55	93
-60	87
-65	87
-70	82
-74	81
-78	81
-82	72
-196	2





Az átmeneti hőmérsékleti diagramon jól látszik, hogy az anyag -10°C -tól csökkenő ütőértékekkel rendelkezik, -196°C -on elveszti szívósságát.



Sorszám	Hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	Nyomás [bar]	Szín
1	23	109	piros
2	-75	101	zöld
3	-196	45	kék

Az átmeneti hőmérsékleti diagram és a vágáskor mért nyomásérték is azt mutatta, hogy az acéllemez -80°C hőmérsékleten még szívósan viselkedett, -196°C -on azonban már ridegen.

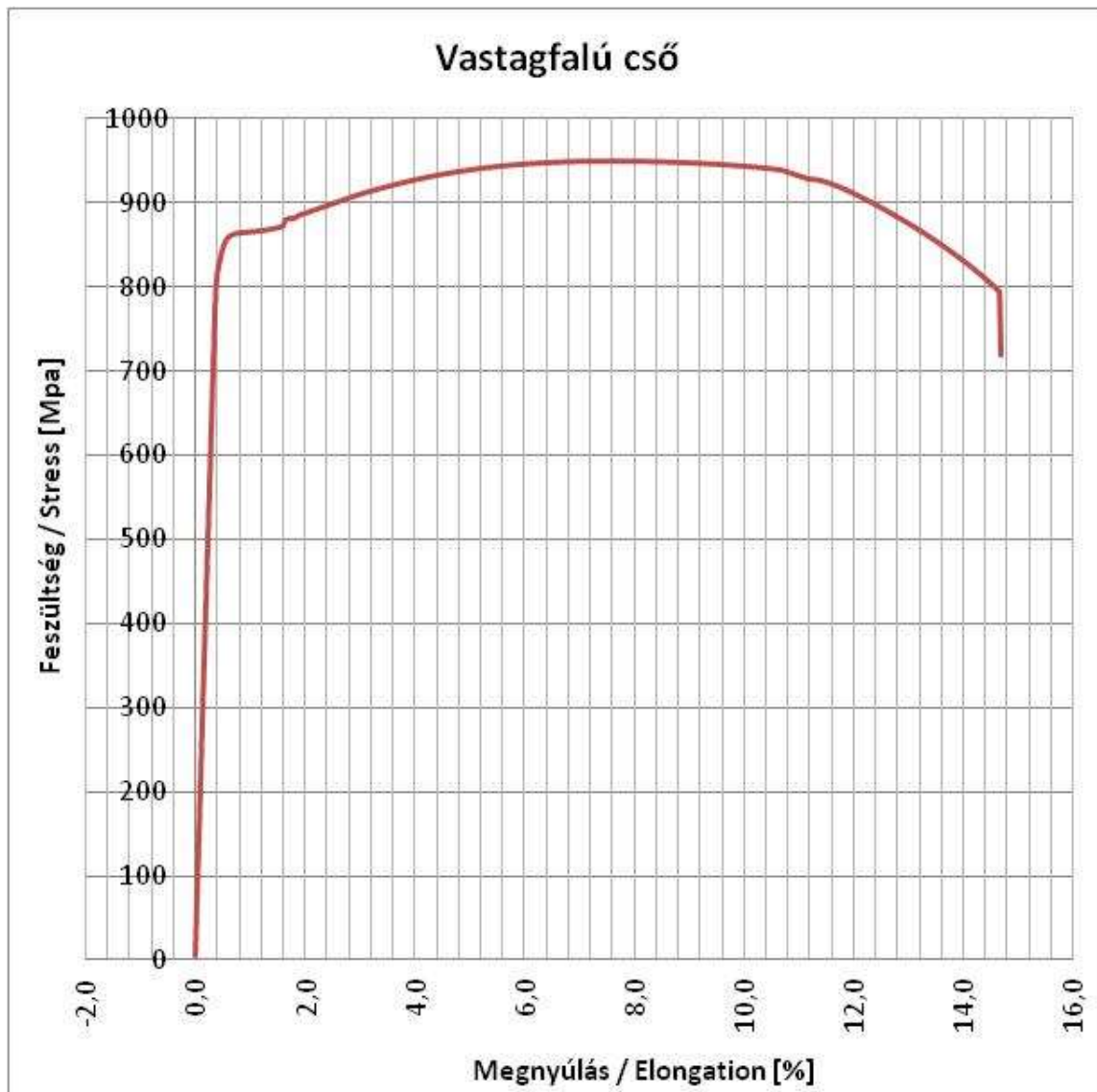


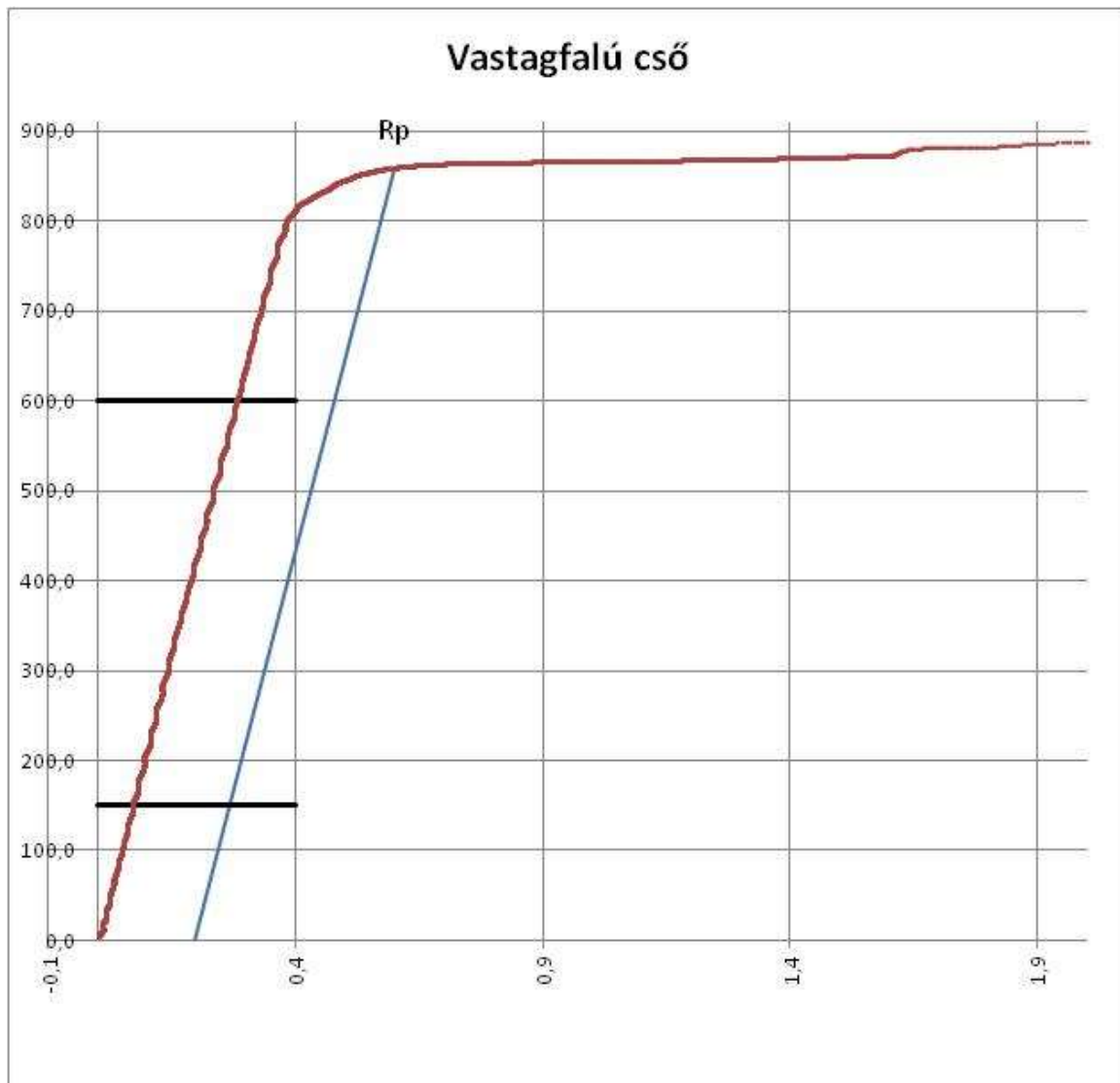
4.4. Ø 21 x 4,5 mm acélső

A vizsgálatokba bevont harmadik anyag a Ø 21 x 4,5 mm névleges méretű nagyszilárdságú acélső volt. Itt eltekintettem az átmeneti hőmérséklet meghatározásától, mert a cső méretei miatt a próbatestek előkészítése nem volt lehetséges.

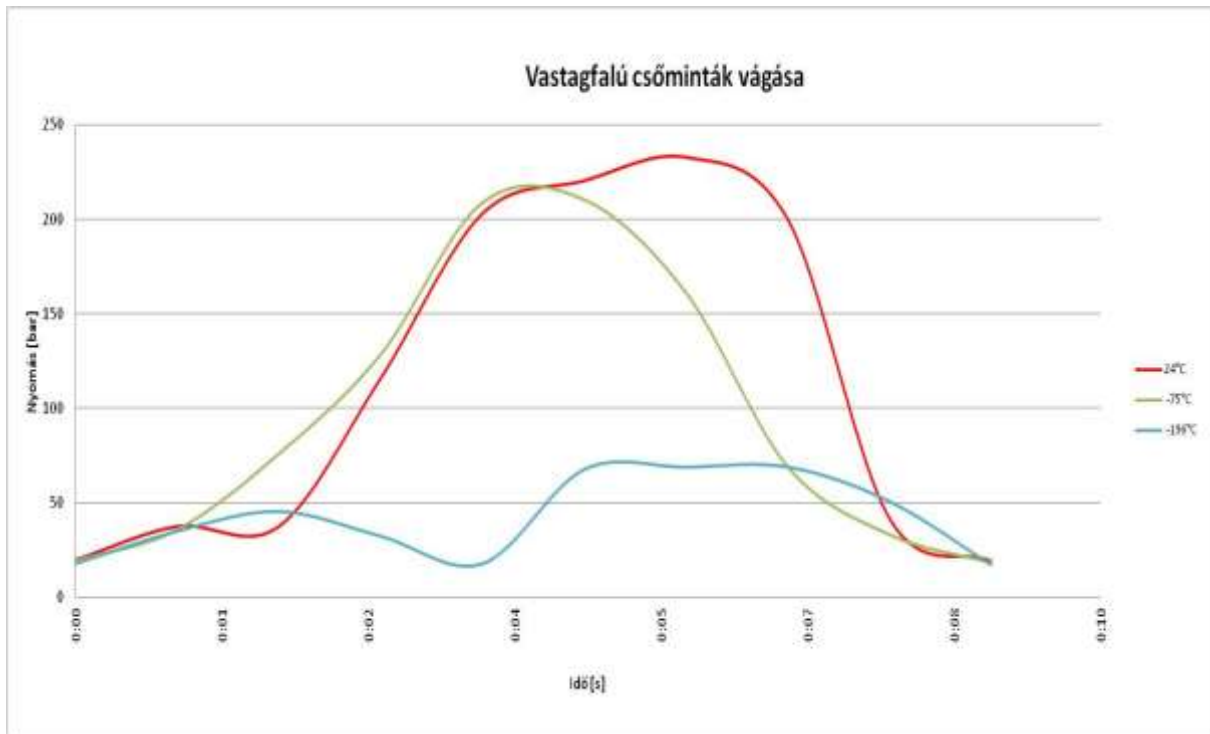


4. ábra Vastagfalú acélső vágási felülete szobahőmérsékletű vágás után





A szakítódiagramon jól látható, hogy a vastag falú cső 950 MPa érték felett szakadt el.



Sorszám	Hőmérséklet [°C]	Nyomás [bar]	Szín
1.	23	232	piros
2.	-75	210	zöld
3.	-196	69	kék

A három hőmérsékleten felvett nyomásdiagramokról egyértelműen látszik az anyag hűtés hatására történő elridegedése. Ennél az anyagnál is elmondható, hogy -75°C-nál még szívós, -196°C-on már ridegen viselkedik. A hűtési idő 5 perc volt.



4.5. P235GH cső roppantása feszítőszerszámmal

A kísérletsorozat befejezéseként a $\varnothing 60,3 \times 2,9$ mm méretű csövet a feszítő szerszámmal is megvizsgáltam. Szobahőmérsékleten és -196°C -on két-két mintát szorítottam illetve törtem össze. A próbatesteket a feszítőcsúcsok végétől mérve 65 mm-re fogtam meg a feszítőszerszámmal. A két hűtött mérés közti különbséget az adhatja, hogy a szerszámhoz képest a vágandó próbatest pozíciója nem volt rögzített, és az erőkar növekedésével az anyag roncsolásához szükséges nyomásigény is növekszik.



5. ábra A kísérlethez használt feszítőszerszám a műhelyautóban szállítási helyzetben



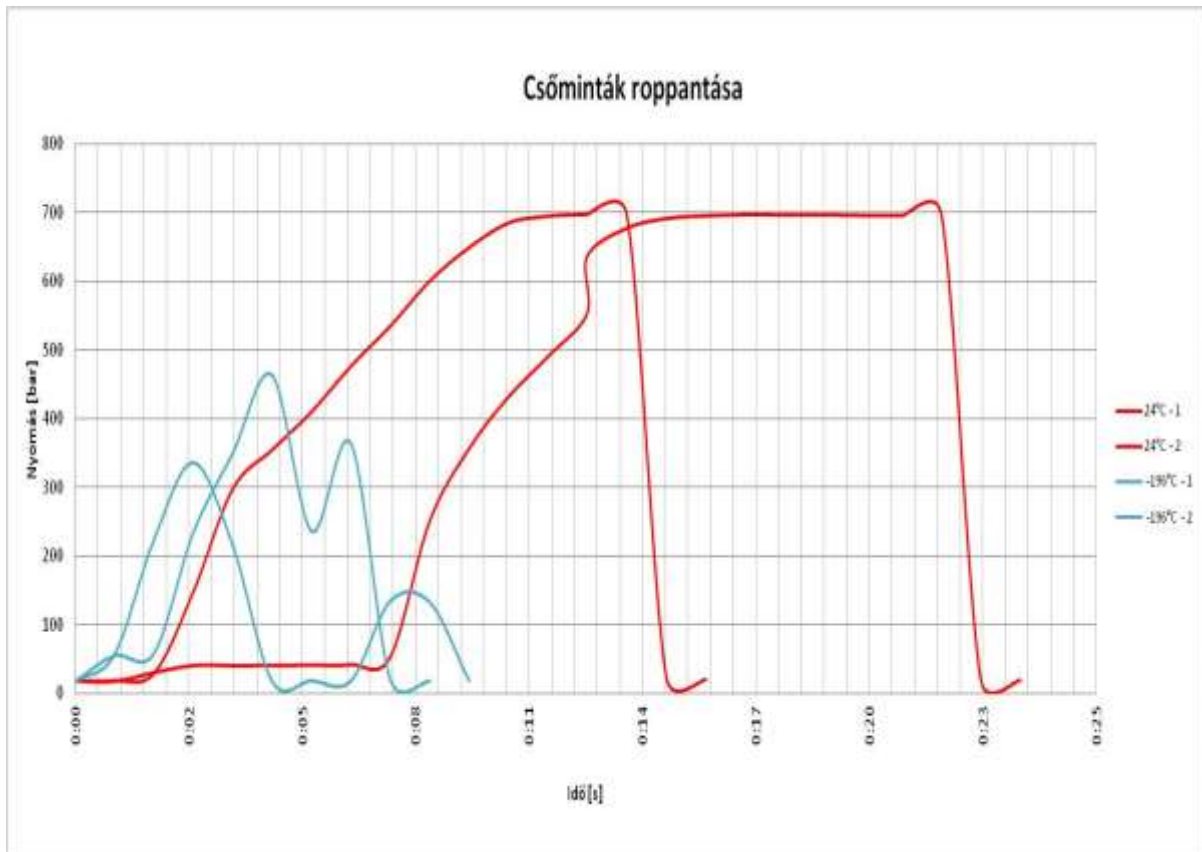
Ezzel az eszközzel különösen figyelemre méltó eredményeket értem el. A szerszám szobahőmérsékleten képtelen volt teljesen összeszorítani a csövet, azaz a rendszer a végnyomását elérte, további alakváltozás a próbatesten nem következett be, viszont -196°C -on teljesen összetörte azt. Öröndetes adat, hogy mindez sokkal gyorsabban történt, mint szobahőmérsékleten, mentésnél az idő életet jelenthet.



6. ábra A feszítővel összetört próbatest



7. ábra A nem hűtött szorítás eredménye



Sorszám	Hőmérséklet [°C]	Nyomás [bar]	Szín
1	-196	336	kék
2	-196	464	kék
3	23	697	piros
4	23	697	piros



5. MEGÁLLAPÍTÁSOK A VÁGÁSSAL KAPCSOLATBAN

Alapfeltevésem volt, hogy a cseppfolyósított nitrogénnel hűtött acélső igen kis nyomáson ridegtörést fog szenvedni és a folytonossága meg fog szűnni. Feltevésem a ridegtörés bekövetkezésével kapcsolatosan igaznak bizonyult, azonban a vágás során az olló az összetört fémdarabokat összefogva végül közel akkora nyomáson tudta az így kialakult összetett keresztmetszetet átvágni, mint szobahőmérsékleten.

A **3. táblázat** alapján megállapítottam, hogy a szobahőmérsékletű vágáshoz képest a vágás nyomásigénye:

- a szénsav hóval történő hűtéssel: **6,98 %-al**,
- a nitrogénnel történő hűtéssel: **18,22 %-al**

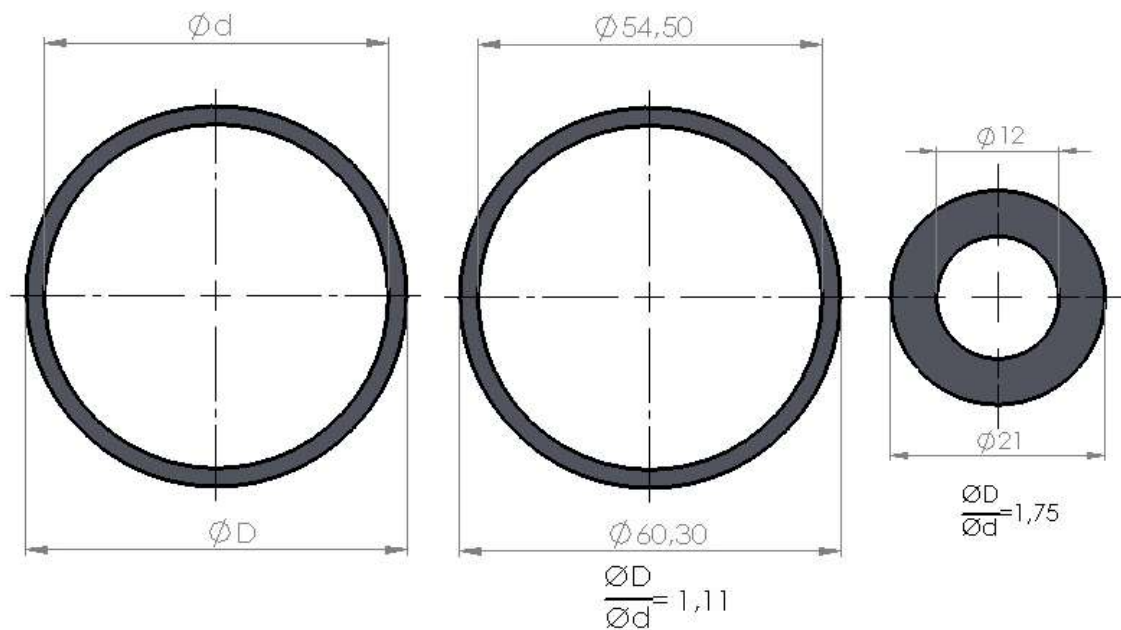
volt *kisebb*.

A vágás időtartama a szobahőmérsékletű vágáshoz képest:

- a szénsav hóval történő hűtéssel: **24,6 %-al**,
- a nitrogénnel történő hűtéssel: **13,8 %-al**

volt *nagyobb*.

Az egyértelmű nyomásigény-csökkenés az időbeli növekedés jelenléte mellett jelezte számomra, hogy más dimenziójú szelvény vágására is szükségem lesz a feltevés helyességének egyértelmű bizonyításához, vizsgálatához. Ehhez nagyobb falvastagságú csövet választottam, melynek feltételezésem szerint látványosabb ridegtörést kellett volna szenvednie, ez a későbbiek folyamán beigazolódott. Az alábbi ábrán látható, hogy alakult a két különböző szelvény esetében a külső és belső átmérők hányadosának aránya.



Összefüggés a szelvények méretei között

A nagyobb falvastagságú cső vágásakor nem állt elő a fentebb ismertetett jelenség, az anyag elridegedéséből adódó törés jelentősen kisebb nyomás mellett következett be, azonos időtartam mellett.

A mérési jegyzőkönyvek alapján megállapítottam, hogy a szobahőmérsékletű vágáshoz képest a vágás nyomásigénye:

- a szénsav hóval történő hűtéssel **9,48 %-al**,
- a nitrogénnel történő hűtéssel **70,26 %-al**

volt **kisebb, azonos, 9 sec időtartam** mellett.

A **lemezanyag vágásával** kapcsolatban erős fenntartásaim voltak, mert az olló pengéinek íves kiképzése nem lemezvágásra optimalizált, ilyen célokra minden esetben egyenes pengét, vagy általános célú GP (General Purpose) pengét alkalmazunk. A vágás végrehajtása során az olló többször képlékeny alakváltozást idézett elő a próbatestnél, ez a jelenség azonban a hűtéssel ridegedő anyag esetében kevésbé jelentkezett. Megjegyzem, hogy ez a nyomás – idő



diagramról leolvasható nyomáscsökkenés jól illeszkedik az átmeneti hőmérséklet csökkenő ütmunka értékeihez is.

A mérési jegyzőkönyvek alapján megállapítottam, hogy a szobahőmérsékletű vágáshoz képest a vágás nyomásigénye:

- a szénsav hóval történő hűtéssel: 7,34 %-al,
- a nitrogénnel történő hűtéssel: 58,72 %-al

volt *kisebb*.

A vágás időtartama a szobahőmérsékletű vágáshoz képest:

- a szénsav hóval történő hűtéssel: 41,67 %-al,
- a nitrogénnel történő hűtéssel: 83,34 %-al

volt *kisebb*.

Megállapítások a cső összeroppantásával kapcsolatban

A Ø60,3 x 2,9 mm méretű P235GH cső összeszorításakor a mérési jegyzőkönyvek alapján megállapítottam, hogy a szobahőmérsékletű szorításhoz képest:

- a nitrogénnel történő hűtéssel: 42,61%-al

volt *kisebb a nyomás, 9,5 sec átlagos időtartam* mellett. Ez azért érdekes, mert a szobahőmérsékletű szorítás esetén a szerszám képtelen volt a szelvényt teljesen összeszorítani, ez jól látható a nyomás – idő diagramon is.

6. A KÍSÉRLET TAPASZTALATAI

Kísérletem tervezésekor úgy gondoltam, hogy -75°C hőmérsékleten mintáim látványosan ridegebbek lesznek, mint szobahőmérsékleten. Mindhárom anyagról elmondható, hogy ez nem így történt.



Azonban 6 mm vastagságú lemeznél a nyomás – idő diagramról leolvasható nyomáscsökkenés jól illeszkedik az átmeneti hőmérséklet csökkenő ütmunka értékeihez. A lemez próbatest vágásánál akadályba ütköztem, ti. a vágópengék a még szívósan viselkedő anyag esetében begyűrték a fémet. Ez a jelenség az anyag ridegedésével csökkent.

Mindhárom vágási kísérletemnél egyértelműen adódott, hogy a csökkentett hőmérsékletű acélminta ridegebb, ezért a vágás hidraulikus nyomásigénye kisebb a normál hőmérsékletűnél.

Műszaki mentéseknél előfordul, hogy a hidraulikus feszítő és vágóeszközök a nagyszilárdságú, nagyobb falvastagságú autó karosszéria elemeket nem tudják átvágni, így a balesetet szenvedett személyek mentése elhúzódik. Megfelelő védő- és segédeszközök használatával a folyékony nitrogénes hűtés utáni vágás megoldást adhat. A cseppfolyós nitrogén megfelelő tárolóedényben hetekig is megmarad, nem párolog el, így alkalmas lehet a területre vonuláshoz is.

A kísérlet utolsó mozzanata külön érdekes volt, mert a feszítőszerszámmal történő roppantás csak hűtött állapotban tudott bekövetkezni, a nem hűtött esetben a szelvény teljes összeszorítására nem volt elegendő a szerszám szorítóereje.

Mérési eredmények:

- **Ø60,3 x 2,9 mm acélcső vágása**

Környezeti: 258 bar (100 %)

Szénsavhóval: 240 bar - 6,98 %

Nitrogénnel: 211 bar - 18,22 %

- **6,0 mm acéllemez vágása**

Környezeti: 109 bar (100%)

Szénsavhóval: 101 bar - 7,34 %

Nitrogénnel: 45 bar - 58,72 %

- **Ø21 x 4,5 mm acélcső vágása**



Környezeti: 232 bar (100%)

Szénsavhóval: 210 bar - 9,48 %

Nitrogénnel: 69 bar - 70,26 %

- **Ø60,3 x 2,9 mm acélcső roppantása**

Környezeti: 697 bar (100%)

Nitrogénnel: 400 bar - 42,61 %

Mind a négy kísérletnél egyértelműen adódott, hogy a csökkentett hőmérsékletű acélminta ridegebb, ezért a vágás hidraulikus nyomásigénye kisebb a normál hőmérsékletűnél.

Jelen dolgozat keretein túlmutató további kísérleteket fogok végrehajtani különféle hidegen és melegen alakított profilokkal, adott karosszéria elemekkel, alváz elemekkel, hidraulikus olló és feszítőszerszámok használatával egyaránt.

7. GYAKORLATI ALKALMAZÁS LEHETŐSÉGEK

A közúti, üzemi és egyéb balesetknél a személyi mentésben hatékony eszközök a hidraulikus feszítő-vágó berendezések. A járművek fejlesztésével egyre nagyobb szakítószilárdságú acélokat alkalmaznak a karosszériák kialakításánál, ez sok esetben megnehezíti a karosszéria elemek roncsolását egy esetleges balesetnél. A műszaki mentő eszközöket fejlesztők próbálnak lépést tartani az autóiipari változásokkal, ehhez a vágandó fémek hűtése is segítséget jelenthet.

Jelen kísérletsorozat nem csak a beszorult sérültek kiszabadítását segítheti, hanem olyan, speciális területeken is alkalmazható, ahol külső tényezők miatt a láng,- és szikraképződéssel járó roncsolásos technikák (pl. lángvágás, korongos gyorsdaraboló alkalmazása) nem jöhetnek számításba. Ilyen területek lehetnek a potenciálisan robbanásveszélyes területek: finomítók, olajfúró tornyok, vasúti katasztrófák veszélyes anyagok szállítása esetén, stb.



A kísérlet eredményei igazolták, hogy a fémek ridegedésével, a vágás (szorítás) nyomásigénye csökken. Mindezek mellett a kísérlethez használt kivitelű vágószerszámok csak korlátozottan alkalmasak tömör anyagok vágására. További kísérletek elvégzése bizonyíthatja, vagy cáfolhatja azt a megállapításomat, hogy a kriogén hűtéssel az olló képességeit kiterjeszthetjük a tömör anyagok vágására is.

Az elképzelésem olyannyira gyakorlati alapokon nyugszik, hogy egy javítás alkalmával szakmai kérdésként felmerült, hogy milyen megoldást tudnék javasolni arra a problémára, hogy szikraképződés és hőfejlődés nélkül lehessen elvágni (törni) egy sérült repülőgép szárnyfüggesztő csapszegét. Jelen tapasztalataim birtokában egészen biztosan megpróbálnám meghűtve eltörni.

HIVATKOZÁSOK

[1] Széchenyi István Egyetem – Acélok szívóssága – előadás anyag

[2] MSZ EN ISO 148-1:2017 Fémek. Charpy-féle ütővizsgálat. 1. rész: Vizsgálati módszer

[3] MSZ EN ISO 6892-1:2016 Fémek. Szakítóvizsgálat. 1. rész: Vizsgálat szobahőmérsékleten

[4] DUNAFERR LABOR Nonprofit Kft. Dunaújváros, Vasmű tér 1-3

Mórocza Árpád gépészmérnök, szervizmérnök,

SziFire Kft. Holmatro képviselő és szerviz.

Árpád Mórocza mechanical engineer, service engineer

SziFire Ltd. Holmatro dealer, and service centre.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0128-5007>

Mail: arpad.morocza@szifire.hu