Kántor T., Kovács B., Székely I., Tóth M., Szanyi J., Madarasz T.: Lézerrel felületkezelt acéllemezek és beton kontakt vizsgálatai a kútlezárások fejlesztése érdekében
Fókuszban a hazai felszín alatti természeti erőforrások - nyersanyagok, energia és technológiák nexusa, ISBN 978-963-358-277-0, oldal: 255-266.

Lézerrel felületkezelt acéllemezek és beton kontakt vizsgálatai a kútlezárások fejlesztése érdekében

Kántor T.[1]*, Kovács B.[2], Székely I.[3], Tóth M.[4], Szanyi J.[5], Madarasz T.[6]

[1] Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, hgkt83@uni-miskolc.hu
[2] Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, modflow@gmail.com
[3] Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, hgszi@uni-miskolc.hu
[4] Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, hgtoth@uni-miskolc.hu
[5] Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, szanyi@iif.u-szeged.hu
[6] Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, tamas.madarasz@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A termelő kutak fontos részei a nagy mélységű fluidom és gázbányászati tevékenységnek. A kutak segítségével tudjuk felhozni a gazdaság és a lakosság számára nélkülözhetetlen energiaforrásokat, legyen az olaj, gáz, de ide sorolhatóak a geotermikus energiát szállító víz és ivóvíz is.

A kutak létesítése, üzemeltetése, karbantartása és megszüntetése is igen komoly mérnöki feladat, valamint nagyon költséges is, ezért fontosak az ezen tevékenységekhez kapcsolódó innovatív fejlesztések.

Publikációnkban a kutak lezárását követő eltömedékeléséhez kapcsolódó újszerű eljárást kívánunk bemutatni. A vizsgálataink célja annak bebizonyítása, hogy az acélkutak belső felületének átalakításával növelhető a cementdugó és a kút közötti súrlódási erő, miáltal rövidebb cementdugó alkalmazható, vagy biztonságosabb lehet a kút tömedékelése. A kutak belső felületének nagy intenzitású lézerrel való kezelése innovatív megoldás, iparszerűen nem alkalmazzák, ezért fontos alapkutatást végezni, ami bizonyíthatja az eljárás hatásosságát.

Az acéllemezek felületkezelését a Zerlux Hungary Kft. végezte, saját fejlesztésű lézerberendezésével, a súrlódási vizsgálatokat pedig a Miskolci Egyetem Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratórium szakemberei hajtották végre direkt nyíróberendezés segítségével.

A kutatási munka során adalékmentes, hagyományos portland cementből készítettünk mintatesteket, amelyeket C45-ös minősítésű acéllapokra öntöttünk, 3D nyomtatott műanyag zsaluzat segítségével. A mintákat a megszilárdulás után a vizsgálat céljára átalakított direkt nyíródobozba helyeztük és az acél-beton határfelületet tönkremenetelig terheltük.

Az eredmények bizonyították, hogy az újszerű felületkezelési eljárással többszörösére növelhető az acél-beton közötti súrlódás.

1 Bevezetés

A felszín alatti folyékony és gáznemű ásványi kincsek kinyerésének eszközei a kutak. A kutak segítségével érhetünk el olyan nagy mélységekben lévő fluidumokat, amelyek a lakosság és gazdaság víz és energiaigényét biztosítani tudják. Országonként eltérőek a készletek, így a fluidum bányászat is változó volumenű, viszont egységesen elmondható, hogy minden országban stratégiai fontosságúak.

A globális nyersanyag- és energiapiac napjainkban lejátszódó radikális átalakulása, a világ rohamosan növekvő energiaigénye, emellett a szigorodó környezetvédelemi előírások, mind a megújuló és zöld energiaforrások irányába tolják el a globális energiamix összetételét. A fenntartható fejlődés igénye, a fosszilis energiahordozók véges készletei olyan új energiaforrások felhasználását teszik szükségessé, amelyek belátható időn belül nem merülnek ki, s szakadatlanul megújulnak. Ezek közé tartozik a geotermikus energia is, amely ugyan csak részben megújuló energiafajta, de óriási készletei évezredekre elegendőek. Magyarország kitűnő geotermikus adottságai révén az újonnan telepített geotermális kutak mellett a felhagyott olaj és gázkutak átalakításával kíván geotermikus hőhasznosításból energiát nyerni. Az elvékonyodott kéreg a Kárpát-medencében a kontinentális átlagnál nagyobb földi hőáramot és geotermikus gradienst eredményez.

Magyarországon 40 településen több mint 9000 lakást fűtenek geotermikus energiával. Ennek a beépített teljesítménye 118,6 MW, ami 1162 TJ/év energiát jelent. Ennek 80%-a a távfűtő rendszerekben, 20% egyedi fűtőrendszerekben hasznosul. [3]

Amikor egy kút eléri élettartama végét, azt véglegesen el kell tömedékelni és el kell hagyni. Az ilyen lezárás és elhagyási (plug and abandonment, P&A) műveletek általában abból állnak, hogy több cementdugót helyeznek a kútban, hogy elkülönítsék az olajtároló kőzetet más folyadéktartalmú képződményektől. [1]

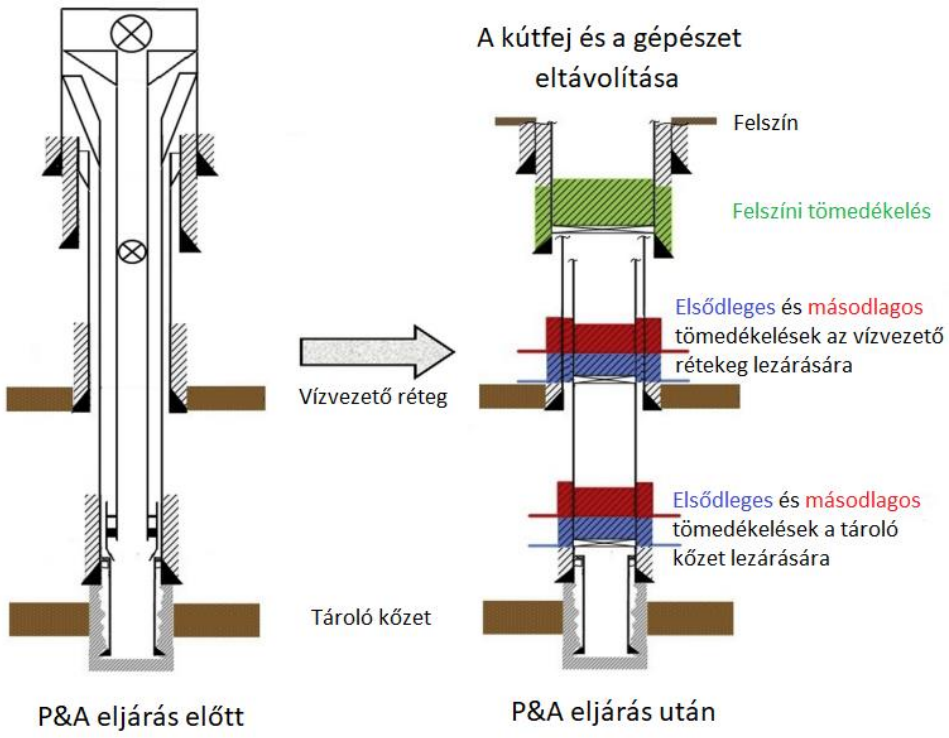
A kút állapotától függően a P&A műveletek meglehetősen időigényesek és nagyon költségesek lehetnek, különösen igaz ez a tengeri kutakra, ahol ez a művelt nagyságrenddel nagyobb költséget jelenthet, mint a szárazföldi kutak esetén. [2]

A kutak lezárását világszinten ismert és alkalmazott technológiákkal hajtják végre, s ezeket hazánkban is alkalmazzák. Magyarország tekintetében a zalai és csongrádi területeken nagy számban fordulnak elő olaj és gázkutak, de jelentős termál és felszín alatti vízkészleteink is említhetőek, ahol a nagy mélységű kutakra nagy szerep hárul.

A kutak felhagyása esetén úgynevezett cementdugót alakítanak ki, amely a beöntött, majd megszilárdult cement és a kút belső fala között kialakuló súrlódási erő által tart ellen a tároló kőzetek magas nyomásával szemben.

2 Kutak lezárása cementezéssel

A kutak lezárásának, eltömedékelésének hagyományos módja az elcementezésük. A cementezés során cementdugókat alakítunk ki a kút egyes szakaszain azért, hogy a korábban a termelésbe bevont fluidum átfejtődését megakadályozzuk, megszűntessük, másrészt pedig azért, hogy a tároló réteg feletti, termelésben részt nem vevő rétegeket megóvjuk (1. ábra). A kimerült kutakat a felszínen is ledugózzák megakadályozva a gázok vagy folyadékok felszínre jutását, valamint azt, hogy a kútba oda nem illő tárgy vagy anyag kerülhessen.



1. ábra Kutak eltömedékelési eljárásának elvi vázlata [4 alapján]

Cementdugó kialakítására általában olaj-, gáz- vagy vízkutakban van szükség, amit az alábbiak indokolhatnak:

- kút felszámolása (kút elhagyása),
- irányított fúrás megkezdése (beleértve a hibás szakasz fölötti fúrás eltérítését),
- kimerült zóna kizárása,
- fúrás közbeni iszapveszteség problémájának megoldása.

A csökkenő hozamú, elöregedő mezők és a környezeti fenntarthatóságra vonatkozó kormányzati előírások együttesen a felhagyandó kutak számának jelentős növekedését eredményezik világszerte. Ez különösen igaz az Északi-tengerre, ahol csak az Egyesült Királyságban és Norvégiában több, mint 1800 kút felhagyását fontolgatják a következő 10 évben.

A brit előírások olyan cementezést írnak elő, amely állandó akadályt jelent a kútban lévő fluidum szivárgása számára, és megegyezik a fedőkőzet fluidum megtartó képességével. A legjobb gyakorlat (BAP) legalább 100 m (329 láb) hosszú minőségi cementet ír elő, amely a kút teljes keresztmetszetére - beleértve a gyűrűs teret is - kiterjed, azaz függőlegesen és vízszintesen is lezárja azt.

Egy ilyen gátnak hosszú távú stabilitást és szilárdságot kell biztosítania, hogy elszigetelje a formációt és megakadályozz a jövőbeni kútfejnyomás-növekedést.

A költségek minden egyes kútfelhagyási projektet súlyosan érintenek. Az „Oil & Gas UK Decommissioning Insight 2016" című, nemrégiben megjelent felmérés szerint az Északi-tenger északi részén az átlagos kútfelhagyási-kiadások 4,1 millió dollárra rúgnak fúrásonként!

2.1 A cementdugó anyaga

Bár a portlandcement messze a leggyakrabban használt tömedékelőanyag, léteznek más típusú alternatív és innovatív adalékok és műanyagok, amelyekkel anyagában javítható a lezárás minősége. [6]

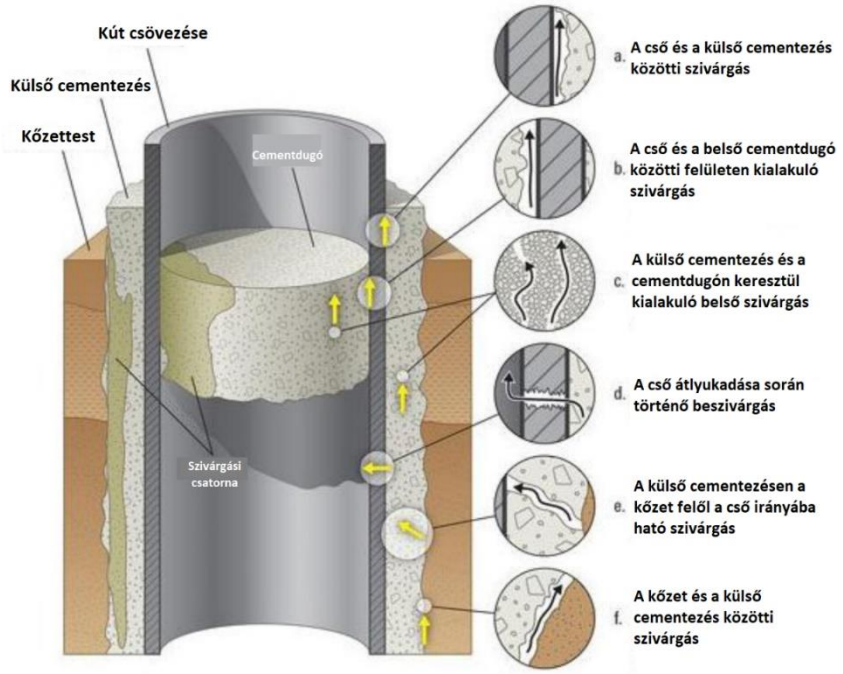
A portlandcement klinker fő összetevői a cementkemencéből kikerülő anyagok, a CaO, SiO2, Al2O3 és Fe2O3. A klinker főleg négy fő ásványi fázist tartalmaz: 50–70% trikalcium-szilikát (3CaO· SiO2 vagy "C3S"), 15–30% dikalcium-szilikát (2CaO· SiO2 vagy "C2S"), 5–15% trikalcium-aluminát (3CaO· Al2O3 vagy "C3A") és 5–10% tetrakalcium-alumínium-ferrit (4CaO· Al2O3Fe2O3 vagy "C4AF"). A kalcium-szilikátok amorf instabil anyagok, amelyek vízzel való keverés után újra kristályosodnak vagy stabil amorf formákat alakítanak ki.

A portlandcementet ritkán használják tiszta cementként, adalékanyagok nélkül, így a cement leírása hiányos, anélkül, hogy megemlítené a szükséges adalékanyagokat. Ezek a következők:

- Barit, ilmenit, hematit vagy mangán tetra-oxid a zagy sűrűségének növelése érdekében
- Bentonit (előhidratált vagy száraz), üreges üveggömbök vagy pozzolánok a sűrűség csökkentése vagy a cementhozam növelése érdekében (a cement térfogatára vonatkoztatva)
- Mikroszilika vagy latex, hogy a cement zagy gáztömör legyen
- Szilícium-dioxid liszt, hogy a cement 110 °C feletti hőmérsékleten is toleráns legyen
- Rugalmas részecskék a merevség csökkentése és a rugalmasság javítása érdekében
- Adalékanyagok, például magnézium-oxid és kalcium-oxid

2.2 A cementdugózás problémái

A kutak eltömedékelése koránt sem tökéletes, mivel több típusú anyagot alkalmazunk, amelyek határfelületén nem tökéletes a zárás, valamint az anyagok áteresztő képessége és öregedési tulajdonságai is különbözőek. A cementdugó elhelyezésekor vagy azt követően számos szivárgási útvonal alakulhat ki, mint például mikropórusok vagy csatornák által a béléscső és a cement közötti határfelületen, amit okozhat korrózió vagy például olaj lerakódás a csőfalon (2. ábra). Ilyen esetben akár az egész cementdugó megcsúszhat! Ha ezeket a problémákat nem kezelik a kezdeti cementezési művelet során, az üzemeltetőnek a jövőben vissza kell térnie a kúthoz, hogy orvosolja a problémát és véglegesen lezárja a formációt. Ez sokkal nagyobb költségekkel jár, mint az első alkalommal.



2. ábra A cementdugó környezetében kialakuló potenciális hibahelyek [5 alapján]

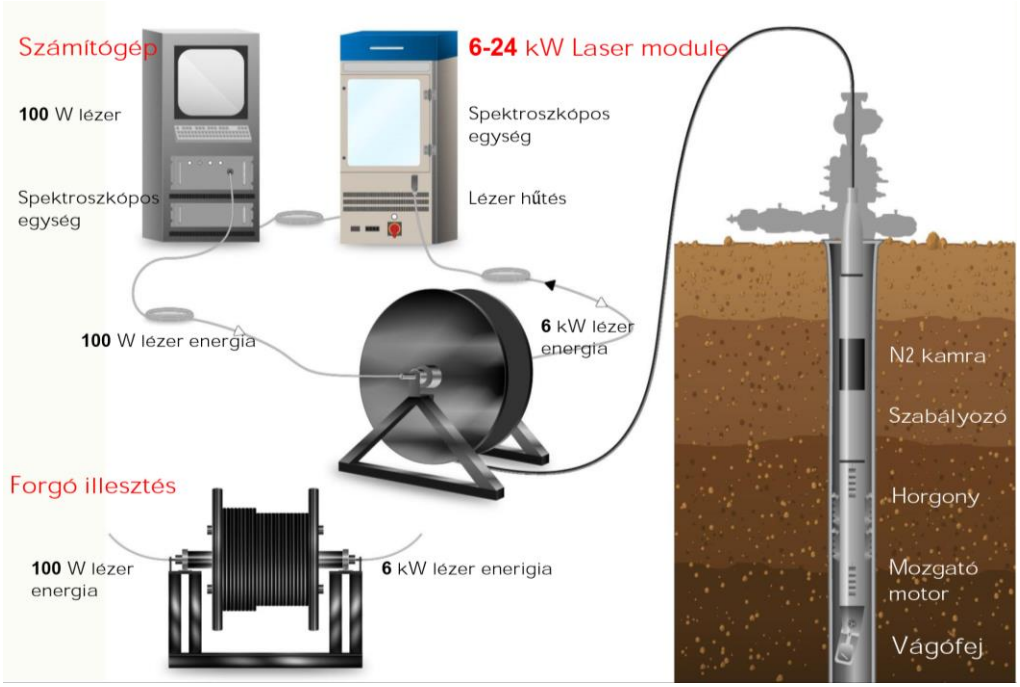
2.3 Lézeres felületkezelés

A fent bemutatott hibalehetőségek több esetben is a cementdugó tönkremenetelét okozhatják. Ennek legfőbb oka, hogy a cement és a cső belső fala között fellépő tapadási súrlódást nagyban lecsökkenti a termelés után visszamaradt olaj és egyéb lerakódások. Ezzel a cementdugó megtervezésénél számolni kell, viszont így gyakran hosszabb cementdugók kialakítása válik szükségessé.

A cementdugó és csőfal közötti súrlódási viszony növelésének egyik módja, hogy a cement beöntése előtt a csőfalat érdesítjük, a felületét differenciálttá tesszük, aminek hatására a tapadási súrlódás mellett jelentős mechanikai ellenállás is ébred.

A csőfal érdesebbé tételének egyik, nagyon ígéretes módja a lézeres felületkezelés (3. ábra). A nagy intenzitású lézersugár képes megolvasztani a cső acél anyagát, amelyen ennek hatására mélyedések és kitüremkedések keletkeznek. Az eljárás Intézetünkben folyó tesztelése során, már a kezdeti fázisban is számos kedvező hatás figyelhető meg:

- Gázban, olajban, sós vízben és fúróiszapban is használható
- Gyors és pontos vágás
- Valós idejű visszajelzés a vágás sikerességéről és mélységéről
- Nem tartalmaz/használ fel veszélyes anyagot
- Az eszköz beragadásának esélye alacsony



3. ábra A lézeres csőkezelés elvi vázlata

Vizsgálatainkhoz a Zerlux Hungary Kft. által fejlesztett lézeres eszköz laboratóriumi változatát használtuk, amelynek alkalmazhatósága már terepi tesztek során is bizonyított. Az acéllemezek felületkezelése a Zerlux laboratóriumaiban készült, amelyeket a cement és acél közötti súrlódás vizsgálatokra a Miskolci Egyetem Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratóriumába szállítottak (4. ábra). A lézeres kezelés főbb paraméterei a következők voltak:

- Elhúzás sebessége: 10 mm/s
- Lézer intenzitása: 1000 – 1200 W
- Segédgáz nyomása: 2,0 – 3,5 bar

4. ábra Lézerrel felületkezelt acéllapok (80 x 40 mm)

2.4 Mintatestek előkészítése

A súrlódási vizsgálatokhoz mintatesteket állítottunk elő, amelyek alapja a Zerlux Hungary Kft. által felületkezelt 5 mm vastag, méretre (80x40 mm) vágott acéllapok voltak. A lézeres kezelés hatásának szélesebb körű vizsgálataihoz egy, kettő és három barázdás acéllapkák is készültek. Kezeletlen acéllemezekre is készítettünk cement mintatesteket, ezeket a tiszta tapadási erők mérésére használtuk.

A lapkákra 3D nyomtatással készült zsaluk segítségével (5. ábra (b)), 10:6 = cement:víz arányú, hagyományos portland cementből készült betontesteket öntöttünk. A nagyszámú vizsgálatok során ennek összetételén és minőségén nem változtattunk, adalékanyagokat nem használtunk. A minták a beöntést követően 4 héten keresztül szilárdultak (5. ábra (j)).

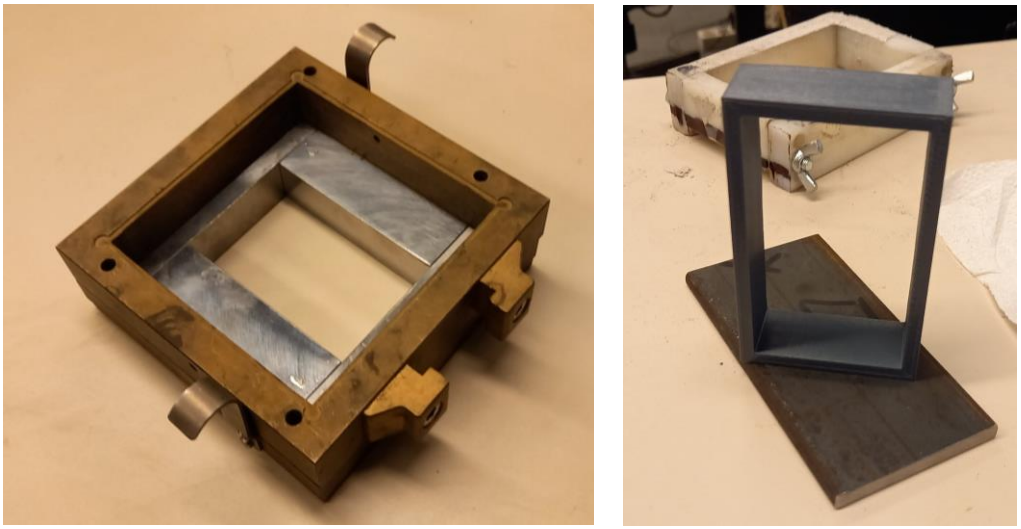
5. ábra 3D nyomtatott zsaluba öntött cement (b), nedvesen tartott mintatestek (j)

2.5 Súrlódási vizsgálatok

A mintatestek megszilárdulása után alkalmasnak mutatkoztak a súrlódási vizsgálatokra. Ennek feltétele az volt, hogy cement és az acél között tapadás jöjjön létre, így behelyezhető legyen a vizsgálathoz használt direkt nyíróberendezésbe (6. ábra).

6. ábra Direkt nyíróberendezés

A direkt nyíróvizsgálatokat az általános talajmechanika a talajok nyírószilárdsági paramétereinek meghatározására alkalmazza, ami a talajok nyíró igénybevételekkel szembeni ellenálló képességét jellemzi. Ennek mechanizmusa hasonlít két különböző anyagból készült mintatest határfelületén lejátszódó tapadási és súrlódási ellenállási vizsgálatához, ezért a berendezés, annak minimális átalakításával alkalmassá vált a vizsgálataink elvégzéséhez.



7. ábra Direkt nyíródoboz a kialakított betéttel (b), kezeletlen acéllemez és a 3D nyomtatott zsalu (j)

A nyíródoboz alsó felébe a műanyag zsalu külső méreteivel egyező acélbetétet terveztünk és gyárttattunk (7. ábra (b)), így a mintatesteket a zsalu (7. ábra (j)) levétele nélkül tudtuk használni. Ezzel a súrlódási vizsgálatok eredményeit nem befolyásolták a zsaluzat lebontása során bekövetkező esetleges feszítő, nyomó erőhatások.

8. ábra Mérések utáni felületi képek

A mérések kivitelezése során minimális, 25 kPa normálterhelést alkalmaztam, majd 0,1 mm/perc-es sebességgel, horizontálisan terheltem a mintatesteket úgy, hogy a legkisebb forgatónyomaték érje a csatlakozási felületet. A tönkremenetelt követően (8. ábra) a direkt nyíróberendezés adataiból az erő-elmozdulás diagrammok adtak képet az acél-beton rendszer teherviselő képességéről.

3 Eredmények

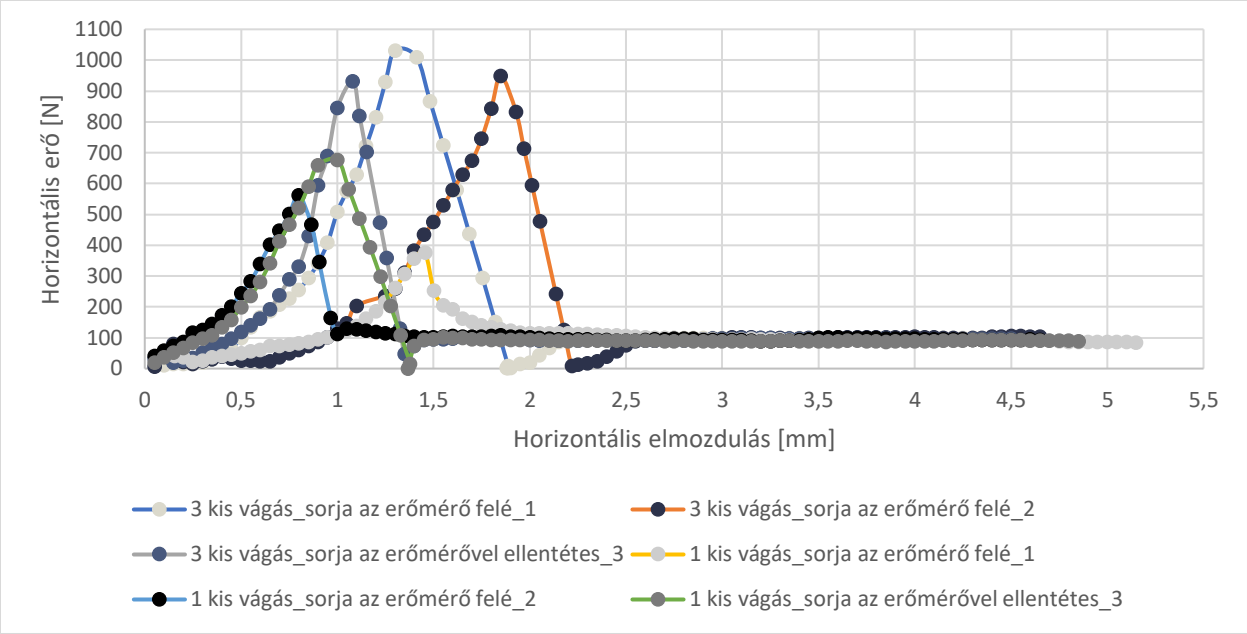
A méréssorozat keretében összességében - két ütemben - 27 darab vizsgálatot hajtottunk végre. A vizsgálatok során igyekeztünk csökkenteni a változó paraméterek számát, ezért az elhúzás sebessége, a mintatest anyaga és méretei, a normál feszültségek, a minták kötési ideje, az acéllemez minősége nem változtak.

Változóként szerepeltek: a lézeres kezelések intenzitása, a lézeres karcolások száma (0,1,2,3), valamint a lézeres karclás szöge.

A minta előkészítés során azt tapasztaltuk, hogy a lézerezes felület manipulálás során a segédgáz az ömledék anyagokat tendenciózusan egy irányba fújta ki, így a vizsgálatoknál igyekeztünk az eltolás irányát is változtatni. Normál iránynak vettük a sorja iránya felé történő eltolást. Az ezzel ellentétes irányt „Rev” jelöléssel láttuk el.

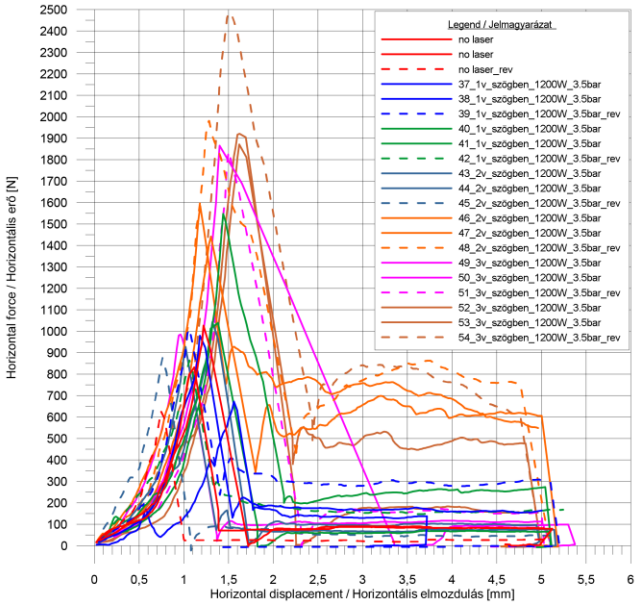
Az első ütemben hat vizsgálatot hajtottunk végre, aminek célja a rendszer működésének vizsgálata volt. Kérdés volt, hogy a megálmodott mérőrendszer és kialakított mintatest használatával kimérhető-e lényegi különbség és a mérések reprodukálhatók-e.

Az eredmények bíztatónak mutatkoztak, mivel szignifikáns különbséget kaptunk az egy és a három lézeres karcolással kezelt minták között (9. ábra), a három karcolásos minták ellenállása ~50-60 %-kal nagyobb értéket mutattak.



9. ábra 1 és 3 karcolásos, alacsony intenzitáson kezelt minták összehasonlítása

Az első ütem eredményei alapján a második mérési sorozatban a lézeres karcolások számában tettünk csak különbséget. Azt vizsgáltuk, hogy a felület mesterségesen előállított egyenetlensége mennyivel növeli a súrlódási ellenállást. Ebben a sorozatban már kezeletlen acéllemezekre ültetett betonkockákat is használtunk, amivel a hagyományos cementdugózást modelleztük.

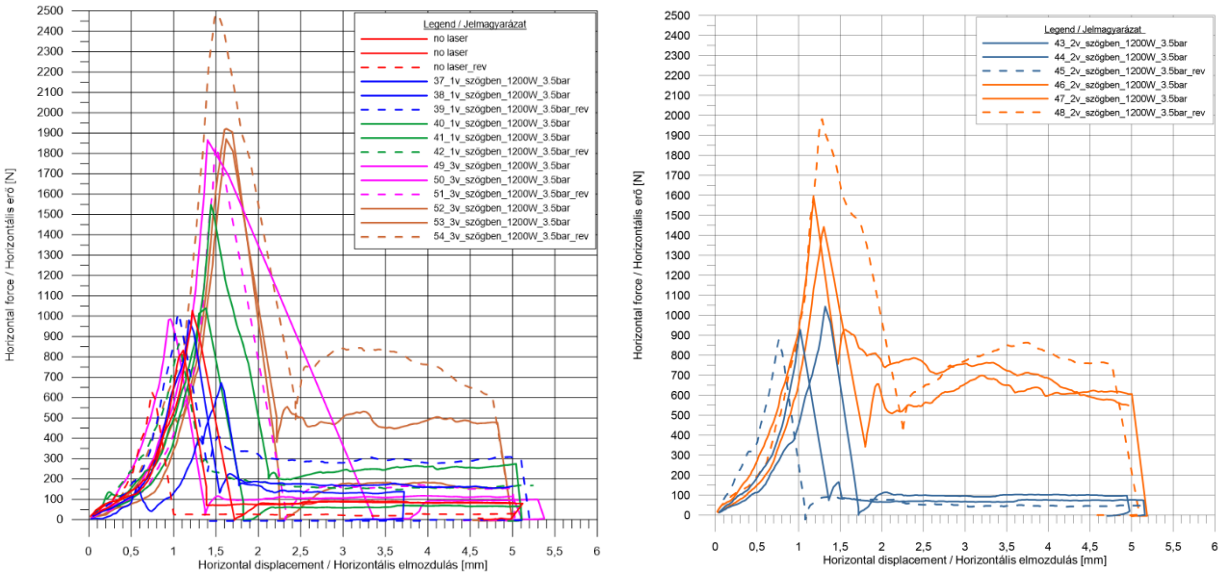


10. ábra A második mérési ütem összefoglaló grafikonja

Az összes eredményt egy grafikonon ábrázolva (10. ábra) látszik a tönkremenetel mechanizmusa. A mintatestek kezdetben lineáris alakváltozást szenvednek el, ekkor kis elmozdulásokhoz tartozó gyors erőnövekmény tartozik. A tönkremenetel viszonylag kis elmozdulások mellett (1,0-1,5 mm) bekövetkezik, majd ezután egy éles visszaesés következik. Ez a szilárd testek mechanikájából jól ismert tönkremeneteli folyamat.

A tönkremenetelt követően az ellenállás közel nullára csökken, viszont ezután egy reziduális súrlódási erő mérhető, ami még mindig jelentős ellenállást mutat. Ezt az erőt a lézeres kezelések során kialakuló reve okozhatja, ami az eltolódás során folyamatosan karmolja a cementkockát.

Az eredmények pontosabb elemzése érdekében a mért eredményeket szétbontottuk, és csoportokban ábrázolva elemeztük (11. ábra).



11. ábra Egy és három karcolásos lemezek viszonyítása a kezeletlen acéllaphoz (b), két karcolásos minták vizsgálatai (j)

A 11. ábra bal oldalán ismét bizonyítást nyert, hogy ha háromszor több lézeres barázdát alakítunk ki az acéllap felületén, akkor azzal az ellenállás két és félszeresére is növelhető, valamint a reziduális ellenállás is magasabb lesz. A barázda nélküli kezeletlen minták esetén a csúcsellenállás értéke közel azonos az egyszeres lézeres kezelésen átesett mintadarabokéval, viszont itt a maradó súrlódás a nullához közelít, igy a kezelt felületek esetén mindig megmarad legalább a csúcsérték ötöde.

Az elhúzás irányának változtatása is mutat különbséget, ugyanis az ellentétes (rev., azaz a sorja az eltolás irányával ellentétes oldalon van) irányú eltolás esetén nagyobb ellenállásokat tapasztaltunk. Ennek részletesebb megismeréséhez több, ilyen irányú vizsgálatra van szükség.

A 11. ábra jobb oldala a mérések és mintaelőkészítés ismételhetőségének a fontosságát mutatja. Itt azt láthatjuk, hogy habár azonos lézeres kezeléseken estek át az acél mintadarabok és a cementezés is azonos módon történt, a mérések két jól elkülönülő csoportra oszthatóak. Ennek okát abban látjuk, hogy a már említett megszilárdult ömledék minősége a beöntés előtt már különbséget mutatott, ugyanis a gyengébb ellenállást mutató mintatesteken salakosabb képet láttunk, az ömledék nem tapadt az anyafémhez. Ezek további vizsgálata indokolt.

4 Köszönetnyilvánítás

A tématerületi kutatás a Miskolci Egyetem „Társadalmi hasznosság növelő fejlesztések a hazai felszín alatti természeti erőforrások hatékonyabb kiaknázása és hasznosítása területén" című, az Innovációs és Technológia Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által kibocsátott támogatói okirat (Támogatói Okirat ikt. száma: TKP-17-1/PALY-2020) alapján zajló projektje részeként valósult meg.

5 Irodalomjegyzék

[1] Barclay, I., Pellenbarg, J., Tettero, F., Pfeiffer, J., Slater, H., Staal, T., Stiles, D., Tilling, G., Whitney, C., - The beginning of the end: a review of abandonment and decommissioning practice. Oilfield Rev. Winter, (2001.) pp. 28-41.

[2] Oil & Gas UK, 2015BBb. Guidelines for the Abandonment of Wells, Issue 5, (July 2015).

[3] Tóth Anikó Nóra, Bobok Elemér - A GEOTERMIA FEJLESZTÉSÉNEK PERSPEKTÍVÁI MAGYARORSZÁGON, Műszaki Földtudományi Közlemények, 84. kötet, 1. szám (2013.) pp. 167-172.

[4] Torbjørn Vrålstada, Arild Saasenb, Erling Fjæra, Thomas Øiaa, Jan David Ytrehusa, Mahmoud Khalifehb - Plug & abandonment of offshore wells: Ensuring long-term well integrity and cost-efficiency, Journal of Petroleum Science and Engineering 173 (2019.) pp. 478–491

[5] Gasda, S. E., Bachu, S. and Celia, M. A. - Spatial characterization of the location of potentially leaky wells penetrating a deep saline aquifer in a mature sedimentary basin. Environmental Geology 46(6-7): 707-720. (2004.)

[6] Oil & Gas UK, 2015c. Guidelines for the Abandonment of Wells, Issue 4, (July 2015).