

SODRONYKÖTÉL ANYAGMODELLJÉNEK KIDOLGOZÁSA

Jánoki András^a, Safranyik Ferenc^{b*}, Kollár László^c

^a ELTE Informatikai, Kar, Savaria Műszaki Intézet, Gépészmérnöki BSc, 3. évf.

^b ELTE Informatikai, Kar, Savaria Műszaki Intézet, egyetemi docens

^c ELTE Informatikai, Kar, Savaria Műszaki Intézet, egyetemi tanár

ABSZTRAKT

Munkánk fő célja acélsodrony mechanikai tulajdonságainak vizsgálata. Ennek megvalósításához univerzális anyagvizsgáló géphez csatlakoztatható befogókészüléket terveztünk. Elsőként 3D modellező szoftver segítségével megterveztük a befogó készüléket, amit végeelem módszer segítségével szilárdságtanilag ellenőriztünk. Ez a készülék a kötélcsúrlódás elvén működik és a kereskedelmi forgalomban kapható befogók tulajdonságait ötvözi. Ennek segítségével 4 mm névleges átmérőjű, korrózióálló acélsodronyokat vizsgáltunk. Ez alapján meghatároztuk a vezetékek szakítószilárdságát és közelítő anyagmodelljét.

Kulcsszavak: *sodronykötél, anyagvizsgálat, anyagmodell, VEM*

1. Bevezetés

Napjainkban a hideg éghajlati övezetben lévő területeken nagy problémát jelent az elektromos vezetékeken kialakuló jég- és hóréteg. Ezek az időjárási tényezők statikus igénybevétellel terhelik a vezetéket, majd olvadáskor a hirtelen leeső tömeg rezgésbe hozza a kábeleket, dinamikus igénybevételnek teszi ki őket. A hosszabb vezetékek esetén méteres kilengések is előfordulnak ezek pedig az esetek egy részében tönkremenetelhez vezetnek. A jelenleg is alkalmazásban lévő távtartók páros vagy négyes kábel csoportok esetén csökkentik a kilengések nagyságát, de ez nem szünteti meg teljesen a problémát és nem megoldás az önmagában futó vezetékekre [1].

Ezek a távvezetékek készülhetnek tömör és sodrott kivitelben. Általában az utóbbi kialakítást használják, mivel jobban ellenáll a többszöri hajlításoknak (1. ábra). Mechanikai tulajdonságok javítása érdekében sodrott szálak további sodrott elemi szálakból tevődnek össze. A réz és alumínium sodronyok helyett, néha acél erősítéses vagy teljesen acél alapanyagú vezetékeket készítenek [2]. Ezen tulajdonságok ellenére is fennáll a tönkremenetel esélye a szélsőséges körülmények között [3].



1. ábra: Acélsodrony

A tönkremeneteli jelenség megértéséhez analitikus és numerikus modelleket is alkalmaznak a kutatók. A kutatásokban sokszor vizsgálják az elemi szálak kapcsolatát és a modell egyszerűsítésének lehetőségeit [3]. Mindkét modellhez először szükséges, hogy megismerjük a kábel viselkedését leíró anyagjellemzőket. Munkánk fő célja az elektromos vezetékként használt acélsodrony anyagmodelljének meghatározása anyagvizsgálatok alapján. Ehhez olyan befogókészüléket kellett tervezni, amely a Savaria Műszaki Intézetben rendelkezésre álló univerzális anyagvizsgáló berendezéshez illeszthető és alkalmas acélsodronyok rögzítésére.

Legfőbb szempontok a tervezéskor a költséghatékonyság, az egyszerű gyártás, könnyű szerelhetőség és a szakítógép maximális teljesítményének kihasználhatósága volt. Tanulmányoztuk a jelenleg használatban lévő konstrukciók egy részét. Ezek alapján több modellt készítettünk, amiket végeelem-módszer segítségével ellenőriztünk és a kapott eredmények alapján optimalizáltunk, így a befogó legyártása után lehetőségünk nyílt a vizsgálatok elvégzésére. Második lépésként a vezetékeken végzett mérésekből származó adatok alapján meghatároztuk a sodrony anyagmodelljét.

2. Befogókészülék tervezése

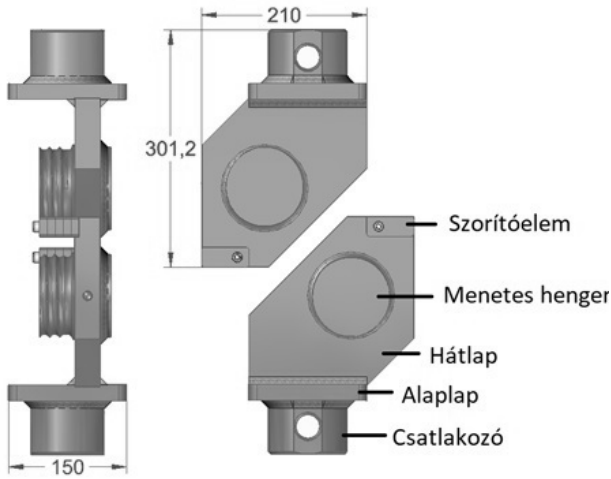
A befogó megtervezése előtt három már kereskedelmi forgalomban kapható kivitel hasonlítottunk össze. Ezek mind a kötél súrlódás elve alapján működnek, ám a kábelvég rögzítése más-más módon történik. Az általunk tervezett befogó fő célja a 13 mm-es átmérőjű vezeték megfelelő rögzítése a szakítóvizsgálat során. Ezenkívül fontos volt, hogy a készülék csatlakoztatható legyen az egyetemen található univerzális anyagvizsgáló géphez és le tudjuk gyártani az egyetem gyártástechnológia laboratóriumában.

A funkcionális tervezést a Solid Edge 2020 3D tervező program segítségével végeztük. A sodrony rögzítését egy menetes henger teszi lehetővé, amire 2,5 menetet lehet felcsavarni így elég nagy az átfogási szög ahhoz, hogy megfelelően rögzíteni lehessen a sodronyt. A vezeték végének a rögzítését egy szorító pofa segítségével oldottuk meg, amit egy csavar szorít a másik pofához. A kötél súrlódás összefüggése alapján meghatározható a rögzített kötélágban ébredő erő és ezáltal a szükséges csavar mérete, amely biztosítani tudja a szükséges szorítást. A húzóerőt a készüléken vizsgálható legnagyobb, 13 mm átmérőjű vezeték elszakításához szükséges erő alapján határoztuk meg, ami $F_h = 75\,000\text{ N} = 75\text{ kN}$ nagyságú. A nyugvásbéli súrlódási tényezőnek pedig a szakirodalomban megtalálható, acél-acélsodrony érintkezéshez tartozó értéket használtuk [4]. Ezek alapján a rögzített ágban fellépő erő:

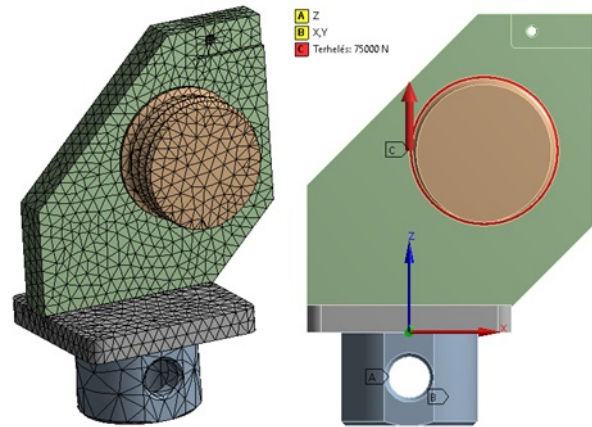
$$F_r = \frac{F_h}{e^{\mu_0 \alpha}} = 3\,241,04\text{ N}, \quad (1)$$

ahol: - $\mu_0 = 0,2$, a nyugvásbéli súrlódási tényező [4],
- α , az átfogási szög radiánban.

A kötélágban számított erő alapján 10.9 szilárdsági osztályú M8 névleges méretű csavart alkalmaztunk a kábelvég rögzítésére. A készülék rögzítőfelülete a szakítógép csapjának méretei alapján készült úgy, hogy a befogó könnyen cserélhető legyen (2. ábra). A 3D modellt felhasználva a végeelemes ellenőrzéseket az Ansys szoftver statikus szerkezeti modulja segítségével végeztük [5]. Ennél a vizsgálatnál hegesztéseket nem ábrázoltuk a modellen és mivel a szorítóelem nem teherviselő így azt sem vettük figyelembe. 75 kN nagyságú terhelő erő a huzalon keresztül, a húzási egyenesben, hat a menetes henger első beszúrására. Ezt az erőt távoli erő lehetőséggel definiáltuk a húzási egyenesben. Az iránya a pozitív z tengely felé mutat. Valóságban a készülék egy csapra van felhúzva, így az x és y irányú elmozdulását az ezzel érintkező felületen korlátoztuk. A z irányú rögzítésért a csatlakozón átmenő csap felel, így furatának függőleges irányú elmozdulását korlátoztuk (3. ábra). Három kontakt beállítást alkalmaztunk a vizsgálat alatt ezek mind nyomaték bíró merev kényszerkapcsolat típusúak, amelyek nem engedik az alkatrészek elcsúszását és elválását. Ezeket a hegesztési varratok helyettesítésére alkalmaztuk. A hálózaskor 10 mm nagyságú, elsőfokú közelítésű, tetraéder alakú elemeket



2. ábra: A befogókészülék háromdimenziós modellje és befoglaló méretei mm mértékegységben



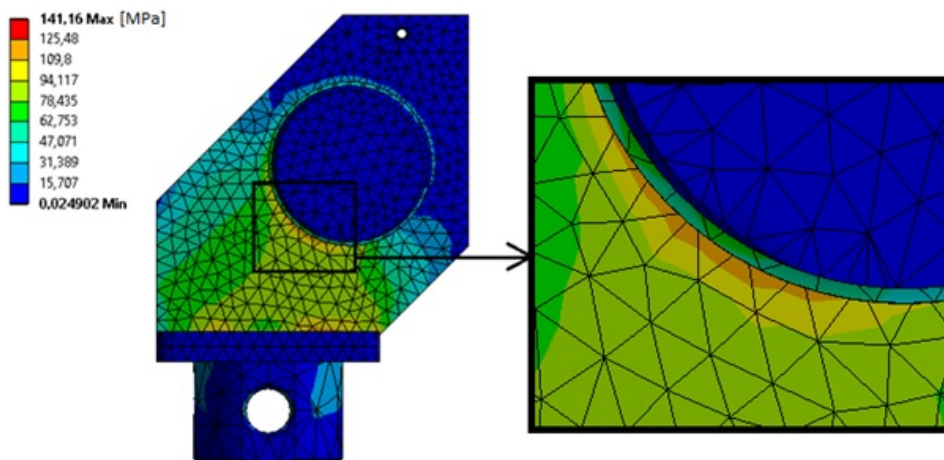
3. ábra: Végeselemes háló és peremfeltételek

alkalmaztunk, így 38 222 csomópontszámot és 23 515 elemszámot kaptunk. Ezekkel a beállításokkal elvégzett vizsgálatból azt kaptuk, hogy a legnagyobb redukált feszültség a hátlap és a menetes henger kapcsolatánál keletkezik az éles sarokban, ennek értéke 141,16 MPa (4. ábra).

A készülék valamennyi alkatrészét C45 minőségű szerkezeti acélból gyártottuk, amelynek folyáshatára (R_{eH}) az előgyártmány méretei alapján 370 MPa. Vizsgálat során lineáris anyagmodellt használtunk, amihez 200 GPa értékű rugalmassági modulust és 0,3 értékű Poisson-tényezőt állítottunk be [6]. A legnagyobb szerkezeti feszültség $\sigma_{red,max} = 141,16$ MPa, amelyek alapján biztonsági tényezőt számoltunk:

$$n = \frac{E_{eH}}{\sigma_{red,max}} \approx 2,6. \tag{2}$$

A fenti biztonsági tényező elfogadható, illetve mivel a maximális szerkezeti feszültség az éles sarokban ébredt, valóságban ennek értéke várhatóan kisebb lesz, a homorú hegesztési varrat feszültségcsökkentő hatása miatt. Végezetül a tervek és ellenőrzések alapján legyártottuk a befogókészüléket. Korrózióvédelemnek festést alkalmaztunk. Funkcióját tökéletesen ellátja és ezzel lehetőségünk nyílik kötélen, huzalon és fonalon anyagvizsgálatára (5. ábra).



4. ábra: HMH-féle redukált feszültségek

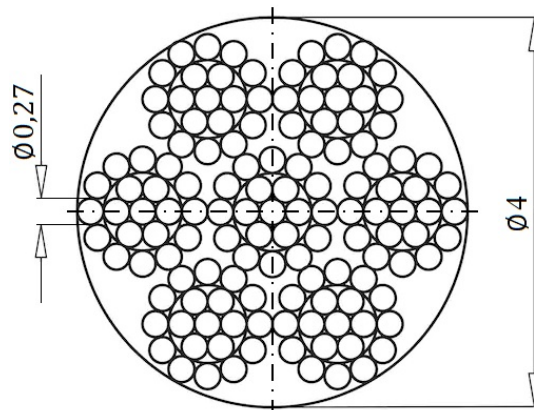


5. ábra: Az alkatrészek hegesztés előtt és az elkészült befogókészülék

3. Kísérleti vizsgálatok

Az elkészült befogóval összesen 5 db mintán végeztünk anyagvizsgálatot. A vizsgálatokhoz az egyetemen található Zwick/Roell z100 típusú szakítógépet használtuk. Pontossága 0,2 kN – 1 kN között a mért érték 1%-a, 1 kN felett pedig a mért érték 0,5%-a. DIN3060 szabványú T7x19 méretű, 4 mm névleges átmérőjű, korrózióálló acélsodronyt használtunk az anyagvizsgálatokhoz. Ezeket az elnevezésből is meghatározhatóan 7 kisebb 19 százból álló sodrott huzalból sodorták össze (6. ábra). Köré írható kör névleges átmérője 4 mm. A legkisebb szál kerekített átmérője pedig 0,27 mm. Korrózióálló acélsodronyok szakítószilárdsága a szabvány szerint 1 570 MPa [7].

Mérési folyamat szempontjából fontos volt olyan hosszúra hagyni a kábeleket, hogy a két befogó között elférjen a mechanikus nyúlásmérő is, aminek segítségével mértük az alakváltozást. A kábel rögzítésekor fontos a kellő odafigyelés mivel rossz feltekerés esetén a szálak folyamatosan rendeződnek és csúsznak a készülékben, így hibás mérést eredményezve. Mindemellett arra is ügyelni kell, hogy a szorító pofán túl bőven legyen kábel mivel, ha a vezetékeket a végén fogjuk be, akkor a húzóerő hatására a kisebb szálak elkezdnek egymásról letekeredni így kilapul a keresztmetszet, aminek következtében elmozdul a rögzítésből a vezeték. Ilyenkor a mérési diagramon látható, hogy nem növekszik az erő és a kábel végén, mivel az elemi szálak szétbomlanak. A probléma a sodrony végére roppantható menetes véggel vagy megfelelő kinyúlási hossz alkalmazásával kiküszöbölhető. A megfelelő



6. ábra: Vezeték és elemi szál keresztmetszete [8]

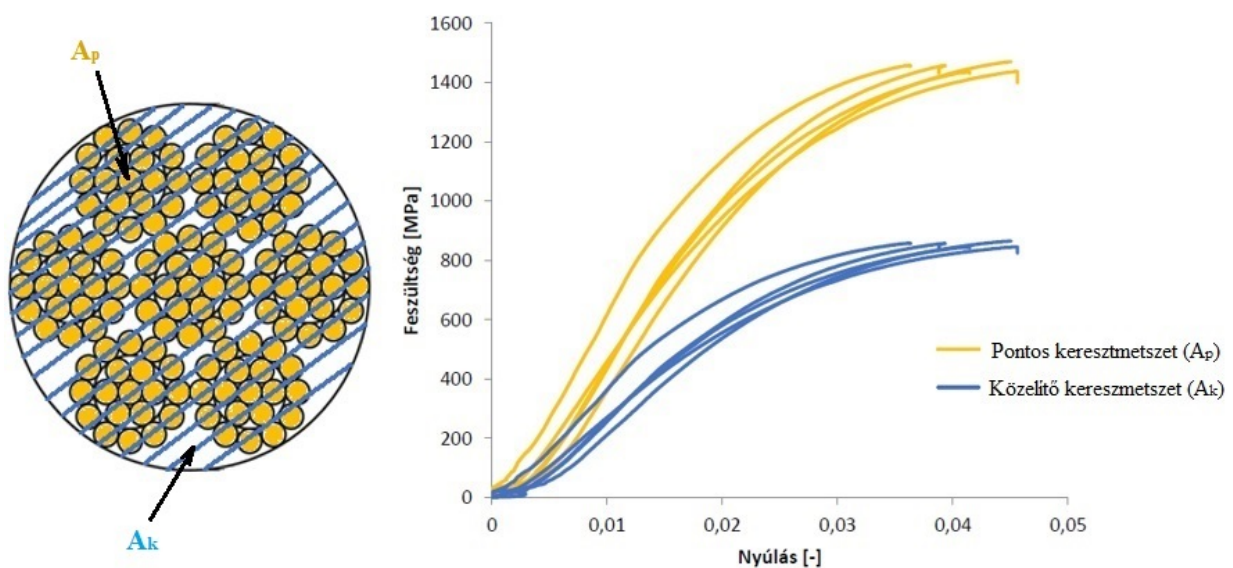


7. ábra: Acélsodrony mérés közben és a tönkremenetel után

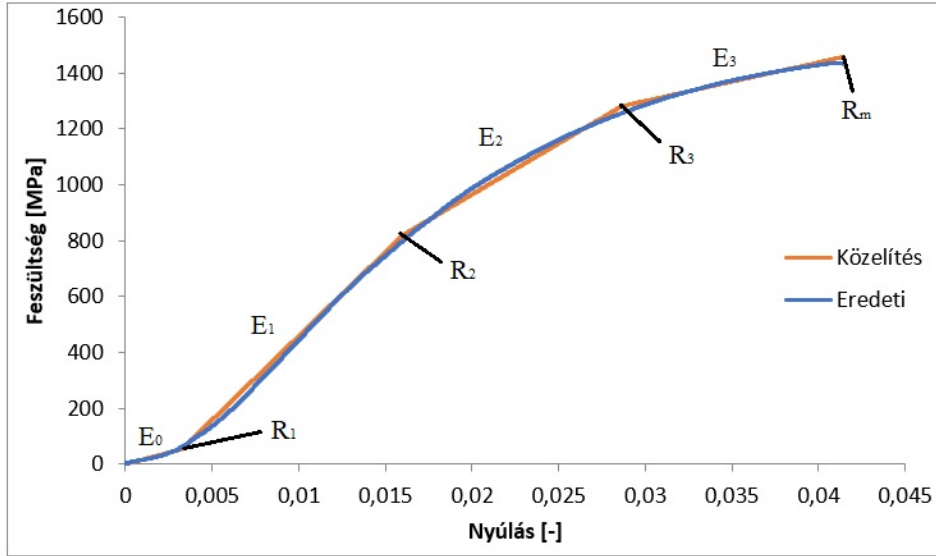
befogás után a két befogót 5 mm/min-es sebességgel mozgattuk el egymástól. A szakítási folyamat végén megfigyelhető, hogy nem szakad el egyszerre az összes szál, bár ez várható volt a többszörösen összetett szerkezeti kialakítás miatt (7. ábra).

4. Eredmények és következtetések

A szakítóvizsgálat során megkapott adatokból megállapítható, hogy az elvégzett vizsgálatok között kicsi a szórás és közel egyformák a szakító diagramok (8. ábra). Méréseink alapján a sodronykötél szakítószilárdsága $1451,8 \pm 29$ MPa (95,4%-os valószínűséggel). A várható érték csupán 7,6%-kal tér el a DIN 3060 szabványban szereplő 1 570 MPa-os értéktől. Ezekből következik, hogy a befogókészülék megfelelően használható és a mérési módszer alkalmas sodronykötelek vizsgálatára. Kapott adatokból további vizsgáltuk annak fontosságát, hogy a kábel keresztmetszetét lehet-e helyettesíteni a befoglaló kör területével. A sodronyt alkotó elemi szálak köré írható kör területe $A_k = 12,57$ mm². Ez jelentősen nagyobb a vezeték pontos keresztmetszetének területénél, ami $A_p = 7,61$ mm² (8. ábra). Ezt úgy kapjuk meg, ha összeadjuk a legkisebb elemi szálak keresztmetszetének területét. Ebből



8. ábra: Vezetékben ébredő feszültség a pontos és közelítő keresztmetszet alapján



9. ábra: Szakítógörbék közelítése és a közelítés jellegzetes pontjai a valós keresztmetszet alapján

már látszik, hogy a két értékkel végzett számítások teljesen más eredményre vezetnek. Ezekkel a számokkal készítettük el a vezetékek feszültség nyúlás diagrammját, amiről egyértelműen megállapítható, hogy jelentős különbségek vannak és a későbbi vizsgálatokat fontos a pontos keresztmetszettel végezni (8. ábra).

Innentől fogva az elemzéseket, csak a pontos keresztmetszetre terjesztettük ki. Következő lépésként az adatokból kapott görbéket 4-4 lineáris trendvonalal közelítettük hasonlóan Thoeni és szerzőtársai munkájához [9]. Ezek segítségével meg tudtuk határozni a görbe különböző szakaszaira jellemző merevséget. Erre a kábel későbbi vége-selemes modellezésénél a megfelelően pontos anyagmodell beállítása végett van szükség (9. ábra). A számozott R betűk a lineáris egyenesek metszés pontjai, a számozott E betűk pedig egyes szakaszok merevedését jelölik. Ez a merevedés az egyes szakaszokhoz tartozó merevségeket jelenti. Az R_m az a pont, ahol vizsgálat során a vezeték elszakadt. Ebből adódóan ennek a pontnak a feszültség értéke a vezeték szakítószilárdságával egyezik meg.

5. Összefoglalás

Tervezés és VEM vizsgálatok után sikeresen legyártottuk a befogót, ami 0-13 mm átmérőjű vezetékek vizsgálatára alkalmas, 75 kN-os terhelésig, 2,6-os biztonsági tényezővel. Ezután szakítóvizsgálatokat végeztünk és a kapott adatokból megállapítottuk, hogy befoglaló kör területével számolt feszültségek nagyban eltérnek a pontos területtel számítottól. A vezetékek 3,5-4,5%-os alakváltozás után

1. táblázat: Mérési adatok és eredmények

	1. mérés	2. mérés	3. mérés	4. mérés	5.mérés	Átlag	Szórás
E_0 [GPa]	16,56	17,46	48,07	14,26	25,13	24,30	13,91
E_1 [GPa]	61,18	56,76	68,07	63,20	54,28	60,70	5,42
E_2 [GPa]	36,50	34,35	38,37	34,90	31,48	35,12	2,57
E_3 [GPa]	14,47	14,32	15,21	13,37	11,49	13,77	1,44
R_1 [MPa]	54	79	87	51	71	68,4	15,61
R_2 [MPa]	799	967	847	899	869	876,2	62,51
R_3 [MPa]	1 289	1 286	1 332	1 393	1 315	1 323	43,50
R_m [MPa]	1 435	1 470	1 458	1 457	1 439	1 451	14,52

szakadnak el, miközben átlagosan 1 451,8 MPa feszültség ébred bennük. Ezek az eredmények a szabványban és a gyártók által megadott adatokkal összhangban vannak, így megállapítható, hogy a mérések sikeresek voltak.

6. Köszönetnyilvánítás

Jelen kutatás az EFOP-3.6.1-16-2016-00018 „A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt keretein belül valósult meg.

7. Irodalomjegyzék

- [1] L.E. Kollár, M. Farzaneh, *Vibration of Bundled Conductors Following Ice Shedding*, IEEE Transactions on Power Delivery 23(2), 2008, pp. 1097-1104, [CrossRef](#)
- [2] W.K. Lee, *An insight into wire rope geometry*, International Journal of Solids and Structures 28(4), 1991, pp. 471-190, [CrossRef](#)
- [3] G. Kastratović, N. Vidanović, *3D finite element modeling of sling wire rope in lifting and transport processes*, Transport 30(2), 2015, pp. 129-134, [CrossRef](#)
- [4] M. Csizmadia Béla, Nándori Ernő, *Mechanika Mérnököknek: Szilárdságtan (második kiadás)*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest-Gödöllő-Győr, 2002.
- [5] *Ansys® Academic Research Mechanical*, Release 16.0, 2016
- [6] H. Mouradi, A.E. Barkany, A.E. Biyaali, *Steel wire ropes failure analysis: Experimental study*, Engineering Failure Analysis 91, 2018, pp. 234-242, [CrossRef](#)
- [7] DIN 3060:1972, *Acélsodronykötelek*
- [8] *Würth szereléstechnika*, letöltés dátuma: 2021. 01. 20, [url](#)
- [9] K. Theoni, C. Lambert, A. Giacomini, S.W. Sloan, *Discrete modelling of hexagonal wire meshes with a stochastically distorted contact model*, Computers and Geotechnics 49, 2013, pp. 158-169, [CrossRef](#)