

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
Műszaki és Informatikai Kar
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet
[Gépészmérnök Tanszék](#)

KERÉKPÁR VÁZ ÉLETTARTAM NÖVELÉSÉNEK LEHETŐSÉGE

Páva Ákos

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Pécs, 2022.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	4
1. Sport bemutatása.....	5
2. Kerékpárgyártás a napjainkban	5
2.1. Mostani törekvések hátoldala	5
3. Vázamat gyártó cég története	6
4. Váz szilárdsági vizsgálata	6
4.1. Kifáradás jelensége	6
4.2. Fárasztóvizsgálatok.....	7
4.2.1. Pedálozási erő okozta kifáradás:	8
4.2.2. Függőleges erő okozta kifáradás:.....	9
4.2.3. Fejcső kifáradás (kritikus pont)	9
4.2.4. Fékterhelés okozta kifáradás:	9
4.2.5. Hátsó tengelyre ható terhelés okozta kifáradás:	10
4.2.6. Oldalirányú terhelés okozta kifáradás	10
4.2.7. Pedálon fellépő terhelés teszt.....	10
4.2.8. Maximális/ túlterhelési terhelés teszt:	11
4.2.9. A vizsgálatok eltérése a valódi értékektől.....	11
4.3. A valódi teszt	12
5. Fourplay kerékpár váz jellemzői	12
5.1. Az alumíniumról, előnye-hátránya a kerékpárgyártásban	13
5.2. 6000 széria jellemzői	13
5.3. 6066 Al tulajdonságai	13
5.4. Alumíniumok hőkezelése	14
5.4.1. Mesterséges öregítés	15
6. A probléma, ami alapját képezi a dolgozatnak, a repedés.	18
6.1. Első repedés.....	18
6.1.1. Hegesztés:.....	19
6.2. Második repedés	20
6.2.1. Hegesztés.....	21
6.3. Harmadik repedés	21
6.3.1. Hegesztés.....	22

6.4. Negyedik repedés.....	22
6.4.1. Hegesztés.....	23
6.5. Ötödik repedés	24
6.6. Hegesztés.....	25
7. Miért javíttattam meg?.....	26
8. Repedések megelőzése, a kerékpár váz élettartamának növelése	26
8.1. Anyagválasztás	27
8.1.1. 7075 Al mechanikai tulajdonságai:	27
8.1.2. Költség.....	27
8.2. Vázra ható erő meghatározása.....	28
8.3. Megoldások vizsgálata Inventor-ban.	32
8.3.1. Gyári tervezésű vázon fellépő feszültségek.....	32
8.3.2. Hosszabb alsó merevítő elem alkalmazásakor fellépő feszültségek:	33
8.3.3. Rövidebb merevítő elemnél ébredő feszültségek:	34
8.3.4. Hajlított alsó csőnél ébredő feszültség érték:	35
8.3.5. Hajlított cső növelt falvastagsággal	36
9. Konklúzió	37
10. Köszönetnyilvánítás.....	37
11. Ábrajegyzék	38
12. Irodalomjegyzék	39
13. Nyilatkozat	40

Bevezetés

Szabadidőmben aktívan, napi rendszerességgel sportolási tevékenységet végzem. Ez a kerékpározás, de egy speciális fajtája, ami ráadásul extrém sport, ez a street triál kerékpározás. Egy éve versenyszerűen űztem, többször részt vettem a Magyar Országos bajnokságokon, Magyar kupákon. Manapság viszont csak hobbiként jelenik meg az életemben, de ennek ellenére is jelentős teljesítmény van a sport mögött. A tevékenység közben rendkívül nagy terhelések ébrednek nem csak rajtam, hanem a kerékpáromon is, sokszor saját testsúlyom három-négyszerese is jelentkezik, ebből kifolyólag a kerékpár rendkívül nagy dinamikus igénybevételeknek van kitéve. Sporteszközöm egy alumíniumból gyártott Inspired márkájú Fourplay típusú 2016-os évjáratú speciális kerékpár.



1. ábra Inspired fourplay váz [1]

Ezt a sporteszközt számos helyen alkalmazzák, triálra, freestyle kerékpározásra akár utcán, skateparkban, vagy utcán különböző elemeken.

1. Sport bemutatása

Triál sportág a raklapokra, beton elemekre, gerendákra, konténerekre való felugrást különböző technikákkal, egyensúlyozást takarja magában. A freestyle, azaz, ez a városban vagy a kerékpár parkokban az ugratókon végzett ugratásokat, különböző trükkök kivitelezését jelenti, szabad/egyéni stílusban (például szaltó) így a vázat ért hatások változatosak, kerékpárosonként eltérő.

2. Kerékpárgyártás a napjainkban

Manapság a gyártók célkitűzése, hogy az általuk forgalmazott kerékpár a lehető legkönnyebb legyen, ami valóban egy nagyon fontos dolog, minél könnyebb egy sporteszköz, annál jobban kezelhetővé válik, magasabbra lehet velük ugrani.

Alkalmaznak speciális, nagy szilárdságú alumíniumot, acélt, titániumot, különböző hőkezeléseket, illetve az utóbbi években egyre gyakrabban használják a karbont. Ott tart a technika, hogy egy 9-10 kg-os komplett kerékpár már nem számít nagy újdonságnak, ez az elvárt súly. A karbonból készült kerékpárokból akár a 7-8kg-ot is ki lehet hozni. Az enyém sem haladja meg a 11kg-ot. Ez az úgynevezett „gramm mánia” [2]

2.1. Mostani törekvések hátoldala

Ezen a törekvésnek viszont van egy nagy hátrányos tulajdonsága a sok jó mellett. A csökkentett keresztmetszetek miatt nagy feszültségek ébrednek a kerékpár szerkezetében, ráadásul a sportolók egyre bátrabbak, ezáltal a terhelések is nőnek.

Komoly problémát okoz a vázak kifáradása, törése. Intenzív sportolás közben ezen tönkremenetek súlyos balesetekhez vezethetnek, maradandó egészségügyi károsodásokhoz. Ezzel a gyártók is tisztában vannak, nagy értékű sporteszközök, még is 6 hónap garanciát vállalnak. Más termékek esetében ez több év szokott lenni ekkora ár-értékben. Ezt az említett problémát tapasztaltam is 2 év használat után. Az alsó vázcső félig körbe repedt, ekkor kezdtem el gondolkodni a probléma megoldásán, amit a későbbiekben konkrétan tagllok. [2]

3. Vázamat gyártó cég története

A kerékpáromat gyártó cég története, azaz az Inspired Bicycles egy, a triál illetve a freestyle szakághoz fűződő, új irányvonalú innovatív 24” kerékméretű utcai triál kerékpár megálmodásával, majd megvalósításával kezdődött, amely áthidalja a szakadékot a triál kerékpározás illetve a freestyle (dirt,skatepark) kerékpározás között. Több hónapos munka árán jött létre az első prototípus váz Dave Cleaver cégalapító munkája által. A cég 2007-ben indult, első terméke a Fourplay megnevezést kapta, ezzel utalva a sporteszköz könnyű kezelhetőségére, remek geometriájára. Ez a kerékpár lett a cég többi modelljének, illetve a többi gyártónak minta, ami alapján a többi terméket gyártják. A váz kompatibilis volt az addig rendelkezésre álló szabványos alkatrészeknek, majd elkezdtek saját alkatrészeket gyártani a vázak gyártása mellett. [3]

4. Váz szilárdsági vizsgálata

Mivel egy sporteszközzel van szó, elengedhetetlen az elméleti számításokon kívül gyakorlatban is tesztelni a prototípus terméket.

4.1. Kifáradás jelensége

A kifáradás az ismétlődő igénybevétel hatására, bizonyos számú igénybevétel hatására az alkatrész eltörik. A terhelés a rugalmas tartományban marad, töretkép kagylós.

Fázisai, repedés keletkezése, terjedése, majd a végső törés. A kedvező orientációjú szemcsékben apró elcsúszások jönnek létre, ezekből csúszó sávok jönnek létre (5-30 síkból áll egy sáv). Felületen betüremkedések jönnek létre, diszlokációk a felületen megszűnnek. Sávok belsejében üregek keletkeznek, majd szubmikroszkópikus repedések jönnek létre, ezek közül valamelyik végig halad a szemcsén. Repedés hirtelen átfordul a terhelés irányába, makro repedés keletkezik. Kisciklusú kifáradásról akkor beszélünk, mikor a fáradásos törés a folyáshatár feletti igénybevételek hatására következik be.

A kifáradás jelensége leginkább tesztekkel határozható meg. [4]

4.2. Fárasztóvizsgálatok

A kerékpár vázakat általában fárasztóvizsgálat által tesztelik, fárasztógépek segítségével **ISO 4210**, illetve a **EN15149** szabványt alkalmazva.

A szilárdsági számítások elméleti úton viszonylag pontosak, de a gyakorlatban tapasztaltnál ezek az értékek eltérhetnek. A kifáradás jelenségét rendkívül nehéz (ill. pontatlan) meghatározni, úgymond „találgatás”. Az ellenőrzött, szabványos laboratóriumi körülmények között elvégzett tesztek bizonyíthatják az elméleti úton kiszámított értékeket, rá mutathat az esetleges hiányosságokra, hibákra, így a további fejlesztési munka szükségességére. [5]

Vázak vizsgálatakor a kifáradást a következő folyamatokkal ellenőrzik, [5]

- pedálozási erő okozta kifáradás
- vízszintes erő okozta kifáradás
- fejcső kifáradás
- fékterhelés okozta kifáradás
- hátsó tengelyre ható terhelés okozta kifáradás
- oldalirányú terhelés okozta kifáradás
- maximális/ túlterhelési terhelés teszt
- pedálon fellépő terhelés teszt
- ejtés hatására bekövetkező terhelés teszt

Az említettek közül rendkívül lényeges a nagy igénybevételnek kitett vázagnál a vízszintes erő okozta kifáradás, fejcső kifáradás, hátsó tengelyre ható terhelés okozta kifáradás, oldalirányú terhelés okozta kifáradás maximális/túlterhelési teszt, pedálon fellépő terhelés teszt, ejtés hatására bekövetkező terhelés teszt. Ezen tesztek közül is a legmeghatározóbb a fejcső vizsgálata, a kerékpár legkritikusabb pontja, mivel nagy hajlítónyomaték ébred. A pedálozási erő és a fékterhelés okozta kifáradás mellékvizsgálat, az ezekből ébredő terhelés kisebb mértékű a többi terheléshez képest. Ezeknek a teszteknek a váz/ adott alkatrész ellen kell álljon, hogy a teszt sikeresnek nyilvánítható legyen.

Az erők nagysága, iránya, terhelési ciklusok száma a kérdéses vizsgálati formától függ.

Maga a teszt:

A vázat egy vizsgáló berendezésre szerelik fel, amennyiben a váz rendelkezik (rugózással) lengéscsillapítással felfüggesztéssel, ott azt egy merev elemre cserélik, ezeket körülbelül 30 vagy 100%-os megereszkedési pontra állítják be.

A fejcsövet merev próbavillával csatlakoztatják a fejcsövet a vizsgálóberendezéshez, hogy szimulálják azokat a terheléseket, amelyekkel a villa találkozik, és átadja a fejcsőnek, váznak. [5]

4.2.1. Pedálozási erő okozta kifáradás:

Teszt a pedálozási erők hatására bekövetkező feszültségeket szimulálja. A próbahajtókarok vízszintes helyzetbe képest 45°-al el vannak forgatva, majd rögzítve az alsó konzolhoz. A hajtókarokra 1,3kN erő hat 100 000 cikluson keresztül, 10Hz vagy annál kevesebb frekvenciával. A teszt hasonló az ISO 4210-6:2014, 4.3 szabványhoz, de az erők nagyobbak a szabvány erőknél. [5]



2. ábra: Pedálozási erő okozta kifáradás vizsgálata [6]

4.2.2. Függőleges erő okozta kifáradás:

Vizsgálat során a vázat 2 tengelyre szerelik, majd az üléső belsejére 120mm-re a peremtől 1,3kN erőt fejtenek ki 100 000 cikluson keresztül, 2-5 Hz frekvenciával. Ez erősen megterheli a nyeregcsövet és váz többi elemét. [5]

4.2.3. Fejcső kifáradás (kritikus pont)

Fejcső vizsgálógéphez való csatlakoztatásához próbavillát alkalmaznak. Váltakozó erőt fejtenek ki az első kerék tengelyére (+600/-1200N próbaerő) merőlegesen a fejcső tengelyére 100000 ciklusszámmal és kevesebb mint 10Hz frekvenciával. [5]



3. ábra: Fejcső kifáradás vizsgálata [7]

4.2.4. Fékterhelés okozta kifáradás:

Ez a vizsgálat mutatja be a 203mm-es átmérőjű féktárcsával való fékezést. Hátsó tengelyt és a fejcsövet rögzítik a próbavilla tengelye segítségével. +200/-400N erő hat a féktárcsára, ami átadja a nyereg tartó konzolnak (International Standard, vagy Post mount felfogás) a terhelést 100000 ciklusszámmal és kevesebb mint 10Hz frekvenciával. [5]

4.2.5. Hátsó tengelyre ható terhelés okozta kifáradás:

Váz hátsó felfogatását egy tengellyel, fejcsövet pedig próbavilla segítségével rögzítik a vizsgálógéphez. Hátsó tengelyre 2,1kN függőleges irányú erő hat 100000 cikluson keresztül kevesebb mint 10Hz frekvenciával [5]

4.2.6. Oldalirányú terhelés okozta kifáradás

szintén a váz hátsó felfogatását és a fejcsövet rögzítik próbavilla segítségével. Hátsó tengelyre +- 400N váltakozó irányú terhelés hat 100000 cikluson keresztül [5]



4. ábra: Oldalirányú terhelés hatásának vizsgálata [8]

4.2.7. Pedálon fellépő terhelés teszt

Ezzel a vizsgálattal bizonyosodnak meg arról, hogy a váz bírja-e, ha az alsó konzol, illetve a fejcső nagymértékben meg van terhelve.

egyoldali 2,5kN statikus terhelés 26°-os oldalszögben 6 órás helyzetben elhelyezett hajtókarra, ezt az értéket 10mp-ig tartják

Ahhoz, hogy a teszt sikeres legyen, nem lehetnek repedések, törések, vagy maradó alakváltozások a vizsgálat helyén 10mm-nél nagyobb mértékben. [5]

4.2.8. Maximális/ túlterhelési terhelés teszt:

Vázat a hátsó tengely és a próbavilla támasztja alá. A hátsó tengely tartóeleme 15° -kal fokkal van elhelyezve a függőlegeshez képest, amiatt, hogy szimulálja azt a helyzetet, mikor a tengelytáv megnyúlik. 6kN függőleges irányú erőt helyeznek a középrészbe szerelt hajtókarra és 10mp-ig rajta tartják.

megfelelési kritériumok, hogy 10mm-nél nagyobb deformáció, repedés nem keletkezhet. A vizsgálat után a váznak még el kell viselnie ugyan ezen módon 1kN terhelést ridegtörés vagy más tönkremenetel nélkül [5]



5. ábra: maximális/ túlterhelési terhelés vizsgálata [5]

4.2.9. A vizsgálatok eltérése a valódi értékektől

Azokat az igénybevételeket, erőket, feszültségeket, amik a vázat, alkatrészeket intenzív használat alatt érik nagyon bonyolult meghatározni, számszerűsíteni, ezen kívül a gyakorlatban nem állnak rendelkezésre ezen problémák megoldására ellenőrző adatok, emiatt ezekkel a vizsgálatokkal nem rekonstruálható a több éven át tartó intenzív használat. Ennek kompenzálására a legszigorúbb szabványokat, eljárásokat alkalmazzák a vizsgálat során.

Azaz fárasztóvizsgálatokat amiatt alkalmazzák, hogy megbizonyosodjanak a szilárdsági méretezés pontosságáról, megbizonyosodjanak a váz, alkatész tartósságáról, kifáradással szembeni ellenállóképességéről [5]

4.3. A valódi teszt

A cégen belüli teszteléseken kívül szükség van az adott sportokban a hosszútávú, intenzív tesztelésére is. Erre a triál szakág egyik legtehetségesebb skót sportolóját, a RedBull team ridert, Danny Macaskill-t választotta, hogy a végletekig tesztelje, majd bebizonyítsa, hogy a koncepció életképes, ezzel megváltoztatva a kerékpársport, extrém sportok jövőjét. Céljuk az volt, hogy a lehető legnagyobb terhelések érhék a vázat. Közös tervezés, kisebb változtatások, Danny pozitív véleménye alapján egyértelmű volt a projekt sikeressége [3]



6. ábra: Danny Macaskill a prototípus kerékpárral [9]

5. Fourplay kerékpár váz jellemzői

Gyártására a cég 6066 (A96066) minőségű Alumínium nyersanyagot használ fel. Különleges geometriával rendelkező váz, sok pozitív vissza jelzés van ezzel kapcsolatban.

5.1. Az alumíniumról, előnye-hátránya a kerékpárgyártásban

Manapság a legelterjedtebb anyag a kerékpárgyártásban az alumínium, meglehetősen könnyű, hőkezelt állapotban rendkívül jó szilárdság-tömeg aránnyal rendelkezik (mesterségesen öregített anyag esetén ez az arány fokozódik) bár nem olyan könnyű anyag, mint a karbon ($1,75\text{-}1,93\text{g/cm}^3$), korrózióálló, ráadásul megfizethető anyagról van szó, emiatt nagyon kedvelt a kerékpár gyártók, illetve a kerékpárosok számára. Hátránya a merevsége, nem nyeli el a rázkódásokat olyan mértékben, rosszul csillapítja a vibrációt; gyenge borulás (tehetetlenségi mozgás gyorsulás nélkül); felgyülemlik a fáradtságot, így hosszan tartó működés után lebomlanak, miközben nehezen javíthatók. Kevésbé rugalmas, mint az acél, kifáradásra hajlamos, reped, törik, hajtáshatékonysága jobb az acél vázagnál. [2]

5.2. 6000 széria jellemzői

A mangánt és szilíciumot tartalmazó 6000-es sorozatú alumínium szerkezete lehetővé teszi az ötvözet oldatos hőkezelését, ami javítja az anyag szilárdságát. Az ötvözetet hegesztési gyártáshoz és szerkezeti elemek előállításához használják. Közepes szilárdságú alumínium, messze a legelterjedtebb az extrudálási folyamatnál. Ötvözetei viszonylag puhák az extrudálás során (nagy kilépési sebességet tesznek lehetővé), de utólag könnyen hőkezelhetők is, hogy jelentős szilárdságot nyerjenek. A szóban forgó hőkezelést öregedő edzésnek nevezik. [10]

5.3. 6066 Al tulajdonságai

Összetétel

Al	Si	Mg	Cu	Mn	Fe	Cr	Zn	Ti
93- 97%	0,9- 1,8%	0,8- 1,4%	0,7- 1,2%	0,6- 1,1%	0-0,5%	0-0,4%	0- 0,25%	0-0,2%

1. táblázat: 6066 Al összetétele [11]

Cu, Si, Mg, Zn, Mn szilárdságnövelő hatású ötvöző, szemcsenagyságot csökkentő a Ti, Cr, korrózióállóságot javító ötvözők: Mn, Sb

Mechanikai tulajdonságok

Brinell keménység:	43HB
Maximális nyúlás A ₅ :	17%
Young féle rugalmassági modulus (G)	70GPa
Folyáshatár (Re)	93MPa
Szakítószilárdság:	160MPa

2. táblázat: 6066 Al mechanikai tulajdonságai [11]

Hőtani tulajdonságok

Maximális üzemi hőm:	170C
Hővezetés:	150W/mK
Hőtágulás:	23um/mK
Olvadáspont solidus:	560°C
Olvadáspont liquidus	650°C

3. táblázat: 6066 Al Hőtani tulajdonságai [11]

Sűrűsége 2,8g/cm³

5.4. Alumíniumok hőkezelése

Hőkezelés azon folyamatok gyűjtőfogalma, amelyek folyamán az anyag, ami lehet fém vagy ötvözet, tulajdonságai az elérni kívánt irányban változnak meg a szobahőmérsékletnél nagyobb hőmérsékleten való felhevítés, a hőn tartás és a szabályozott hűtés hatására. Hőkezelés alatt tehát a szilárd halmazállapotú anyag hőmérsékletének tervszerű, meghatározott módon történő megváltoztatását értjük, annak érdekében, hogy az anyag tulajdonságai megfelelőek legyenek. A tulajdonságok megváltozásának oka, hogy az anyagban olyan átalakulások mennek végbe, amelyek során megváltozik az anyag szerkezete. A hőkezelés szempontjából nélkülözhetetlen tudnunk, hogy a hőkezelésre váró termék anyagának melyek a legfontosabb tulajdonságai, mivel a hőkezelés döntő alapja a szövetváltozás, ezáltal azok az anyagok megfelelőek a hőkezelésre, amelyeknél a hőmérsékletváltozás hatására bizonyos mértékű változás érhető el szövetszerkezetükben, feszültségállapotukban. [12]

Alumíniumok esetében 1000,4000,5000 széria nem nemesíthető, viszont a 2000,6000,7000,8000 széria nemesíthető, a 9000 széria nemesíthetősége az egyéb elemektől függ. [12] [13]

Nemesíthetőség feltétele, hogy az alapanyag az ötvözővel korlátolt szilárd oldatot képezzen, az oldhatóság a hőmérséklet csökkenésekor csökkenjen, Az oldhatósági határ felett vegyület keletkezzen, a vegyületi fázisnak megfelelően diffúziós tényezője legyen, az összetétel a korlátolt oldhatósági határ minimuma és maximuma közé essen.

Ahhoz, hogy a lágyabb, 6066-os alumíniumból egy nagy szilárdságú és egyben könnyű fémeket kapjanak, a hegesztés végrehajtása után hőkezelésen kell átesnie a váznak, villának. Mesterséges öregítést alkalmaznak az alumínium vázak hőkezelésére. [4]

5.4.1. Mesterséges öregítés

A vázam öregítésére a T6 elnevezésű hőkezelési folyamatot alkalmazzák.

T6 hőkezelés, meleg kikeményítés

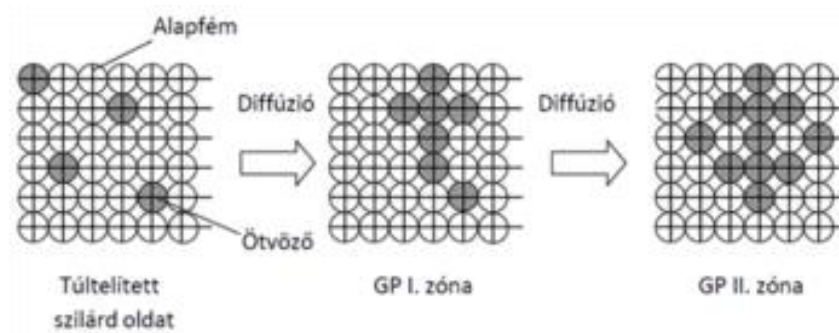
A meleg kikeményítés során a szilárdsági paraméterek akkor növekednek jelentősen, ha az ötvözet kristályszerkezetében levő diszlokációk (vonalszerű kristályhibák) mozgását meg tudjuk akadályozni.

A diszlokációk mozgása az alumínium alapú mátrixban kiválásokkal akadályozható. A hőkezelés során az a feladat, hogy az alumínium mátrixban hatásosan akadályozó részecskéket hozzunk létre. Ilyen részecskék keletkeznek túltelített szilárdoldatból való kiválás során.

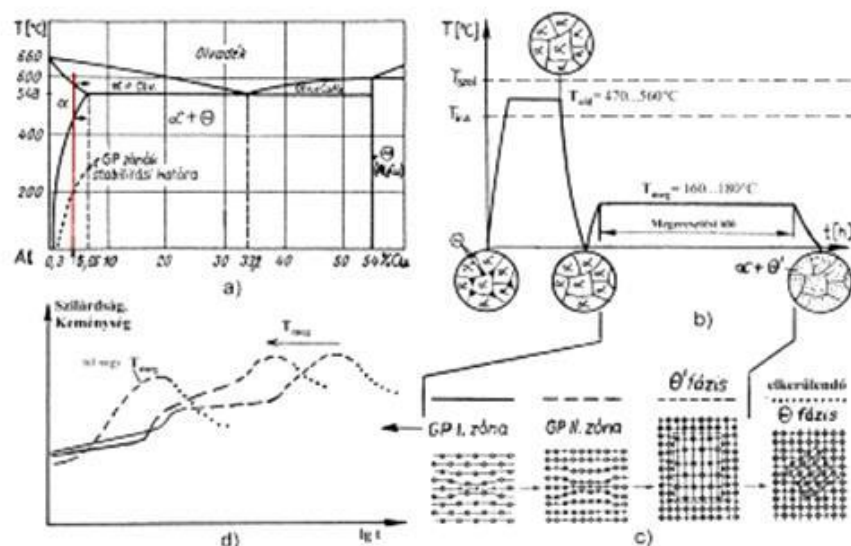
Ha egy diszlokáció kiváláshoz ér, akkor át kell szakítania a továbbjutáshoz, ekkor a kiválás jelentősen növeli a szilárdsági tulajdonságait. Ha a kivágáshoz túl nagy energia szükséges, akkor a diszlokáció megkerüli a kiválást, kisebb szilárdság növelés az előbbihez képest. Ezek akkor működnek, ha a kiválások a mátrixsal koherensek/félkoherensek. Kikeményítéskor addig növekszik a szilárdság, amíg a kiválások koherensen kapcsolódnak az alapszövethez.

A kis méretű, sűrűn elhelyezkedő, egyenletes eloszlású, a mátrix szerkezetével megegyező képződményeket GP zónáknak nevezik. [12]

GPI és GPII zónák több atomsornyi és kb. 100nm nagyságú kiválások, diffúzió révén jönnek létre. GPI zónában a kiválások mérete nagyobb, ezért további szilárdság növekedés tapasztalható. GP zónában további diffúzió, ezt el kell kerülni a túlóregedés miatt. [12]



7. ábra: GP zónák [14]



8. ábra: Alumínium állapotábrája, hőkezelési diagramja [13] [15]

Első lépésként egy oldó, homogenizáló izzítást hajtanak végre. Cél a kiválások oldatba vitele, $T_{FC} < T_1 < T_{EUT}$

Az oldó hőkezelést jellemzően 470-560°C hőmérsékleti tartományban végzik. Ez a hőmérséklet a solvus és a szolidusz vonal közé esik, azaz az ötvözetet tiszta α szilárd oldat területbe hevítjük. Lényeges, hogy nem szabad meghaladni az eutektoidos hőmérsékletet, nem szabad hogy a kristályokon olvadék keletkezzen. A hőtartási idő alatt

β fázis feloldódik, homogén α szilárd oldat alakul ki. A hőkezelési időnél figyelembe kell venni ötvözet kémiai összetételét, munkadarab falvastagságát. [12] [13] [14]

Második lépésben a homogenizáló izzítást követi az **edzés**. Itt visszahűtik a munkadarabot 470-560°C- ról 70-50°C-ra nagy hűtési sebességű vízhűtéssel. A hűtést nagyon gyorsan végre kell hajtani a kiválások elkerülése érdekében, ha nem megfelelő a hűtési sebesség, akkor a szilárdsági értékek rosszabbak lesznek. Nagy hűtési sebesség miatt nem tud végbe menni a diffúzió, ezért az α fázisból nem tud ki válni β fázis. Hűtés után túltelített, nem egyensúlyi α szilárd oldat van jelen. Gyors hűtés hátránya hogy növeli a korrózióra való hajlamot, feszültségkorrózióra való hajlamot. [12] [15]

Harmadik lépésként a **mesterséges öregítés** következik. Kemencében a testet 150-180°C-ra hevítik (szolvusz vonal alatti hőmérséklet), majd 4-16 óráig hőn tartják. A túltelített szilárd oldatban lévő túl telítettséget okozó ötvözők ki akarnak válni, mert így közelebb kerül az egyensúlyi állapothoz. Végbe megy a diffúzió, kiválások nőnek, kialakul az egyensúlyi $\alpha+\beta$ szövetszerkezet. [12]

6066 hőkezeletlen aluminium és a T6 öregített alumínium tulajdonság változása

Változás	6066-0	6066-T6
HB	43	120
A ₅ (%)	17	9,5
G (GPa)	70	70
Re (MPa)	93	350
Rm (MPa)	160	390

4. táblázat: 6066 Al mechanikai tulajdonságai öregítés előtt-után [11]

6. A probléma, ami alapját képezi a dolgozatnak, a repedés.

Hogyan jöhetett létre a váz repedése?

Sportolásom közben akár 2-2,5 méter magasról zuhanok le a betonra a kerékpárral, rendszeres lüktető és véletlenszerű feszültségek rendszeressége miatt a kifáradás jelensége következik be, ez lehet kisciklusú kifáradás is. Ez a sporteszköz merev felfüggesztéssel rendelkezik, ami azt jelenti, hogy nincs sem első teleszkópja, sem hátsó rugóstagja, ezáltal nincs, ami nagyobb mértékben csökkentse a becsapódáskor keletkező erőt, ez rendkívül rossz hatással van a vázszerkezetre, mivel ahogy azt az előbbiekben is írtam, kevésbé rugalmas anyag az alumínium. Merev vázakra jellemző ez a fajta tönkremenetel a kerékpáros sportágakban.

6.1. Első repedés

Az első repedés a vázon az egyik legmeghatározóbb feszültséggyűjtő pontban jelentkezett, a nyak merevítése utáni hegesztés végpontja, azaz az alsó merevítő elem végpontja és az alsó vázcső találkozásánál a nagy húzóerő, hajlítónyomaték hatására. A repedés az alsó cső keresztmetszetének felén végig futott.



9. ábra: Vázon keletkező első repedés

A repedés legnagyobb valószínűséggel a gyakori hirtelen fellépő dinamikus igénybevételek hatására következett be. Repedés után megbizonyosodtam róla, még javítható a váz.

Miért volt javítható?

Mivel nem futott végig az egész keresztmetszeten a repedés (nem következett be teljes törés, ezért a geometriáját a váz megtartotta, a felső vázcsőben nem keletkeztek repedések látható maradó alakváltozások, így lehetőség nyílt arra, hogy egy plusz merevítő lemez segítségével megerősítve az alsó vázcsövet, újra használható legyen a kerékpár.

Repedés jellemzése:

2020 augusztus 16-án történt Sellyén, repedéskor tompa, pattanó hangot észleltem, ebből arra következtettem, hogy szívós törés zajlott le. 360°-os föld ugratón való levegőben történő ugrás utáni földet éréskor következett be, a landolás egyszerre 2 kerékre történt, így a lábammal, testemmel a becsapódást csillapítani nem tudtam jelentős mértékben.

6.1.1.Hegesztés:

Körber Hungaria egyik hegesztője végezte el, munkán kívül kerékpárvázak javításával foglalkozik (ismerőseimnek szintén ő javította, megfelelő minőségben)

Lépés leírtak szerint:

Varrat körül 3 cm-es körben eltávolította festéket, alaposan le takarította, zsírtalanította, repedések végeit vékony, 3mm vastag csigafúróval ki fúrta, féktisztítóval, sűrített levegővel ki takarította a repedések hézagjait, hozzáférhető helyen a gyökoldalt is felpucolta, előmelegítés lánghegesztő pisztoly alkalmazásával valósult meg, 100°C-ra, ezt hőkrétával/ lézeres hőmérővel ellenőrizte, ezután a csövet beöblítette formáló (formir9 gázzal , áramlási sebesség 5l/min. Hegesztő áram meghatározása az adott területtől függ, a nagyobb falvastagságú területeken 110-120 A, vékonyabb falvastágnál 60-70A.

Hozaganyagként az alapanyaghoz legközelebb álló anyagminőségűt választotta (6063,6083) Lágyabb anyaggal való hegesztésnél könnyebben megnyúlik a varratnál az anyag hosszabb hegesztésnél kisebb szüneteket tartott a nagy áthéülés elkerülése érdekében, ellenkező esetben az anyag kilágyl.

Hegesztés egy REHM Invertelting pro digital 240 Argon védő gázas Wolfram elektródás ívhegesztő géppel valósult meg.

Hegesztés után a formálót egyből elzárta, majd lassú hűtést alkalmazott, szabad levegő alkalmazásával, tőzeggyapotba tekerve több órán keresztül a minél lassabb hűlés érdekében, ezzel a megoldással szívósság fokozására törekedtünk.

Egy másik kerékpárból kivágott x méretű 6068-T6 anyagminőségű lemezt hegesztett fel merevítés szempontjából. A lemez felhegesztése mind a 4 oldalán megtörtént (körbe lett hegesztve)

Az első javítás 10000HUF költséggel járt, 2020 aug 22-én valósult meg

6.2. Második repedés

Az első hegesztés során fellépő hőhatás, illetve a felhegesztett merevítő lemez alsó részén kialakuló feszültséggyűjtő pont részben kedvezőtlen hatásokat váltott ki, ezen feltételek hatására hajszálrepedések jelentek meg.



10. ábra: Második repedés

Repedés jellemzése

2020 augusztus 26-án történt meg az észre vételezés. A varrat széle mentén hajszálrepedést véltem felfelezni a merevítő lemez végén az újonnan kialakult feszültséggyűjtő pontnál, a varrat tövében. Fáradásos repedésről volt szó. A terhelések hatására folyamatosan terjedt.

6.2.1. Hegesztés

A hegesztés körülményei, megoldásai, paraméterei megegyeztek. A repedésnél többszörös varratsor került fel, viszont merevítő lemezt a vázra nem lett pluszban fel hegesztve. Garanciális hegesztés volt, nem volt anyagi vonzata, viszont nem bizonyosult jó megoldásnak.

6.3. Harmadik repedés

Az előző repedés megoldása nem járt kedvező hatásokkal, hamar be következett az újabb repedés.

2020 szeptember 25-én következett be. Az első repedéshez hasonló töretkép alakult ki. hosszán fel repedt a varrat középpontjánál, hasonló töret jellemzőkkel: tompa, pattanó hang, alsó vázcső keresztben 1/3 részben megrepedt alulról, húzóerő hatására, szintén földugratón történő landoláskor.



11. ábra: Harmadik repedés

Valószínűleg a nagy hőhatás hatására bekövetkezett egy szilárdságtani tulajdonság romlás a hőhatás övezeten belül hasonló töret jellemzőkkel: tompa, pattanó hang, alsó vázcső keresztben 1/3 részben megrepedt alulról, húzóerő hatására, szintén földugratón történő landoláskor

6.3.1. Hegesztés



12. ábra: 3. javítás

feszültség elosztó hatása van, ezúttal a javítás költsége 10 000HUF volt.

2020 december 2-án került sorra, az előzőekkel megegyező hegesztési körülmények, módok, paraméterek. Ekkor került fel a vázra a 2., a másik kerékpárból kivágott, az előzőnél hosszabb merevítő lemez, kialakítása ezúttal a gyári merevítő megoldással hasonló, a lemez végé és az alsó vázcső találkozásánál (fő feszültség gyűjtő helynél a merevítő lemez és az alsó vázcső nem lett össze hegesztve keresztben) a merevítő lemez csak az alsó vázcsővel párhuzamos irányban lett fel hegesztve, a merevítő lemez végénél egy C- alakú kivágást alkalmaztunk a gyári megoldáshoz hasonló módon,

6.4. Negyedik repedés



13. ábra: Negyedik repedés/1

Az újabb merevítő lemez felkerülése után a 2 feszültség gyűjtő pont is ki alakult a vázon, a fő pont átkerült a váz eredeti merevítője és az első felhegesztett lemez találkozásához. 2021 szeptember 16-án 4 helyen véltem felfedezni hajszálrepedéseket, páros oldalanként a második merevítő lemez C alakú bemetszésének végpontjánál és a varrat találkozásánál a repedés megindult, illetve az első + merevítő lemez és a

gyári merevítő elem össze hegesztett varratának tövében indult meg. Betonon történő intenzív használat okozója a törésnek



A második feszültséggyűjtő hely a legutóbb felhegesztett merevítő lemez felhegesztésének sarkában jelentkezett. Ha ezek a repedések el érik az eredeti vázcsövet, megrepszítik azokat.

14. ábra: Negyedik repedés/2

6.4.1. Hegesztés



Hegesztés körülményei megegyeznek az eddig taglaltakkal, 2021 október 5-én végezte el a hegesztő felkerült a harmadik, a másik vázból kivágott a többi lemezhez képest nagyobb, 260mm

hosszúságú, a vázhoz igazított, hajlított lemez is. Szintén C alakú feszültségcsökkentő technológia alkalmazása, az utolsó merevítő lemez körül öleli az első, a második, illetve az eredeti merevítés egy részét is, az alsó vázcső kb. 1/3 részét fedi le. eddig ez bizonyult a legmegfelelőbb megoldásnak, a hosszabb merevítés eloszlatja a feszültséget, az egész alsó vázcső felveszi a terhelést, a varrat végén nem jelentkezik oly intenzíven a feszültség gyűjtő hatása. A repedések kijavítása után felkerült egy, a korábbi merevítő lemezeknél jóval hosszabb merevítő lemez. E lefedi a két korábbi, kiküszöbölve az egyéni problémáit.

A sok merevítő lemez érezhető hátránya:

- a kerékpár enyhén orrnehéz lett
- súlynövekedést idézett elő

6.5. Ötödik repedés



A fő feszültséggyűjtő hely továbbra is nyak környezetében jelentkezett, főleg, hogy a nagy merevítő lap az alsó része eloszlatta a feszültség nagy részét. Repedésre 2022 május 27-én lettem figyelmes, gyári merevítő és a fejcső összehegesztésénél indult meg, mindkét oldalon, majdnem az alsó vázcsőig felrepedve

15. ábra: Ötödik repedés

6.6. Hegesztés

Végül felkerült a végső merevítő lap, ami meggátolja a nyak és az eredeti merevítő szétválását, ez egy vastagabb alumínium lemez, mindkét oldalon. Hegesztés körülményei megegyeznek az eddig taglaltakkal. 2022 június 28-án került sor a hegesztésre. Először a repedések behegesztésére került sor, majd a 2 merevítő lap került felhegesztésre.



16. ábra: Ötödik javítás

Egy nagy előnye van a hosszú merevítő lapnak, a tapasztalatok alapján jóval tartósabb lett tőle a váz, valószínűleg a feszültséget szét osztotta az egész alsó vázcsövön, így nem ébredtek olyan nagy feszültségek a merevítő és az alsó vázcső között alul. Ez a része hosszú idő után gyengült csak meg, kis repedések keletkeztek, amik csak nagyon lassan terjednek, ez el kezdett foglalkoztatni, hogy vajon ez lehet-e a megoldás a gyári váznál is a feszültségek csökkentésére.

A folytonos javításokból, majd újbóli repedésekből az következtethető, hogy a nagy terheléseknek kitett alumínium vázak javítása nehézkes, nem megbízható.

Hiába lett lassan hűtve a varrat, a nagy igénybevételek hatására a varratok környékén, a hőhatás övezetekben újabb repedések keletkeznek, a hőhatás meggyengítette a mesterségesen öregített vázat

Tapasztalatok alapján célszerű az első repedés javítása utáni megerősítést hosszú merevítő lemezzel megvalósítani a feszültség eloszlás érdekében.

7. Miért javítottattam meg?

Az Inspired cég ritkán ad el külön csak vázszettet, a komplett kerékpár ára 3230€. A vázszett ára is 1430€, amit nem engedhetek meg magamnak. Többszörös javítással sikerült a váz élettartamát eddig több mint 2 évvel meghosszabbítani.

Mivel a váz tartós javítása nem, vagy csak nagyon nehezen oldható meg, ezért keresem azokat a megoldásokat, amelyekkel meg lehet hosszabbítani egy adott váz élettartamát súlynövekedés nélkül, vagy csak kis mértékű súlygyarapodás mellett.

8. Repedések megelőzése, a kerékpár váz élettartamának növelése

Négy féle probléma megoldást taglalok dolgozatomban

- Anyagminőség változtatása
- Alsó merevítő elem hosszának növelése
- Első rész megváltoztatása
- Illetve ezek kombinációja

Alsó merevítő elemet a javításkor tapasztaltak alapján gondoltam lehetséges megoldásként.

Az első rész megváltoztatására az Inspired csúcsterméke, a Skye kerékpár adott ötletet, mivel mindenki csak dicséri, eddig egyet sem láttam törve semmiféle közösségi médiában

8.1. Anyagválasztás

A 7075 számú alumíniumra esett a választás, mivel a 7000-res szériát előszeretettel alkalmazzák a kerékpárgyártásban. Jól hőkezelhető, hegeszthető. Mesterséges öregítéssel igazán nagy szilárdságú alumíniumot létre lehet hozni, alacsony sűrűség mellett. A mesterséges hőkezelések közül szintén a T6 öregítést választom, ezzel lehet elérni az egyik legjobb mechanikai jellemzőket.

8.1.1. 7075 Al mechanikai tulajdonságai:

Változás	7075-0	7075-T6
HB	59	150
A ₅ (%)	12	7,9
G (GPa)	70	70
Re (MPa)	120	480
Rm (MPa)	240	560

5. táblázat: 7075 Al mechanikai tulajdonságai öregítés előtt-után [11]

Változás	6066-T6	7075-T6
HB	120	150
A ₅ (%)	9,5	7,9
G (GPa)	70	70
Re (MPa)	350	480
Rm (MPa)	390	560

6. táblázat: 6066-T6 és a 7075-T6 mechanikai tulajdonságainak össze hasonlítása
[11]

8.1.2. Költség

Mivel egy prémium kerékpárról van szó, figyelembe kell venni azt a szempontot, hogy valószínűleg megéri a drágább anyagból elkészíteni a vázat, mivel az elsődleges szempont a váz tartóssága, nem pedig az alapanyag ára.

8.2. Vázra ható erő meghatározása

Két különböző módszerrel vizsgáltam meg a vázra ható erő értékét.

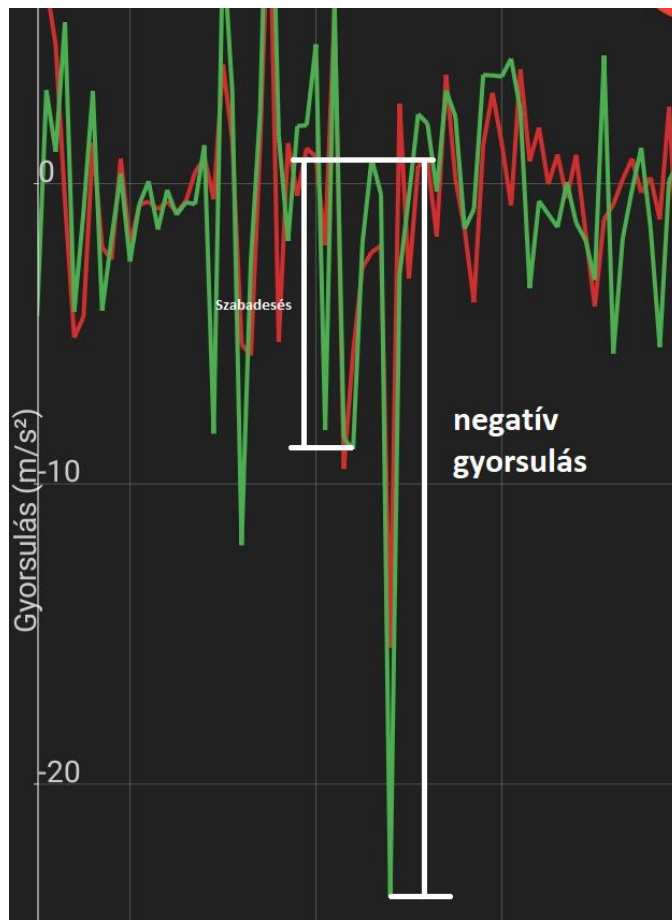
Az első módszernél a telefonom gyorsulásmérőjét használtam fel egy a Google play alkalmazásban letöltött alkalmazással, ez képes ki nyerni a telefon által mért gyorsulási értéket, majd ezt egy grafikonon ábrázolni, ezek alapján megkeresem a grafikon azon részét ahol a legnagyobb negatív gyorsulás ébred, ennél az $F = m \times a$ képletet használom fel a gyakorlatban mért adatok az alkalmazással.

Összesen 4 mérést végeztem el, az eredmények nagyon hasonlóan alakultak, emiatt csak 2 ábrát jelenítek meg, hogy ezt bizonyítsam.



17. ábra: Telefon gyorsulásmérőjéből kinyert adatok

Összesen 4 mérést végeztem el, az eredmények nagyon hasonlóan alakultak, emiatt csak 2 ábrát jelenítek meg, hogy ezt bizonyítsam.



18. ábra: Felhasznált gyorsulás diagram

Mivel a telefont csak ferdén tudtam elhelyezni, ezért az x, illetve az y gyorsulások eredőjével kell számolnom. (X a piros, Y a zöld grafikon)

negatív gyorsulás Y irányban:

$$25 \text{ m/s}^2$$

negatív gyorsulás X irányban:

$$13 \text{ m/s}^2$$

így a gyorsulások eredője:

$$28,178 \text{ m/s}^2$$

Az alkalmazás ellenőrzésére használok fel a **2. módszert**, azaz a gyorsulás meghatározását számításokkal, ennél a szabadesés, illetve az egyenletesen lassuló mozgás képleteit használok fel.

Szabadesés:



19. ábra: Szabadesés kezdete

földetérés előtti pillanatban kialakult sebesség:

$$v_1 = v_0 + \sqrt{2 * g * h}$$

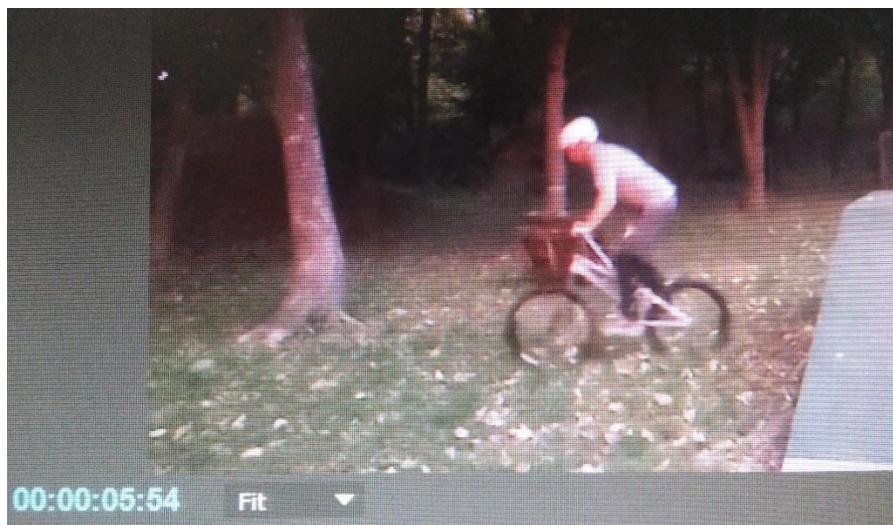
$g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $v_0 = 0 \text{ m/s}$, $h = 1,15 \text{ m}$

$$v_1 = 0 + \sqrt{2 * 9,81 * 1,15} = 4,75 \text{ m/s}$$

Negatív gyorsulás

ehhez a földetérés előtti pillanatban kialakult sebességet és a földetéréstől az y irányban teljes megállás között eltelt időt használom fel

$$a = - \frac{\Delta v}{\Delta t}$$



20. ábra: Landolás pillanatában

$v_0 = 4,75 \text{ m/s}$, $v_1 = 0 \text{ m/s}$, $t_0 = 05:54\text{s}$, $t_1 = 06:04\text{s}$

Δt : a videószerkesztő a tizedmásodpercet is 60-ig számlálja, ezért 0,166666s az értéke



21. ábra: Landolás véghelyzete

$$a = - \frac{4,75 - 0}{0,16666} = -28,5 \text{ m/s}^2$$

Az alkalmazás által kapott gyorsulás érték $28,178 \text{ m/s}^2$ videó alapján számítva $28,5 \text{ m/s}^2$ mivel a két érték kis mértékben tér el egymástól, emiatt az alkalmazás megbízhatónak nyilvánítható.

A $28,5 \text{ m/s}^2$ értéket felhasználva a zuhanás hatására fellépő dinamikus erő értéke: saját testsúlyom 74 kg , viszont a nehezebb sportolók miatt egy átlagos 80kg -os testsúllyal számolok.

$$F = m * a = 80 * 28,5 = \mathbf{2280N}$$

Egészségügyi okok miatt nem tehetem meg, hogy magasabb elemről ugorjak, amiatt feltételezem, (az eddigi tapasztalataimból, illetve a látottakból következtetve) hogy ennél az erőnél a fellépő legnagyobb erő a számított erő kétszerese, azaz **4560N** (5,7G)

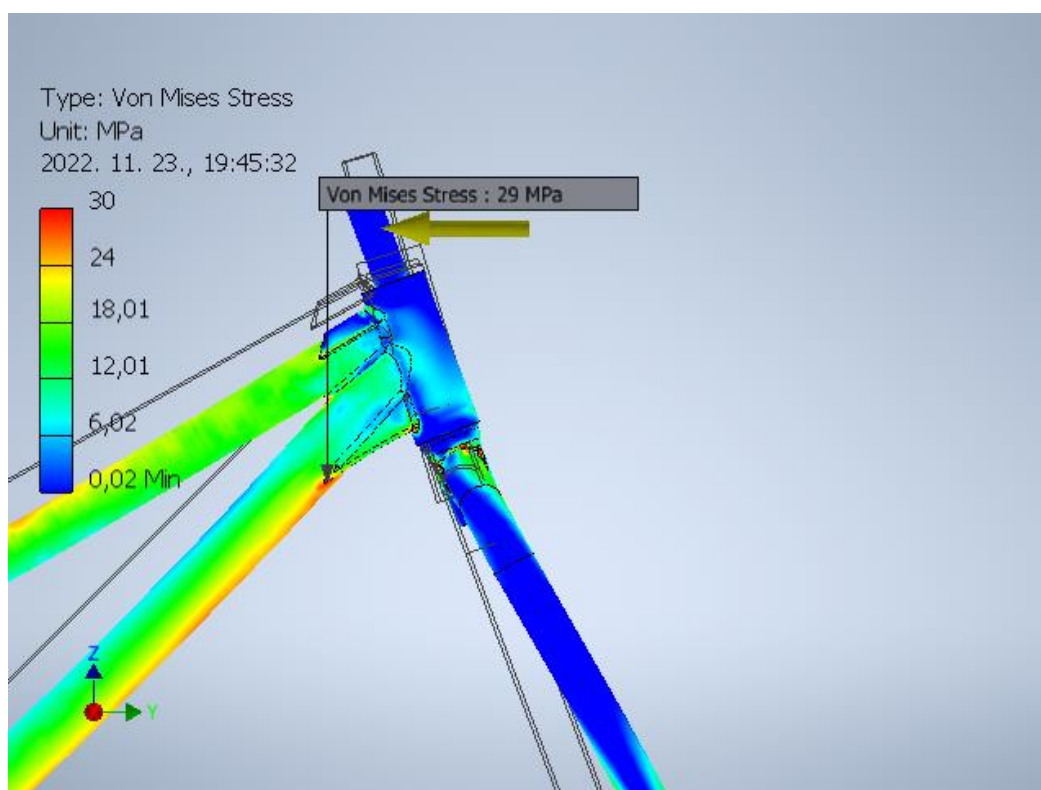
Ezen erő kialakulása mellett azt feltételeztem, hogy a kormányra kifejtett erő **500N** a negatív gyorsulás pillanatában.

8.3. Megoldások vizsgálata Inventor-ban.

Összesen 5 típusú szerkezeti megoldást vizsgáltam:

- gyári tervezés
- hosszabb merevítő elem
- rövidebb merevítő elem
- hajlított alsó vázcső a merevítő elem elhagyásával
- a hajlított alsó cső falvastagságának növelése

8.3.1. Gyári tervezésű vázon fellépő feszültségek



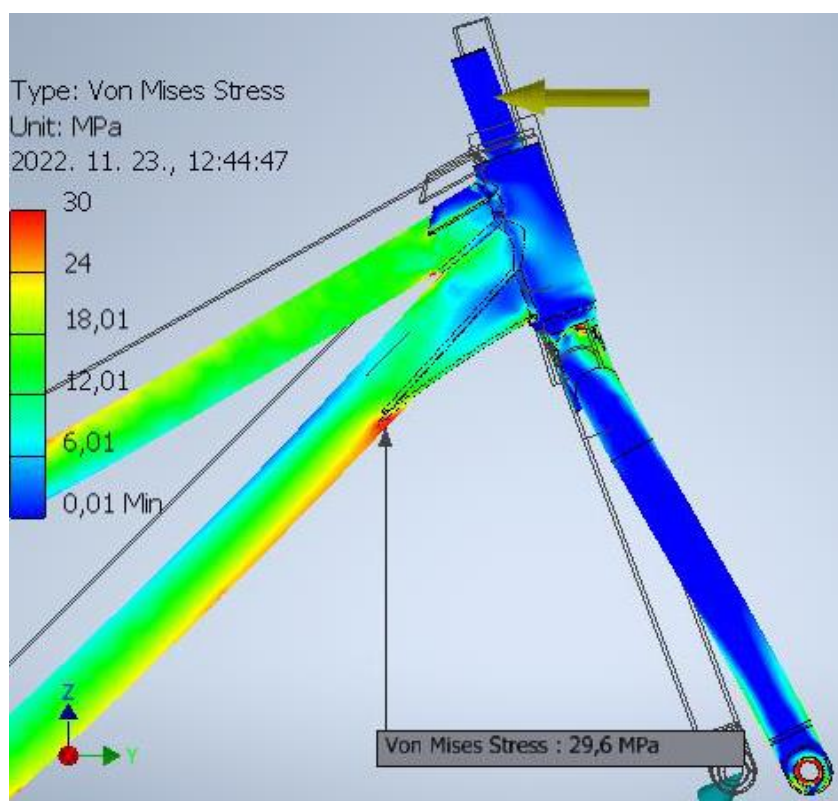
22. ábra: Gyári tervezés vizsgálata

A kritikus helyen kialakuló legnagyobb feszültség érték **29MPa**

biztonsági tényező értéke **12,05**

A merevítő hossza a fejső közepétől **120mm**

8.3.2. Hosszabb alsó merevítő elem alkalmazásakor fellépő feszültségek:



23. ábra: Hosszabb merevítő elem vizsgálata

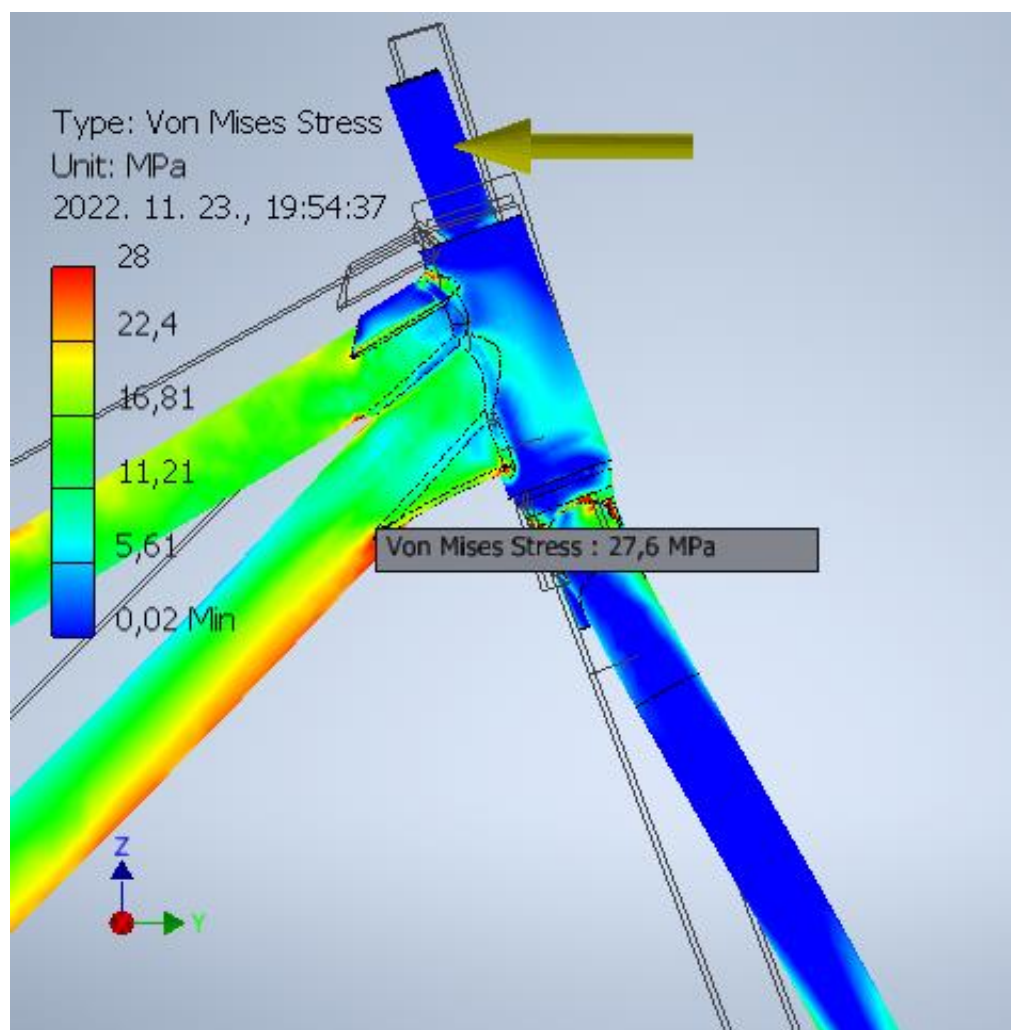
A kritikus helyen kialakuló legnagyobb feszültség érték 29,6MPa, a biztonsági tényező értéke **11,83**

A merevítő hossza a fejcső közepétől **160mm**

Mivel nagyobb feszültség ébred a hosszabb merevítőnél, mint az eredeti elem esetében, emiatt a javítások során észlelt jó tulajdonságok itt nem érvényesek.

8.3.3. Rövidebb merevítő elemnél ébredő feszültségek:

Mivel a gyári állapothoz képest a hosszabb merevítő elem esetében nagyobb feszültség értékek adódtak a vártakkal ellentézőleg. Ezért a másik irányba haladtam, megnéztem, hogy a rövidebb méret milyen hatást gyakorol.



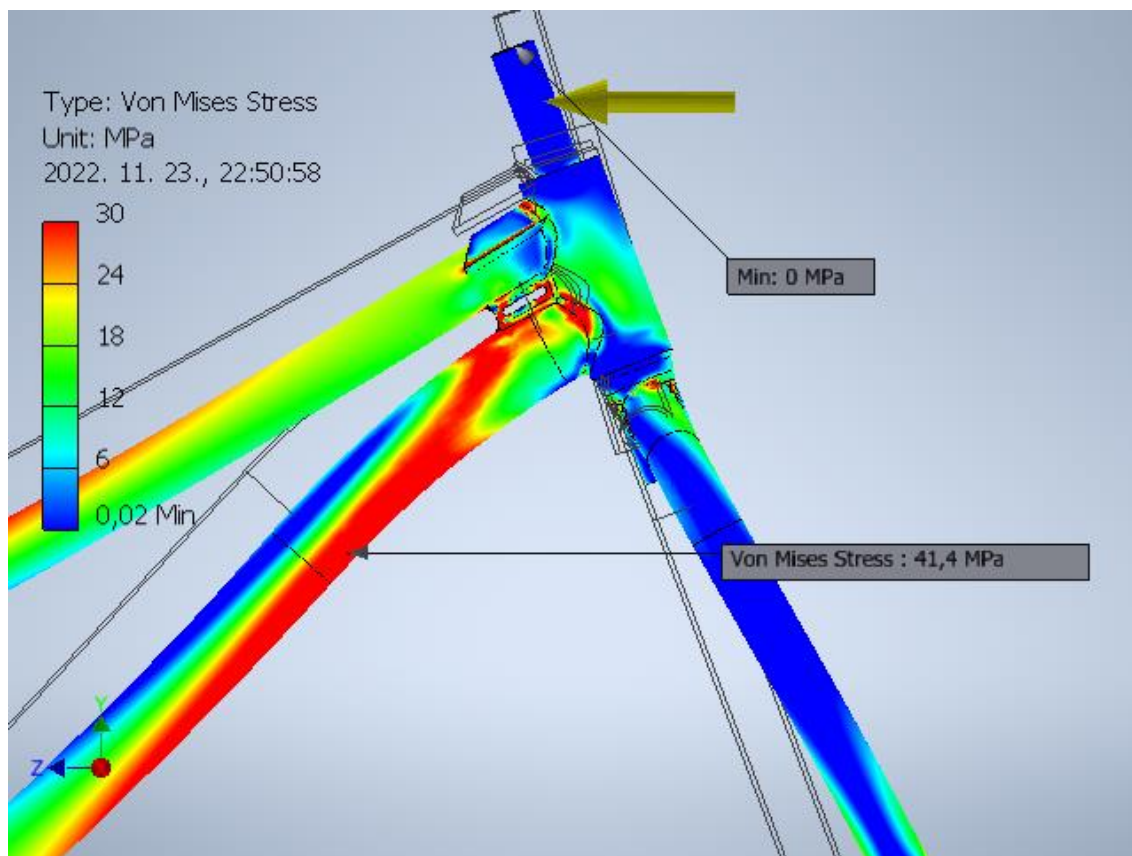
24. ábra: Rövidebb merevítő elem vizsgálata

A kritikus helyen kialakuló legnagyobb feszültség érték **27,6MPa**

Biztonsági tényező értéke **12,7**

A merevítő hossza a fejső közepétől **100mm**

8.3.4. Hajlított alsó csőnél ébredő feszültség érték:



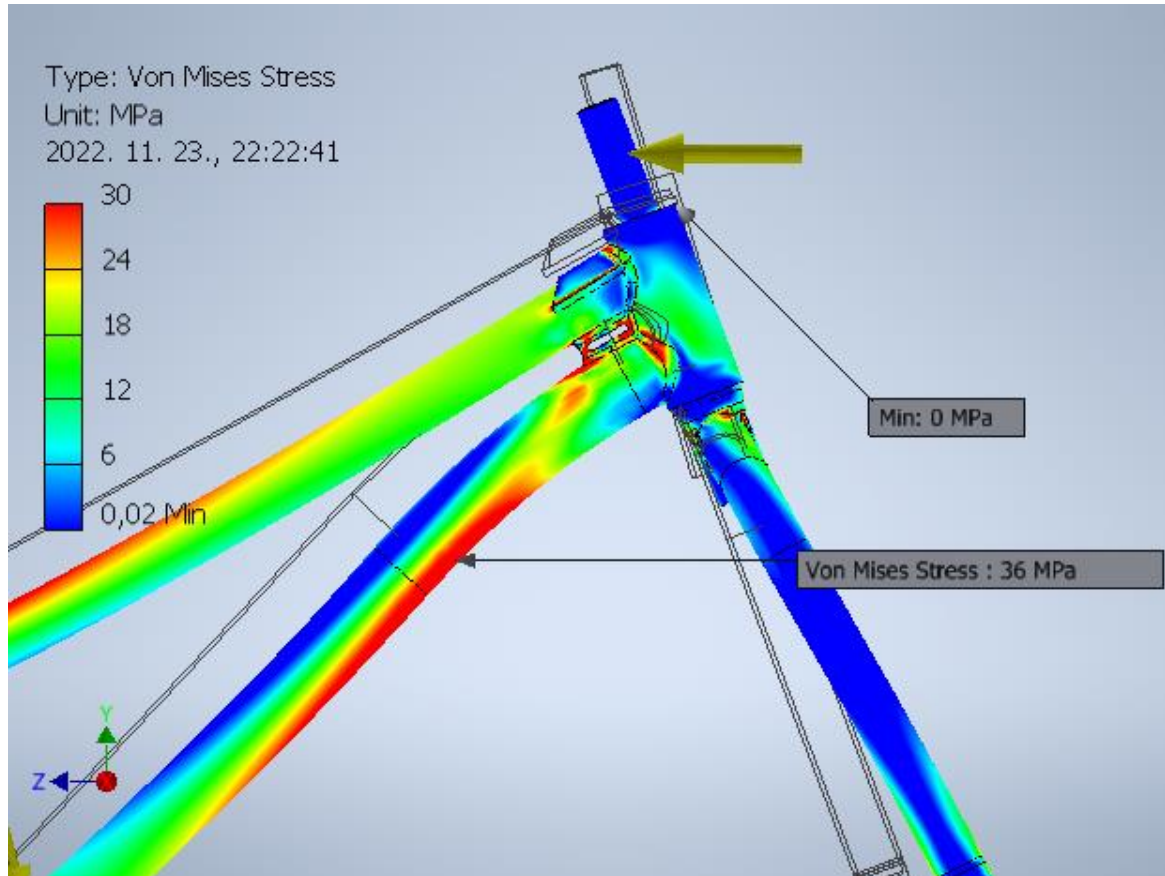
25. ábra: hajlított alsó cső vizsgálata

A kialakuló maximális feszültség értéke **41,4MPa**, ami jóval meghaladja a többi megoldásnál tapasztaltakat, ennek érdekében megnéztem az alsó cső falvastagság növelése 0,5mm-rel, milyen hatást gyakorol a feszültség értékeire.

biztonsági tényező értéke **8,44**

8.3.5. Hajlított cső növelt falvastagsággal

Ennél a megoldásnál amiatt gondolkoztam el a falvastagság növelésén, mivel a merevítő elem elhagyásával súlycsökkenés tapasztalható, emiatt más elem mérete kis mértékben növelhető.



26. ábra: Hajlított, növelt falvastagságú cső vizsgálata

A 0,5mm-rel megnövelt falvastagság esetén is kirívó érték adódik a többi megoldáshoz képest, a maximális feszültség értéke **36MPa**, biztonsági tényező értéke **9,73**

Hiába lenne optimálisabb megoldás a hőhatás elkerülése érdekében, az erők hatására hamarabb ki fárad az anyag.

A látottakból az derül ki, hogy a rövid merevítő elemmel gyártott kerékpár a legjobb megoldás. Valószínűleg a hosszabb megoldás amiatt nem megfelelő, mivel túl merevvé teszi a váz első részét, a hossz növelésével a kritikus pontban (merevítő elem végpontja) egyre nagyobb lesz a feszültség értéke is.

9. Konklúzió

A stressz analízissel meghatározott eredmények alapján látható, hogy a vázon ébredő feszültségek meg sem közelítik az anyag folyáshatárát, ezáltal ki jelenthető, hogy ezen vázaknál a **kifáradás hatására** következik be a **tönkremenetel**, ahogy a saját vázam esetében is. Ennek érdekében, hogy a váz a lehető legtovább képes legyen elviselni a gyakran ismétlődő igénybevételeket, növelni kell a kifáradási határát.

A **kifáradási határának növelése** érdekében szükséges alkalmazni a **7075 típusú alumíniumot mesterséges öregítéssel**, illetve a feszültség csökkentés szempontjából a **rövidebb alsó merevítő elemet**. Így érhető el a váz legkedvezőbb tulajdonságai az élettartam növelésének szempontjából.

Esetlegesen tovább lehet csökkenteni a feszültségek értékét a falvastagság növelésével, de az a sportoló számára kedvezőtlen hatást válthat ki.

10. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet nyilvánítani Fenyvesi Sándor Tanár Úrnak a dolgozat írása alatti jelentős segítségéért, kitartásáért és motiválásáért.

Továbbá szeretném megköszönni Csonka Dávid Tanár Úrnak a szilárdsági ellenőrzésben való segítségét, illetve Cvenits Ákosnak a váz modellezésével kapcsolatos hasznos tanácsait.

11. Ábrajegyzék

1. ábra:	1. ábra Inspired fourplay váz [1].....	4
2. ábra:	2. ábra: Pedálozási erő okozta kifáradás vizsgálata [6].....	8
3. ábra:	3. ábra: Fejcső kifáradás vizsgálata [7]	9
4. ábra:	4. ábra: Oldalirányú terhelés hatásának vizsgálata [8].....	10
5. ábra:	5. ábra: maximális/ túlterhelési terhelés vizsgálata [5]	11
6. ábra:	6. ábra: Danny Macaskill a prototípus kerékpárral [9].....	12
7. ábra:	7. ábra: GP zónák [14].....	16
8. ábra:	8. ábra: Alumínium állapotábrája, hőkezelési diagramja [13] [15]	16
9. ábra:	9. ábra: Vázon keletkező első repedés	18
10. ábra:	10. ábra: Második repedés	20
11. ábra:	11. ábra: Harmadik repedés	21
12. ábra:	12. ábra: 3. javítás	22
13. ábra:	13. ábra: Negyedik repedés/1	22
14. ábra:	14. ábra: Negyedik repedés/2	23
15. ábra:	15. ábra: Ötödik repedés.....	24
16. ábra:	16. ábra: Ötödik javítás	25
17. ábra:	17. ábra: Telefon gyorsulásmérőjéből kinyert adatok.....	28
18. ábra:	18. ábra: Felhasznált gyorsulás diagram	29
19. ábra:	19. ábra: Szabadesés kezdete	30
20. ábra:	20. ábra: Lendülés pillanatában	30
21. ábra:	21. ábra: Lendülés véghelyzete.....	31
22. ábra:	22. ábra: Gyári tervezés vizsgálata	32
23. ábra:	23. ábra: Hosszabb merevítő elem vizsgálata.....	33
24. ábra:	24. ábra: Rövidebb merevítő elem vizsgálata.....	34
25. ábra:	25. ábra: hajlított alsó cső vizsgálata.....	35
26. ábra:	26. ábra: Hajlított, növelt falvastagságú cső vizsgálata	36
27. ábra:	1. táblázat: 6066 Al összetétele [11]	13
28. ábra:	2. táblázat: 6066 Al mechanikai tulajdonságai [11].....	14
29. ábra:	3. táblázat: 6066 Al Hőtani tulajdonságai [11]	14

30. ábra:	4. táblázat: 6066 Al mechanikai tulajdonságai öregítés előtt-után [11].....	17
31. ábra:	5. táblázat: 7075 Al mechanikai tulajdonságai öregítés előtt-után [11].....	27
32. ábra:	6. táblázat: 6066-T6 és a 7075-T6 mechanikai tulajdonságainak össze hasonlítása [11]	27

12. Irodalomjegyzék

- [1] „Webcyclery,” [Online]. Available:
<https://www.webcyclery.com/product/inspired-fourplay-24-frame-kit-6594.htm>.
- [2] „Amikamoda,” [Online]. Available: <https://amikamoda.ru/hu/velosipedy-s-alyuminievoi-ramoi-preimushchestva-i-nedostatki.html>.
- [3] „Inspiredbicycles,” [Online]. Available:
<https://www.inspiredbicycles.com/info/company>.
- [4] *Gépipari technológiák 2.* [Performance].
- [5] „Polecycles,” [Online]. Available: <https://polebicycles.com/efbe-tri-test-gravity-the-gold-standard-test-for-gravity-frames/>.
- [6] „cycling tips,” [Online]. Available: <https://cyclingtips.com/2016/12/cyclingtips-podcast-episode-19-on-safety-testing-and-custom-builders/>.
- [7] „YouTube,” [Online]. Available:
https://www.youtube.com/watch?v=4oolXqu_gWE.
- [8] „vmgbikes,” [Online]. Available: <https://vmgbikes.com/e-mtn-bike-development/>.
- [9] „Bergstolz,” [Online]. Available: <https://bergstolz.de/magazin/archiv/issue-no-83/rider-profile-danny-mcaskill>.
- [10] „shapesbyhydro,” [Online]. Available:
<https://www.shapesbyhydro.com/en/material-properties/what-aluminium-alloys-are-best-for-bicycle-frames/>.
- [11] „Makeitfrom,” [Online]. Available: <https://www.makeitfrom.com/material-group/Aluminum-Alloy>.

- [12] F. György, ALUMÍNIUM HENGERFEJ ÖNTVÉNYEK REPEDÉS-ÉRZÉKENYSÉGE, Miskolc, 2007.
- [13] Z. Ibolya, *Alumínium és ötvözetek*.
- [14] „BME szilárdságnövelés stabilusz,” [Online]. Available: https://www.att.bme.hu/neptuncode/BMEGEMTMVV1/segedletek/Szilardsagnovelés_sillabusz.pdf.
- [15] „Al ötvözetek hőkezelése Fábian Enikő,” [Online]. Available: <https://docplayer.hu/42398040-Aluminium-otvozetek-hokezelese-fabian-eniko-reka.html>.
- [16] [Online].
- [17] „Smithmetal,” [Online]. Available: <https://www.smithmetal.com/6000-series-aluminium-alloys.htm>.
- [18] „vpic group,” [Online]. Available: <https://www.vpic-group.com/blog/why-are-aluminum-bicycle-frame-manufacturers-gaining-popularity>.
- [19] „Ulbrich,” [Online]. Available: <https://www.ulbrich.com/alloys/6000-7000-series-aluminum-alloys/>.
- [20] „adoc korszerű tvzetek,” [Online]. Available: <https://adoc.pub/korszer-aluminium-tvzetek-es-hegesztesk.html>.

13. Nyilatkozat

Én, Páva Ákos aláírással nyilatkozom arról, hogy a dolgozat a saját kezem munkája, a felhasznált irodalmakat a megfelelő módon kezeltem és a dolgozatra vonatkozó jogszabályokat betartottam.

2022.11.23

.....
Aláírás