

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Gépészmérnöki Tanszék



Pneumobil vázszerkezetének vizsgálata végeselem program segítségével

Készítette: **Steiger Balázs gépészmérnök hallgató**
Juhász Botond mechatronikai mérnök hallgató

Belső konzulens: Dr. Juhász György
Huri Dávid

Tanszékvezető: Dr. Ráthy Istvánné

Debrecen
2013.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
1. Pneumobil versenyek.....	4
1.1. Nemzetközi Rexroth Pneumobil Verseny	4
1.2. Versenyeredményeink	4
2. A verseny műszaki követelményrendszere	8
2.1. A jármű kialakítása	8
2.2. Méretek, tömeg.....	8
2.3. Vázszerkezet, karosszéria	9
2.4. Motor	10
2.5. Külső energia bevitel	11
2.6. Puffer tartály.....	11
2.7. Hajtáslánc.....	11
2.8. Kerékfelfüggesztés	11
2.9. Kormánymű.....	12
2.10. Fék	12
2.11. Üzemanyagtartály	12
2.12. Biztonsági előírások.....	13
2.13. Rexroth elemek	14
2.14. Rajtszám és reklámfelületek.....	14
3. A 2013-as pneumobil jellemzői	15
3.1. Jármű kialakítása.....	15
3.2. Méretek.....	16
3.3. Vázszerkezet	17
3.4. Tervezés szempontjai	18
3.5. A vázon jelentkező problémák felvetése.....	19
4. A vázszerkezet elemzése végeselemes programokkal.....	20
4.1. Végeselem módszer bemutatása	20
4.2. A módszer alapjai.....	20
4.3. A szerkezetelemzés folyamata.....	21
4.4. Főbb elemtípusok.....	21
4.5. 2D-s elemek	21
4.6. 3D-s elemek (SOLID)	22
4.7. Rúd	22
4.8. Gerenda (BEAM).....	22
4.9. Lemezek	23
4.10. Héjak	23
5. Modell létrehozása.....	24
5.1. Az elemek tulajdonságainak definiálása	25
5.2. Inventor VEM analízis	25
5.3. Szimuláció	27
5.4. Második elemzés.....	30
6. Eredmények kiértékelése	33
7. Összegzés	34
8. Irodalmi hivatkozások.....	35
9. Ábrák és táblázatok jegyzéke.....	36

Bevezetés

Napjaink társadalmak egyik globális feladata, biztosítani a gazdaság folyamatos fejlődését, a jelen igényeinek kielégítését. Mindezt úgy, hogy megelőzzék a környezet elhasználódását és biztosítsák a jövő generációjának a lehetőséget szükségleteinek megteremtésére. Ezt a fejlődési folyamatot fenntartható fejlődésnek nevezzük, amelyet a gazdasági, társadalmi-fejlődés és a környezetvédelem közös metszetében találjuk.

Jelenlegi energiaforrásaink túlnyomó többségben nem-megújuló energiaforrások (fosszilis tüzelőanyagok, urán) melyek mellett, hogy nem gyárthatóak, termelhetők, olyan káros hatással járnak, mint üvegházhatás, levegő és vízszennyezés. Alternatív energiaforrások (biodiesel, bioetanol, biogáz, megújuló energiaforrások) alkalmazása egy lépés egy fenntartható társadalom felé, melyek bevezetése során figyelniük kell az esetleges mellékhatásokra is.

A fenntartható fejlődéssel összhangban álló megújuló energia több fontos területen váltja a hagyományos energiát, ezek az áramtermelés, a fűtés, és az üzemanyag. Néhány ország megújuló forrásokból termeli meg áramfogyasztásának nagyobbik részét, mint például Izland, Paraguay, Norvégia. Üzemanyag terén elsősorban a bioüzemanyag, bioetanol illetve elektromos hajtású járművek kímélik a környezetet leginkább. A világ számos autógyártó cége megkezdte már a saját elektromos járművük gyártását, azonban előállításuk költséges ezért ma még kevesek számára megfizethető. A sűrített levegővel, mint üzemanyaggal eddig kevesen kísérleteztek ezért irodalma és technológiája még nagyon szegényes.

Az egri Bosch Rexroth Pneumatika KFT és a budapesti Bosch Rexroth KFT 2012-ben már hatodik alkalommal hirdetett versenyt a „Rexroth legjobb pneumobilja”-cím elnyerésére Magyarország műszaki felsőoktatási intézményei között, melynek célja, hogy a csapatok olyan pneumatikus hajtással rendelkező gépjárművet tervezzenek és építsenek, melyek megfelelnek a cég által előírt műszaki követelményeknek. A Debreceni Egyetem Műszaki Karának csapatával idén is beneveztünk.

Dolgozatunk témájának az erre a versenyre készül jármű vázszerkezetének vizsgálatát választottuk.

1. Pneumobil versenyek

1.1. Nemzetközi Rexroth Pneumobil Verseny

Az egri Bosch Rexroth Pneumatika KFT és a budapesti Bosch Rexroth KFT 2013-ban már hatodik alkalommal rendezett versenyt a „Rexroth legjobb pneumobilja”- cím elnyerésére Magyarország és szomszédos országok –Románia, Szlovákia, Cseh ország műszaki felsőoktatási intézményei között, melynek célja, hogy a csapatok olyan pneumatikus hajtással rendelkező gépjárművet tervezzenek és építsenek, melyek megfelelnek a cég által előírt műszaki követelményeknek.

A verseny létrejöttének fő célja egyrészt az innovációs megoldások kiterjesztése az alternatív energiaforrásokra, ez esetben a sűrített levegőre. Másrészt ez egy remek lehetőség a Rexroth pneumatikai termékek népszerűsítésére az ifjú mérnökhallgatók körében. A járművekhez szükséges pneumatikus alkatrészeket a Rexroth cég biztosította. Az egyre több látogatót vonzó eseményen évről évre megfigyelhető a folyamatos fejlődés, úgymint a résztvevők számában, a szervezés színvonalában és a járművek teljesítményében, ami magával vonzza a biztonsági előírások szigorítását is.

1.2. Versenyeredményeink

A Debreceni Széllovagok csapata minden évben részt vett és eredményesen szerepelt a versenyen.

2008

Az első bajnokságra tíz műszaki felsőoktatási intézmény 18 csapata nevezett be. A verseny három kategóriában zajlott: mérték a leggyorsabb köridőt, a legnagyobb sebességet és a leghosszabb megtett utat. A debreceni csapat a legnagyobb sebesség és a leggyorsabb köridő kategóriában kis különbséggel a második, míg a leghosszabb megtett út kategóriában meggyőző fölényrel az első helyen végzett. Ezzel kiérdemelte az abszolút kategória első díját is. Az oktatási minisztérium pénzjutalommal is járó minisztériumi különdíjjal ismerte el a pneumobil versenyen legsikeresebben szereplő csapatok teljesítményét.

2009

A „II. Pneumobil Versenyen“, amely idén már nemzetközi szinten zajlott 31 csapat 124 mérnökhallgatója vett részt. Az ország 13 műszaki felsőoktatási intézménye mellett idén két külföldi felsőoktatási intézményből is jelentkeztek csapatok. A pneumobilok négy versenyszámban mérték össze tudásukat: konstrukció eredetisége, távolsági futam, gyorsasági futam, gyorsulási futam. A versenyen a Debreceni Egyetem Műszaki Kara két csapattal képviseltette magát.

2010

Harmadik alkalommal bizonyult a legjobbnak a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Debreceni Széllövágok csapatának pneumobilja a sűrített levegővel hajtott ökomobilok nemzetközi versenyén. A klímabarát megmérettetésen 14 hazai és 3 külföldi felsőoktatási intézmény 32 csapatának olyan sűrített levegővel hajtott járműveket kellett tervezni és építeni, amelyek a megadott műszaki feltételek mellett a legnagyobb teljesítményre képesek. A Debreceni Széllövágok Konstrukciós kategóriában első helyezést ért el, de távolsági versenyben is a legmesszebb jutott, így ott is a dobogó első fokára állhatott. Körversenyen a második legjobb lett a debreceni pneumobil és egyúttal a Gépipari Tudományos Egyesület Gépjármű Szakosztály Különdíját is megkapta. A Műszaki Kar másik csapata, a Légierő távolsági és gyorsasági kategóriában hetedik, a gyorsulási versenyben a nyolcadik. helyet szerezte meg.

2011

Az immáron negyedik alkalommal megrendezésre kerülő Nemzetközi versenynek hagyományosan az egri Érsekkert adott otthont, ahol 16 egyetem 36 csapata állhatott rajthoz. Ebből 9 csapat külföldi volt. A Debreceni Széllövágok ismét több kategóriában értek el dobogós helyezéseket. A távolsági futamban a 10,5 Km-es rekord távval első helyezettek lettek. Ügyességi kategóriában 44,876 mp-es köridővel masszívan elsőek, míg gyorsulási kategóriában 30,465 mp- es idő egy magabiztos második helyezést eredményezett. Ezen túl a csapat elnyerte a „Legjobb távolságbecslő” különdíjat is.

2012

Széllovagként 2012-ben képviseltük először a Debreceni egyetemet a Rexroth Nemzetközi Pneumobil versenyen. „Konstrukció eredetisége” kategória keretén belül két dolgot vizsgáltak. Egyrészt azt, hogy a gép megfelel-e a versenyszabályzatban leírt követelményeknek. Másrészt a műszaki tartalom, az alkalmazott újítások illetve a többi csapat járművével való összehasonlítása alapján kerültek pontozásra az autók. A távolsági, ügyességi és a gyorsasági kategóriákban változatlan feltételek mellett mérkőzhettek meg a versenyzők (egy feltöltéssel megtett legnagyobb távolság, három mért kör közül a legjobb időeredmény, egy megadott egyenes szakasz megtételének ideje). Két kategóriában sikerült dobogós helyen végezni. Ügyességi kategóriában első illetve Konstrukció eredetisége kategóriában harmadik helyet értük el.

2013

A IV. Pneumobil versenyt egy új kategóriával bővítve hirdették meg. Ez a „telemetria” versenyszám volt ahol a villamos vezérlési, megjelenítési és táv-beavatkozási megoldásokat díjazták. A PLC-s vezérlést használó csapatoknak a járművük néhány fizikai paraméterének a mérését kellett megoldaniuk, ezeket a mérési adatokat gyűjteni, és rádiófrekvenciás adattovábbítás után egy PC-n kellett megjeleníteni, valós időben, grafikus formában, a Rexroth WinStudio nevű szoftver segítségével. Erre a kategóriára a versenyt megelőzően egy pályázatot kellett összeállítani. A zsűri a három legjobb pályázónak adott lehetőséget a konstrukció kivitelezésére. Mi is elnyertük ezt a lehetőséget és kategória elsőként végeztünk a versenyen. Ennek a rendszernek a kiépítéséről külön TDK dolgozatot készítettünk.

„Konstrukció
eredetisége” és
„Ügyességi”
kategóriában második,
„Gyorsulási”
kategóriában pedig
harmadik helyezést
értünk el.



1. ábra. A Debreceni Széllovagok csapata

MVM Energia 2.0 Futam

Az MVM csoport 2012 márciusában másodjára indította útnak az energia 2.0- pont veled elnevezésű programot, amellyel az energiafelhasználásban környezetünkért, jövőnkért feltétlenül szükséges változások sürgősségére és az elérésükhöz rendelkezésünkre álló eszközökre hívja fel a figyelmet. 2011 szeptemberében az Európai Mobilitási Hét budapesti programsorozatához kapcsolódóan rendezett versenyt, amelynek a kuriózumnak számító Andrássy út adott helyszínt. Az első alkalommal a Budapesti Európai Mobilitási Hét programjai között megrendezendő Energia 2.0 Futam célja bemutatni a ma is elérhető zöld technológiákat, amelyeket akár a járműgyárak is felhasználhatnak.

Szeptember 22.-én részt vettünk a versenyen. Az eseménynek a Budapesti Széchenyi István tér adott otthont. Mi tanulmányi autó kategóriában nevezünk, 8 sűrített levegőhajtású autóval együtt. A versenyszám alatt a cél, fél óra alatt minél nagyobb táv megtétele volt. Palackcserére a bokszt utcában volt lehetőség. Mi, a csapatonként rendelkezésre álló 10 palack felét használtuk el. A versenyen kategóriánk első helyén végeztünk.

2. A verseny műszaki követelményrendszere

A verseny kiírás által meghatározott feladat, létrehozni egy sűrített levegővel hajtott járművet, amelyhez a Bosch Rexroth által biztosított pneumatikus munkahengereket és vezérlő egységeket kell felhasználni. Az elkészített járművek több versenyszámban mérik össze teljesítményüket: a megtett legnagyobb távolság, az ügyességi és a gyorsulási kategóriákban. Fontos szempont a pneumobilok elbírálásánál a járművek eredetisége és a kivitelezés technikai színvonala is. A járműveknek továbbá az alábbi pontokban leírt műszaki feltételeknek kellett megfelelni

2.1. A jármű kialakítása

A járművet vezető személynek a járművön kell tartózkodnia. A minimális kerékszám 3, amelyeknek minimum két nyomsávban kell elhelyezkedniük. Az eddigi versenyek tapasztalata alapján autó (3 vagy 4 kerékkel, azaz beleülős) vagy a quad (3 vagy 4 kerekű, azaz ráülős) kialakítású szerkezetek szerepeltek. Ettől eltérő kialakítás is lehetséges és engedélyezett a műszaki és a biztonsági követelmények maximális figyelembevételével.

2.2. Méretek, tömeg

A jármű megengedett hosszúsága max. 2,5 méter, szélessége max. 1,7 méter. Ennek ellenőrzése gépátvételnél, egy a talajra felragasztott 2,5x1,7 méteres téglalappal történik, amelyből nem nyúlhat ki a jármű semmilyen alkatrésze sem.

A jármű stabilitása szempontjából fontos a minél alacsonyabb súlypont. Ezért a kialakítás során figyelembe kell venni, hogy a járművezető vállmagassága a vezetési pozícióban nem haladhatja meg a nyomtáv 75%-át, és semmilyen motoralkatrész vagy a palack legmagasabb pontja sem érhet e magasság fölé. Ellenőrzése: Gépátvételnél az ügyességi és gyorsulási versenyszám pilótájának vállmagasságát mérjük a talajtól függőlegesen. A jármű szabad hasmagassága minimum 70 mm, amelynek a biztosítása egy 70 mm magas „fekvőrendőrrel” kerül ellenőrzésre. A jármű tömege nincs megkötve (célszerű a minimumra törekedni).

2.3. Vázszerkezet, karosszéria

Autó jellegű (beülős) kialakítás

a) A jármű vázszerkezetének fémről kell készülnie, amely két funkciót kell, hogy ellásson:

- 1.) Esetleges baleseteknél megvédi a vezetőt a sérülésektől.
- 2.) Hordozza a sűrített levegős palackot, a teljes hajtásláncot és a hajtott kereket (kerekeket).

b) Bukócső

Minden járműbe kötelező bukócső beépítése. A bukócsőnek az alvázhoz, vagy rácsos oldaltartó szerkezethez kell csatlakoznia, és egy darab anyagból kell hajlítani. Anyagát tekintve acél vagy alumínium: a felhasznált cső mérete acél esetében min. 25 mm átmérő és min. 2 mm falvastagság, alumínium esetében min. 35 mm átmérő és 2 mm falvastagság. A keret szélessége vállmagasságban min. 700 mm kell, hogy legyen. A keretnek kellően merevnek kell lennie, és biztosítania kell a fej védelmét is, ezért fejtámlát vagy fejtámlás ülést szükséges a járműbe szerelni. A bukócsövet függőlegesen a fejtámla síkjában kell elhelyezni, és a magasságát úgy kell meghatározni, hogy vezetési pozícióban a sofőr sisakja fölé érjen 5 cm-rel.

Általános előírások a vázszerkezetre és karosszériára

A vázszerkezetnek biztosítania kell a palack és a reduktor mechanikai védelmét, vagyis azokat a vázszerkezeten belül kell elhelyezni. Akinek a járműve ezt a feltételt nem teljesíti, az biztonsági okokból nem állhat rajthoz egyik versenyszámban sem.

A palack nem helyezhető el függesztve a váz alatt, közvetlenül az útburkolat fölött.

Az egyéb részek anyagukban, kivitelükben nincsenek megkötve. (Kompozit anyagok használata megengedett)

A járműre nem szükséges zárt karosszériát építeni, de a vezetőt a hajtómű mozgó alkatrészeitől egy védőfallal kell elválasztani.

A jármű elején lehetőleg egy ütközési „gyűrődő” zónát kell kialakítani, amely ütközés esetén tompítja a becsapódás erejét. Anyagában nincs megkötve, de úgy kell elkészíteni, hogy az arról esetlegesen leváló darabok sérülést ne okozhassanak. Azoknál a járműveknél, ahol az első kerék középen helyezkedik el, a gyűrődési zóna nem szükséges.

2.4. Motor

A sűrített levegő nyomási energiáját a Rexroth pneumatikus hengereivel és vezérlő szelepeinek felhasználásával kell mechanikai munkává átalakítani. Maximálisan felhasználható hengerek: 4 darab (max. $D=100$ mm-es méretig, katalógus szerinti szabványos lökettel). A járművön csak egy motor alkalmazható, amely egy mechanikai egységet alkot. (egy kihajtó főtengely van) A motor működése közben a főtengelyt forgató munkahengereket a hajtáslánc megváltoztatása nélkül, csak pneumatikus (elektropneumatikus) kapcsolással lehet leválasztani.

A motort úgy kell beépíteni, hogy a külső szemlélő láthassa annak felépítését, vagy átlátszó burkolat alkalmazható. Az a csapat, aki ennek a pontnak nem felel meg, az 25%-os pontcsökkentéssel lesz büntetve a műszaki kategóriában. A járműben a motort úgy kell elhelyezni, hogy az a kerekek külső oldalához illesztett függőleges irányú érintő síkján max. 200 mm-rel nyúlhat túl (lásd 2. ábra). A nem motorhoz tartozó alkatrészek tovább is nyúlhatnak. Az előző versenyeken részt vett csapatok lehetőleg a már rendelkezésre álló pneumatikus elemeket használják fel a jármű építése során, és csak a hiányzó, illetve kiegészítő elemet adják meg új igényként.

A vezérlés lehet elektropneumatikus is; ebben az esetben az előírt feszültség: 24V DC. Az elektromos vezérlő egységet, PLC-t a nedvesség (eső) ellen védeni kell, ezért az ilyen részegységeket IP54 szigetelési osztályú, legalább egy oldalán átlátszó dobozban kell elhelyezni. Amennyiben csapat a jármű hajtás-vezérlését PLC alapú vezérléssel kívánja megoldani, úgy egy alap PLC konfigurációs csomagot tudunk biztosítani. A versenyen az IndraControl L10 típusú PLC-n túl más típus alkalmazását nem engedélyezzük!

Az előző versenyeken részt vett intézmények a már rendelkezésre álló PLC-t használják fel a jármű építése során, és csak a hiányzó, illetve kiegészítő elemet adják meg új igényként.

2.5. Külső energia bevitel

A rendszerben lévő levegő hőcserélőn keresztül a külső környezeti hővel, ill. a környezeti levegő beszívásával és hozzákeverésével melegíthető. A melegítés a versenyszámok előtt, a palack felhelyezése után megengedett. A hőcserélő lehet szabad vagy kényszerített áramlású. Kényszerített áramlás esetén a „ventillátort” csak a palack energiájával lehet meghajtani. Levegő beszívása esetén a szívó-nyomó rész is csak a palack energiájával működhet.

A verseny folyamán a jármű hajtásához egyéb energia, ill. hőenergia használata más formában (az „5.a” pontban leírtak kivételével), vagy emberi erő alkalmazása nem megengedett (kivéve a vezérléshez használt akkumulátor).

2.6. Puffer tartály

A puffer tartály anyaga és rögzítése meg kell, hogy feleljen a nyomástartó edényekre vonatkozó követelményeknek.

2.7. Hajtáslánc

A hajtáslánc felépítését tekintve szabadon tervezhető: direkt, ill. áttételezett hajtásként.

Elektromos vagy hibrid hajtás nem engedélyezett!

A hajtásláncnak kötelező szabadonfutóval és/vagy tengelykapcsolóval rendelkeznie.

A hajtásláncban változtatás (átszerelés) lehetséges az egyes versenyszámok között, de csak azzal a feltétellel, hogy sem hozzáadni sem elvenni nem lehet a szerkezetből, tehát ami módosul, az eleve funkcionális része kell, hogy legyen a konstrukciónak.

2.8. Kerékfelfüggesztés

A jármű kerekeinek felfüggesztéséhez bármely elv alkalmazható.

Az alkalmazott kerekek átmérője minimum 400 mm.

A versenypálya anyaga bitumen.

2.9. Kormánymű

A jármű bármely elv alapján működő kormányművel kivitelezhető.

A jármű legyen könnyen irányítható, a vezető legyen képes normál erő kifejtés mellett az egyenes haladást és a kanyarodást biztosítani.

A járműnek meg kell tudni fordulni 8 méter széles versenypályán.

2.10. Fék

A jármű összes kerekét el kell látni üzemi fékberendezéssel. Ezeket két egymástól független körbe kell bekötni, amelyek képesek a sebesség hatékony csökkentését és a jármű megállítását garantálni a mozgásban lévő járműnél. (pl.: Ha háromkerekű a jármű és mechanikus /bowden-es/ a fék rendszer, a pedálba min. két bowden-t kell bekötni, egyet az első kerekhez és egyet a hátsóhoz. Amennyiben az egyik kör /bowden/ sérül, a másiknak még működőképesnek kell maradnia.)

A járművet rögzítő fékkel is el kell látni (ez lehet valamelyik fékkör mechanikus reteszelése is).

A fékek beállítása fékpróbával kerül ellenőrzésre.

Ellenőrzése: Gépátvételnél fékpróbával.

Fékezés közben a fékeknek azonos hatásfokkal kell dolgozni („kormány-elhúzás” nem megengedett)

2.11. Üzemanyagtartály

Az energiaforrás egy darab sűrített levegős palack (űrtartalom 10 liter, névleges nyomás 200 bar). A palack nyomáscsökkentővel van ellátva. A palackot a vázszerkezethez kell rögzíteni, és biztosítani kell kicsúszás ellen is. A reduktort úgy kell elhelyezni, hogy borulásnál, fizikai útakadálnál vagy egyéb sérülésveszély esetén védve legyen. A palack rögzítésére a „gumipók” nem engedélyezett módszer.

A palack műszaki adatai:

Mérete: A pontos adatokat később közöljük!

A nyomáscsökkentő típusa: Messer FC-2000

A nyomáscsökkentő csatlakozása: Gyorscsatlakozó, amely 12 mm-es külső átmérőjű műanyag csövet fogad A nyomáscsökkentő levegő áteresztőképessége: lásd a Pneumobil honlapján a letölthető dokumentumok között.

2.12. Biztonsági előírások

A járművet irányító versenyző részére biztonságos tartózkodási helyet kell kialakítani.

Autó jellegű ülés esetén minimum hárompontos biztonsági öv alkalmazása kötelező.

Quad (ráülős) jellegű ülés esetén (háttámla nélküli) nem kell biztonsági öv, viszont térdvédő, könyökvédő és protektor vagy motoros védőruha használata kötelező. A védőruházatot a hosszú távú futam ideje alatt nem kötelező minden versenyzőnek viselnie.

Quad (ráülős) jellegű kivitel esetén a „gázt” folyamatosan tartani kell. Elengedéskor magától álljon vissza alaphelyzetbe. Cél: a járművezető esetleges leesésekor a jármű ne menjen tovább.

A pneumatikus rendszernek tartalmaznia kell egy vész-stop kört, amelynek feladata a pneumatikus kör teljes légtelenítése. Ennek működtetőjét olyan helyen kell elhelyezni, hogy akár a vezető, akár egy külső segítő személy számára könnyen elérhető legyen. A vész-stop kör nem alkalmazható a járművön, mint indítórendszer. A vész-stop körök – kötelezően használandó - kapcsolási rajzai a www.pneumobil.hu honlapon találhatóak. Csak ezek a kapcsolások és pneumatikus elemek használhatók fel!

Az esetleges áramforrást (akkumulátor) biztonságosan kell rögzíteni, és a járművet áramtalanító kapcsolóval kell ellátni, amelyet a vész-stop kör működtetőjéhez hasonlóan kell elhelyezni.

A biztonsági áramtalanító és légtelenítő (vész-stop) működtető elemeit piros keretes fehér háromszöggel kötelező jelölni. (kialakítását lásd a honlapon)

Az egyes futamokon a járművek vezetői, illetve utasai motoros (a KRESZ előírásainak megfelelő) bukósisakot kötelesek viselni. Kerékpáros, ill. egyéb védősisak használata nem megengedett.

2.13. Rexroth elemek

A sűrített levegő nyomási energiáját mechanikai munkává alakítását a Rexroth pneumatikus hengereivel és vezérlő szelepeinek felhasználásával kell megoldani.

A rendszerhez csak a Rexroth által gyártott és a verseny honlapján közzétett elemek használhatók fel.

A jármű rendelkezhet a hajtásrendszeren kívül más pneumatikával működtetett funkcióval is. Ebben az esetben az elemek finanszírozásáról külön megállapodás szükséges.

2.14. Rajtszám és reklámfelületek

A járművön két különálló A3 méretű, síkfelületet kell kialakítani a rajtszám elhelyezésére (elől, illetve bal vagy jobb oldalt, jól látható helyen), amely lehet a karosszérián, vagy külön, erre a célra felszerelt táblán. A megfelelő felület hiánya esetén a jármű nem állhat rajthoz.

A járművön A4-es méretben el kell helyezni az oktatási intézmény lógóját és nevét.

A járművön más szponzorok hirdetései is elhelyezhetők, maximum A4 méretben. Egy hirdetés legfeljebb kétszer szerepelhet. A Rexroth elemek piaci versenytársainak reklámjai nem helyezhetők el a járművön. Kérdéses esetben a csapatnak a verseny előtt, a szervezőbizottsággal kell egyeztetnie.

A versenyen a csapattagoknak a Rexroth által biztosított pólót kell viselniük, amelyet a verseny előtt egy hónappal minden csapatkapitány kézhez kap. A szponzori logók ezen a pólón helyezhetők el.

3. A 2013-as pneumobil jellemzői

3.1. Jármű kialakítása

A 2008 és 2010 között tervezett pneumobilok a kis gördülési ellenállás megvalósítása céljából 3 kerekű, két nyomtávú járműre lettek tervezve. 2010-ben a fejlesztésekkel és fejlődéssel járó sebességnövekedés miatt a háromkerekű jármű már nagyon nehezen tudta bevenni a gyorsasági verseny pályáján lévő kanyarokat ezért a csapat úgy döntött, hogy a 2011-es járművet a stabilitás növelése érdekében négykerekűre alakítja át. Később ezt a fejlesztést a versenyeredmények igazolták. A 2012-ben készített pneumobil ezért az előző év tapasztalataiból kiindulva négykerekű, beleülős, autó kialakítású járműre lett tervezve

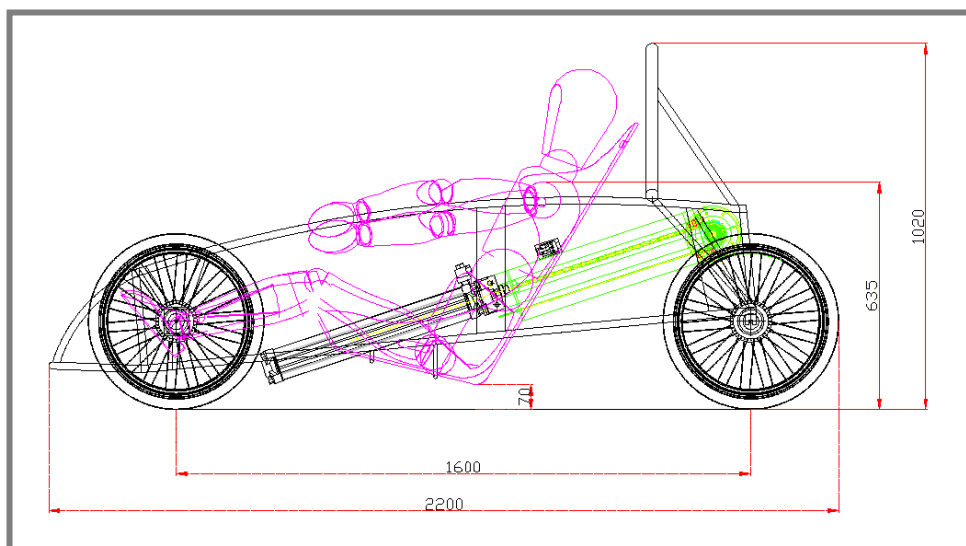


2. ábra. A 2012-ben készített jármű

A 2012-ben gyártott váz fejlesztésénél a súlycsökkentés volt a fő szempont, ezért a váz az előző évi acélprofilok helyett alumínium profilokból lett hegesztve. A kiírásnak megfelelően a jármű bukócsővel és biztonsági övvel van ellátva. A pneumobil úgy lett megtervezve, hogy minden versenyszámban indulhasson, mind a gyorsasági, mind a távolsági versenyre alkalmas. A versenyszámokból adódó különböző követelményeknek az áttételek és a vezérlés változtatásával felel meg.

3.2. Méretek

Mind a méretek, mind a súly tekintetében a minimumra törekvés volt a tervezési szempont.



3. ábra. Méretek

Hosszúság: 2200 mm

Szélesség: 1200 mm

Magasság: 1020 mm

Tömeg (kb.): 120 kg

Nyomtáv: 1100 mm

A vezető vállmagassága (kb.): 635 mm

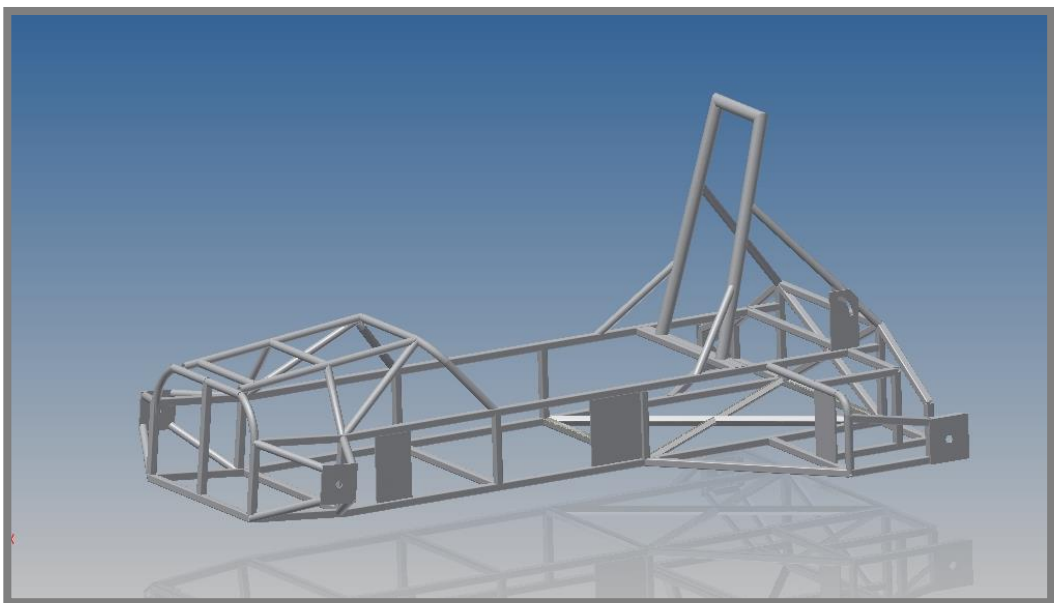
Szabad hasmagasság: 70 mm

3.3. Vázszerkezet

Ahhoz, hogy az ügyességi versenyszámban is eredményesen szerepeljen a jármű, nem elég a gyorsasság, stabilnak kell lennie és könnyen kell fordulnia az autónak. Szintén az előző évek tapasztalatain okulva idén is a négy kerek megoldás mellett döntöttük a stabilitás növelésének érdekében. Ezen kívül jelentős súlycsökkentést sikerült elérnünk a váz elemeinek 20x20x2-es zártszelvény profilú alumíniumra cserélésével.



4. ábra. A 2013-as pneumobil verseny közben



5. ábra. A váz 3D modellje

3.4. Tervezés szempontjai

A váz tervezése során számos kritériumot kellett szem előtt tartani. Ilyen volt az anyaghasználat minimalizálása. A vázat a pilóta méretére terveztük, ezzel minimalizáltuk az utastér méreteit. A váz rácsos szerkezete megfelelő merevséget és stabilitást szolgálja.

Igyekeztünk az autó szimmetriáját megtartani mind a váz szerkezetének megfelelő kialakításával, mint a terhelések eloszlásával illetve a három helyett négy kerék is segít ebben. Mint ahogy a képen is látható a pilóta a jármű közepén ül.

A jobb oldalán a hajtóanyagot tároló sűrített levegős palack számára kialakított befogó egység kapott helyet. Ezzel párhuzamosan a vezető bal oldalán a jármű hajtását biztosító, jelentős súlyú két pneumatikus munkahenger helyezkedik. A vezérlő dobozt – amiben a PLC és az azt árammal ellátó akkumulátorok vannak – a vezető ülés mögé raktuk.



6. ábra. A váz modellje felülről

3.5. A vázon jelentkező problémák felvetése

Mindamellett, hogy törekedtünk a legegyszerűbb, legkönnyebb szerkezetet megépíteni, az alumínium váznak több gyengeségét is felfedeztük a tesztek illetve a verseny során.

Az egyik ilyen volt az út nagyobb egyenlőtlenségeinél jelentkező kisebb rugalmas alakváltozásai. Mivel a jármű kerekei felfüggesztés nélkül vannak rögzítve, a kerekek állandó úton tartását nem volt mi biztosítsa.

A távolsági versenyen a tervezettnél kevesebb távot tudtunk megtenni egy palackkal. Ebben szintén szerepet játszott a váz hajlékonysága. A két pneumatikus munkahenger az autóval párhuzamosan, az oldalára van felszerelve. Ezek húzás közben hajtják balhátsó kereket és a dugattyúk végeinél fogva egy „láncos visszafordító” szerkezettel vannak összekötve.

A szerkezet lineáris munkavégzés közben lánchajtással lánckerekeken adja át a nyomatékot a keréknek. Amennyiben az ekkor jelentkező húzó erő képes deformálni a vázat a hajtás felfogató pontjain keresztül, akkor a munkahengerek dugattyúi nem csak húzásnak, hanem hajlításnak is kivannak téve. Ekkor a dugattyú a hengerbe feszülve megszorul, és ez jelentősen rontja a hajtásunk hatásfokát.

Dolgozatunkban, a váz 3D-ben létrehozott modelljén, végeselem módszer segítségével keressük ennek a feltételezett probléma konkrét okát és a váz gyenge pontjait.

A modellt az Autodesk Inventor 2014 programban hoztuk létre [3]. Végeselem módszert a modellen, az Inventor beépített segédprogramjával illetve a Femap 9.3-as végeselem program segítségével alkalmaztunk.

Az így kapott eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy mennyire volt helytálló a fenti felvetésünk illetve keressük azokat a megoldásokat, melyekkel a szerkezet merevségét növelhetjük.

4. A vázszerkezet elemzése végeselemes programokkal

4.1. Végeselem módszer bemutatása

Az utóbbi évtizedek egyik leggyorsabban terjedő, nagy hatékonyságú számítástechnikai módszere az ún. végeselem-módszer [1]. A mérnöki tervező munkában hatékonyságára való tekintettel kitüntetett szerepet vívott ki.

A mérnöki gyakorlatban létrehozott szerkezetek nagy része rugalmas anyagból készül, és a terhelés bizonyos intervallumában lineárisan viselkedik. A klasszikus rugalmasságtan számos módszert dolgozott ki a homogén, anyagok viselkedésének számítására. Ezeknek rugalmas viselkedését leíró parciális differenciál-egyenletrendszer megoldásait a vizsgált testekhez tartozó peremfeltételek nagymértékben megnehezítik.

A számítástechnikában beálló gyors fejlődés, a számítógépek kapacitásának, sebességének nagymértékű növekedése, a grafikai műveletek megszervezhetősége lehetőséget ad nagyobb bonyolultságú modellek létrehozására, gyors kiszámításokra, az eredmények sokoldalú analizálására.

4.2. A módszer alapjai

Végeselem analízis során első lépésben a vizsgálandó elem modelljét diszkretizálnunk kell, aminek jelentése végeselemes felosztás, tehát elemekre történő osztás. A felosztott L hosszúságú elemek határait csomópontok jelölik. Ezeket a csomópontokat meghatározhatjuk kapcsolódási pontként. A végeselemes megoldás közelítő függvényeken alapul, melyek leírják az egyes elemek viselkedését, ami lehet elmozdulás, hőmérséklet, áramlástan vagy akár elektrosztatikus függvény is. A modellen felvett finomabb háló vagy nagyobb elem felosztás segít a pontosabb eredmények elérésében. A szerkezet leírására különböző elemtípusok használhatóak úgy, mint rúd, 2D, 3D, gerenda és héj elemek [2].

Egy végeselem modell főbb részei a geometriai modell mely áll az elemekből és csomópontokból. A terhelési modell, melyet a valóságos terhelést szimulálva a modell megfelelő csomópontjaihoz rendelünk. Az anyagmodell, ami függ a vizsgált eszköz anyagától és a peremfeltételek.

4.3. A szerkezetelemzés folyamata

A szerkezet előtervezése során meghatározhatjuk a maximális feszültséget, átlagos feszültséget, elmozdulást, feszültségkoncentrációt, esetlegesen hőmérsékletet, saját frekvenciát. Egyszerűbb szerkezeteknél készíthetünk közelítő mérnöki számításokat a terhelésekre illetve az anyagjellemzőkre vonatkozóan. Végeelem elemzés főbb lépései:

- koncepcionális modell készítése
- az elemtípusok kiválasztása
- hálóstruktúra felépítése
- szimmetria feltételek meghatározása
- peremfeltételek meghatározása
- ezek alapján elkészíthetünk egy kiinduló modellt hálótervvel, megfelelő peremfeltételekkel, terhelésekkel és anyagjellemzőkkel felszerelve
- A végeelemes számítások lefuttatása
- deformált alak ellenőrzése
- feszültségi eredmények vizsgálata, összevetés az előszámításokkal, várt eredményekkel.
- pontossági vizsgálat: a modell melyik részén szükséges háló finomítás
- a finomítás növeli a maximális feszültséget
- levonhatjuk a következtetéseket a szerkezeti elemre vonatkozóan

4.4. Főbb elemtípusok

A 3D-s szerkezetek gyakran egyszerűsítve is modellezhetők rúd elemként, 2D-s elemként vagy lemezek héjak helyettesítésével. A hagyományos szerkezet viselkedésének leírását az elemek leírása követi. A megfelelő egyszerűsített elemtípus a geometria, a peremfeltételek a terhelés és az anyagmodell figyelembevételével kerül kiválasztásra.

Az alábbiakban a leggyakoribb elemtípusok főbb jellemzőit mutatjuk be.

4.5. 2D-s elemek

- a geometria és a terhelés egy síkban található
- két elmozdulás koordináta írja le az egyes pontok elmozdulását
- az elmozdulásmező legegyszerűbb közelítése lineáris, konstans feszültség és alakváltozás
- elemek alakja lehet háromszög és négyszög
- hátrány, hogy kevésbé pontos a lineáris háromszög elemeknél

- megoszló terhelést a kapcsolódó csomópontokba redukálva tudok megadni koncentrált erőként

4.6. 3D-s elemek (SOLID)

- tetszőleges geometria és terhelés, sokkal kevésbé korlátolt, mint a 2D-s modell
- legegyszerűbb eleme a tetraéder, ami 4 csomópontos. Jellemzően az automatikus hálógenerálásokkal ilyen elemeket kapunk. Ez az elem típus finom hálózást igényel
- ennél megbízhatóbb elemtípus a nyolc csomópontos hexaéder
- a nagyobb, bonyolultabb modellek, több elemből és csomópontból állnak így több lesz a számítási idő

4.7. Rúd

- a hosszirányú méret lényegesen nagyobb, mint a keresztirányú
- hossz mentén, tengely irányú húzás, nyomás értelmezhető
- az elemek csuklókkal kapcsolódnak, tehát hajlító terhelés átadására alkalmatlanok
- a keresztmetszet s az anyagjellemzők állandóak a hossz mentén
- az elemekben az elmozdulás a helykoordináta lineáris függvénye, tehát a feszültség és az alakváltozás konstans
- terheléseket csomópontokban tudunk megadni
- végeredmény elmozdulásban és erőkben értelmezhetőek.

4.8. Gerenda (BEAM)

- a hosszirányú méret itt is jelentősen nagyobb, mint a keresztirányú
- egy csomópontnak 6 szabadság foka van
- terhelések lehetnek: húzás, nyomás, hajlító és csavaró nyomaték
- az elmozdulásmező köbös függvényekkel közelíthető (megoszló terhelés nélkül pontos)

- bemeneti adatok: anyag és keresztmetszeti jellemzők
- eredmények: elmozdulások, tengelyirányú és nyíróerők, csavaró és hajlító igénybevételek

4.9. Lemezek

- a lemez geometriailag egy síkban fekszik és a terhelések merőlegesek a síkra
- a lemez kiterjedése jelentősen nagyobb, mint a vastagsága
- jellemzi a síkban felvett geometria, anyagjellemző és a lemezvastagság

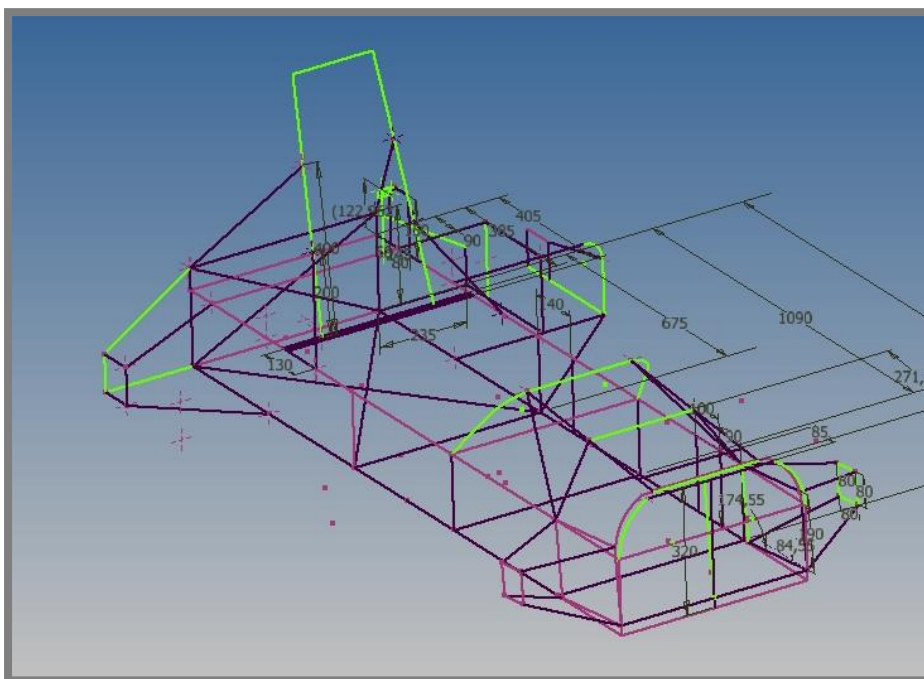
4.10. Héjak

- hasonló a lemezekhez, de tetszőleges a felület
- a falvastagság nagyon kicsi a fő geometria méretéhez képest
- a csomópontok legalább 3 elmozdulási és 2 elfordulási összetevővel rendelkeznek a felület érintősíkjában

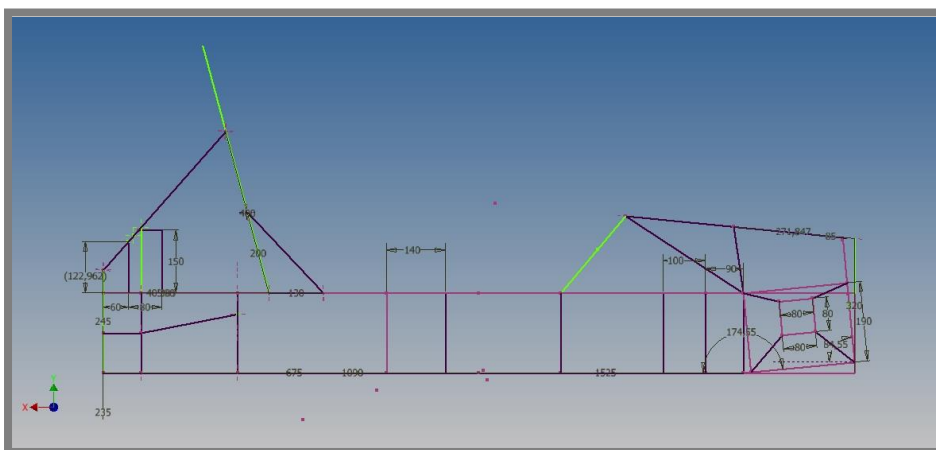
5. Modell létrehozása

Ahhoz, hogy a vázon fellépő erőket végeelem módszerrel vizsgálhassuk, először is létre kell hozni az autó 3D-s modelljét a jármű valós méretei alapján. Ezt az Autodesk Inventor 2014 CAD program segítségével készítettük el. Ez a CAD program magas szintű gépészeti tervezési lehetőségeket biztosít ezen kívül beépített végeelem analizátorral, dinamikai szimulátorral is rendelkezik.

Inventorban a modellalkotás 2D-s geometriákból indul, amelyeket az egymástól megfelelő távolságokban és szögben felvett X, Y, és Z síkokon rajzolhatunk ki. Ezzel a módszerrel a vonalak az autó váz egyes elemeinek középvonalát jelölik. Eredményül az autó 3D-s drótvázát kapjuk.



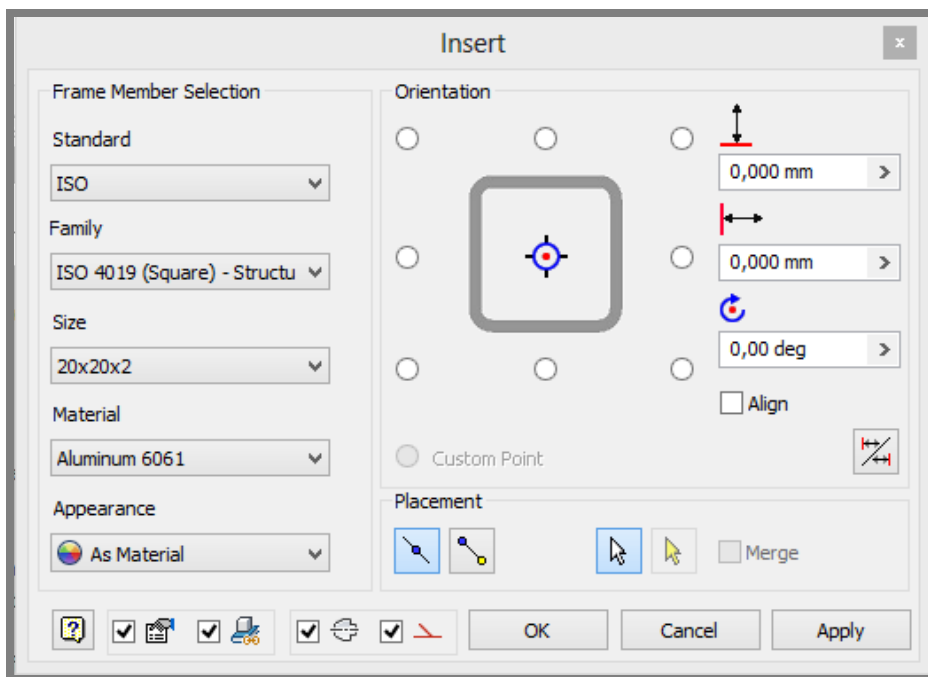
7. ábra. Drótváz



8. ábra. Drótváz oldalnézet

5.1. Az elemek tulajdonságainak definiálása

A drótváz egyes elemeihez Inventorban lehetőségünk van szabvány elemeket rendelni a beépített Frame Generator alprogram segítségével. A programmal kiválasztott vonalhoz definiálni tudunk szabványos keresztmetszeteket különböző méretekben, anyagjellemzőket és megjelenítési stílust. Választhatunk orientációt, miszerint a kiválasztott vonalhoz képest a szabványelem milyen eltolással legyen rögzítve a modellen.



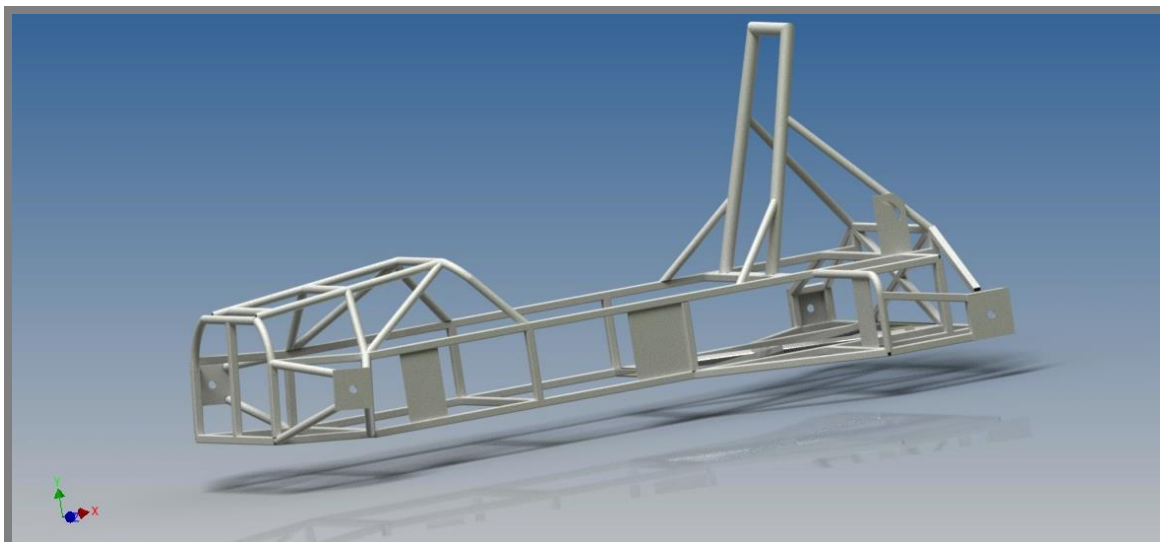
9. ábra. Frame generátor

Miután definiáltunk egy vonalat a generátorral, annak új geometriája megjelenik a modellen. A drót váz minden elemét meghatározva megkapjuk a komplett 3D-s modellt.

5.2. Inventor VEM analízis

Inventorban két főle elemzésre van lehetőségünk. Az egyik a feszültség analízis. Ezt nemlineáris feladatok, nagyobb bonyolultságú geometriával rendelkező alkatrészek esetén alkalmazzuk. Itt egészen finom hálózást adhatunk a modellnek, pontos eredmény érdekében. A hálót a szoftver négy csomópontos tetraéderekből építi ki, ami jelentősen hosszabbítja a számítási időt.

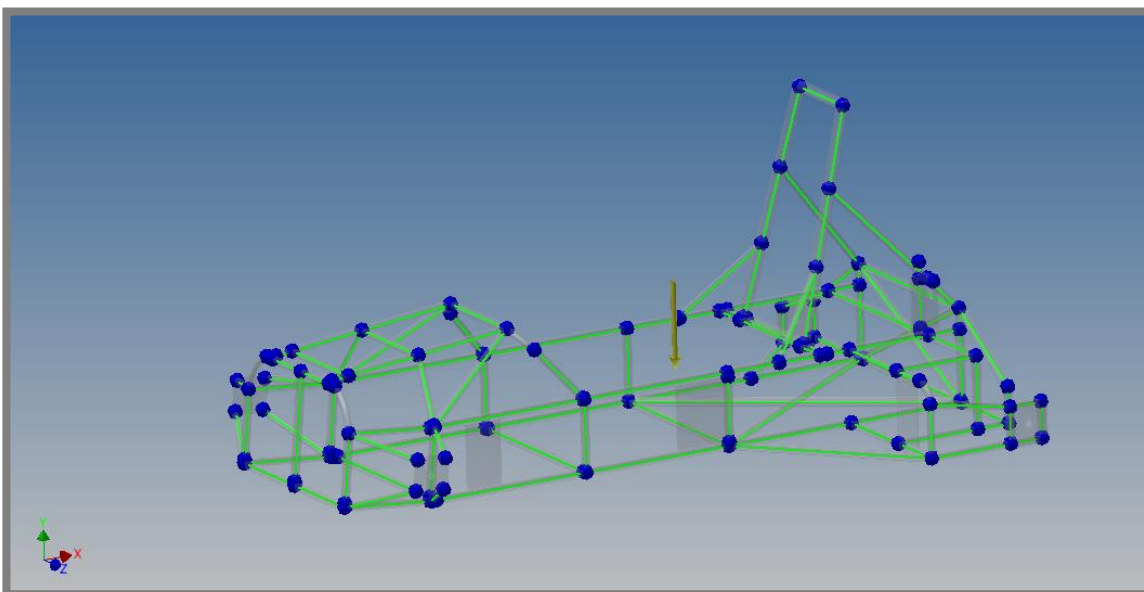
A másik módszer a beam elemzés. Ez az alprogram kimondottan rácsszerkezetek elemzésére készült. Itt a szoftver minden elemet egy-egy vonalra, beamre redukál.



10. ábra. A váz 3D rajza

A vonalak végeiben a csatlakozási csomópontok találhatóak. Fontos kritériuma ennek az elemzésnek, hogy itt csak azokkal a szabványelemekkel dolgozhatunk, amiket a modellalkotás során a Frame Generátorral hoztunk létre. Ennek oka az, hogy a redukálás során az adott elemhez tartozó keresztmetszet jellemzőket hozzá kell rendelnie a beam vonalhoz. Ez a módszer hálózást nem igényel. Az különböző kényszereket a beam vonalakra illetve az azok végeiben helyezkedő csomópontokra adhatjuk meg. Nagyon egyszerű a modell módosítása és gyors az eredmény kiszámítása.

A váz elemzéséhez ezt a módszert választottuk.



11. ábra. Beam modell

A beam vázra meg kell adnunk minden szükséges jellemzőt, amit a program a számítás során figyelembe vesz. Bevihetők különböző anyagjellemzők, definiálhatóak megfogási pontok, gravitáció, erők, megoszló terhelések és csavarások.

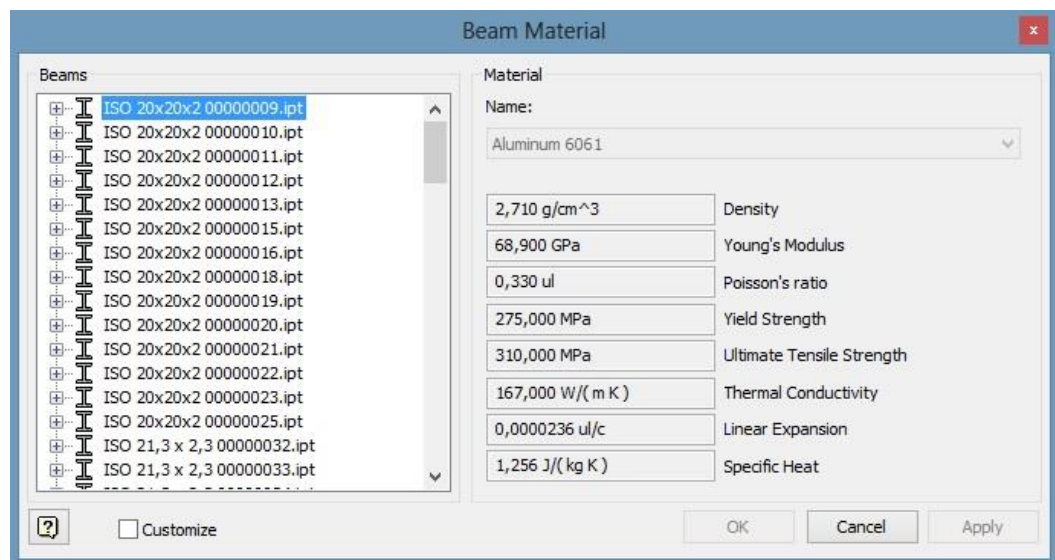
A feltételek rögzítése után, a program kiszámítja nekünk az eredményt és kiértékeli azt.

A modellen megjeleníti terhelésből származó elmozdulást és feszültséget.

5.3. Szimuláció

Az első vizsgálat során arra kerestünk választ, hogy egy olyan esetben, amikor az autóban ülve, a négyből csak három kerekén fekszik fel a jármű, az milyen feszültségeket illetve elmozdulásokat eredményez a vázban.

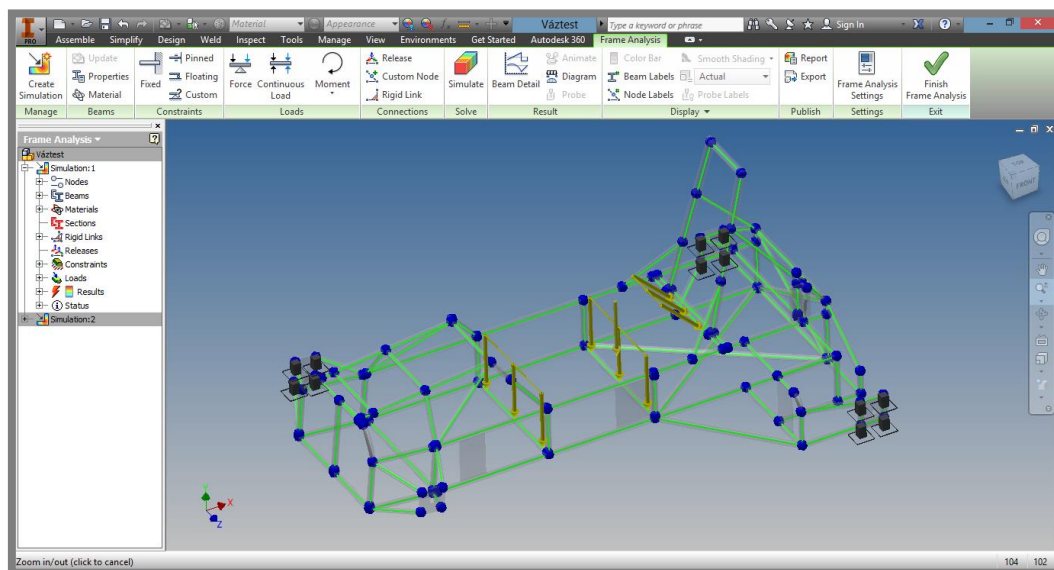
Először definiálnunk kell az anyag jellemzőket.



12. ábra. Beam anyagjellemzők

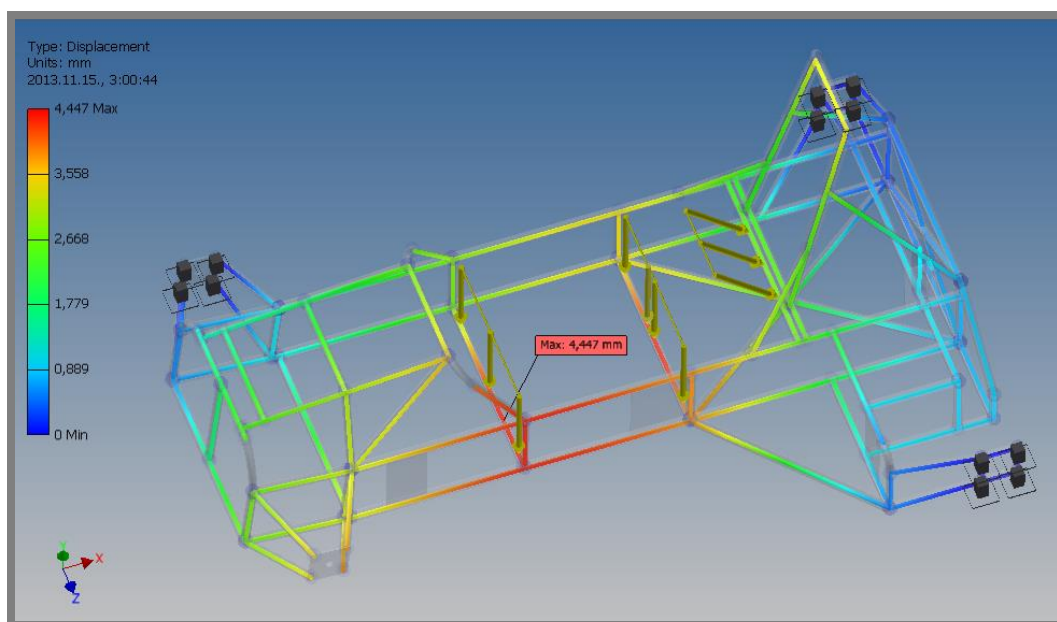
Az ablakban baloldalon a beam elemek listáját láthatjuk, jobbra pedig a kiválasztott anyag típust és annak jellemzőit.

Meg kell határoznunk még a gravitáció irányát a modellhez képest, az erők nagyságát, irányát, és a rögzítési pontokat.



13. ábra. Beam váz kényszerekkel

Ahogy a képen is láthatjuk az aranszínű nyilak a megoszló terhelést jelölik. Kettő beamre 400 mm hosszon egyre pedig 200 mm hosszon 1N/mm terhelést adtunk. Ez 100 kg terhelés a jármű utasterében. A szürke téglák jelölik a rögzítést. Ezek a csomópontok rögzítettek minden tengelyirányban. A szimulációt lefuttatva az elmozdulást egy színskála segítségével szemlélteti a program a beameken.

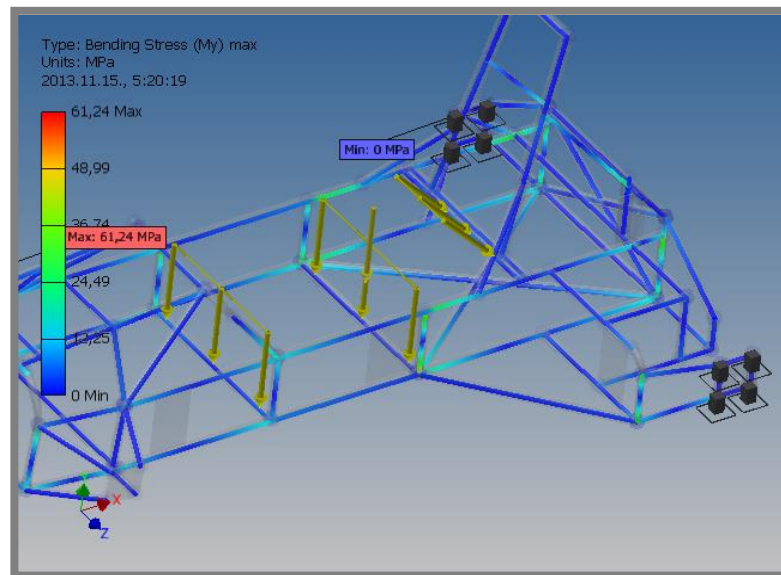


14. ábra. A váz szimuláció

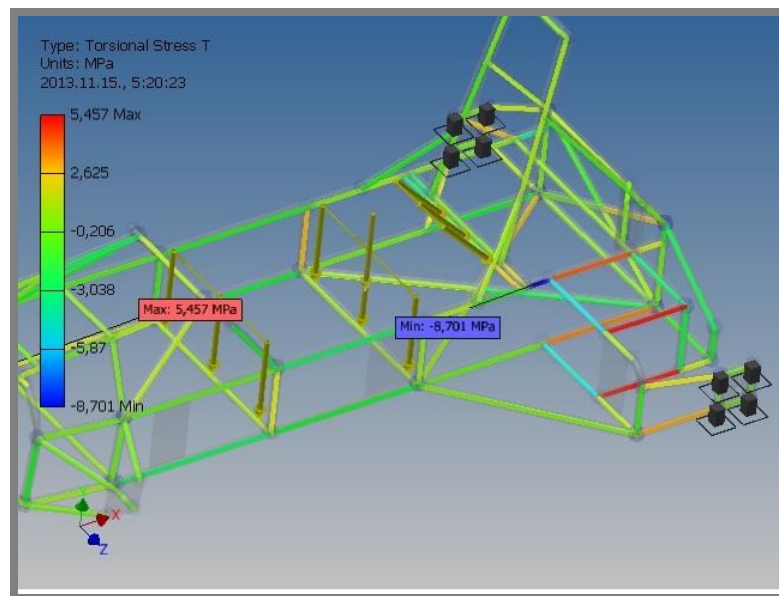
A képen a szimuláció piros téglalapban jelöli, hogy hol a legnagyobb az elmozdulás. Az eredmények beamenként lekérdezhetőek. A programmal megjeleníthetjük a beamra eső

erők, elmozdulások, nyomatékok, feszültségek nagyságát minden tengelyirányban.

A program szemléletes ábrázolásmódja rámutat a váz „gyenge pontjára”. Ezen területeken a vázat plusz elem bevitelével merevíthetjük, melyeket újabb szimulációval tesztelhetünk. A program ilyen téren intelligens, dinamikus szerkeszthetőségének köszönhetően a váz módosításával a beállított paramétereket nem veszttem el.



15. ábra. Hajlítófeszültség



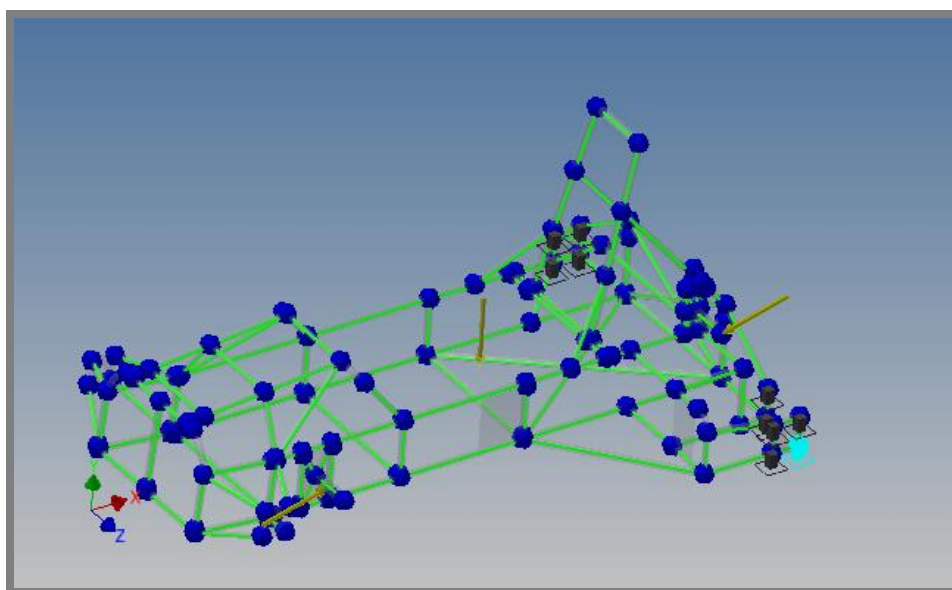
16. ábra. Torziós feszültség

Név		Minimum	Maximum
Elmozdulás		0,000 mm	4,424 mm
Erők	Fx	-267,534 N	318,784 N
	Fy	-224,160 N	253,106 N
	Fz	-532,402 N	523,496 N
Nyomatékok	Mx	-20763,549 N mm	25773,187 N mm
	My	-36143,765 N mm	30694,054 N mm
	Mz	-5838,901 N mm	9310,392 N mm
Feszültségek	Smax	-2,730 MPa	79,206 MPa
	Smin	-75,703 MPa	2,795 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	35,554 MPa
	Smin(Mx)	-35,554 MPa	0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	61,237 MPa
	Smin(My)	-61,237 MPa	0,000 MPa
	Saxial	-3,817 MPa	3,882 MPa
Nyírófeszültség	Tx	-5,048 MPa	4,201 MPa
	Ty	-3,974 MPa	3,338 MPa
Csavaró feszültség	T	-8,701 MPa	5,457 MPa

1. táblázat. Kiértékelt eredmények az első mérésből

5.4. Második elemzés

Egy másik elemzéssel a vázban a hajtás által gerjesztett deformációkat, erőket, feszültségeket kerestük.



17. ábra. A vizsgált szerkezet modellje

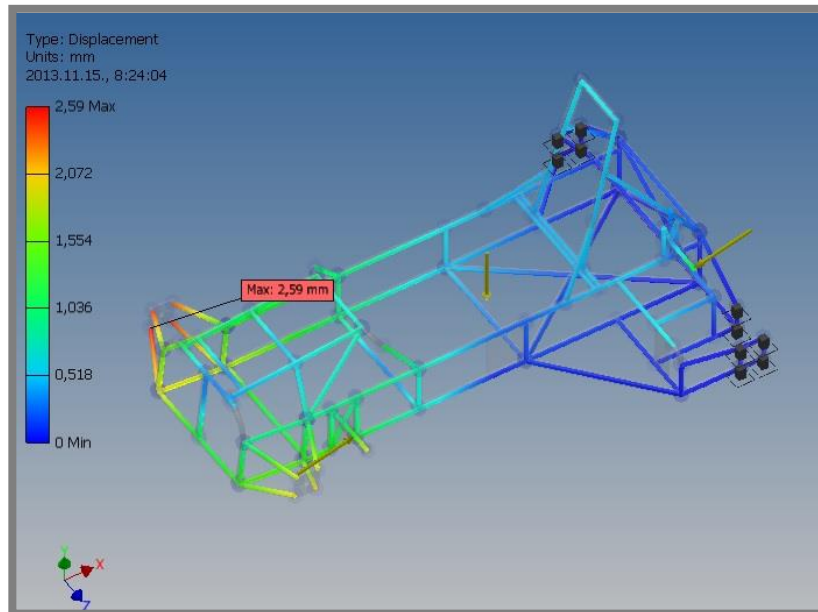
Itt két ponton fejtünk ki erőt, méghozzá a hajtás felfüggesztési pontjainál. A két erővektor egymás felé néz mivel, a hajtásként szolgáló pneumatikus munkahengerek mindig húzásban dolgoznak. A két hátsó kereket rögzítettnek vettük.

A peremfeltételek azonosak az előző számításban felhasználtéval. Az erők nagysága a hajtás egyik végénél 500N a másikonál pedig 600N.

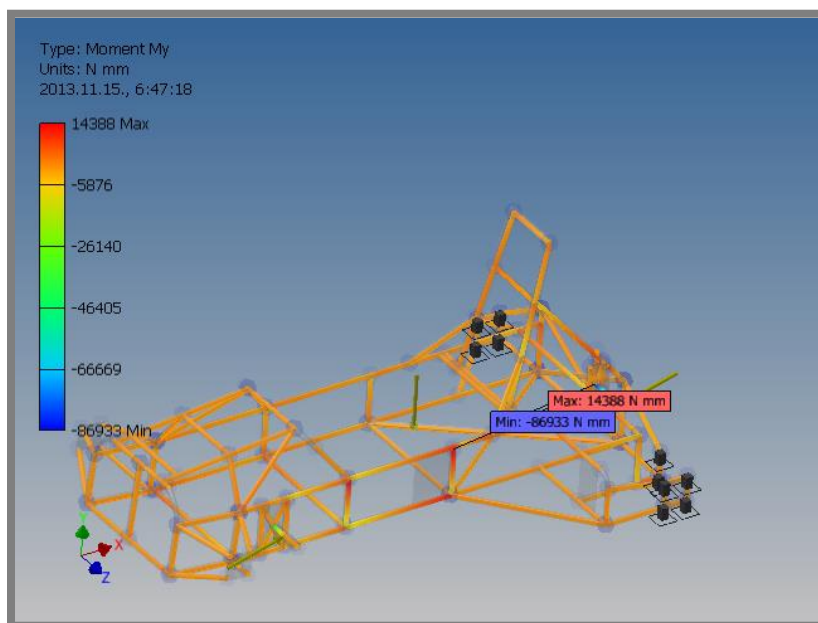
Az alábbi táblázatban összesítve láthatjuk a vázon jelentkező elmozdulás, erő, nyomaték (stb.). minimum és maximum értékeit.

Name		Minimum	Maximum
Elmozdulás		0,000 mm	2,590 mm
Forces	Fx	-482,963 N	579,555 N
	Fy	-404,951 N	500,955 N
	Fz	-295,378 N	644,946 N
Nyomatékok	Mx	-23554,663 N mm	24479,672 N mm
	My	-86933,324 N mm	14388,062 N mm
	Mz	-8456,220 N mm	11840,460 N mm
Feszültségek	Smax	-3,119 MPa	47,297 MPa
	Smin	-47,296 MPa	1,890 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	35,367 MPa
	Smin(Mx)	-35,367 MPa	0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	37,214 MPa
	Smin(My)	-37,214 MPa	0,000 MPa
	Saxial	-4,703 MPa	2,209 MPa
Nyírófeszültség	Tx	-4,079 MPa	3,399 MPa
	Ty	-7,866 MPa	6,413 MPa
Csavaró feszültség	T	-11,170 MPa	7,978 MPa

2. táblázat. Második vizsgálat eredményei



18. ábra. Második vizsgálat- elmozdulás



19. ábra. Nyomaték megjelenítése

6. Eredmények kiértékelése

A végeelem módszerrel elemzett modellünk rávilágított a váz gyengeségére. Az ülésnél történő terhelés során a váz meghajlik az x tengely mentén, mint ahogy ezt a 14-es képen is láthatjuk. Az elmozdulás maximumértéke közel 4,5 mm. Ekkor a hajtásunk, ami a vázhoz mereven rögzített, átveszi ennek a feszültségnek egy részét, és mint egy tartóelemként merevíti az autót. Így a munkahengerek is hajlításnak vannak kitéve, ami a dugattyúk befeszülésével jár. Ez a folyamat pluszvesztést visz a rendszerünkbe.

Hasonlóan veszteséggel járó folyamatot figyelhetünk meg a hajtás munkavégzése közben, mikor is a két felfogatósi pont között húzóerő lép fel. Ebben az esetben a váz szintén hajlik, ami magában a hajtásban is deformációt okoz. Ez szintén veszteségforrás a jármű teljesítménye szempontjából.

Lefuttattunk két elemzést a vázon. Az utastér terhelésekor és a hajtás húzó terhelése során is a vázban az ülés környékén találhatóak a legkritikusabb pontok. Ezt a területet feltétlenül merevíteni kell. Mindezt úgy kell teljesítenünk, hogy a lehető legkisebb súlytöbbletet adjuk a vázhoz. A csúcsheszültségek körüli helyek kimerevítésével lecsökkentjük az feszültséggyűjtő csomópontokat. Így növelve a váz merevségét, csökkentjük az elmozdulás nagyságát. A stabilitás növelésével a váz terhelhetősége is jelentősen növekedhet.

7. Összegzés

Dolgozatunk témájának a 2012-es és 2013-as Pneumobil versenyre nevezett számos dobogós helyezést elért autó vázának végeselem módszerrel történő elemzését választottuk.

A dolgozatunk első részében bemutattuk a Pneumobil versenyeket és összegyűjtöttük a Debreceni Széllovagok csapatok eddig elért eredményeit. Ismertettük a versenyekre kiírt követelményrendszert.

Bemutattuk a 2013-as pneumobil jellemzőit, felvázoltuk, hogy milyen jelentkező problémák indokolják egy végeselem modell készítését a vázról.

Részletesen bemutattuk a VEM kivitelezésének folyamatát, írtunk a programról, amiben a modell majd maga az elemzés is készült. Két elemzést végeztünk a vázon, ami alapján kiértékelhetjük a szerkezet gyenge pontjait.

Ezen eredményeket kiértékeljük, melyek útmutatóként szolgálnak a jelenlegi váz fejlesztésében illetve ezekből tanulva a következő váz készítésénél új hasznos kritériumokat tarthatunk majd szem előtt egy még több eredményt hozó autó építéséhez.

8. Irodalmi hivatkozások

- [1] Páczelt I.- Szabó T.- Baksa A.: A végeelem-módszer alapjai, Széchenyi István Egyetem HEFOP 3.3.1-P.-2004-09-0102/1.0 pályázat támogatásával, Győr, 2007
- [2] Égert J. – Pere B.: Végeelem analízis. Universitas – Győr Nonprofit Kft. 2011. ISBN:978-963-9819-71-9
- [3] Varga T: Autodesk Inventor 2008, 2009, ... COMPUTER STUDIO GYŐR, 2008. ISBN:978-963-06-6340-3

9. Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ÁBRA. A DEBRECENI SZÉLLOVAGOK CSAPATA	6
2. ÁBRA. A 2012-BEN KÉSZÍTETT JÁRMŰ	15
3. ÁBRA. MÉRETEK	16
4. ÁBRA. A 2013-AS PNEUMOBIL VERSENY KÖZBEN	17
5. ÁBRA. A VÁZ 3D MODELLJE.....	17
6. ÁBRA. A VÁZ MODELLJE FELÜLRŐL	18
7. ÁBRA. DRÓTVÁZ.....	24
8. ÁBRA. DRÓTVÁZ OLDALNÉZET	24
9. ÁBRA. FRAME GENERÁTOR.....	25
10. ÁBRA. A VÁZ 3D RAJZA	26
11. ÁBRA. BEAM MODELL.....	26
12. ÁBRA. BEAM ANYAGJELLEMZŐK	27
13. ÁBRA. BEAM VÁZ KÉNYSZEREKKEL	28
14. ÁBRA. A VÁZ SZIMULÁCIÓ.....	28
15. ÁBRA. HAJLÍTÓFESZÜLTSG	29
16. ÁBRA. TORZIÓS FESZÜLTSG.....	29
1. TÁBLÁZAT. KIÉRTÉKELT EREDMÉNYEK AZ ELSŐ MÉRÉSBŐL.....	30
17. ÁBRA. A VIZSGÁLT SZERKEZET MODELLJE.....	30
2. TÁBLÁZAT. MÁSODIK VIZSGÁLAT EREDMÉNYEI	31
18. ÁBRA. MÁSODIK VIZSGÁLAT- ELMOZDULÁS	32
19. ÁBRA. NYOMATÉK MEGJELENÍTÉSE.....	32