



Egyhengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése



**Készítette: Matus István
Alexander**

Konzulens: Dudás

2014.04.16.

Tartalom

Tartalom	2
Köszönetnyilvánítás	4
1 Motorfejlesztő Kht. (Szengine) bemutatása, célkitűzések lefektetése.....	5
1.1 Bevezető	5
1.2 Formula Student bemutatás	5
1.3 Hallgatói Motorfejlesztő Kht. (Szengine) bemutatása	6
1.4 Célkitűzések	7
2 A Motorkoncepció, és forgattyúház koncepció létrehozása, súlyozott döntési mátrix bemutatása, létrehozott koncepció vizsgálata.....	9
2.1 Koncepció tervezés céljából áttekintett, hasonló felépítésű motorok.....	9
2.1.1 Szengine EVO1	9
2.1.2 Szengine EVO2	10
2.1.3 KTM 690 EXC és 450 SXF.....	11
2.2 A koncepció tervezés kezdetekor már befagyasztottként kezelt paraméterek	11
2.3 A tervezés folyamatának időbeni felosztása.....	12
2.4 Súlyozó számos döntési mátrix előkészítése	12
2.5 Súlyozó számok megállapításának módszere.....	13
2.5.1 A felhasznált módszer	14
2.6 A felmerült, lehetséges koncepció változatok ismertetése	17
2.7 Konkrét súlyozó számok megállapítása	18
2.7.1 A forgattyú ház integrációs foka	18
2.7.2 Elrendezés	19
2.7.3 Váz kialakítása.....	19
2.7.4 Olajzás típusa	20
2.7.5 Oldalak meghatározása.....	20
2.7.6 Erőátvitel típusa, elrendezése	21
2.7.7 Generátor – indítómotor	21
2.7.8 Lendkerék.....	21
2.7.9 Koncepció változatok összeállítása és jellemzése	22
3 Konstruktív tervezés és szimuláció	25
3.1 Konstruktív tervezés feladatai.....	25
3.1.1 Fő elrendezés	25
3.1.2 Váltó tengelyek, kuplung, kuplung-áthajtás elrendezése	25

Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése

Készült: 2014.04.16.

Szerző: Matus István

Konzulens: Dudás Alexander

3.1.3	Felrögzítési pontok	26
3.1.4	Fő terhelt pontok megrajzolása	27
3.1.5	Vázrendszer megrajzolása	28
3.1.6	Szimuláció a vázszerkezetről	30
3.1.7	Köpeny, olajpenge kialakítása.....	31
3.1.8	Váltó és kartertér, illetve henger – karter tér átmenetek kialakítása.....	32
3.1.9	Hengertalp sík alatti területen történt tömegcsökkentés.....	33
3.1.10	Tömítések	35
3.2	Szimuláció feladatai	36
3.2.1	Egy dimenziós szimuláció + Ansys szimuláció	36
3.2.2	ANSA + Abaqus szimuláció	38
	Kialakult forgattyúház jellemzése, összegzés	40
	Ábrajegyzék.....	41
	Felhasznált Irodalom	42



Dok. cím: **Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése**
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.
Konzulens: Dudás Alexander

Köszönetnyilvánítás

A tdk dolgozat témaköre a Szengine EVO3 motor forgattyúházának tervezése. Ez a projekt nem valósulhatott volna meg több támogató nélkül:

Az Audi Hungária Motor kft. a Szengine Hallgatói Motorfejlesztő kht. főtámogatójaként biztosít lehetőséget az EVO3 motorkonstrukció létrehozására.

A Dendrit kft. támogatásként biztosít nagy mennyiségű forgácsoló kapacitást a csapat számára, ami révén van lehetőségünk a motor egyes alkatrészeit, többek között a forgattyúházat legyártani.

Az AVL Autókut Mérnöki kft. jelentős óraszámban biztosít tanácsadói tevékenységet, ami nagy segítség egyes koncepció - konstrukciós problémák megoldásában, az EVO3 forgattyúház tervezése során több alkalommal volt lehetőség konzultációra az AVL mérnökeivel.

A Széchenyi István Egyetemen a Belső Égésű Motorok Tanszék biztosít a tervezéshez irodát, számítógéptermet, labort, illetve oktatók révén jelentős szakmai segítséget.



1 Motorfejlesztő Kht. (Szengine) bemutatása, célkitűzések lefektetése

A fejezet jelen TDK dolgozat témájának környezetét mutatja be. A bemutatandó motor forgattyúházának tervezése során szükséges komolyan figyelembe venni azt a környezetet (adott belső égésű motort, illetve az adott belső égésű motorral szemben támasztott követelményeket, annak üzemi körülményeit) amelyben az adott alkatrész üzemelni fog. Továbbá az adott tervezőcsapat tagjai hallgatók, és működésük különleges jellege szintén befolyásolja a bemutatott forgattyúház tervezését, emiatt a tervezést végző Kht. is bemutatásra kerül.

1.1 Bevezető

Minden szakmában, így műszaki területen is komoly kérdés, hogy milyen módon vezethető be a gyakorlatba az az ember, aki az adott szakmát még csak elméletben ismeri. Az oktatás nagyon elmélet központú, és általában anyagi okok miatt nincs is lehetőség a felsőoktatásban részt vevő hallgatók igazi gyakorlati képzésére. Az oktatás, mint az állam által finanszírozott tevékenység nem tud anyagi forrást áldozni arra, hogy egy - egy hallgató esetében projekteket finanszírozzon úgy, hogy a hallgató tapasztalatlanságából eredő rizikóra anyagi felelősséget vállalhasson.

Ugyanakkor egy nagyon jól képzett szakember nagyon komoly fegyvertény a cégek életében, és a jól szakképzett munkaerő meglehetősen nagy érték, és sok hasznot hoz a cégeknek. Éppen ezért egy jó módszer az, hogy a műszaki hallgatók gyakorlati képzésére az ipar szolgáltatson forrást. Azok a cégek, amelyek felismerik a szakképzett munkaerő jelentőségét, támogatást adnak bizonyos hallgatói projekteknél, annak fejében, hogy meghatározott számú, bizonyos szakterületen már bizonyított hallgatót ajánlanak a számukra, amely hallgatók jó munkaerő piaci nyersanyagként számítanak.

A jelen dolgozat témája is egy hasonló projektnek köszönhetően valósulhatott meg. Ez a projekt egy belső égésű motor fejlesztését tűzi ki célul, mely motor egy egyetemeken közti autóversenyen fog nevezni és elindulni. A projekt a maga nemében egyedülálló, mivel ritka eset, hogy egy felsőoktatási intézmény a hallgatói számára egy komplett motor fejlesztését majd gyártását tudja biztosítani.

A jelen dolgozat az említett belső égésű motor egy alkatrészének tervezését mutatja be, felölve a kezdeti koncepcionális, és a részletes konstrukciós tervezési fázist. Ennek a folyamatnak az eredménye egy olyan forgattyúház, amely végül legyártásra, majd beépítésre kerül.

1.2 Formula Student bemutatás

A Formula Student (továbbiakban: FS) célkitűzése a mérnöki oktatás támogatása, a műszaki szakok hallgatóinak teret adjon ismereteiknek, kreativitásuknak gyakorlati síkon történő fejlesztésére. Ezzel kapcsolatban lehetőséget biztosít a hallgatóknak tanulmányi idejük alatt

Dok. cím: **Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése**
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.

Konzulens: Dudás Alexander

mérnöki munkát végezni, ugyanakkor a cégeknek is lehetőséget teremt, a csapatok támogatási rendszerén keresztül figyelemmel kísérni azon hallgatók munkáját, akik a legtehetségesebbek. Ezáltal segítve mind a hallgatót a szakmai fejlődésben és később az elhelyezkedésben, mind a cégeket a jó munkaerő feltérképezésében.

Az első verseny 1981-ben, az Amerikai Egyesült Államokban került megrendezésre, azóta ez meglehetősen kibővült. Például 2011-ben Európában 7 helyszínen rendezték meg, Silverstone-ban (Egyesült Királyság), Hockenheimben (Németország), Melkben (Ausztria), Fioranóban (Olaszország), Moszkvában (Oroszország), és Győr-Gönyű kikötőben (Magyarország).

A verseny felépítése hűen tükrözi annak eredeti célkitűzését. A fő cél nem a gyorsaság és fej – fej melletti verseny, sokkal inkább, hogy a résztvevők úgy dolgozzanak, mintha egy valódi cég résztvevői lennének. A versenyszámok éppen ezért csak fele részben állnak hagyományos értelemben vett versenyből (dinamikus versenyszámok) ahol a járművek versenyeznek, másik felerészt a csapatok résztvevői versenyeznek egymással (pl. marketing feladatok lemodellezése; ezek a statikus versenyszámok). A járművek egymással szembeni versenye során sem kizárólag a gyorsaság dönt, hanem például az üzemanyag fogyasztás mérésével is befolyásolják az elért helyezéseket.

Magyarországon jelenleg három csapat foglalkozik FS autó fejlesztésével és építésével, elsőként a BME FRT jött létre, mely már meglehetősen komoly tapasztalattal rendelkezik, az ő támogatásukkal jött létre a kecskeméti KEFO (KF GAMF karon), illetve a közelmúltban kezdte meg működését az Audi támogatásával az ART (Széchenyi István Egyetem), mely jelenleg fejleszti első generációs járművét. További kakukktójásként említhető meg az autó fejlesztésével nem foglalkozó Hallgatói Motorfejlesztő Kht. (Szenzine), amely szintén az Audi támogatásával jött létre a Széchenyi István Egyetem hallgatóiból. A Szenzine csapata nevéhez hűen egy belső égésű motort fejleszt (jelenleg a motor 3. generációjának fejlesztése zajlik), mellyel a jövőben az FS csapatok motorbeszállítójává válhat. A csapat célja továbbá a hallgatók és az ipar fő szereplői (Audi Motor Hungaria, AVL, stb.) közötti kapcsolat megteremtése.

Jelen dolgozat témája is a Szenzine jelenleg fejlesztés alatt álló motorjának forgattyúházának tervezését, fejlesztését mutatja be.

1.3 Hallgatói Motorfejlesztő Kht. (Szenzine) bemutatása

A Szenzine csapata jelenleg 51 főből áll. Ez a létszám meglehetősen dinamikus változik, ami az egyetemi környezetből is adódik. A csapat fő felosztása szerint van egy Management rész, illetve egy Konstruktív rész. A management foglalkozik a gazdasági, szervezeti, humán erőforrás, netán jogi kérdésekkel. Ugyanakkor a konstrukció feladata a konkrét motor, illetve a motor vizsgálatához szükséges fékpad megtervezése (és üzemeltetése).

Dok. cím: **Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése**
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.

Konzulens: Dudás Alexander

A csapat 2008-ban alakult meg. Tevékenységét egy motor fejlesztésével kezdte meg, azzal az alapvető célkitűzéssel, hogy minden fő részegység az egyetem hallgatói által legyen kifejlesztve. Ez vált valóra az EVO1, azaz első generációs motor létrejöttével 2012 őszén. A motor egy kezdeti fékpadon tesztelésre került, az első járatások alapvető tanulságokkal szolgáltak a csapat számára, illetve bizonyították a motor üzemképességét. A második generációt 2013 őszén mutatták be. A harmadik motor fejlesztése zajlik jelenleg, amelynek egy alkatrészével foglalkozik a jelenlegi tdk dolgozat.

A konstrukción belül az egyes alkatrészekkel egyes munkacsoportok (részlegek) foglalkoznak, mely csoportok között meglehetősen szoros együttműködés, és kommunikáció teremt kapcsolatot. Az adott munkacsoportok – részlegek foglalkoznak az adott alkatrészekkel elvégzendő összes feladatkörrel. A koncepció kialakításától kezdve a konstrukció megalkotásán át annak szimulálásáig, majd gyártásba vezetéséig ugyanazon a 2-6 emberen fut keresztül minden folyamat. Ez lehetőséget biztosít a résztvevők számára egy alapvetően színes, sokrétű, a teljes tervezési és gyártási folyamatot átívelő ismeret megszerzésére.

A csapat felépítéséből, illetve a projekt jellegéből adódik, hogy egy alkatrész alapvetően több ember munkájából áll össze, amelyek befolyásolják jelen dolgozat tartalmát. A dolgozatban több olyan saját eredmény szerepel, amely más csapattagok eredményeire támaszkodik, éppen ezért a dolgozatban van egy fejezet (Szimuláció feladatai), ahol feltüntetek olyan adatokat, eredményeket, amelyek kívül esnek a dolgozat munkásságán. Természetesen ezeknek az eredményeknek a szerzőit is az eredményekhez csatolva feltüntettem, ezáltal elkülönítve a hivatkozott, és saját magam által létrehozott eredményeket.

1.4 Célkitűzések

A dolgozat fő célja bemutatni a Szengine EVO3 forgattyúház tervezését, egészen a tervezési szakasz lezárási pontjáig. A forgattyúházzal szemben megfogalmazott követelmények és a koncepciótervezési szakasz a 2. fejezetben, a tervezés menetét a 3. fejezetben mutatom be.

A dolgozat bemutat egy koncepciótervezést támogató módszert, amelyet a csapat jelenleg még nem alkalmaz. Ezzel a döntés támogató módszerrel a 2013 decemberében létrehozott forgattyúház koncepciót „ellenőrzöm”, majd összevetem a kapott eredményt és a valóságban létrehozott koncepció döntést. Az itt kidolgozott módszer a jövőben, például az EVO4 generáció koncepció tervezése során kipróbálásra, esetleg bevezetésre kerülhet.

A bemutatott tervezési módszer megfelel a valóságnak. Az eredmények alapján megtervezett alkatrész a közeljövőben gyártásra kerül. Amennyiben a tesztelés során nem lép fel lényeges javítandó terület, a megtervezett forgattyúház 2015-ben már egy FS autó szívénél részeként lát el fontos feladatokat.



Dok. cím: **Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése**

Készült: 2014.04.16.

Szerző: Matus István

Konzulens: Dudás Alexander

A dolgozat egy speciális célkitűzést is tartalmaz, azaz egy dokumentációs leírást ad a tervezés konkrét menetéről. Ez a dokumentáció segítséget nyújt a következő generációk tervezése során a feladatok ütemezésére, bemutat egy konstrukciós tervezési módszert.

2 A Motorkonceptió, és forgattyúház konceptió létrehozása, súlyozott döntési mátrix bemutatása, létrehozott konceptió vizsgálata

A fejezet egy lehetséges konceptiótervezési módszert tartalmaz. Ez a módszer még nem került alkalmazásra az EVO3 motor konceptiótervezés során, ugyanakkor bevezetése tervben van. Ezt az egyébként a döntési helyzetben sokszor használt módszert a jelen dolgozat megírása során alakítottam/dolgoztam ki a csapat igényei alapján, mely módszert a csapat a szükséges további módosítások után az EVO4 motor konceptió tervezése során felhasználhat. Az itt alkalmazott konceptiótervezési módszer az EVO3 konceptió tervezés eredményének ellenőrzésére szolgál.

2.1 Konceptió tervezés céljából áttekintett, hasonló felépítésű motorok

Négy motor áttekintése során az egyhengeres, ~500 ccm hengerűrtartalmú motorok fő jellegzetességei, illetve az esetlegesen alkalmazható vagy elvethető megoldások jól feltérképezhetők. Ebből a négy motorból kettő szintén a Szengine által megtervezett és legyártott motorok. Ezeknek az áttekintése ugyanúgy fontos, mivel az ezek által kijelölt irány valamilyen szintű folytatása – követése szintén fontos, miközben meg kell állapítani azokat a pontokat, ahol változtatás szükséges.

2.1.1 Szengine EVO1

Az EVO1 motor egy járműbe építésre nem szánt tesztmotor, így a fő szempontok is eltérőek egy általános motorral szemben. Példaként említve a forgattyúháza kb. 10 kg volt, ami meglehetősen nagy érték. A falvastagság meglehetősen nagy, többnyire 10-30 mm között alakul. A forgattyúházhoz kapcsolódóan a deklík szintén alumíniumból készültek. A dekli kialakítása jelentősen eltér a tervezett EVO3-tól, részben az esetleges integráció hiánya miatt, részben pedig az eltérő elvárások (főként saját tömeg) okán. Mivel az EVO1 fő kialakításait nem követi az EVO3, továbbá a két forgattyú ház teljesen más elvárásoknak megfelelően készül, így konstrukciós kialakítások részletezése nem indokolt.

Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.
Konzulens: Dudás Alexander



1. ábra a Szengine EVO1 motorjának rajza

Az olajpenge kialakítására utólagosan került sor, mivel üzem közben jelentős habosodás lépett fel. Az olajleválasztó penge kialakítása után az olaj hamar kikerült a kartertérből, és egy külön erre a célra kialakított olajtérbe áramlott, ahonnan már az olajpumpa kiszívta.

Az EVO1 tervezése során a fő szempont a konstrukciós egyszerűség, az esetleges működést veszélyeztető hatások minimalizálása volt, amíg például a tömeg nem volt jelentős szempont.

2.1.2 Szengine EVO2

Az EVO2 az EVO1 tömeg csökkentett és részben optimált változata. A fő műszaki megoldások nagyban hasonlóak, azonban a forgattyúház kialakítása ez esetben már bordázott, ami tömegcsökkentésre adott lehetőséget a merevség megtartása mellett. Továbbá amíg az EVO1 forgattyú ház nem volt szimulálva (hanem jelentősen túl lett méretezve), az EVO2 forgattyú ház már egy hő terhelési és statikai szimuláció alapján lett kialakítva. Az EVO2



2. ábra az EVO 2 motor forgattyúházának CAD modellje

Dok. cím: **Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése**
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.
Konzulens: Dudás Alexander

tömege 6kg, általánosan használt falvastagság 5 – 20 mm.

Az olajpenge és külön olajtér az EVO1 tanulságai alapján már előzetesen kialakításra került.

A deklík az EVO2 esetén már műanyagból kerültek forgácsolásra, ami további jelentős tömegcsökkentést tett lehetővé. Az összes tömegcsökkentés eredményeként a forgattyú ház tömege 6 kg. Mivel az EVO2 fő kialakításait nem követi az EVO3, továbbá a két forgattyú ház más elvárásoknak megfelelően készül, így konstrukciós kialakítások részletezése nem indokolt.

2.1.3 KTM 690 EXC és 450 SXF

A tárgyalta KTM forgattyúház jelentős alapul szolgált az EVO3 forgattyú ház kialakítása során. Ez a forgattyú ház az EVO1 és EVO2 motorok forgattyú házaival szemben integráltak a váltóházzal, olaj és vízpumpa házakkal. Tömege ezzel ellentétben nem túl nagy, 5kg.

A használt falvastagságok a váltóháznál 4 mm, a karter tér oldalfal esetén 4-5 mm, egyes merevített helyeken pedig 10 mm körül alakul.

Mivel komoly mértékben felmerült a váltóház integrációja, így több kialakítás áttekintése vált szükségessé. Egy érdekes és említésre méltó megoldás a félszáraz karterolajozás, ami alapján az olaj a kartertérből egy olajpengével kerül leválasztásra, egy kis penge mögötti olajtérből kerül a kartertér nyomásváltozását kihasználva át a váltó olajtérbe.

Az 450 SXF forgattyú ház kialakítása nagyban hasonlít az 690 EXC –re, ugyanakkor a hengertalp sík alatti terület kialakítása különösen érdekes, mivel nagyban hasonlít ahhoz a kialakításhoz, ami az EVO3-nál alkalmazott a csapat.

2.2 A koncepció tervezés kezdetekor már befagyasztottként kezelt paraméterek

A Szengine EVO1 motor alapozásaként létrehozott alap koncepció (egy hengeres, 4 szelepes szívó, kb. 500 ccm hengerűrtartalmú, várhatóan 40 – 50 kW teljesítményű Otto motor) jelenleg is fixként tekinthető, ezeket a paramétereket „befagyasztott” paraméterekként kell kezelni.

Továbbá a motor környezete is bizonyos szempontból kötötté vált. A henger és hengerfej az EVO1-2 esetén a Szengine által került megtervezésre és legyártásra. Az EVO3 esetén külső, KTM által gyártott henger és hengerfej került beszerzésre, ami a Szengine hengerfejeivel jó összehasonlítási alapot ad, a korábban megszerzett know-how összevethető az iparból származó „profí” termékekkel. A jövőben terv szerint lesz újra saját hengerfej fejlesztés, ugyanakkor az már egy koncepcionálisan eltérő út lesz a korábbi verziókhoz képest.

Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.

Konzulens: Dudás Alexander

További meghatározott paraméter, hogy a váltó, kuplung, főtengely-kuplung fogaskerék szintén KTM termékek, így az adott alkatrészek nem változtathatók. A jármű, mint környezet jelenleg még tervezési fázis előtt van, így jármű oldalról jelenleg még meglehetősen nagy a tervezési szabadság. Természetesen egyeztetés folyik az elsőként a motort Arrabona Racing Team (ARC) illetékes tagjaival.

2.3 A tervezés folyamatának időbeni felosztása

A döntés előkészítése, illetve ennek egzakt volta alapjaiban befolyásolja egy projekt sikerességét, különösen ha – mint jelen esetben - műszaki tervezésről van szó. Tervezés során szükség van a koncepció megtervezésére, melyet egy kitüntetett időpont és esemény, a „concept freeze” zár le, majd a konstrukciós tervezés történik, melyet hasonló módon a „design freeze” zár le. A design freeze után jön a gyártás előkészítés, gyártás, összeszerelés, majd tesztelés. A concept/design freeze egyaránt előre kitűzött időpont, amikor az adott tervezési szakaszt le kell zárni, a korábban lefektetett eredményeket rögzíteni kell, illetve a korábbi munka alapján a még el nem döntött kérdésekről végső döntést kell hozni. Ez a két időpont biztosítja, hogy az egyes fázisok egymástól megfelelően el legyenek különítve, például – szélsőséges példaként - a gyártás során ne történjen koncepcionális változtatás, ami meglehetősen komoly időbeli és anyagi veszteséggel jár. (egyres alkatrészek újra gyártatása, gyártási időrend esetleges borulása, jelentősen megnövekedett hibalehetőség tervezési/gyártási oldalról, stb.) Természetesen a gyártás előkészítés vagy összeszerelés során szükségessé válhat egyes konstrukciós hibák javítása, illetve tesztidőszak során kiderülhet, hogy szükség van egyes akár koncepcionális változtatásokra. Ilyen esetekre számolni kell, ugyanakkor a know-how növekedésével ezeknek a száma és súlyossága idővel minimalizálható, és minimalizálandó. A jelen fejezetben a koncepcionális tervezés folyamatát és eredményeit tekintjük át, a konstrukciós tervezéssel és méretezéssel – szimulációval a következő fejezet foglalkozik.

2.4 Súlyozó számos döntési mátrix előkészítése

Ahhoz, hogy az előkészítés minél inkább mentes legyen esetleges érzelmi színezetektől és egyéb emberi tényezőktől, a döntésben biztosítani kell a szubjektív elemek lehetséges kizárását. Természetesen, ahogy nem létezik 100%-os tökéletesség, így nem létezik 100%-os objektivitás sem. Ugyanakkor a lehetőségekhez mérten törekedni kell egy többé – kevésbé mérhető, megalapozott objektivitásra. Az EVO 3 motorhoz készült forgattyúház esetén ezt egy súlyozó számos döntési mátrix támogatja.

Fontos megjegyezni, hogy az itt bemutatandó súlyozó számos rendszer pusztán egy eszköz, amely a végső döntés meghozatalát segíti. A döntés meghozatala nem lehet automatikusan a legmagasabb értékű koncepció kiválasztása, ugyanakkor a döntés meghozatala során mindenképpen érdemes figyelembe venni a kapott eredményeket, mivel ez a rendszer

valamivel érthetőbbé és emészthetőbbé tesz egy alapvetően összetett döntési feladatot. További nagy előnye, hogy az egyes paraméterek megkeresése, és felállítása során ez a rendszer segít minden szempontot figyelembe venni. A döntéshozó hogy minden értéket szakszerűen kitöltsön, minden súlyozó szám mögé mérhető értéket keressen, kötelezően végig kell, hogy menjen csaknem minden a valóságban könnyen előfordulható problémakörön, ezáltal ez a rendszer egyfajta „ellenőrző listaként” vagy „számárvezetőként” támogatja a döntésben résztvevő személyek munkáját. Így is csökkenthető az esélye annak, hogy a concept freeze után, például a tervezési fázisban derüljön ki hogy egy korábban elfogadott koncepció nem megvalósítható/nagyon nagy kockázattal jár a megvalósítása.

Az alábbiakban előre meg kell becsülni olyan paramétereket, amelyekről pontos érték csak a tervezési szakasz végén áll majd rendelkezésre. Ez komoly nehézség, és sokakat szkeptikussá tehet egy ilyen döntési rendszerrel szemben. Ahogy korábban is említésre került, itt egy döntést támogató, és nem pedig egy „automatikus döntéshozó” rendszerről van szó. Így értelemszerűen elegendő becsülni például a várható tömeget, vagy várható know-how igényt. Minél pontosabb becslést tud végrehajtani a döntéshozó, annál nagyobb mértékben tud támaszkodni a későbbiekben a súlyozó számok által kiadott eredményekre.

A súlyozó számokat a forgattyúház tulajdonságaihoz, a motor forgattyúház által jelentősen befolyásolt tulajdonságaihoz, illetve a tervezés és gyártás során befolyásolt tényezőkhöz (például az adott koncepció által várhatóan lekötött tervezési kapacitás, stb.) kell hozzárendelni.

2.5 Súlyozó számok megállapításának módszere

A súlyozó számok lehetőséget adnak arra, hogy egymással nehezen összevethető paraméterek között egyfajta váltószámot, egységes mérő értéket hozzon létre (a valuta is tulajdonképpen egyfajta súlyozó számnak tekinthető). Ez lehetőséget teremt, hogy a megálmodott koncepció változatokat egymással összevethessük, és valamiféle sorrend kialakítható legyen. Először tekintsük át, hogy mely paraméterek alapján pontozható egy – egy konstrukció.

Geometriai paraméterek alapvetően a befoglaló paramétereket jelentik, amelyek a beszerelhetőséget, illetve a jármű (motor szempontjai alapján lehetséges) paramétereit befolyásolják. Jelen esetben, első sorban a motor hosszúság az, amely érdemi szempontból jelentős lehet, mivel ez befolyásolja a tengelyek paramétereit, így a jármű menetdinamikai tulajdonságait is. Rövidebb motor esetén a motor tömegközéppontja közelebb kerülhet a jármű középhez, így kedvezőbb tömegeloszlás jöhet létre. Ez a paraméter a motor súlypont hosszirányú eltéréseként van feltüntetve a jármű tömegközéppontjához képest. Alap mértékegység: mm.

Tömeg paraméterek alatt nem az alkatrész, és nem is a motor, hanem a jármű várható össztömegét kellene vizsgálni. Mivel ez meglehetősen bonyolult lenne, ezért a motor várható

Dok. cím: **Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése**
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.
Konzulens: Dudás Alexander

tömegét is elég rögzíteni úgy, hogy emellett figyelembe kell venni az egyéb, a járműben a motor miatt várhatóan létrejövő tömeget is. (pl. motortartó konzolok tömege, stb.) Ha csak a forgattyúház várható tömege változik egyes döntés miatt, akkor a motor tömegének vizsgálata ugyanolyan jó mutatószám, mivel a forgattyúház tömegével egyenlő mértékben fog változni a motor teljes tömege is. Figyelembe kell még venni a motor súlypont magasságát (a forgattyúház ezt döntően befolyásolja), mivel ez jelentősen befolyásolja a maximális lehetséges kanyarsebességet. A motor hosszanti súlyeloszlása a jármű függőleges tengelye körüli forgatónyomatékát befolyásolja, ami szintén kihat a jármű menetdinamikai tulajdonságaira. Ez utóbbit jelenleg nem veszem figyelembe, jövőbeli konstrukcióknál azonban számolása szükséges. Alap mértékegység: kg, mm.

Gyártás és beszerzés témakörén belül az adott szempontok alapvetően önmagukért beszélnek. Gyárthatóság/beszerezhetőség alatt a gyártás előkészítésre/beszerzésre fordított munkaórák számát kell érteni. Ennek megbecslése tapasztalati úton történhet.

Üzembiztonság illetve üzemszerűség alatt a motor működési biztonságát kell érteni. Az abszolút értelemben vett biztonságot nem szabad mutatószámmal ellátni, mivel ez a szempont teljes vétőjogot kap. Üzembiztonság alatt tehát a motor működésére ható veszélyek mérése a fő cél. Figyelembe kell venni a szilárdságot (ez alatt a kifáradásig lehetséges üzemóra is érthető), a kenőanyag áramlásának irányíthatóságát, a megfelelő kenés biztosításának lehetőségét a szükséges pontokon, az erőátvitel megfelelő üzembiztonsági paramétereit (megfelelően merev/laza kapcsolat (pl. fogaskerék/lánc/szíj), erőátvitel hibatűrése, erőátvitel konstrukció egyszerűsége/bonyolultsága).

Tervezéshez és szimulációhoz kapcsolódó jellemzők ugyan nem közvetlenül az alkatrészt vagy a motort jellemző paraméterek, ugyanakkor jelentős a tervezésre kiható szempont, így értékelésük szükséges. A tervezési kapacitás igény alatt az adott koncepció megtervezésére fordított várható „mérnökórát” kell érteni. A know-how igény alatt a tervezői csapatban meglévő szakmai tudás és a megálmodott koncepció közötti hézagot/átfedést kell mérni.

2.5.1 A felhasznált módszer

súlyozó számok megállapításánál a legelső feladat az elérendő cél kitűzése. Egy motort lehet optimalizálni akár fajlagos tüzelőanyag fogyasztásra, akár élettartamra, akár maximális teljesítményre. Ugyanakkor az optimalizálás során „kevert” célok is kitűzhetők, azaz például 60%-ban minimális fajlagos tüzelőanyag fogyasztásra, 40%-ban maximális élettartamra is el lehet végezni optimalizálást.

A Szengine által tervezett 3. generációs motor feladata a Formula Student versenyen részt venni. Ezáltal a súlyozó számok kialakítása során az anyagi források és jelenleg rendelkezésre álló know-how keretein belül egyedüli cél a minél magasabb FS pontszám elérése. Mivel a Formula Student több versenyszámmal is rendelkezik, amelyek különböző szempontból mérik a jármű és a motor fő paramétereit, így a súlyozó számok létrehozásánál tulajdonképpen egy az egyben a Formula Student versenyszámaikat, illetve az azok közötti súlyozó számokat kell

Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.
Konzulens: Dudás Alexander

figyelembe venni. A motor 6 versenyszámot (1 statikus, 5 dinamikus) tud közvetlenül befolyásolni, ezeknek a pontozása az 1-2. táblázatokban szerepel.

A súlyozó pontok értékének megállapításához látni kell, hogy az egyes paraméterek mennyiben befolyásolják az egyes versenyszámok sikerességét. Az alábbi százaléktételek tapasztalati úton kerültek meghatározásra (úgy értendő, hogy 5mm hosszcsökkentés 15%-ban képes befolyásolni a verseny sikerességét vagy 1kg tömegcsökkentés 60%-ban képes befolyásolni a verseny sikerességét). A jövőben járműdinamikai (IPG) szimulációval lesznek ezek az értékek meghatározhatók. Az alábbi táblázat utolsó oszlopa az egyes versenyszámok pontjait megszorozza az egyes paraméterek százaléktételeivel. Az így kapott pontszámok az egyes paraméterek egymáshoz képesti fontosságát mutatják. Ezek alapján az értékek alapján voltak meghatározhatók a súlyozó pontszámok (pl.: hossz: $50 * 0,05 + 150 * 0,05 + 300 * 0,15 = 30$). A 2. táblázat alapján megállapítható, hogy a hossz, a súlypont magasság, a tömeg, és a költség milyen arányban állnak egymáshoz.

Versenyszám	pont
Költség	20
Skid pad	50
Gyorsulás	75
Autocross	150
Hatékonyaság	100
Endurance	300
Összesen	695

1. táblázat FS versenyszámok pontozása

		kö (20)	skp (50)	Gy (75)	Ac (150)	Ha (100)	En (300)	Össz
Geometria								
	súlypont hosszirányú eltér. [5mm]	0	15%	0	05%	0	05%	30
Tömeg								
	erőforrás tömeg + „generált tömeg” [kg]	0	60%	80%	80%	100%	80%	550
	súlypont magasság (forgház talptól) [5mm]	0	25%	20%	15%	0	15%	95
	gyártási/beszerzés i költség [100 000 HUF]	100%	0	0	0	0	0	20

2. táblázat Motorparaméterek hatása a versenyszámok sikerességére

Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.
Konzulens: Dudás Alexander

A számozási rendszer jutalompontos, adott mennyiség változásaként adott pontszám adódik hozzá a koncepció összes pontszámához. Értelemszerűen a legrosszabb koncepció 0 pontot kap, a többi koncepció pontszámai ehhez mérten lesznek nagyobbak. Vannak nehezen számszerűsíthető, nehezen mérhető paraméterek (például know – how igény, stb.), amelyek hiánya a tervezés és gyártást is képes megakadályozni. Éppen ezért ezek az értékek 3 vagy 5 fokozatban 0 és 1 közötti szorzószámot kapnak. Az adott koncepciókat ezekkel a szorzószámokkal meg kell szorozni, ez jelenti a végső eredményt. A szorzó számok megállapítása egyedi elbírálás alapján, tapasztalati úton történik. A versenyszámokra hatással lévő paramétereket a fenti táblázatok alapján, a többi paramétert, amelyek elsősorban a tervezést/gyártást befolyásolják, tapasztalati úton határoztam meg.

		fix paraméter	fix súlypont szám	szorzószá m	súlyozá s típusa
Geometria					
	súlypont hosszirányú eltérés	-10 mm	+1	-	pontozó
	szélesség	0	0	-	pontozó
	magasság	0	0	-	pontozó
Tömeg					
	erőforrás tömeg + „generált tömeg”	-0,20 kg	+1	-	pontozó
	súlypont magasság (forgház talptól)	-10 mm	+2	-	pontozó
Gyártás/Beszerzé s					
	gyárthatóság/beszere zhetőség	egyedi elbírálás alapján		*0; *0,25; *0,5; *0,75; *1	szorzó
	gyártási/beszerzési költség	-100000 HUF	+0,5	-	pontozó
Üzembiztonság/Ü zemszerűség					
	kenőanyag áramlási/kenési biztonság	egyedi elbírálás alapján		*0; *0,5; *1;	szorzó
	erőátvitel konstrukciós biztonság	egyedi elbírálás alapján		*0; *0,25; *0,5; *0,75; *1;	szorzó
	szerelhetőség	egyedi elbírálás alapján		*0; *0,25; *0,5; *0,75; *1;	szorzó
Tervezés/Szimulá ció					
	tervezési kapacitás igény	egyedi elbírálás alapján		*0; *0,5; *1;	szorzó
	know-how igény	egyedi elbírálás alapján		*0; *0,5; *1;	szorzó

3. táblázat Súlyozó pontozás táblázatos bemutatása

Dok. cím: **Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése**
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.
Konzulens: Dudás Alexander

A fenti súlyozó számos pontozási rendszer egy alapvető összehasonlításra lehetőséget ad. A szorzószámos tényezők egy speciális jellegzetessége, hogy 0 szorzó esetén az adott koncepciót lenullázzák. Ezáltal egyes koncepció változatok könnyen kiszűrhetők. Értelmezhetően, ha a szerelhetőség, vagy gyárthatóság, netán know-how nem biztosított, akkor az adott koncepció változat nem megvalósítható, működésképtelen. Amennyiben két döntés közül az egyik 0 szorzóval rendelkezik, a másik pedig nem kapott pontszámot, ugyan mindkettő értéke 0, de értelemszerűen a 0 szorzóját kell kizárni.

2.6 A felmerült, lehetséges koncepció változatok ismertetése

Az alábbi koncepció változatok létrehozásakor először számba kell venni a lehetséges kialakításokat. Ezeket egyenként kell jellemezni, majd a valamilyen szempontból előnyös kialakításokból kell összeállítani több konstrukció változatokat.

A rész kialakítások előzetes szűrése lehetővé teszi, hogy ne kelljen az elméletileg szóba jöhető összes koncepció változatot összemérni, hanem elég csak a legjobb kialakításokból összeállított koncepciók értékelése.

Fontos megemlíteni, hogy nem elég csak a forgattyúházzal foglalkozni, az alkatrész speciális területen fekszik, mivel a legtöbb alkatrészcsoporthal szomszédos, így nagyon sok más alkatrész hat rá, illetve nagyon sok más alkatrészre van hatással a forgattyúház. Ezért a koncepció tervezés során több alkatrész és kialakítás szempontja is mérlegelésre kerül.

Ugyanakkor vannak döntések, amelyek nincsenek olyan szoros összefüggésben a forgattyúházzal, így azokat pusztán tényként kell kezelni (például a konkrét hengerfej kiválasztása, töltetcserét érintő kérdések, stb.).

A motor oldalait a jármű menetiránya szerinti hátulról nézve határozzuk meg, eszerint van jobb és baloldal.

Forgattyúház integráció fok	nincs integráció / integrált váltó (igen / nem), integrált differenciálmű (igen / nem), integrált olajpumpa (igen / nem), integrált vízpumpa (igen / nem)
Elrendezés	henger döntési foka, ház osztása (vízszintes / függőleges)
Váz kialakítás	„önhordó” / „féligenhordó” / „alvázas” – karbon héjszerkezettel
Olajozás típusa	nedves karteres / félszáraz karteres / száraz karteres
Oldalak meghatározása	kihajtás – vezérlés azonos oldalon / kihajtás – vezérlés különböző oldalon, vezérlés bal oldalon / vezérlés jobb oldalon
Erőátvitel típusa - elrendezése	közvetlen főtengely fogaskerék - kuplung kapcsolat / főtengely kuplung - közlő fogaskerék – kuplung kapcsolat / főtengely – lánc – kuplung kapcsolat
Generátor –indító motor	generátor és indító motor egyben / generátor és indító motor külön
Lendkerék	Lendkerék van – könnyű főtengely / lendkerék csak minimalizálva vagy nincs – nehéz főtengely

4. táblázat Eldöntendő koncepcionális kérdések

Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.
Konzulens: Dudás Alexander

Az egyes, súlyozó számok alapjául szolgáló paraméterek meghatározása méréssel vagy becsléssel történik, becslés esetén minden esetben valamilyen referencia alkatrész figyelembe vételével történik.

2.7 Konkrét súlyozó számok megállapítása

Az alábbi táblázatokban egyaránt vannak konkrét mennyiségekkel mérhető értékek, és vannak valamilyen egyéni mérlegelés alapján létrehozott súlyozó számok (súlyozó számok a zárójelben találhatók).

2.7.1 A forgattyú ház integrációs foka

A mért paraméterek a súlypont hosszirányú eltérés, teljes tömeg, súlypont magasság, szerelhetőség, tervezési kapacitás igény, know-how igény.

A tömeg értékek becslése során az EVO1 motor és hozzá használt Baker gyártmányú váltó, a csapat által tervezett EVO3 olajpumpa, és egy várhatóan beépítésre kerülő vízpumpa ház alapján történt. A súlypontmagasság, ill. hosszanti irányú eltérés becslése hasonló úton történt. Integrált váltóház esetén a nem integrált kialakításhoz képest a jelentős tömeg különbség (20kg) abból is adódik, hogy nem integrált módon csak nagyon nagy, robosztus váltók szerezhetők be.

Gyárthatóság esetén az olaj és vízpumpa integrációja jelent némi nehézséget. Know-how ismeret integráció terén még nincs, de integrált váltóra sok felhasználható példa van, illetve a saját tervezésű olajpumpa révén az olajpumpa integrációja is reális lehet. Differenciálmű és vízpumpa esetén a csapat még nem áll készen az integrációra. Integrált differenciálmű ház esetén az egész motornak a hátsó tengely közelébe kell kerülnie, és ez növeli meg a súlypont hosszirányú eltérését a jármű geometriai középpontjától.

		Teljes tömeg [kg]	Súlypont magasság [mm]	Gyárthatóság	Tervezési kapacitás	Know – how igény	Súlypont hosszir. elt. [mm]
nincs integráció	... mm	0 (0)	0 (0)	*1			0 (0)
integrált váltóház	integrált v	-10 (50)	0 (0)	*0,5	*0,5	*0,5	-20 (2)
	nem int. v	0 (0)	0 (0)	*1	*1	*1	0 (0)
integrált olajpumpa	integrált o	-1 (5)	0 (0)	*0,5	*0,5	*1	0 (0)
	nem int. o	0 (0)	0 (0)	*1	*1	*1	0 (0)
integrált differenciálmű ház	integrált d	-5 (25)	0 (0)	*1	*0	*0	+200 (-20)
	nem int. d	0 (0)	0 (0)	*1	*1	*1	0 (0)
integrált vízpumpa	integrált p	-1 (5)	0 (0)	*0,75	*0	*0	0 (0)
	nem int. p	0 (0)	0 (0)	*1	*1	*1	0 (0)

5. táblázat Integrációs fok pontszámai

2.7.2 Elrendezés

Mért paraméterek: súlypont magasság, súlypont hosszirányú eltérés, tömeg, szerelhetőség, gyárthatóság

- **Henger döntési fok:** Henger döntési fokot a függőlegeshez mérten kell számolni. Ez az érték minél nagyobb, annál alacsonyabb a motor súlypontja, ami egyértelmű előnyt jelent. Ugyanakkor ez az érték jelentősen befolyásolja az erőátvitel típusát a kuplung és a főtengely között. Éppen ezért két konkrét értéket kell jellemezni, az egyik 20° (első modellek még 30° -os hengerdöntéssel készültek), a másik pedig 60° -os. Kisebb döntés esetén a közvetlen főtengely fogaskerék - kuplung kapcsolat alkalmazható, nagyobb döntés esetén főtengely kuplung - közlő fogaskerék – kuplung kapcsolat vagy a főtengely – lánc – kuplung kapcsolat alkalmazandó. A befolyásolt értékek a súlypont magasság, súlypont hosszirányú eltérését, illetve egymásra hatás miatt hivatkozni kell az erőátvitel üzembiztonsága által kiadott súlyozó számokra is. Súlypont magasság, súlypont hosszirányú eltérés, és tömeg előzetesen elkészített modellek alapján került meghatározásra, szerelhetőség és gyárthatóság nem kerül kitöltésre, mivel ezeket ez a kialakítási kérdés nem befolyásolja érdemben.

- **Ház osztás:** Ez lehet függőleges és vízszintes. Ez a szerelhetőséget, gyárthatóságot, és tömeget befolyásolja, másra nincs hatással, így csak ezek a paraméterek vannak kitöltve. Súlyozó szám meghatározásához a várható szerelési időt vettem alapul, amelyet a csapat szerelője becsült meg, tömeg becslése során a főcsapágy merevítéséhez szükséges szerelhető kapcsolat többlet tömegét becsléssel határoztam meg, amit az alap konstrukció tömegéhez hozzáadtam. Gyárthatóság szempontjából a vízszintes osztás problémás, mivel olajpenge (plusz egyes olajfuratok) kialakítása nehézkessé válik, továbbá a váltó tengelyek körül a tömíthetőség is nehézzé válik (ez nem közvetlen gyártási probléma, de beleszámítandó).

		súlypont magasság g [mm]	súlypont hosszirányú eltérés [mm]	tömeg [kg]	szerelhetőség	gyárthatóság
Henger döntés	20°	0	-20 (2)	-1 (5)		
	60°	- 20 (4)	0	-0		
Osztási sík	függőleges			-2 (10)	*0,75	*1
	vízszintes			0	*1	*0,5

6. táblázat Elrendezés pontszámjai

2.7.3 Váz kialakítása

Mért paraméterek: tömeg, know-how igény

Az elnevezések („önhordó”, „félíg önhordó”, „alvázas”) beszélő nevek, a járműszekrény kialakítások jellege alapján mutatják be a lehetséges forgattyúház kialakításokat.

„Önhordó” esetben egy merevítések és bordázat nélküli, kvázi egyenletes falvastagságú ház tervezése a cél. „Félíg alvázas” esetben jelentős bordázat van a házon, és a bordázat

Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.

Konzulens: Dudás Alexander

anyagából van kialakítva egy vékony héjszerkezet. „Alváz” esetben hasonlóan néz ki a ház a „félíg önhordóhoz” képest, azonban a héj a lehető legtöbb helyen ki van „ablakolva”, és karbon fedéllel van letömítve. Tömeget előzetesen kialakított modellekkel, know-how igényt pedig a csapat szimulációs know-how ismeretét megbecsülve adtam meg (figyelembe véve például az AVL mérnökeinek tanácsát is).

		tömeg [kg]	know-how igény
Váz kialakítása	„Önhordó”	0 (0)	*1
	„Félíg önhordó”	-4 (20)	*0,5
	„Alváz”	-4,6 (23)	*0,25

7. táblázat Váz kialakítás pontszámai

2.7.4 Olajzás típusa

Mért paraméter: Kenőanyag áramlási biztonság, tömeg, know-how igény

Nedves karteres eset a kenőanyag áramlási biztonság miatt kizárható, mivel a felhasználás jellege miatt erős oldalgyorsulás lép fel, ami meg gátolja a folyamatos olajszállítást.

Félszáraz karteres esetben know-how igény jelenleg magas, nincs tapasztalata a csapatnak ilyen területen. Elméletileg rendelkezésre áll olyan forgattyúház amely alapján esetleg megtervezhető egy félszáraz karter, ugyanakkor jelenleg még több változó bizonytalan lehet. Tömeg számolásának alapulvételére az SXF-690 forgattyúház szolgált.

Száraz karteres esetben a tömeg valamivel magasabb, a forgattyúház tömegéhez hozzá kell adni az olajtartály és plusz csövezés tömegét.

		kenőanyag áramlási biztonság	tömeg [kg]	know-how igény
Olajzás típusa	nedves karter	*0	-2 (10)	*1
	félszáraz karter	*0,5	-2 (10)	*0,5
	száraz karter	*1	0	*1

8. táblázat Olajzás típusok pontszámai

2.7.5 Oldalak meghatározása

Mért paraméterek: nincs

A főtengely kihajtás jármű kötöttségi okokból bal oldalon szükséges. Ezen túl kérdés, hogy a kihajtással azonos, vagy ellentétes oldalon legyen elhelyezve a vezérlés. Ezt a főtengely forgásiránya határozza meg. A (dolgozat témájától függetlenül) kiválasztott KTM ... hengerfej balra forgó főtengelyt tesz lehetővé, így az olajleválasztás szempontjából megfelelő forgásirány csak bal oldalon elhelyezett vezérléssel oldható meg. Ezen két érték éppen ezért súlyozó pontszámoktól függetlenül kötött.

2.7.6 Erőátvitel típusa, elrendezése

Mért paraméter: tömeg, erőátvitel konstrukciós biztonság

Korábban említésre került, hogy a főtengely kihajtás – kuplung kapcsolat típusa részben függ a henger dőlésszögétől. A konstrukciós biztonság méréséhez az adott erőátvitel típusok terhelhetőségét vettem alapul. Ezek aránya a megállapított pontszámokkal egyenes arányos úgy, hogy a legnagyobb átvihető nyomatékú kialakítás az adható legnagyobb pontszámot kapja.

		tömeg [kg]	erőátvitel konstrukciós biztonság
Erőátvitel típusa	közvetlen fogaskerék	-0,6 (3)	*1
	közlő fogaskerék	-0,3 (2)	*0,25
	lác	0 (0)	*0,25

9. táblázat Erőátvitel típusok pontszámai

2.7.7 Generátor – indítómotor

Mért paraméter: know-how igény

Ez a két részegység egybe és külön egyaránt működőképes lehet. Jelenleg a csapat nem rendelkezik elegendő know-how mennyiséggel ezen a területen, ezért a ritkább és nehezebb megoldásnak számító, egyben generátor és indítómotor funkciót ellátó részegység 0 know-how pontszámot kap. Jelenleg konstrukció csak külön generátor és külön indítómotorral készülhet.

2.7.8 Lendkerék

Mért paraméter: erőátvitel konstrukciós biztonság, élettartam

Lendkerék felszerelhető, ugyanakkor ennek tömege a főtengely tömegét növeli, azaz egy masszívabb főtengely esetén kisebb lendkerék is elég, netán elhagyható.

Mindkét paraméter a konstrukciós kialakítás függvényében tág határok között mozoghat. Lendkerék esetén egy nehezebb tömegű rendszer alakítható ki, ami csökkenti a szöglengéseket, ami az erőátvitel konstrukciós biztonságára jó hatással van, ellenben csökkentia főtengely élettartamát. A két paraméter megbecsléséhez segítségül kértem a főtengely részleget is.



Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.

Konzulens: Dudás Alexander

		erőátvitel konstrukciós biztonság	tömeg [kg]
Lenkerék	van	*1	0 (0)
	könnyített vagy nincs	*0,25	-1 (5)

10. táblázat Lenkerék alapján adható pontszámok

2.7.9 Konceptió változatok összeállítása és jellemzése

2 vagy 3 konceptió létrehozása és jellemzése során megbecsülhető az a motor összeállítás, amely a várható célokhoz a legközelebb esik. Természetesen nem elegendő pusztán a súlyozott pontszámok figyelembe vétele, mivel azok pusztán egy becslés alapján egyfajta közelítésként funkcionálnak. Ugyanakkor a korábbiakban leírtak alapján egy bizonyos irányt megmutathat, esetleg kérdések feltevésére ösztönözhet.

Az alábbi táblázatban látható a legmagasabb összes pontszámot kapott konceptió. Ez 20°-os hengerdöntést tartalmaz, ugyanakkor komoly kérdés volt egy időben a 60°-os hengerdöntés (amelyről nehezen mondtunk le anno), így egy ugyanolyan értékekkel, de 60°-os hengerdöntéssel is megvizsgálható egy lehetséges konceptió. Végül az elfogadott, és jelenleg megvalósítás alatt álló konceptiót is érdemes elemzés alá vonni.

Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.

Konzulens: Dudás Alexander

Kialakítások	Legmagasabb pontszámú koncepció	- pont számai	60°-os hengerdöntésű koncepció	- pont számai	EVO3 koncepció	- pont számai
váltóház integráció	igen	6,5	igen	6,5	igen	6,5
differenceálmű ház integráció	nem	0	nem	0	nem	0
olajpumpa ház integráció	igen	1	igen	1	nem	0
vízpumpa ház integráció	nem	0	nem	0	nem	0
henger döntési szög	20°	7	60°	4	20°	7
osztás síkja	függőleges	7,5	függőleges	7,5	függőleges	7,5
váz kialakítás jellege	„félíg önhordó”	10	„félíg önhordó”	10	„félíg önhordó”	10
olajkör kialakítás	félszáraz kartertér	2,5	félszáraz kartertér	2,5	száraz kartertér	2,5
főtengely kupplung áthajtás	közvetlen fogaskerék	3	közli fogaskerék	0,5	közvetlen fogaskerék	3
Lendkerék van-e	nincs	0	nincs	0	nincs	0
Össz pontszámok	-	36,5	-	32	-	35,5

11. táblázat Koncepció változat pontszámok összegzése, változatok összevetése

Könnyen kiértékelhető a táblázat, a jelenleg elfogadott koncepció meglehetősen megközelíti a módszer által legjobbnak ítélt koncepció változat összes pontszám értékét. A jelenlegi döntést néhány olyan, a módszer által nem „programozott” körülmény is befolyásolta, ami alapján nagy százalékban kijelenthető, hogy jó, és hatékony döntést hozott meg a csapat. A módszernek, ahogy korábban említésre került, nem csak a helyes koncepció felállításában való segítség a cél, hanem a tervszerűségnek és „sorvezető jellegnek” köszönhetően abban is sokat segíthet, hogy ez a koncepció még időben, a „conceptfreeze” időpontja előtt állhasson össze.

Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.

Konzulens: Dudás Alexander

Fontos ugyanakkor megjegyezni, hogy ez a módszer inkább csak egyfajta indikátor, például az egyes koncepciók pontszámainak arányai nem feltétlen jelzik, hogy valójában a két különböző koncepció hasznossága milyen arányban áll egymással. Ugyanakkor a legjobb pontszámot kapott koncepciók nagy eséllyel lehetnek a legjobbhoz valóban közelítő koncepciók.

A továbbiakban a „hivatalos” Szengine EVO3 koncepció alapján kerül bemutatásra a forgattyúház konstrukciós tervezése.

3 Konstrukciós tervezés és szimuláció

A fejezet a fentiekben bemutatott motor koncepció egy alkatrészének konstrukciós tervezését írja le. A tervezés során létrehozott egyes kialakítások, és azoknak a háttere adja a fejezet fő tartalmát. A fejezet kettős célja, hogy egyben a Hallgatói Motorfejlesztő Kht. dokumentációja is lesz.

A szimulációval foglalkozó fejezetben mutatok be nem általam kidolgozott eredményeket. Ezeket az eredményeket a konstrukciós tervezés folyamán felhasználtam, ezért bemeneti eredményként bemutatásuk szükséges.

3.1 Konstrukciós tervezés feladatai

A konstrukciós tervezés feladatai az alábbiakból tevődnek össze.

3.1.1 Fő elrendezés

Elsőként a fő elrendezés kialakítását szükséges rögzíteni. A henger döntése adott, a döntés megkönnyítése érdekében ugyanakkor készülhet vázlatos modell több különböző hengerdöntéssel. Ugyan nem a koncepciótervezési szakaszban, de ebből a célból elkészült három különböző modell, egy 30°-os, egy 60°-os, és végül egy 20°-os henger döntésű modell.



3. ábra Bal oldalon 60°-os, jobb oldalon 20°-os hengerdöntés

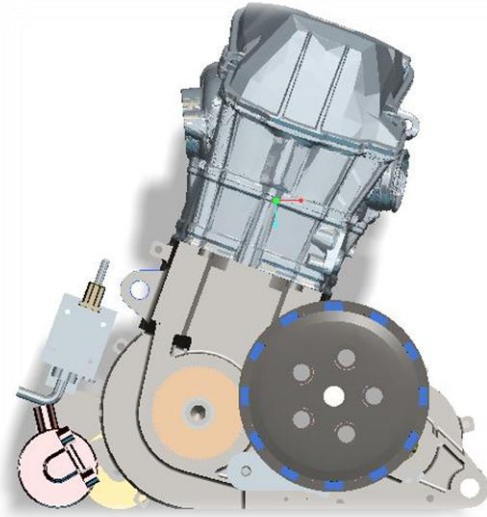
3.1.2 Váltó tengelyek, kuplung, kuplung-áthajtás elrendezése

A következő fontos lépés a váltó tengelyeinek az elhelyezése. A váltó négy tengelyt tartalmaz, egy primer és egy szekunder tengelyt, a kukac tengelyt, illetve egy a lamellákat tartó tengelyt. A legnagyobb tömeggel a primer és szekunder tengelyek rendelkeznek, így a lehetőségek függvényében azokat kell a legalacsonyabbra tenni. Ugyanakkor a primer tengely esetében egy komoly kötöttség, hogy ezen a tengelyen kell elhelyezni a kuplungot. Egy vázlatos tervként felmerült a kuplung elhelyezése a főtengelyen, ugyanakkor ez kedvezőtlen áttételezést tenne csak lehetővé a főtengely és primer tengely között (fontos megemlíteni,

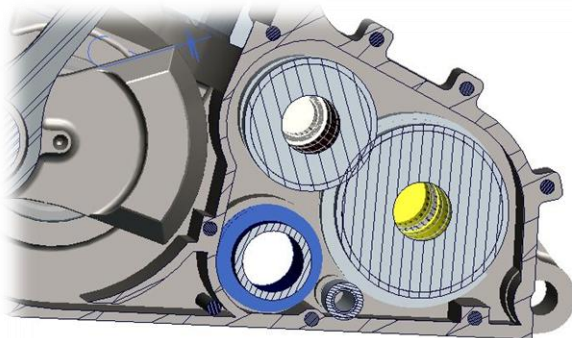
Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.
Konzulens: Dudás Alexander

hogy a főtengely – primer tengely közötti áthajtás egyik eleme a kuplung kerületén lévő fogas koszorú). A kuplung mérete miatt a primer tengely viszonylag magasra kerül, így az alá a kukac tengely betervezhető. A szekunder tengelynek a kukac tengelyhez mérten fix távolságra kell lenni, ezen kívül más kötöttség nincs, ezért azt minél alacsonyabbra érdemes helyezni.



4. ábra EVO3 motor elrendezés

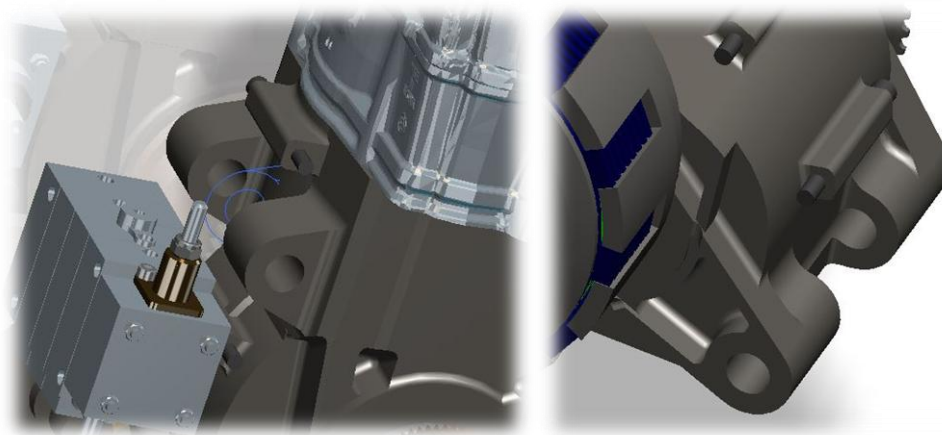


5. ábra Integrált váltótér elrendezése

3.1.3 Felrögzítési pontok

Érdekes kérdés még a forgattyúház felrögzítési pontjainak elhelyezése. Ezeken a pontokon keresztül történik az egész motor rögzítése, így annak teljes tömegét el kell tudnia viselni. Továbbá figyelembe kell venni, hogy ezeken a pontokon jelentős fárasztó igénybevétel is hat, ami alumínium esetén különösen problémát jelenthet. Tömegcsökkentés céljából érdemes 2 rögzítési pontot használni (motorkerékpároknál általában 3 ilyen pontot használnak, FS csapatok többnyire csak 2-t).

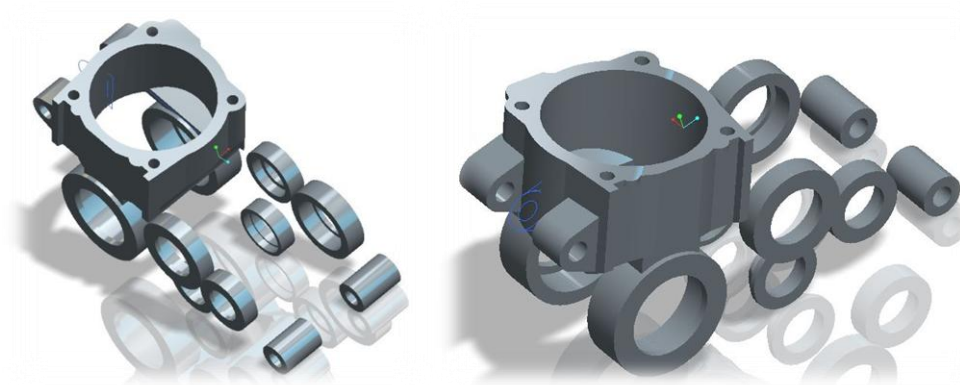
A felrögzítő pontok fontos hogy eltérő magasságban legyenek, mivel a motor 2 felrögzítő pont esetén a két pont közötti tengely körül tud elfordulni. Amennyiben a két felrögzítő pont közötti tengely nem vízszintes, így az oldalirányú billenési hajlam csökkenthető. A rögzítési pontok magasság eltérését természetesen elsősorban a konstrukciós szempontok határozzák meg, és csak másodsorban az említett, billenési hajlam.



6. ábra Motor felrögzítési pontok

3.1.4 Fő terhelt pontok megrajzolása

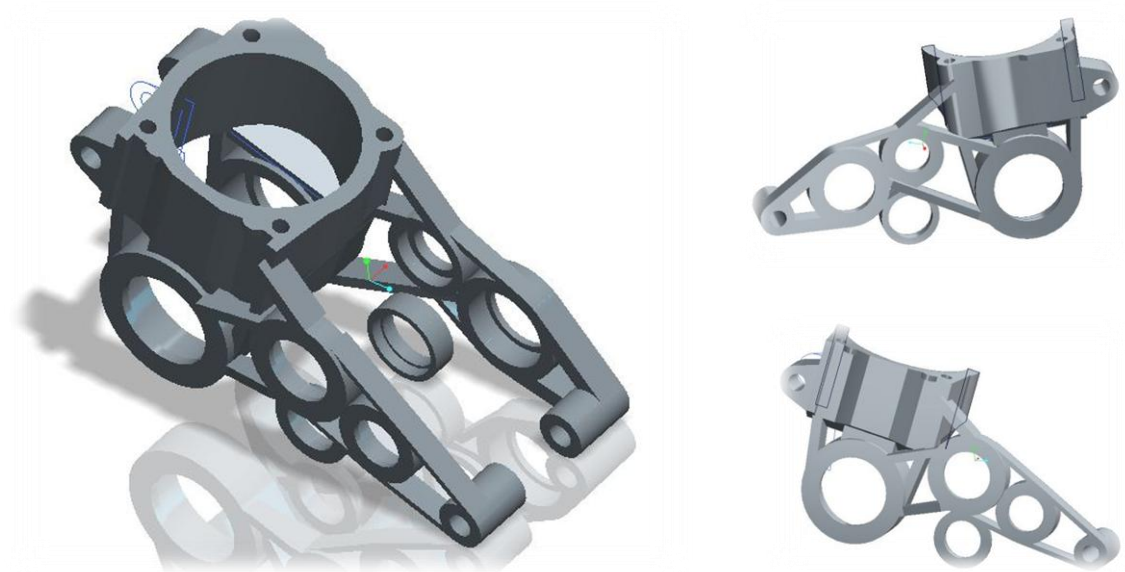
Amikor ezek, illetve a nem említett, de már szintén kötött pontok rögzítésre kerülnek, akkor ezeken a pontokon meg kell rajzolni a szükséges kialakításokat. A hengerfejsavarok furatai, a henger illesztő peremének ellendarabja, a főcsapágyak fészkei, a primer, szekunder, és kukactengely csapágyak fészkei megrajzolásra kerülhetnek. A csapágyfészkeknél figyelembe kell venni a csapágyakra ható erő különbségeket. A különböző áthajtások miatt az azonos tengelyek különböző oldalain is olykor erősen eltérő eredőjű és nagyságú erők hatnak, ami miatt a csapágyfészkeket különböző méretűre érdemes kialakítani. Ahol már megfelelően látható a környezet, a vázlatosan megtervezett felrögzítő szemek is felrajzolhatók. Ezzel a lépéssel rögzítésre, és felrajzolásra került minden olyan kialakítás, amely valamilyen erőnek a támadáspontja, vagy valamilyen erőt közvetít. Ezek a legjobban igénybe vett pontok (ezek között kivétel a kukactengely csapágyfészkek, ezeken viszonylag kis erő „esik”).



7. ábra Fix felületek, és fő terhelést felvevő kialakítások modellje

3.1.5 Vázrendszer megajzolása

A megfelelő erőtovábbítás céljából meg kell határozni azt a vázrendszert, amely biztosítani képes egy megfelelő merevséget, és erő-továbbítást a különösen terhelt pontok között. A vázrendszernek ezen kívül biztosítania kell, hogy a csapágyfészek alakja terhelés alatt se változzon különösen (ez a kritérium súrlódó csapágyak esetén különösen fontos lenne, hogy az olajfilmet ne törje meg az oválissá torzult csapágyfészek; gördülőcsapágy esetén ez a követelmény mérsékelt), illetve biztosítania kell, hogy a váz két oldala közel hasonlóan deformálódjon. Ez úgy biztosítható, ha a váz szerkezet kvázi hasonló felépítésű mindkét oldalon, és csak a különböző terhelésekből adódó erőfolyam különbségekhez igazodóan a bordák keresztmetszete változik. Különös és érdekes kérdéskör még a csapágyházak és bordák találkozási pontjai. A legkisebb alakváltozást az adja, ha (két borda esetén) a bordák a csapágyfészekkel tangenciálisan érintkeznek, ugyanakkor ez a kialakítás pont a legjobban terhelt pontot nem támasztja alá, ahol akár károsodhat is az alkatrész. Ezzel ellentétes kialakítás, ha csak egy borda van két csapágyfészek között, és az a csapágyfészek közötti tengelyen fut. Ez a leginkább igénybe vett pontokat támasztja meg, ellenben nagyon nagymértékben deformálja a csapágyfészkeket. A megfelelő „arany középút” általában a két különböző kialakítás között van. Az ideálishoz közelítő megoldás egyéni szimulációk útján kereshető meg.



8. ábra Vázrendszer kialakítása

A főcsapágyak bordázása elsősorban a hengerfej csavarokkal teremt kapcsolatot. A főcsapágyak távolsága szükséges, hogy közel azonos legyen a hengerfej csavarok távolságával. Ez a csavaró irányú belső feszültségek csökkentésének érdekében hatékony lépés.

Továbbá szimulációs eredmények alapján látható, hogy a forgattyúház deformációját nagymértékben befolyásolja a főcsapágyak merevítése, éppen ezért a jármű menetirányának megfelelően elől lévő bordákat jelentősen vastagítani kell a hátul lévő bordákhoz képest. Ez elsősorban a váz két felrögzítő pont közötti „behajlását” akadályozhatja meg.

A menetirány szerinti elől lévő felrögzítő szem erős fárasztó igénybevételnek van kitéve, így annak megfelelő merevítése szükséges.

A bordázás egy jellegzetes pontja a főcsapágyak fészkei és primer tengely csapágyfészkei között kialakult Z tartó. Ez nem szándékos, a főcsapágy bordázás és primer bordázás hasonló borda – konstrukciót kaptak, ugyanakkor az eltérő irányok „automatikusan” hozták létre a Z alakot, mely statikailag egy kifejezetten előnyös geometria. A térség ahol ez az alakzat fekszik egy egyébként kifejezetten terhelt terület. A két felrögzítő tartó között egy olyan területen fekszik, ahol közel a legnagyobb az alakváltozás, így az alakzatkedvező statikaihatása jól befolyásolja a forgattyúház terhelés során bekövetkező alakváltozását.

Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Konzulens: Dudás Alexander

Készült: 2014.04.16.

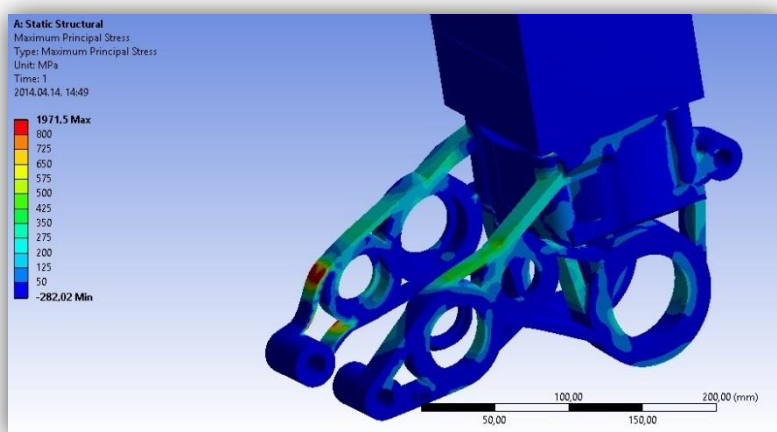
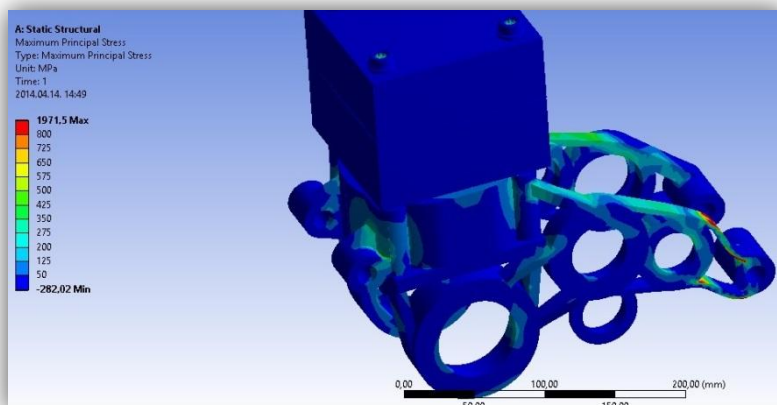


9. ábra Bal oldalon Z átkötés, jobb oldalon srégen kialakított bordák

A bordázat kialakítása során további érdekes pont az, hogy sok esetben egymástól oldalirányba eltérő felületek között kell bordát kialakítani. Ugyan némi csúsztató feszültséget is létrehoz, mégis a felületeket „legrövidebb tengelyen” összekötő bordák létrehozása a jelenlegi legjobb megoldás.

3.1.6 Szimuláció a vázszerkezetről

A vázszerkezet vizsgálata szimulációval történt. A szimulált eredmények során a fő cél elérése egy olyan váz kialakítása volt, amely már önmagában fel tudja venni a kialakuló feszültség értékeket. A használt anyag (Perunal, Al 7075-T6) anyagjellemzőiről elmondhatók hogy több mint kiválóak, az alumíniumoknál megszokott kedvező sűrűség mellett az acélok közép – felső középtartományában megszokott szakítószilárdsága jellemzi. Ez 500 MPa körül alakul, a folyáshatár valamivel 400 MPa felett van. Az alábbi ábra tanulsága alapján ezt a követelményt a kialakított konstrukció hozza. A köpeny teherviselő hatása a beépített biztonsági tényezőt, illetve élettartamot növeli. Az eredményeket Sípos Dáviddal, a forgattyúház részleg új szimulációsával együtt készítettük.



10. ábra Vázszerkezet szimulációja két oldalról (egyres pontok különösen nagy terhelése időközben javításra került)

3.1.7 Köpeny, olajpenge kialakítása

A forgattyúház függőleges osztású, így a két forgattyúház fél egymáshoz rögzítése, illetve esetleges egymáshoz rögzítést szolgáló bordázat kérdését is felveti. Az általános köpeny falvastagság (köpeny a bordák közötti anyag kitöltés) 3-4mm között alakul, amely a minimális fellépő oldalirányú erőket bőven fel tudja venni.

A köpeny létrehozása során elsőként egy biztonságosabb, 4mm falvastagsággal történt. Ennek elsődleges oka a gyártástechnológiai biztonság elérése, másodsorban a köpeny merevítő hatásának fokozott kihasználása. Esetleges tömegcsökkentés elérése érdekében a falvastagság esetlegesen csökkenthető.

A köpeny kialakítása során további feladat az olajpenge, illetve a váltó tér és karter tér különböző szélessége közti átvezetés kialakítása. A két kialakítás meglehetősen közel van egymáshoz, tulajdonképpen összefüggnek, így tárgyalásuk együtt is lehetséges.

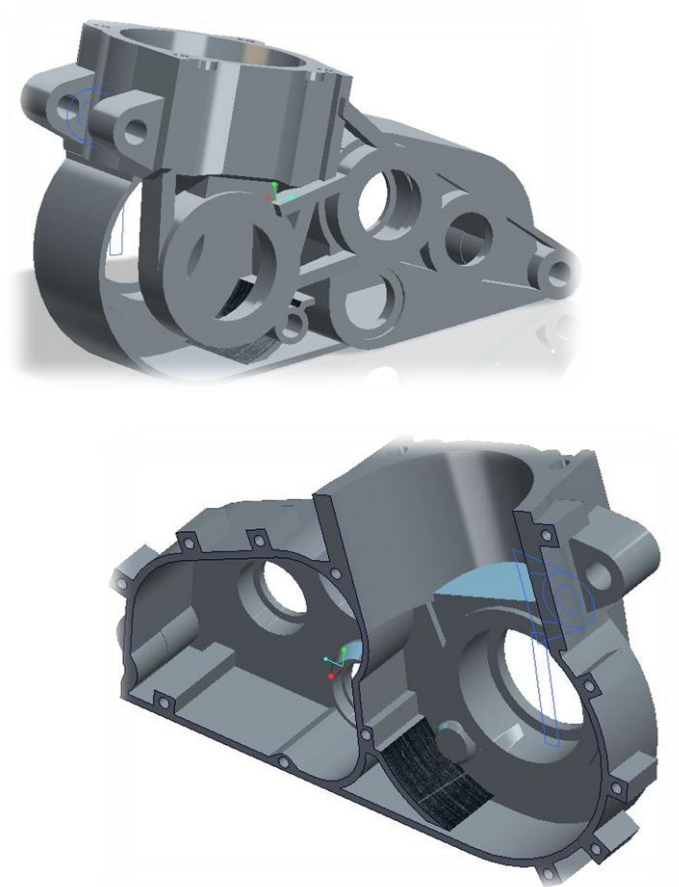
Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.

Konzulens: Dudás Alexander

Olajpenge kialakítás során több különböző verzió lehetséges. Van egy és két pengés változat, lehet alkalmazni „visszacsapó” csappantyút, amely akkor nyit ki, amikor a dugattyú éppen lefelé mozog és túlnyomást hoz létre, azonban amikor felfelé mozog, akkor az általa keltett depresszió bezárja a csappantyút, és megakadályozza az olaj visszafelé mozgását.

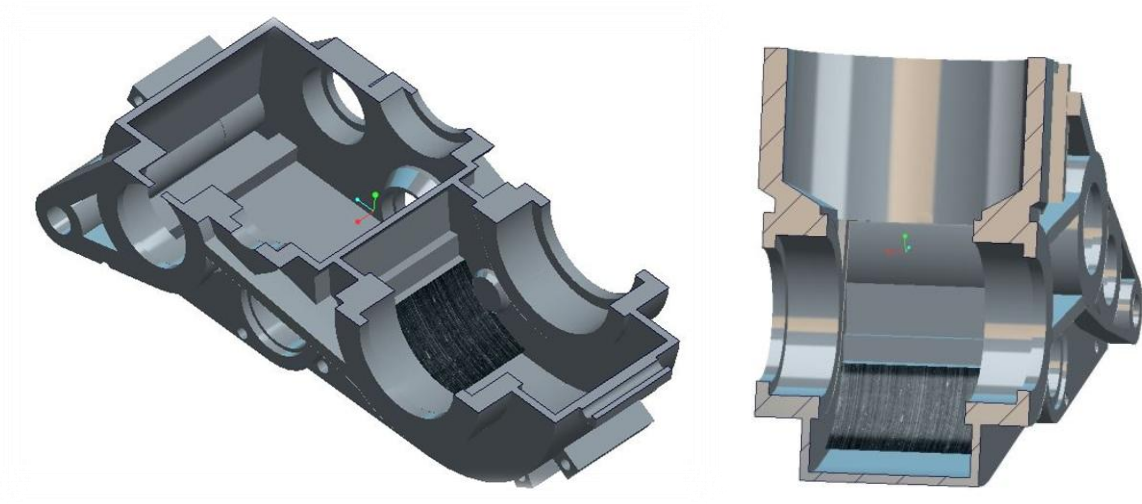
A jelen forgattyúház több változatánál megrajzoltam több különböző kialakítás változatot, amelyek az alábbi képen láthatók. Az 450 SXF forgattyúházának kialakítása alapján a végleges konstrukció egy olajpengés, csappantyú nélküli.



11. ábra Köpeny és penge kialakítások vázlatosan

3.1.8 Váltó és kartertér, illetve henger – karter tér átmenetek kialakítása

Az eltérő szélességből eredő átmenet egy viszonylag egyszerű kialakítással áthidalható, amely viszonylag forgácsoló barát, ugyanakkor konstrukciós szempontból sem hordoz magában jelentős hátrányokat.



12. ábra Köpeny szélesség átmenetek

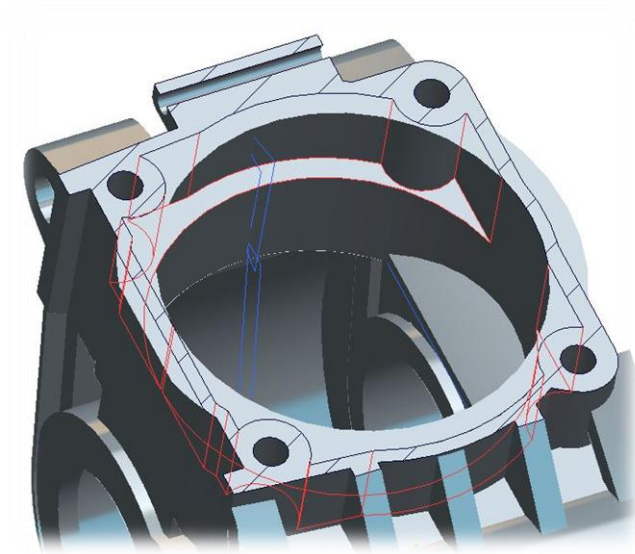
Érdemes megemlíteni a főcsapágyaknak és környezetüknek a henger síkjában készített metszetét. Ez alapján látható a problémakör, ami kérdéseket vetett fel a tervezés során. A henger illesztő perem és az igényelt főcsapágy távolság egymástól eltérő, így a két „szélesség” között egy átmenetet kellett kialakítani. Ez az átmenet kikerülhetetlenül létre hoz valamennyi csavaró feszültséget, ugyanakkor némi anyagmegtakarítást is jelent, illetve egy viszonylag jó támasztást biztosít a főcsapágy fészkek számára.

3.1.9 Hengertalp sík alatti területen történt tömegcsökkentés

A forgattyúház kialakítása során meglehetősen fontos törekedni a lehetséges tömegcsökkentésre. Az eddig a pontig elkészült modellben egy jelentős változtatást igénylő pont van, ez pedig a hengertalp sík alatti terület. Ezen a területen a kezdeti konstrukció alapján kb. 0,3 – 0,5 kg felesleges anyag van. Ez az anyagmennyiség ugyanakkor egy olyan területen helyezkedik el, ahol meglehetősen komoly feszültségek ébrednek, és nehéz kiszámítani, hogy mely területen szabad elvenni, és hol nem szabad.

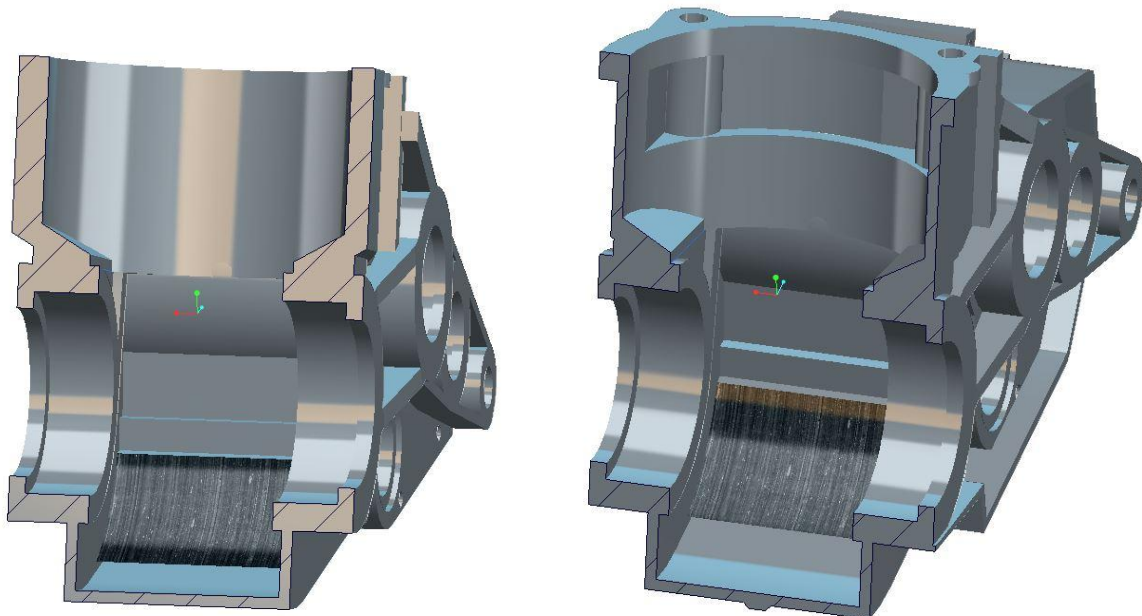
Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.
Konzulens: Dudás Alexander



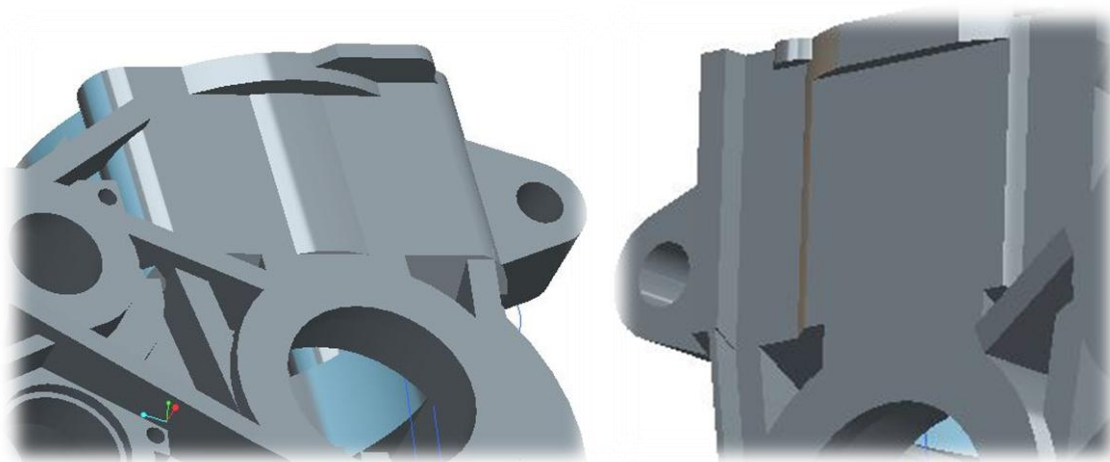
13. ábra Kikönnnyítés kialakítása

Kezdeti kiindulási alapként az 450 SXF forgattyúház kialakítását vettem figyelembe. A kialakítások és anyagvastagságok meglehetősen hasonlóan oszlanak el. Mivel mind a két motor hasonló igénybevételt kap, így méretezési alapnak is használható. A FEM eredmények alapján ez a terület tovább csiszolható.



14. ábra Kikönnnyítés előtt és után

További érdekesség, hogy a nagy síkfelületek terhelés hatására képesek belengeni, akár a hallható hang tartományán belül. Így a nagy síkfelületeket érdemes valamilyen felületekkel megtörni, ami miatt vannak kialakítások a hengerfej oldalán is.



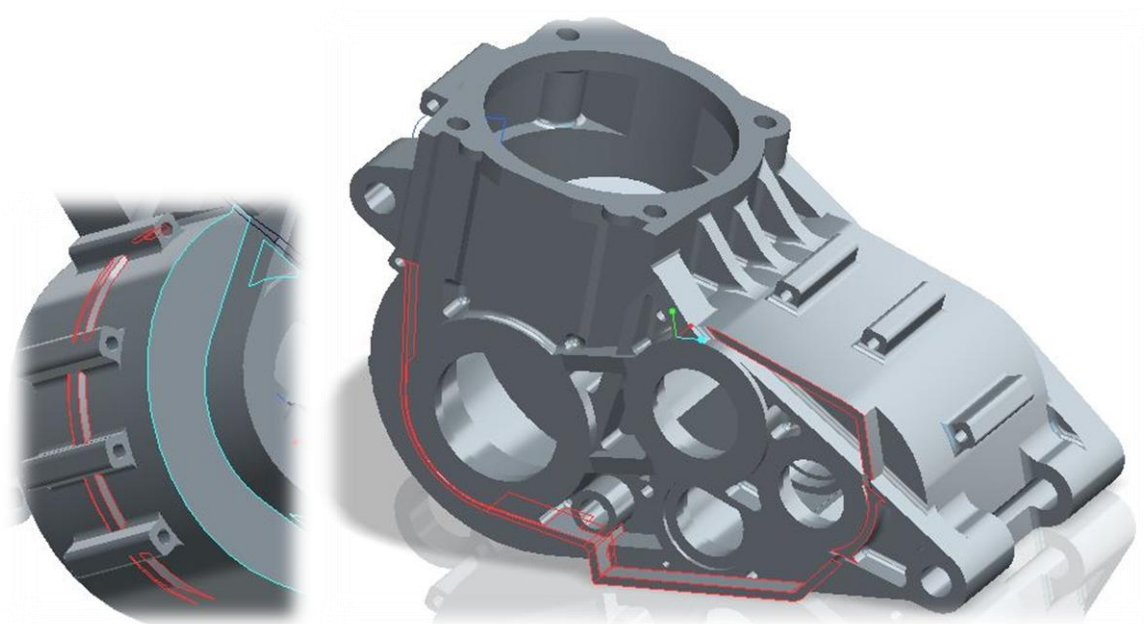
15. ábra Megtört sík felületek

3.1.10 Tömítések

A két forgattyúház fél között egy megfelelő rögzítés, és tömítés kialakítása szükséges. A rögzítés csavarokkal történik, a tömítéshez pedig egy megfelelően széles (kb. 5-6 mm) tömítő felület, és tömítő paszta szükséges. A tömítő felület szélessége nagyobb, mint forgattyúház falvastagsága, így a tömítés határán anyagvastagítás szükséges. Ez tervezhető a forgattyúházon kívülre, és belülre egyaránt. A kívülre tervezett növesztés a forgattyúház alsó felületén előnytelen, mivel az egész ház tömegét növeli kb. 2 – 4 mm-el, ugyanakkor a belülre tervezett növesztés csak speciális marószerszámmal valósítható meg, ami a jelen gyártási folyamatnál ésszerűtlenül drágává tenné a folyamatot.

Az összefogató csavarok mérete és sűrűsége tapasztalati úton lett meghatározva. Ezek elhelyezése során fontos volt a lehetséges egyenletesség. Ez a meglehetősen szűkös hely miatt a váltó és kartertér határoló fala és az olajpenge térségében meglehetősen nehéz feladat, és a kívánt sűrűség nehezen érhető el teljes mértékben.

Miután a fő részegységek kialakításra kerültek a forgattyúházon belül, elkezdődhet az ezekre épülő egységek, esetlegesen kapcsolódó részegységek kialakítása. Ezek a részegységek már tulajdonképpen nem részei a forgattyúháznak, mivel több esetben külön csatlakoztatott egységekről van szó. A konstrukciós kialakítás váza, lényegi része elkészült, a csatlakozó egységekhez maximum furatokat és azokhoz tartozó erősítéseket, „felöntéseket” kell a forgattyúházra tervezni.



16. ábra Tömítő felületek

3.2 Szimuláció feladatai

A szimuláció két fő részre osztható, az egyik az egydimenziós szimuláció, a másik a háromdimenziós szimuláció. Egydimenziós szimuláció esetén valamilyen adott terhelés konkrét értékét számolják ki, háromdimenziós esetben pedig valamilyen térbeni alakzat egyes területein/részein valamilyen fizikai jellemző mennyiségét/értékét számolják. Általános esetben az egydimenziós szimuláció adja meg a háromdimenziós szimuláció terhelés értékeit, tehát a két szimulációs típus egymásra épül. A forgattyúház vizsgálata egyaránt tartalmaz egy, és háromdimenziós szimulációt. Ezeket részletesen bemutatom, ugyanakkor a megjelölt eredmények kivételével egyik sem tartozik a saját eredményeim közé. Ugyanakkor a forgattyúház fejlesztési folyamatának bemutatása igényli, hogy egy kis kitekintést tegyünk erre a területre is. A szimulációt párhuzamosan két úton futtattuk le, egyrészt a két különböző úton kapott eredmény összehasonlítható, másrészt a forgattyúház részlegen jelenleg betanulás alatt álló új csapat tag számára az egyszerűbben tanulható Ansys szimuláció egy kézenfekvő lehetőség, ugyanakkor a nemrég leköszönt szimulációs csapat tag még utolsó feladatként egy komolyabb szaktudást igénylő, ANSA + Abaqus szimulációt végzett el.

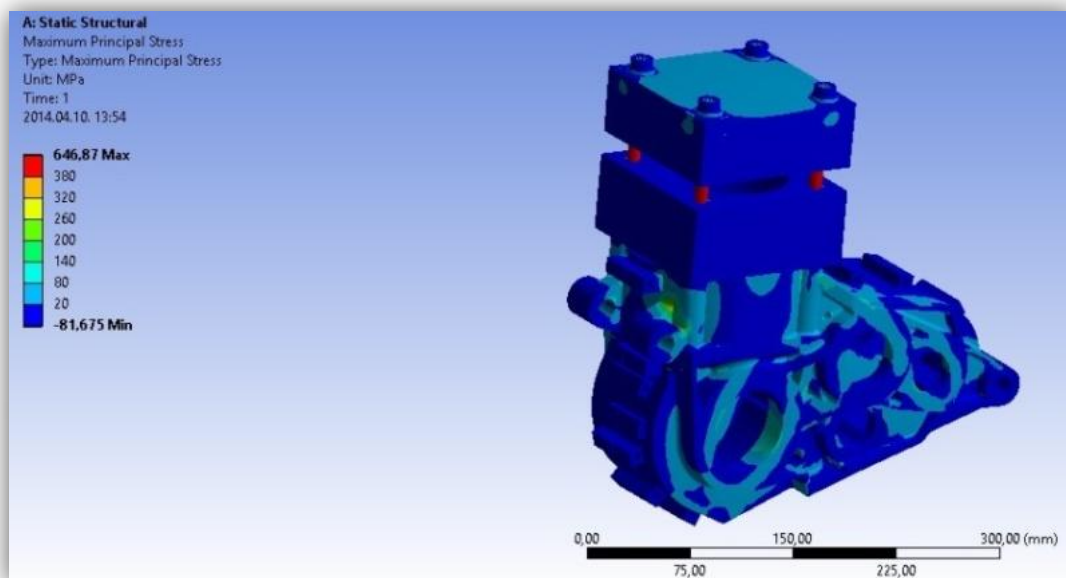
3.2.1 Egy dimenziós szimuláció + Ansys szimuláció

Az egy dimenziós szimuláció két külön úton lett számolva, egyrészt a Szengine korábbiakban szimulációval foglalkozó tagja (Horváth Péter) csinált egy Excelben megírt „programot”, illetve a váltó részleg egyik új tagja (Tóth Máté) csinált betanulásképpen egy egyszerű, szintén Excelben megírt terhelésszámolást. Szimuláció során alapvetően a Horváth Péter által

Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.
Konzulens: Dudás Alexander

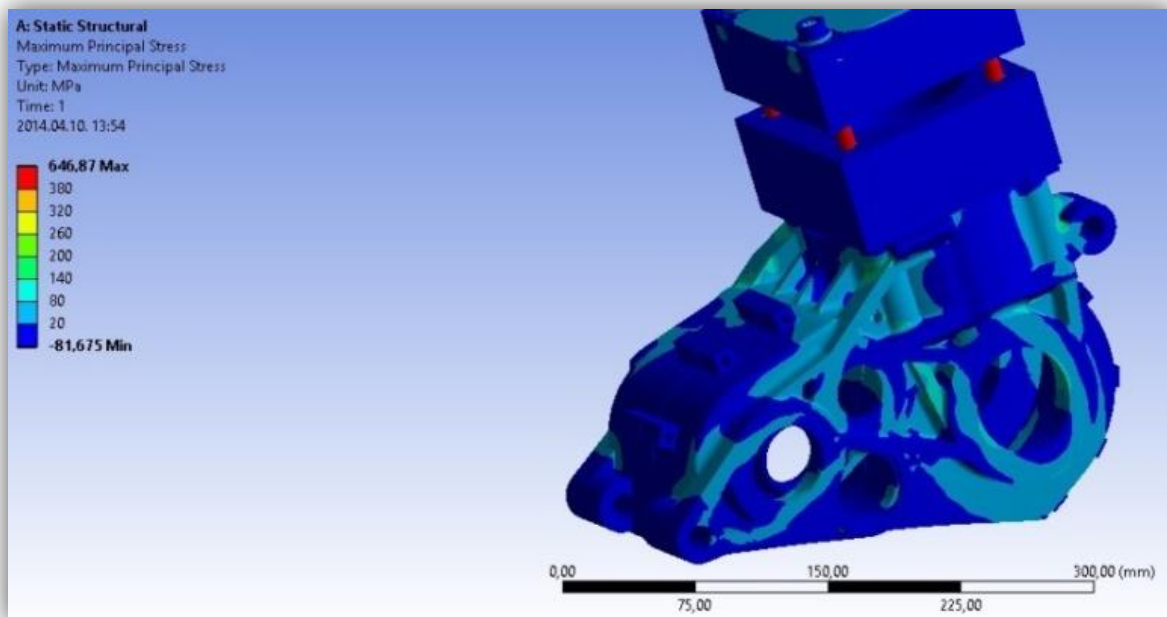
készített Excel táblázatokat használtuk, amely a főcsapályákra és a váltó csapályákra egyaránt henger koordináta-rendszer szerűen megadva kiszámolta a csapágyfészek felületre ható erőket t [s] és szög $[\circ]$ függvényében. Statikus strukturális szimuláció (ez vázlatos, de alapvető tájékozódáshoz elégséges eredményt ad) esetén a legnagyobb értékeket használtuk minden csapályára, tranziens esetben pedig a főcsapályákra felhasználtuk a teljes henger koordináta-rendszert, váltó csapágyfészeknél viszont statikus strukturális szimulációt végeztünk el a számítási kapacitás végeessége miatt. Az első szimulációk Excell + Ansys felhasználásával készültek. Az Ansys szimulációkat Horváth Péter segítségével a forgattyúház részleg jelenleg betanuló új tagja (Sipos Dávid) végezte el. A látható leggyengébb ponton (első felfogatók előtti kikönnnyítés - itt 260 - 320 MPa közötti feszültség ébred) merevítettem a rendszert (ez a 6. ábrán látható).



17. ábra Ansys szimulációs eredmények - 1

Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.
Konzulens: Dudás Alexander



18. ábra Ansys szimulációs eredmények - 2

3.2.2 ANSA + Abaqus szimuláció

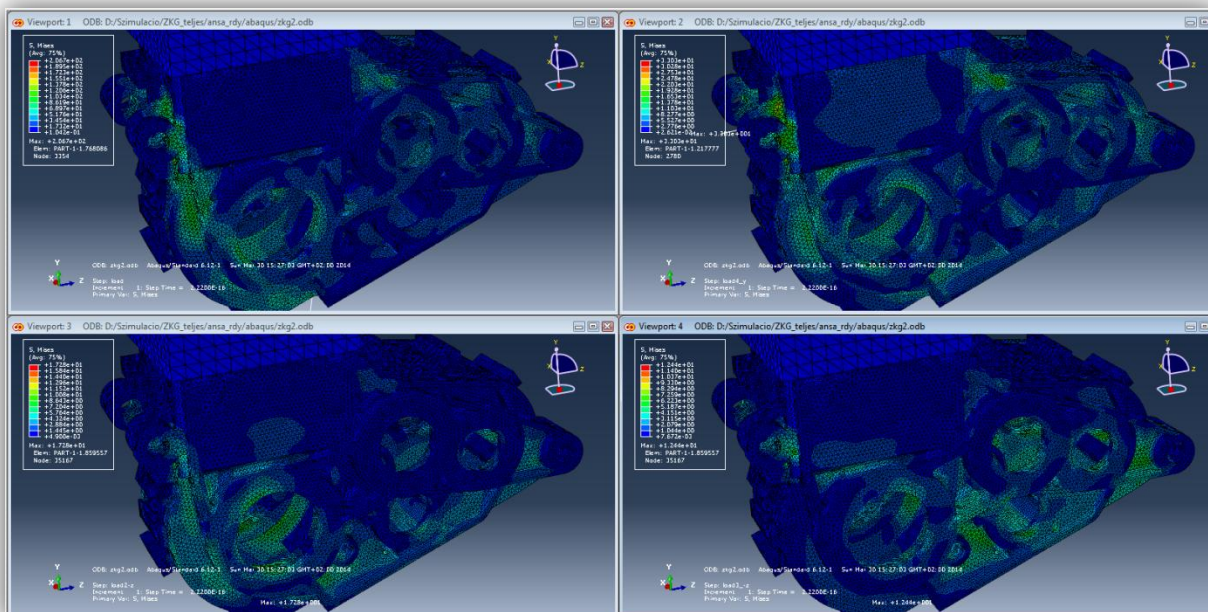
Egy külön pre-processor program és egy külön solvernek használt szimulációs program együttes használata egy meglehetősen pontos eredményt tud adni. Egy, a korábbiakban a csapatnál dolgozó, azóta az iparban elhelyezkedett tag utolsó feladatként végezte el ezt a szimulációt, illetve segíti több részlegről az új csapattagok betanítását. Az ANSA meglehetősen jó lehetőséget biztosít az integrált szimulációs programokhoz képest egy meglehetősen jó minőségű, jól számolható hálókészítésére. Így a kapott eredmény is jobban közelít a valósághoz. Egy jelentős hátránya, hogy az integrált programokhoz képest jóval több időt és „szakértelmet” igényel.

A solvernek használt program ez esetben az Abaqus. Solverként használható lehetne az Ansys is, ugyanakkor a különböző programok révén összehasonlítható eredmények kaphatók.

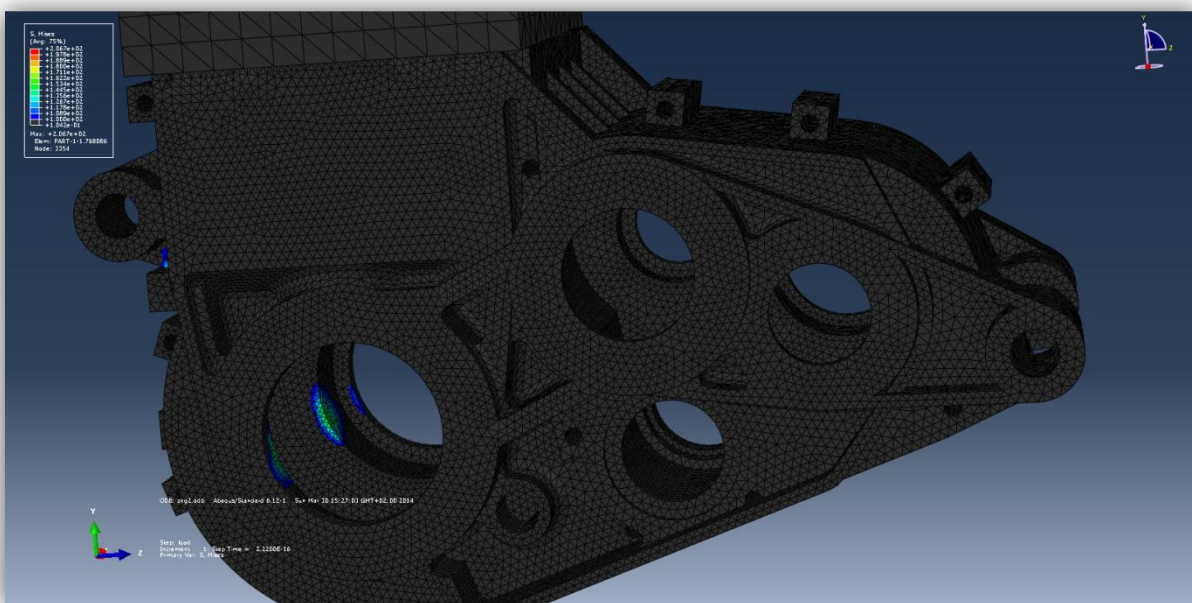
Az Abaqus eredményei az ábrákról számszerűleg nem olvashatók le, a maximális feszültség 200 MPa körül alakul.

Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése
Szerző: Matus István

Készült: 2014.04.16.
Konzulens: Dudás Alexander



19. ábra Abaqus szimulációs eredmények - 1



20. ábra Abaqus szimulációs eredmények - 2

A bemutatott szimulációs eredmények (mindkét programmal) jó közelítéssel mutatják, hogy a forgattyúház a várható terhelések hatására nem károsodik, a funkcióját üzembiztosan el tudja látni. A legnagyobb terhelés az Ansys és Abaqus programokon lefuttatott szimulációk alapján 200 MPa körül alakul, ami a tervezett 7075-T6 Alumínium ötvözet folyáshatárának a fele.

Kialakult forgattyúház jellemzése, összegzés

Egy projekt kialakítása és végigvezetése során meglehetősen fontos szempont, hogy a korábbi projektekből eredő tanulságok beépítésre kerüljenek, illetve az adott projekten végzett munka során megszerzett tapasztalatok, tanulságok valamilyen módon dokumentálva, összegezve legyenek. A jelenlegi projekt lehetőséget adott korábbi hibák kijavítására, további sok a korábbiakban megszerzett know-how került felhasználásra. Ugyanakkor fejlődési lehetőségek jelenleg is nyitva állnak. A bemutatott döntési mátrix tervezet a következő generációk fejlesztése során kerül bevezetésre. Fontos hogy ez a rendszer megfelelően illesztett legyen a Szengine feladatköréhez és céljaihoz, ezért kapott jelentős szerepet a döntési mátrix kidolgozása a tdk dolgozatban. A bemutatott rendszer jelenleg még egy előzetes „próbaverzió”, az EVO4 motor koncepció tervezése előtt és annak során csiszolása, tökéletesítése várható. Mégis, ez a döntési mátrix alkalmas arra, hogy az EVO 3 koncepciót leellenőrizze, és néhány alternatívát nyújtson.

Ugyanakkor a dolgozat megírása során egy másik, jelentősebb eredmény a Szengine EVO3-as motorjához elkészült forgattyúház. A forgattyúház tömege jelenleg meglehetősen kedvező érték, 3,7 kg, szemben a hasonló felépítésű és üzemi paraméterekkel rendelkező motorkerékpár általános ~5kg tömegével. Természetesen figyelembe kell venni, hogy jelen forgattyúház nem tartalmaz integrált olaj és vízpumpát, ellentétben a referenciaként felhasznált forgattyúházakkal, ugyanakkor a tömeg különbség nem csak ebből adódik, az eltérő üzemi paraméterek révén elérhető volt némi optimalás is. Egy meglehetősen szűk, éppen ezért könnyű ház, egy végeelem szimulációkkal ellenőrzött bordázás, és egy enyhén döntött elrendezés biztosít viszonylag kis beépítési méreteket, alacsony tömeget, alacsony súlypontot, és remélhetőleg kellő szilárdságot. Így kimondható, hogy a jelen forgattyúház a kereskedelemben kapható, hasonló kategóriás motorokhoz nagyon hasonló paraméterekkel rendelkezik, ugyanakkor néhány tulajdonsága (alacsonyabb tömeg, alacsonyabb várható élettartam, stb.) inkább egy versenyre optimalt forgattyúházat eredményez.

Természetesen még nagyon sok minden fog kiderülni az alkatrész gyártása, majd konkrét tesztelése során, mely tanulságok felhasználásra kerülnek a következő, EVO4 generáció fejlesztése során.

Ábrajegyzék

1. ábra a Szengine EVO1 motorjának rajza.....	10
2. ábra az EVO 2 motor forgattyúházának CAD modellje.....	10
1. táblázat FS versenyszámok pontozása.....	15
2. táblázat Motorparaméterek hatása a versenyszámok sikerességére	15
3. táblázat Súlyozó pontozás táblázatos bemutatása	16
4. táblázat Eldöntendő koncepcionális kérdések	17
5. táblázat Integrációs fok pontszámai	18
6. táblázat Elrendezés pontszámai	19
7. táblázat Váz kialakítás pontszámai.....	20
8. táblázat Olajozás típusok pontszámai.....	20
9. táblázat Erőátvitel típusok pontszámai	21
10. táblázat Lenkerék alapján adható pontszámok	22
11. táblázat Koncepció változat pontszámok összegzése, változatok összevetése.....	23
3. ábra Bal oldalon 60°-os, jobb oldalon 20°-os hengerdöntés	25
4. ábra EVO3 motor elrendezés.....	26
5. ábra Integrált váltótér elrendezése.....	26
6. ábra Motor felrögzítési pontok	27
7. ábra Fix felületek, és fő terhelést felvevő kialakítások modellje	28
8. ábra Vázrendszer kialakítása	29
9. ábra Bal oldalon Z átkötés, jobb oldalon srégen kialakított bordák	30
10. ábra Vázszerkezet szimulációja két oldalról (egyres pontok különösen nagy terhelése időközben javításra került).....	31
11. ábra Köpeny és penge kialakítások vázlatosan.....	32
12. ábra Köpeny szélesség átmenetek	33
13. ábra Kikönnyítés kialakítása.....	34
14. ábra Kikönnyítés előtt és után	34
15. ábra Megtört sík felületek.....	35
16. ábra Tömítő felületek	36
17. ábra Ansys szimulációs eredmények - 1	37
18. ábra Ansys szimulációs eredmények - 2	38
19. ábra Abaqus szimulációs eredmények - 1	39
20. ábra Abaqus szimulációs eredmények - 2	39



Dok. cím: Egy hengeres motor forgattyúházának tervezése és méretezése

Szerző: Matus István

Konzulens: Dudás Alexander

Készült: 2014.04.16.

Felhasznált Irodalom

Formula Student verseny szabályzat, pontozási rendszer

Dezsényi - Emőd - Finiciu - Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata

Halbitter - Kozma - Szalai - CAD-CAM Alapjai

Gál - Csizmazia - Gépjárműmotorok II.

KTM Repair Manual 2008 - 2013 400-530 EXC/XC-W