



Pannon Egyetem  
Mérnöki Kar  
Kari Tudományos Diákköri  
Konferencia  
2012



# C V T

ontinuously  
ariable  
ransmission

**(fokozatmentes sebességváltó) szerkezeti és nyomatékátviteli vizsgálata, az elektrohidraulikus vezérlés szimulációs és fizikai kivitelezésével**

Készítette: Szabó Attila, Varga Márton  
Témavezető: dr. Horváth Pál  
Mérnöki kar, Géptan Intézeti Tanszék

## **Tartalomjegyzék**

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Bevezetés .....                                              | 1  |
| Jelölések.....                                               | 2  |
| 1. Az automata sebességváltó története .....                 | 3  |
| 2. A sebességváltó megismerése.....                          | 4  |
| 3. Az egységek vizsgálata:.....                              | 8  |
| 3.1. Nyomatékváltó:.....                                     | 8  |
| 3.1.1. A nyomatékátvitel vizsgálata: .....                   | 12 |
| 3.1.2. A nyomatékátvitel forgómozgás esetén: .....           | 12 |
| 3.1.4. Matlab alkalmazása: .....                             | 14 |
| 3.2. A bolygómű: .....                                       | 16 |
| 3.2.1. A kivezetés és féltengelymeghajtás: .....             | 19 |
| 4. A CVT sebességváltó test vizsgálatának előkészítése:..... | 21 |
| 4.1. A sebességváltó váza: .....                             | 21 |
| 5. A CVT váltó vezérlése:.....                               | 22 |
| 5.1. Az olaj .....                                           | 22 |
| 5.2. A szabályzó vezérlőegység: .....                        | 23 |
| 5.3. Nyomásérzékelő.....                                     | 24 |
| 5.4. A sebességváltó folyadék TFT érzékelő .....             | 25 |
| 5.5. Léptetőmotor .....                                      | 26 |
| 5.5.1. A motor késleltetése: .....                           | 27 |
| 5.6. Nyomásszabályozó.....                                   | 27 |
| 5.7. Alapjárat/TCC forgásirány szabályozó mágnes szelep..... | 28 |
| 5.8. On-off szelep.....                                      | 29 |
| 6. A mérés kialakítása: .....                                | 29 |
| 6.1. A Vezérlés megvalósítása: .....                         | 32 |
| 6.2. A PIC-ek .....                                          | 32 |
| 6.3. Az áramkörök tesztelése és tervezése .....              | 34 |
| Irodalomjegyzék .....                                        | 38 |
| Mellékletek .....                                            | 39 |
| Melléklet 1: .....                                           | 39 |
| Melléklet 2 .....                                            | 40 |

## **Bevezetés**

A gépjárművek korábbi generációnál is fontos szerepet játszottak a sebességváltók különféle típusai. A sebességváltó egy olyan erőátviteli berendezés, mely fokozatosan, változtathatóan közvetíti, a motor nyomatékát a gépjármű kerekeire, valamint biztosítja a kocsiszekrény előre-, hátrameneteli mozgását.

A tudományos munkánk keretein belül egy áttekintést adunk a sebességváltók kialakulásának történetéről és részleteiben kitérünk a General Motors (továbbiakban GM) által gyártott CVT, - ismertebb nevén fokozatmentes automata sebességváltó – vizsgálatára.

Első lépésként ismertetjük a sebességváltó mechanizmusát, annak elektrohidraulikus vezérlési- és fogaskerék áttétel szegmenseit.

Második lépésben kialakítottunk egy megfelelő anyagminőségű és szerkezetű vázat, melyre rögzítettük a sebességváltó testet, eleget téve vizsgálati és kísérleti szempontoknak.

Munkánk során megépítettük a sebességváltó elektromos vezérlőegységét, kialakítottuk a sebességváltó villanymotoros, ékszíjas hajtását, előkészültünk a mérésre.

Matlab programban megközelítést végeztünk a nyomatékváltó nyomatékátvitelére a motor és a sebességváltó bemeneti tengelye között.

Lehetséges vizsgálati módokat és újabb továbbfejlesztési elméleti kidolgozást elkezdtek.

## **Jelölések**

GM – General Motors

TCM - Transmission Control Modul

TCC - Torque Converter Clutch

TFT Sensor – Transmission Fluid Temperatur (Negatív hőmérsékleti együtthatójú termisztor) szenzor

RCM - Ratio Control Motor

$\eta$  – dinamikai viszkozitás [mPas]

$\nu$  – kinematikai viszkozitás [ $\frac{m^2}{s}$ ]

$\rho$  – sűrűség [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

$p$  – nyomás [Pa]

$F$  – erő [N]

$A$  – felület [ $m^2$ ]

$a$  – gyorsulás [ $\frac{m}{s^2}$ ]

$\Delta\omega$  – szögsebesség megváltozása

$M_{SZ}$  – szivattyúkerék nyomaték [Nm]

$M_T$  – turbinakerék nyomatéka [Nm]

$M_V$  – vezetőkerék nyomatéka [Nm]

$\Theta$  – tehetetlenségi nyomaték [Nm]

$\beta$  – szöggyorsulás [ $\frac{m}{s^2}$ ]

$n_{SZ}$  – szivattyúkerék fordulatszáma [ $\frac{1}{min}$ ]

$n_T$  – turbinakerék fordulatszáma [ $\frac{1}{min}$ ]

$n_V$  – vezetőkerék fordulatszáma [ $\frac{1}{min}$ ]

$i_H$  – nyomatékváltó fordulatszám módosítása

$k_H$  – nyomatékváltó nyomatékmódosítása

$\eta_H$  – hidraulikai hatásfok

PWM – Pulse Width Modulation-

ECU - Electronic Control Unit

## **1. Az automata sebességváltó története**

1904-ben, Bostonban alkották meg a Sturtevant-fivérek az első automata váltót. A két előre- és egy hátrameneti fokozattal ellátott szerkezet lelkét azok a repülő súlyok képezték, amelyeket a motor hajtott meg. Amennyiben emelkedett az erőforrás fordulatszáma, a váltó magasabb fokozatba kapcsolt, a fordulatszám csökkenésével pedig az alacsonyabbra. Az ötletet működőképes lett volna, azonban a korabeli gyártástechnológia nem tette lehetővé a megfelelő minőségű sorozatgyártást.

Az első mérőldő letétele a T-modellről ismert Henry Ford és csapata nevéhez köthető. Sturtevanték találmányát, alapul véve, a szakemberek 1908-ban el is készültek a bolygóműves sebességváltóval, amely meg is felelt a követelményeknek – azt leszámítva, hogy a sebességváltást továbbra is a vezetőnek kellett végrehajtania pedál segítségével. Működtetése sokkal egyszerűbb volt, mint a korabeli, nem szinkronizált manuális sebességváltóknak.

Tény, hogy a ma is használatos automataváltók elődjének számító szerkezetet egy magyar ember, nevezetesen Bíró László (1899, Budapest–1985, Buenos Aires), többek között a vizes töltőtoll, a mosógép és a golyóstoll feltalálója, alkotta meg még az 1930-as évek elején.

Bíró vásárolt magának egy Bugatti sportkocsit, melynek vezetése nem nyújtotta számára a megfelelő élvezetet. Elkezdett dolgozni egy, a sebességváltásokat kényelmesebben, pontosabban, az emberi hibalehetőségeket kiküszöbölő váltóművön. Az automata sebességváltó további tökéletesítést igényelt, ám Bíró Lászlónak erre már nem volt pénze és más magyarországi befektető sem érdeklődött az újdonság iránt. Az Opel (illetve annak amerikai tulajdonosa, a General Motors) illetékeseinek fülébe azonban eljutott a találmány híre, és Bíró meg is hívták Berlinbe, hogy mutassa be azt. Bíró beépítette a szerkezetet saját oldalkocsis motorkerékpárjába, amellyel végül gond nélkül megtette a mintegy 1000 kilométeres Budapest–Berlin távot. Megdöbbenést siker koronázta, hiszen a GM azonnal szerződést kötött a feltalálóval. A váltó felhasználásra nem került, csak a konkurencia kizárására szolgált, megvásárlása.

Az automata sebességváltóból tehát, mint oly sok más magyar találmányból, anyagilag és erkölcsileg végül nem az alkotó és nem az ország húzott hasznot.

A ma használatos fokozatnélküli váltók (Continuously Variable Transmission – CVT), amelyek lényege, hogy két végpont között gyakorlatilag végtelen számú fokozat van, a nyomaték átadása pedig nem fogaskerekek, hanem változó átmérőjű ékszíjtárcsák segítségével megy végbe, története az '50-es évek elejéig nyúlik vissza, ám akkor ezt a megoldást még nem autókban, hanem repülőgépek áramfejlesztő generátorainál használták. A CVT váltó – igaz, akkor még Variomatic néven – a holland DAF cég egyik kisautóján jelent meg később, ám a megoldás akkor nem aratott átütő sikert viszonylagos kiforratlansága miatt.



1. ábra: DAF 600 típusú gépjármű - Forrás: [1]

Évtizedekkel később néhány japán gyártó (például a Nissan és a Toyota) élesztette fel a CVT váltót, majd őket követte az Audi Multitronic nevű szerkezetével. A mindenféle rángatást mellőző modern CVT automata sebességváltók esetében is beavatkozhat a váltási folyamatba a vezető, ám az így kiválasztott fokozatok a működési elvből következően csak virtuálisak.

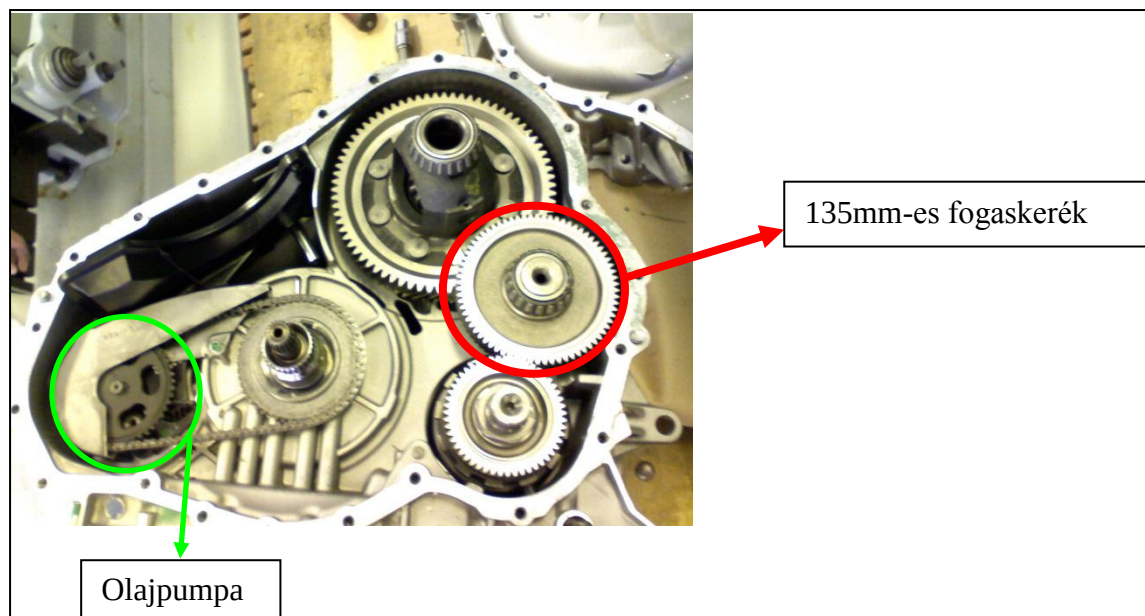
A CVT váltók legkorszerűbb variánsai a modern hibrid járművekben teljesítenek szolgálatot. [2] [3]

## **2. A sebességváltó megismerése**

Az első és egyben legfontosabb feladatunk a vizsgálatra szánt automata sebességváltó pontos típusának és működési elvének megismerése és egyben elsajátítása. Ezen feladat már kihívásokat állított elénk, hiszen, a vizsgálat kezdetén nem volt semmiféle írásos dokumentáció, sem gyártó oldali kapcsolat.

Első lépésként a sebességváltót szerkezeti struktúra megismerése szempontjából szétszereltük, mely a következőképpen zajlott:

Kiemeltük a sebességváltó szerves részét képező nyomatékváltót, melyet a bemeneti tengelyről húztunk le, majd lebontottuk a sebességváltókar pozíció jeladóját. A sebességváltó tetején lévő fedelet, mely a vezérlést takarta eltávolítottuk, feltárva ezzel a sebességváltó belsejét. Amint a képen is látható, lecsavaroztuk a sebességváltóház nyomatékváltó felőli oldalát, láthatóvá téve az áttételeket, valamint a fogaskerék struktúrát.

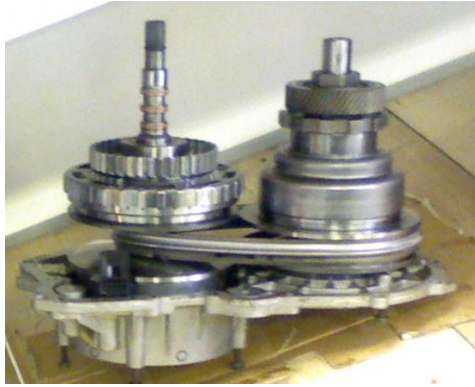


2. ábra CVT Nyomatékváltó oldali belső nézet - Forrás: [5]

A következőkben, kiemeltük a 135 mm-es 200 mm-es fejköri átmérőjű kihajtási fogaskereket, melyek kúpgörgős csapágyakkal biztosítják a tengely tökéletes futását.

A sebességváltó olajpumpáját meghajtó láncot és fogaskereket kivettük, majd a sebességváltóház hátsó oldalán levő takarólemezt is leszereltük.

Továbbiakban elkülönítettük a CVT váltó központi egységét jelentő két tengelyét a köztük kapcsolatot biztosító láncajtással együtt.



3. ábra Fokozatmentes áttétel, tengelyek - Forrás: [5]

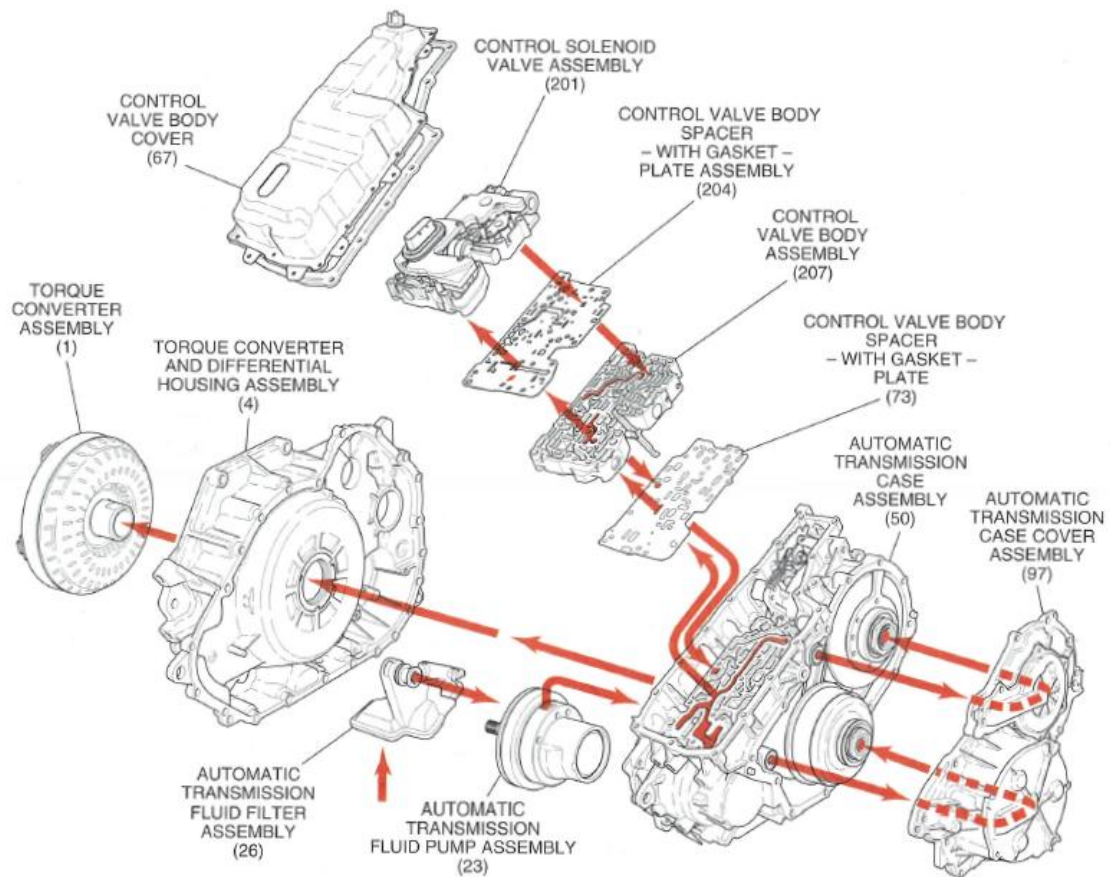
Mindezek után kiszereltük a sebességváltó elektrohidraulikus vezérlését a sebességváltóból és azt alkatrészeire bontottuk. A vezérlés több részből áll, így megkülönböztetünk:

- olaj útjának vezetéséért felelős öntvényblokkot
- beavatkozó mágnes szelepeket (szolenoidokat)

A későbbiekben részletesen megvizsgáljuk a vezérlést.

A szétszedés során kirajzolódott előttünk a sebességváltó fizikai felépítése, melyet az alábbi robbantott ábra jól szemléltet. A képen megfigyelhető a négy alapvető felépítési szegmens:

- A vezérlés {67, 201, 204, 207, 73}
- Az fokozatmentes áttétel {50, 97}
- Olajellátás {23, 26}
- Nyomatékvitel (kapcsolat motor és a sebességváltó között) {1}



4. ábra CVT robbantott ábra - Forrás: [8]

A robbantott ábrán a sebességváltó a lap tetejétől indulva óramutató járással ellentétes körbejárással, a következő egységekre bontható fel:

- Vezérlőegység védőfedele
- Beavatkozók, és szenzorok
- Olajvezető tömítés
- Sebességváltó olaj útja az öntvényben.
- Sebességváltó ház
- Áttételt változtató kúpok
- Áttételt változtató kúpok külső burkolata
- Olajpumpa
- Olajszűrő
- Sebességváltó ház nyomatékvtó felöli oldala
- Nyomatékvtó

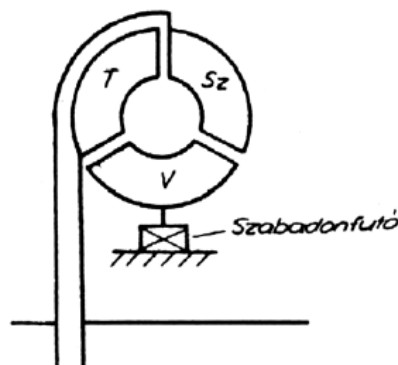
### 3. Az egységek vizsgálata

#### 3.1. Nyomatékváltó

A nyomatékváltó egy olyan zárt hidrodinamikusan eszköz, mely a folyadék mozgási energiáját felhasználva, fokozatosan nyomatékot közvetít a motor főtengelyétől a sebességváltó bementi tengelyére.

Nyomatékváltók több típusa ismert, melyek közül csak az általunk használtat jellemezzük. Esetünkben direkt kapcsolatú hidrodinamikusan nyomatékváltóról beszélhetünk, mely két fő részből tevődik össze. Áll egy hidrodinamikusan és egy mechanikus részből.

Ha hidrodinamikusan egységet vesszük alapul, akkor komplex hidrodinamikusan nyomatékváltóról beszélünk, melynek vezetőkeréke szabadonfutó szerkezettel kapcsolódik a házhoz, ahogy az ábrán is látható.

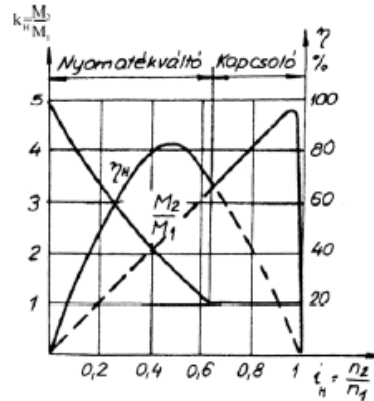


5. ábra Komplex hidraulikus nyomatékváltó - Forrás: [4]

A szabadonfutó csak a turbinakerék forgásirányával ellentétes forgásirányban zár, azaz csak a reakciónyomatékot képes felvenni. Amikor a turbinakerékből kilépő folyadék abszolút sebességének  $v$  iránya megváltozik, a szabadonfutó engedi, hogy a vezetőkerék együtt forogjon a turbinakerékkel. Ettől kezdve, miután a vezetőkeréken nem ébred nyomaték, a komplex hidrodinamikusan nyomatékváltó egyszerű tengelykapcsolóként működik, melynek hatásfoka a fordulatszám módosítással egyenlő, így  $\eta_H$  a turbinakerék fordulatszámának növekedésével együtt növekszik, végül  $i_H = 1$  közelében letörik.

$$i_H = \frac{n_T}{n_{SZ}}$$

A komplex hidrodinamikus nyomatékváltó diagramon látható jelleggörbéiből következik, hogy egyaránt biztosítja az egyszerű hidrodinamikus nyomatékváltó nagy indítónyomatékát, és az üzemközben leggyakrabban előforduló fordulatszámokon a hidrodinamikus tengelykapcsoló jó hatásfokát.



6. ábra Hidrodinamikus tengelykapcsoló hatásfoka - Forrás: [4]

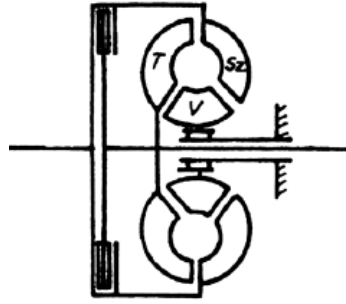
A komplex hidrodinamikus nyomatékváltók hatásfoka elérheti a 80-90%-ot, tengelykapcsoló üzemben pedig a 93-96 %-ot, sőt nagy sebességeknél  $\eta_H=98\%$  is lehet.

A hatásfok kifejezve:

$$\eta_H = \frac{P_T}{P_{SZ}} = \frac{M_T \cdot \omega}{M_{SZ} \cdot \omega} = \frac{M_T \cdot 2\pi \cdot n_T}{M_{SZ} \cdot 2\pi \cdot n_{SZ}} = k_H \cdot i_H$$

Mivel az általunk alkalmazott nyomatékváltónak van egy mechanikai kapcsolószerkezete is, így már direkt kapcsolású hidrodinamikai nyomatékváltóról beszélünk.

Mint az általunk vizsgált CVT estében is, a hidrodinamikus nyomatékváltó hatásfoka jelentősen javítható, ha a kritikus  $k_H=1$  pontban, melytől a szerkezet mint hidrodinamikus tengelykapcsoló működne, a szivattyú és a turbinatengelyt egy súrlódó tengelykapcsoló segítségével összezárják ahogy ez az alábbi ábrán is látható.



7. ábra Direkt kapcsolású hidrodinamikus nyomatékváltó - Forrás: [4]

A súrlódó tengelykapcsoló bekapcsolásával a hidrodinamikus nyomatékviteli állapot kiiktatódik, mindhárom lapátkerék az egész folyadéktömeggel együtt forog, így a hajtómű mechanikussá válik, és hatásfoka ugrásszerűen megnő  $\eta_H=1$  lesz (direkt áthajtás). A hidrodinamikus nyomatékváltók és a hidrodinamikus tengelykapcsolók működéséhez elengedhetetlenül szükséges fordulatszám különbség, szlip hirtelen megszűnése, a motor fordulatszáma ugrásszerűn csökkenését okozza, ami a motor nyomatékának bizonyos mértékű, hirtelen növekedéséhez vezet. Ez a motor nyomatékrugalmasságától is függő nyomatéknövekedés, kedvezően befolyásolja a jármű dinamikáját.

A direkt kapcsolású hidrodinamikus nyomatékváltókat szívesen alkalmazzák a városi autóbuszoknál, ahol gyakori a gyorsítás. A hidraulikus nyomatékváltókat, a hatásfok további javítása, és a különleges terepviszonyok leküzdése, továbbá hátramenet kapcsolása érdekében mechanikus sebességváltó-szerkezettel szokták kiegészíteni. A nyomatékváltók nem kívánnak különleges gondozást. Az olajsintet kell időközönként ellenőrizni és hiány esetén, az előírt különleges olajjal utántölteni. Esetenként olajpróbát szükséges végezni, mellyel ellenőrizhető az olaj műszaki követelményeinek megfelelése. [3]

A nyomatékvtó hidrodinamikus részei:



8. ábra Nyomatékvtó részei: Szivattyúkerék, Átvezető kerék, Turbinakerék - Forrás: [5]

Működési elve, hogy a motor forgásba hozza a nyomatékvtó házat, melynek belső felületi lapátozása egyben a szivattyúkerék, ami közvetlenül kapcsolódik a motor lendkerekeéhez. A közvetlen kapcsolat miatt a szivattyúkerék fordulatszáma azonos motorfordulattal. A szivattyúkerék lapátozása között az olaj, a centrifugális erő hatására a nyomatékvtó külső átmérője felé áramlik meghajtva a vezető kereken keresztül a turbinakereket. A turbinakerék az olaj hatására jön mozgásba, lapátozására kifejtett erő miatt. Ilyen módon a motor mechanikai energiája áramlási energiává alakul és meghajtja a sebességvtó hajtó tengelyét.

A teljes erőátvitel akkor jön létre, amikor a mechanikai rész megfelelő fordulatszámnál összezár létrehozva, ezzel motor fordulatszámának megfelelő szorosan megközelített kimeneti értéket. Ily módon biztosítja lassítás esetén a motor fékező funkcióját.

A motorfék az a tulajdonság, mikor a motor nem kap az irányítótól (sofőrtől) beavatkozó jelet, tehát megszűnik a közel állandó fordulaton tartás vagy a gyorsítás, akkor a motor alapjel vezérlőjelet kapja, ami az alapjáratú érték. Így a motor arra törekszik, hogy visszanyerje az alapjáratú fordulatszámot. Ilyenkor kialakul egy ún. visszahajtás, amikor a kerekek hajtják vissza a motort a sebességvtón keresztül. Tehát, egy lassulási folyamat következik be, ami annál intenzívebb, minél kisebb a sebességfokozat, vagyis minél nagyobb az áttétel. Természetesen az ilyen mértékű lassítás nem helyettesíti a fékrendszer által elért lassító erőt.

### 3.1.1. A nyomatékátvitel vizsgálata

Megközelítést végeztünk a nyomatékkváltó nyomatékátvitelére a motor és a sebességváltó bemeneti tengelye között.

A vizsgálatokat egy adott hőmérsékleti pontnál 23,5°C-nál vizsgáltunk, így a nyomatékátvitelt megvalósító olaj sűrűséget konstans értékkel vettük figyelembe:

$$\eta = 68 \text{ mPas}$$

$$\nu = 7,556 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\rho = 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Newton II. axiómáját  $F = m \cdot a$  és Pascal törvényét ( $p = \rho \cdot g \cdot h$ ) alkalmazva:

$$p = \frac{F}{A}$$

$$m = \frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot A}{a}$$

Ebben az esetben az időben változó, hőmérséklettől függő értéket kapok a folyadék tömegére.

#### a.) A nyomatékátvitel forgómozgás esetén

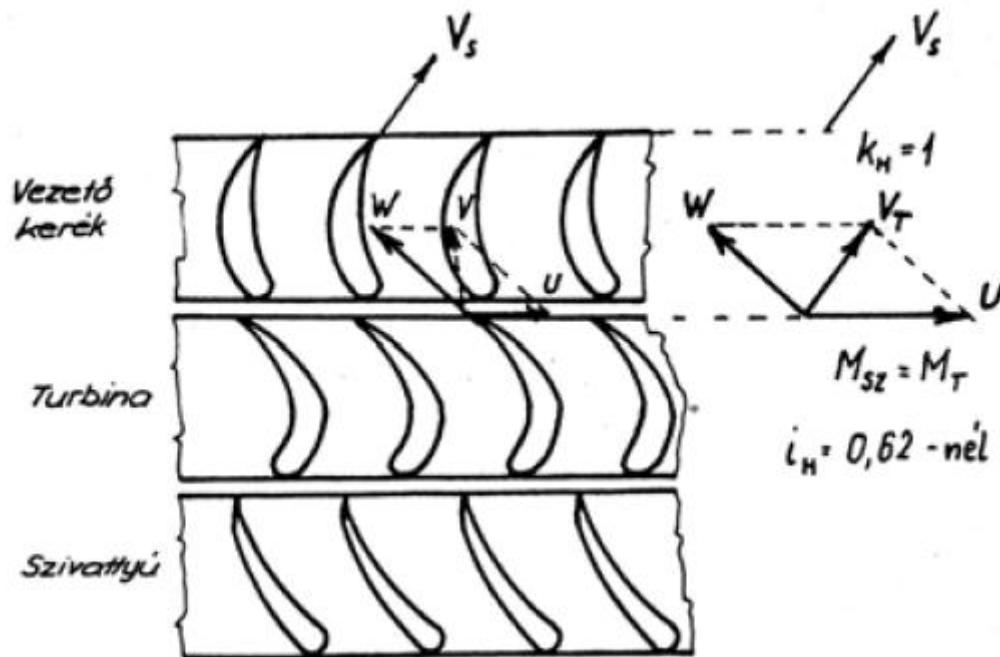
A következő alapösszefüggések érvényesek:

$$\frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \beta$$

$$M = \theta \cdot \beta$$

$$\theta = m \cdot r^2$$

$$\beta = 2\pi \cdot \left(\frac{dn}{dt}\right) \cdot r$$



9. ábra Hidrodinamikus nyomatékvtó lapátkoszorúi síkba terítve - Forrás: [4]

A szivattyúkerékből a turbinakerékbe áramló folyadék a turbinakerék erősen hajlított lapátjain jelentékeny irányváltoztatást szenved, miközben mozgási energiájának egy részét átadja a turbinakeréknek.

A turbinából a  $\mathbf{v}$  abszolút sebességgel, amely a turbina  $\mathbf{u}$  kerületi sebességének, és a  $\mathbf{w}$  lapátirányú folyadékáramlási sebességnek a vektori összege, kilépő folyadék a rögzített vezetőkerékbe a sztátorba jut.

A vezetőkerék a folyadékáramlás irányát az ábrán láthatóan ismét az eredeti irányra felé téríti.

Az áramló folyadék irányváltoztatása közben a vezetőkerék lapátjaira támaszkodva, azt ellenkező irányban akarja forgatni.

Az így keletkező nyomatékot a hidrodinamikus nyomatékvtó háza veszi fel, melyhez a vezetőkerék rögzítve van.

Ez a reakciónyomaték, amely a vezetőkeréken ébred, a turbinakerékben jelentkező nyomatékknak és a szivattyúkeréken leadott nyomatékknak, vagyis a kimenő és a bemenő nyomatékknak a különbsége.

$$M_T = M_{SZ} + M_V$$

Az előbbi levezetést folytatva:

$$M = F \cdot r$$

$$M = m \cdot a \cdot r$$

$$M = m \cdot \frac{d\omega}{dt} \cdot r$$

$$M = m \cdot 2\pi \cdot \frac{dn}{dt}$$

A differenciálegyenlet állandó viszkozitás esetén:

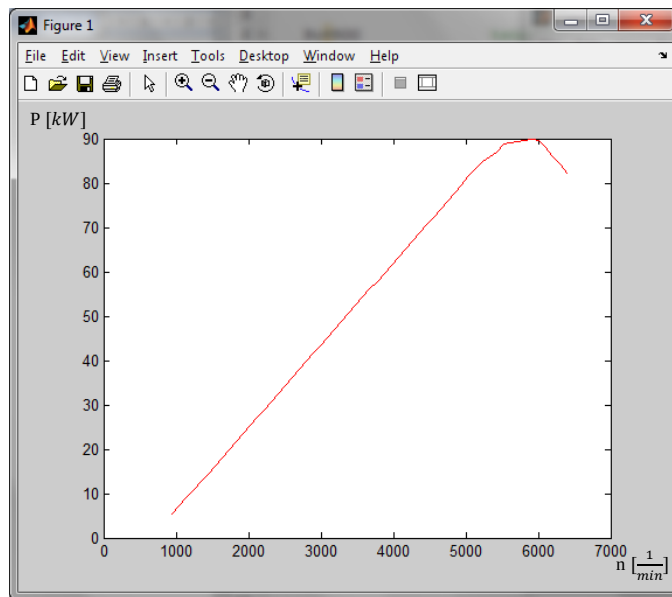
$$m \cdot \frac{D_T}{2} \cdot 2\pi \cdot \frac{dn_T}{dt} = m \cdot \frac{D_{SZ}}{2} \cdot 2\pi \cdot \frac{dn_{SZ}}{dt} + m \cdot \frac{D_V}{2} \cdot 2\pi \cdot \frac{dn_V}{dt}$$

#### b.) Matlab alkalmazása

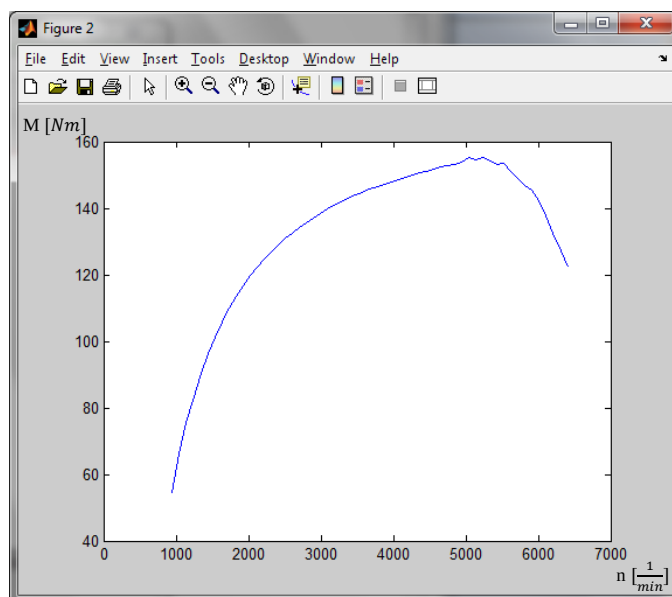
Mivel a szivattyúkerék nyomatéka egyenlő a motor nyomatékával, így felvettük és megrajzoltunk a számított és mért adatokkal a nyomaték és teljesítmény karakterisztikát. A karakterisztika a GM által gyártott Opel Vectra 1,8 literes motor teljesítményét, majd nyomatékát mintázza.

A nyomaték kifejezése:

$$P = M \cdot 2\pi \cdot n$$

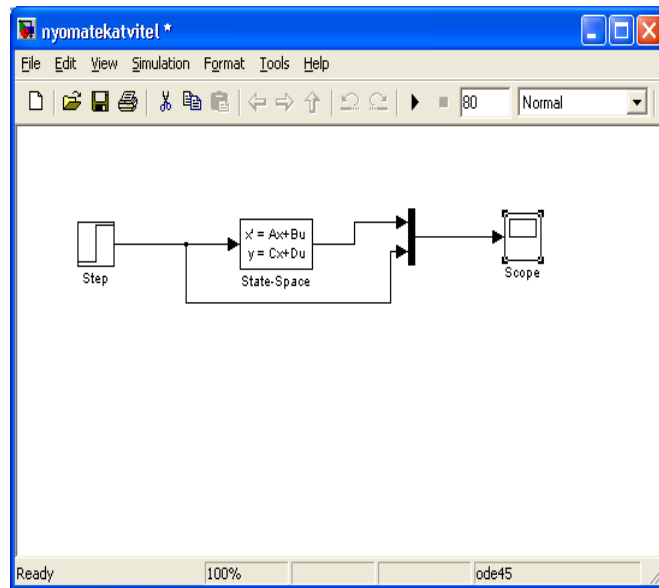


10. ábra 1,8l benzinmotor teljesítménygörbe - Forrás: [6]

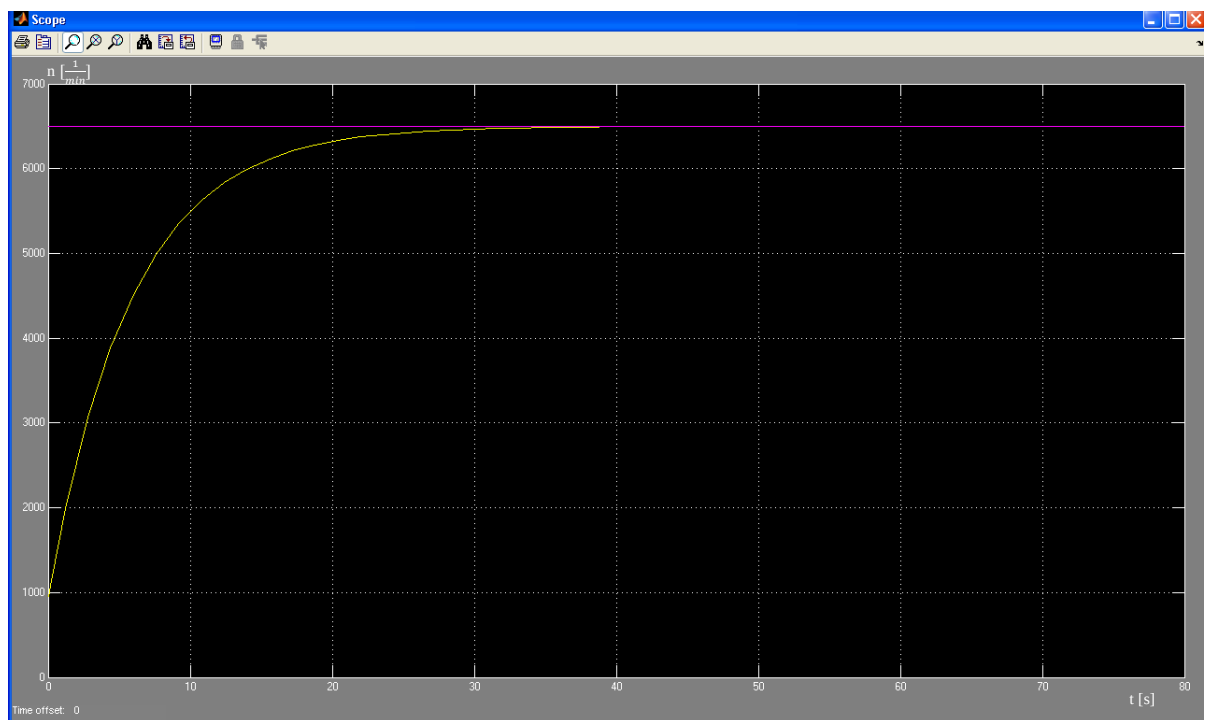


11. ábra 1,8l benzinmotor nyomatékgörbe - Forrás: [6]

A differenciálegyenletet felhasználva lehet felírtuk az állapotér modellt, amelyet Simulinkben ábrázolunk, egy olyan elsőrendű függvényt jelent, mely követi a bemeneti (közel lineáris) jelet. Bemenetként a fent látható karakterisztikák adatsorát vettük alapul.



12. ábra Simulink állapotter modell - Forrás :[6]



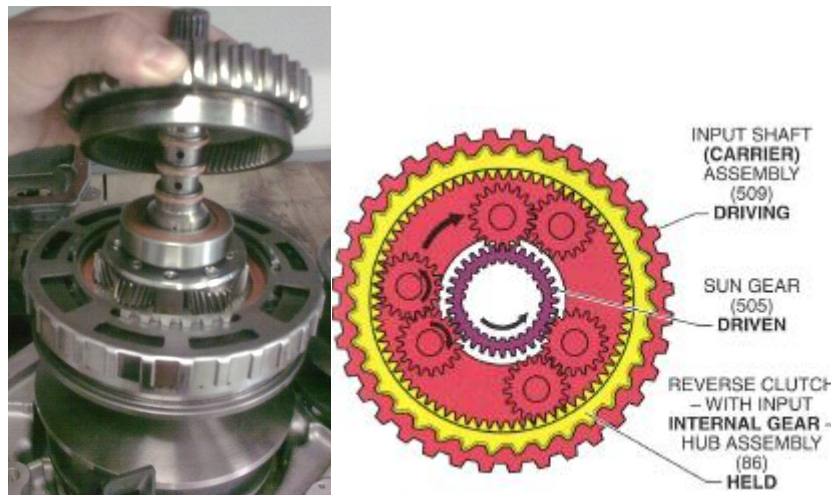
13. ábra Elsőrendű rendszer ábrázolása - Forrás: [6]

A számított eredmények egy olyan állapotot tükröznek, mellyel csak feltételezni tudjuk a nyomatékkváltó nyomatékátviteli hatásfokát, mivel a fizikai adatok hiányában (lapát

profilszögének, geometriájának és a lapátok közti áramlási rés pontos meghatározása) nem tudtuk a valós Simulink modellt megvalósítani.

### 3.2. A bolygómű

A nyomatékvtó egy bemeneti tengelyt hajt meg, ami egy bolygóműben folytatódik. A bolygómű fogaskerekekből felépülő forgásközvetítő eszközcsoprt, mely lehetővé teszi a kimeneti forgás megszüntetését, vagy éppen ellentétes irányú megváltoztatását, állandó egyirányú bementi forgás esetén.



14. ábra Bolygómű és szerkezeti felépítése - Forrás: [4] [5]

Szerkezeti felépítése a következő:

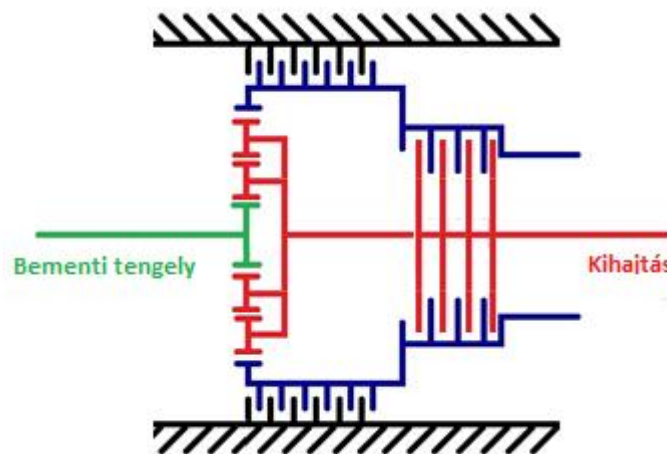
- Középen elhelyezett, fogaskereket napkeréknek nevezzük, mely a bemeneti tengelyhez rögzítve továbbítja forgást a bolygómű további kerekeire.
- Körülötte elhelyezett 3X2db megegyező méretű és fogprofilú fogaskerekek, a bolygókerekek, amiket egy keret, a bolygókeréktartó fog össze. A bolygókerekek 3 párban vannak elhelyezve. Minden pár első bolygókereke kapcsolódik a napkerékhez, míg minden második bolygókerék a gyűrűkerékkel van kapcsolatban.
- A bolygókerekeket kívülről körbefogó, belső fogazású kereket gyűrűkeréknek nevezzük. A gyűrűkerék a sebességváltóházhoz rögzített kerék, így forgó mozgást nem végez.

A bal oldali képen látható a bementi tengely, - melynek felső bordázott része kapcsolódik a nyomatékvtó turbinakerekére - egységet képez a bolygókerekeket összefogó tartóval. Felülnézeti ábrázolás esetén a forgómozgása óramutató járásával

megegyező. A motor forgásából adódóan ez a forgómozgás állandó. A kimeneti mozgások előállításában jelentős szerepe van, a kettő helyen, bolygókerek alatt elhelyezett kuplunglemezek két csoportjának. Ezen lamellák olajnyomással történő zárásakor előállítható az előremenet és hátramenet.

Abban az esetben, mikor semmilyen összekapcsolás nincs, akkor üresjáratú állapotról beszélünk. Ekkor a bolygókerek legördülnek a napkerékről.

Ahogy a fenti képen is látszik, az egymáshoz kapcsolódó fogaskerek megváltoztatják forgásirányukat.

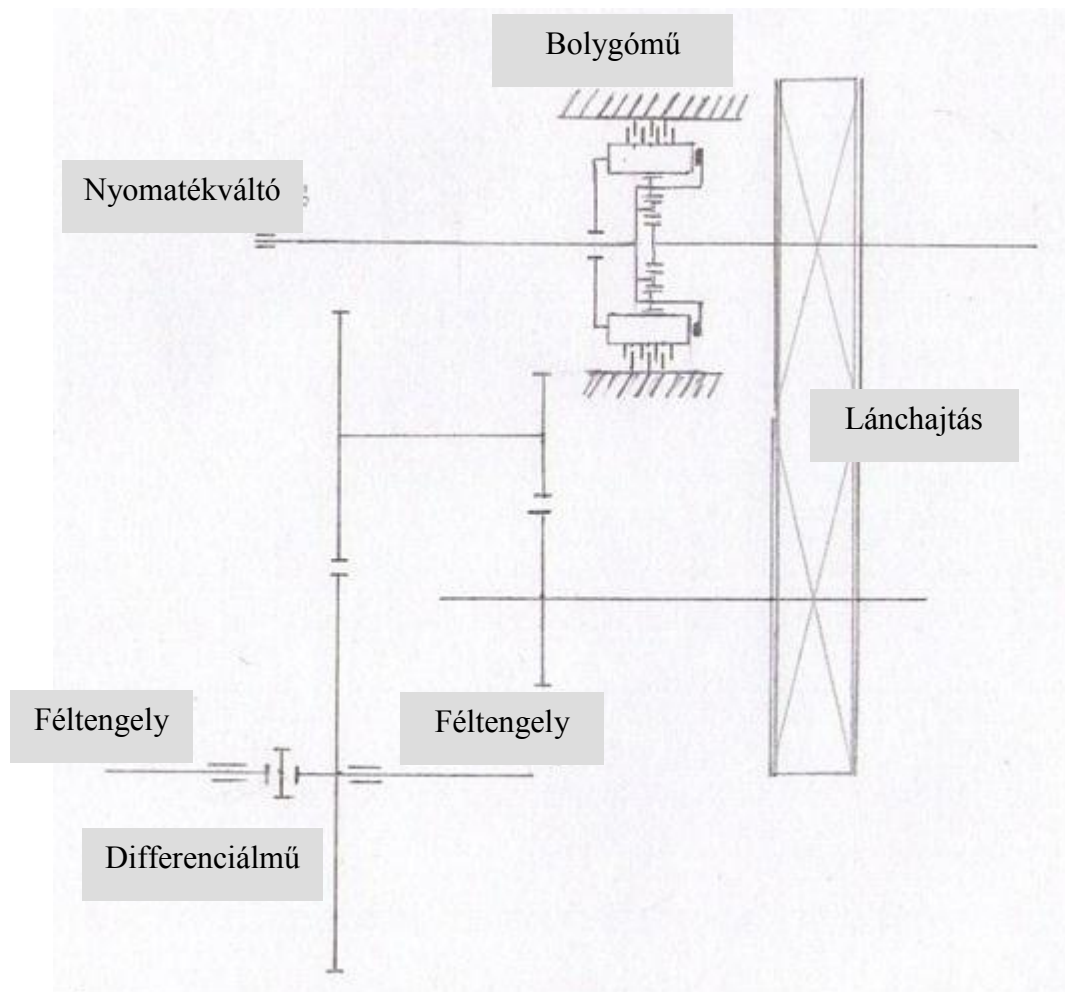


15. ábra Bolygómű elvi vázlata Forrás: [7]

Az áttétel lehet lassító vagy gyorsító, sőt irányváltó is.

Ha a három elem közül kettőt egymáshoz rögzítünk, akkor a bolygómű zárt egységként fog működni, tehát a bemenő hajtást 1:1-ben továbbítja. Ezt nevezzük dierkthajtásnak.

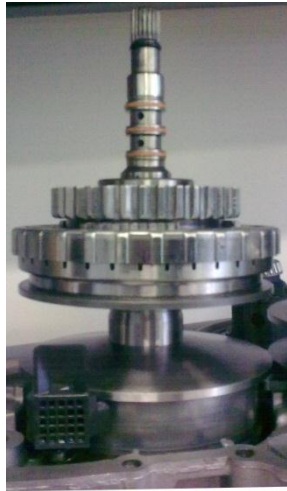
A kimentek előállításának megértéséhez szükséges a sebességváltó kinematikai vázlatának megismerése:



16. ábra Sebességváltó kinematikai vázlata - Forrás: [7]

- 1.) Előremenet: A bolygókerekék zárása gyűrűkerékhez.
- 2.) Hátramenet: A bolygókerekék zárása a sebességváltóházhoz.
- 3.) Üresjárat: Oldott állapot, nem zárunk semmit semmihez.

### 3.2.1. A kivezetés és féltengelymeghajtás

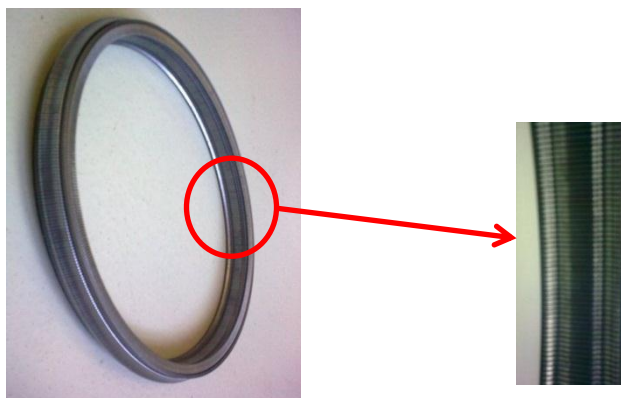


17. ábra Meghajtott tengely - Forrás: [5]



18. ábra Meghajtó tengely - Forrás: [5]

A bolygómű napkereke megforgatja a bordázott, axiális olajfuratú bemeneti (meghajtó) tengelyt, ami két egymással szembe állított kúpkerekben folytatódik. A kúpkerek között sűrű szemes fémlánc helyezkedik el, mely közvetíti a nyomatékot a szintén axiális olajfuratú meghajtott tengely, szintén egymással szembeállított hasonló két kúpkerekére. A furatoknak nagy jelentősége van, hiszen ezeken keresztül áramlik az olaj, ami a vezérlést adja. A különbség nagy a két tengely dupla kúpkerekei között. A meghajtó tengelyen levő alsó kúpkerek része, két egymásba helyezett dugattyúnak. A tengely alsó kúpja, a nagyobb átmérőjű dugattyú teteje. Ennek a dugattyúnak a belsejében olaj van, aminek a nyomását elektromosan vezéreljük. A dupla dugattyú a felület megnövelésére szolgál, így nagyobb erőt lehet kifejteni a felületre, mintha csak egy dugattyúval vezérelnénk. A (meghajtott) kihajtó tengely dupla kúpkerekei közül a felsőt alátámasztja egy nagy rugóállandójú fém spirálrugó. Ugyanakkor elmondható, hogy a rugó, egy dugattyúban van elhelyezve, ami szintén az olajnyomással vezérelhető, és aminek a teteje a meghajtott tengely felső kúpkereke. A két kúpkerek között a nyomatékot és a fordulatszámot sűrű szemű lánc vezeti át.



19. ábra Nyomatékátadó lánc Forrás: [5]

Ezzel a megoldással lehet előállítani a fokozatokat, növelve vagy éppen csökkentve a kimeneti értéket a bemeneti fordulathoz képest.

A két kúpkerek mindkét tengelyen a megfelelő fordulatszám függvényében és a hidraulikus vezérlésnek köszönhetően (Transmission Control Modul és Engineering Control Modul), közelítenek vagy távolodnak egymáshoz. A bementi tengely kúpkerekei között, a fémlánc felül a kerekek belső felületére és adja át a nyomatékot, a meghajtott tengely két kúpkerekére. Mivel a meghajtó tengely magas fordulatszámon forog, és a fémszík megnyúlását elhanyagolhatjuk, így tehetetlenségi erőből és a forgásból származó csavarási nyomatékból adódóan a meghajtott tengely kúpkereke, arányosan távolodik, a meghajtó tengely kúpkerekeinek közeledésével. Így megállapítható, hogy állandó motorfordulatszámon, nagyobb lesz a meghajtott tengely fordulata, a meghajtó tengely fordulataánál, tehát a két kúpkerek között, valóban végtelen sok sebességfokozat figyelhető meg. A meghajtott tengely kúpkerekkel ellentétes végén levő fogaskerék, adja le a nyomatékot egy nyomatékváltó fogaskerék párra (nagyobbik fogaskerék  $d=135\text{mm}$ ), mely tűgörgős csapágyakkal van rögzítve a sebességváltó házban. Ez közel kétszeres fordulatszámváltást jelent, amit továbbít az utolsó fogaskerekre ( $d=200\text{mm}$ ), mely szintén a házhoz van rögzítve tűgörgős csapágyakkal. Erre a kimeneti fogaskerekre rögzítve van egy differenciálmű, aminek két oldalába csatlakozik a két féltengely.

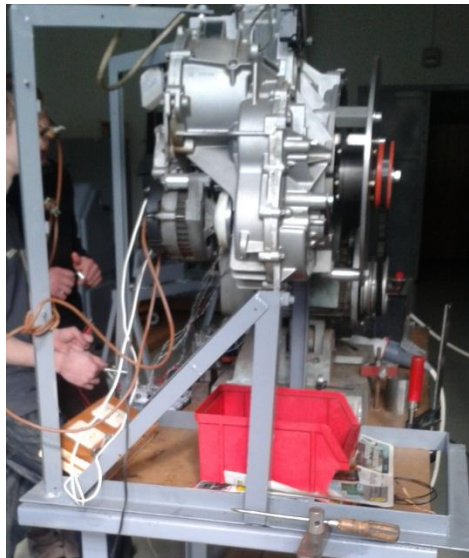
A differenciálmű azon fogaskerekei, melyek különállnak, és belső bordázattal rendelkeznek, műanyag ágyban futnak. A differenciálmű az eltérő fordulatszámú féltengelyek miatti különbség kiküszöböléséhez szükséges, ezzel csökkentve mind a váltó, mind a futómű terhelését. A sebességváltóban alkalmazott fogaskerek fejkötri átmérőjét, tolómérővel határoztuk meg:

#### **4. A CVT sebességváltó test vizsgálatának előkészítése**

Feladatunk volt egy minden vizsgálati szempontot kielégítő olyan egyedi tartószerkezetet kialakítani, amely segítségével elkezdhető a mérés, és vizsgálat.

##### **4.1. A sebességváltó váza**

Második feladatunk a sebességváltó tartószerkezetének elkészítése volt. A vázat L-acél elemekből készítettük el. A kialakításnak elsődleges feltétele volt, hogy teherbírása megfelelő legyen, valamint a rezgés következtében bekövetkező elmozdulásokkal szemben ellenálló legyen.



20. ábra Szögvas állványra rögzített sebességváltó Forrás: [5]

Az állványzat alapját egy téglalap alakú szögvas keret biztosítja, mely alapra ívhegesztéssel rögzítettünk két szintén szögvasból készült tartó talpelemet, és két ugyancsak szögvasból készült függesztő elemet, melyek a sebességváltót alulról támasztják és felülről rögzítik.

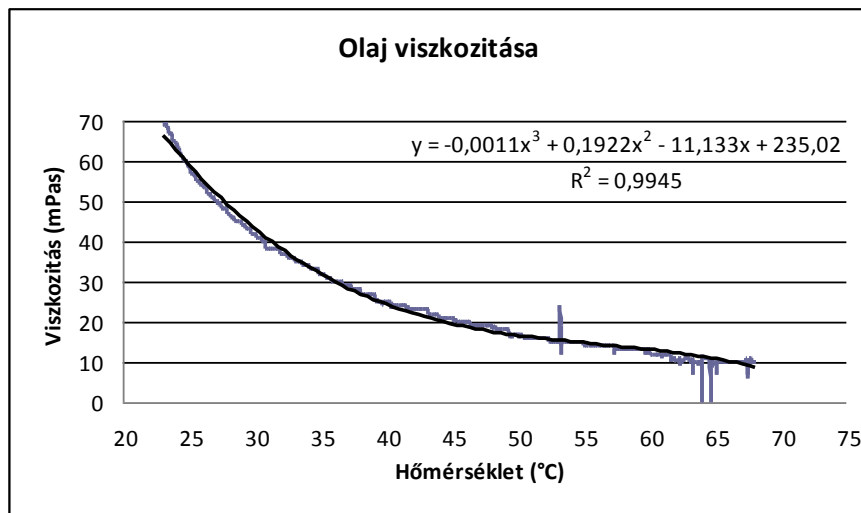
## 5. A CVT váltó vezérlése

### 5.1. Az olaj

A fokozatmentes sebességváltó kiemelkedő fontosságú összetevője a hajtómű olaj, ami nem csak az áttételek közti kenést végzi, hanem jelentős szerepet játszik a kúpkerek nyitási- zárási távolságának előállításában, mely a nyomatékátadást, a fokozatváltást biztosítja. Jelentős a szerepe még, a bolygómű kimeneti hajtásának kialakulásábanban - előállítva ezzel a kívánt forgásirányt -, valamint az elektrohidraulikus vezérlés folyékony közegét adja.

Az olaj a „lelke” a CVT sebességváltónak, hiszen annak olyan összetételűnek kell lenni, ami megfelelő dinamikai viszkozitást mutat az olykor dinamikusán változó hőmérsékleti tartományokban.

A sebességváltó működéséhez szükséges az eredeti, gyári olaj. Mivel nem áll rendelkezésünkre ebből a hajtóműolajból, így szükséges a viszkozitásának megállapítása, a megfelelő helyettesíthetőség érdekében. A dinamikai viszkozitást viszkoziméter segítségével mértük meg. A mérést 23,1°C-70°C-os tartományban végeztük.



21. ábra Olaj dinamikai viszkozitása a hőmérséklet függvényében

Az adott hőmérséklethez az alábbi összefüggéseket használva, meghatározható a sűrűség( $\rho$ ), a kinematikai viszkozitás( $\nu$ ), dinamikai viszkozitás( $\eta$ ):

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

$$\text{Mértékegysége: } \left[ \frac{m^2}{s} \right]$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\text{Mértékegysége: } \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

Az vizsgálat adat 23,5°C hőmérsékletnél, így a sűrűséget konstans értékkel vettük figyelembe:

$$\eta=68 \text{ mPas}$$

$$\nu=7,556 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\rho=900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A sebességváltóban használt gyári olajat, a fenti mérési eredmény alapján Castrol Desc/Merc Domestic Multi Vehicle olajjal helyettesítettük. A CVT-be üres állapotában 8,07 l olajat kell bele tölteni, a gyári előírás szerint. Mivel mi nem használjuk az olajhűtőt, annak hiánya miatt, 1 l-rel kevesebb olajat használtunk a vizsgálathoz.

Az olajjal való feltöltés nem szokványos módon történik. Funkciójából adódóan az olajleeresztő csavarnak jelentős szerepe van. A csavar egy összetett gépelemet takar ebben az esetben. Felépítését tekintve a leeresztő, egy 90 mm hosszú 12,7 mm átmérőjű hüvelycsavar, mely felső része nyitott, míg alsó részén a furatot egy menetes töcsavar zárja el.

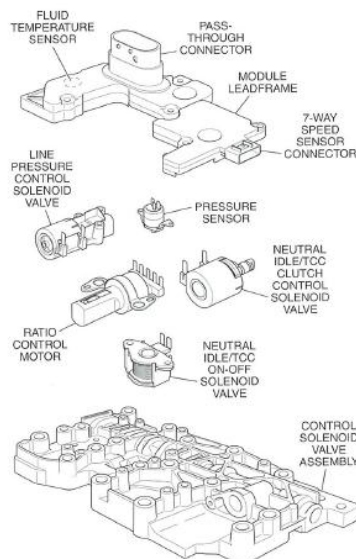
A kép az 1-es mellékletben látható.

A feltöltést megelőzően ezt az ászokcsavart kivettük, majd felöntöttük olajjal a sebességváltót. Miután a nívót jelző csavartestet (hüvelyt) ellepte az olaj, azon átfolyva elkezdett szivárogni a furaton keresztül. Ekkor meghajtottuk a sebességváltót, aminek következtében elindítottuk az olajpumpát, mely felnyomta az olajat a vezérlésbe, és nyomaték váltót is feltöltötte. A pumpa így mindenhova eljuttatja az olajat, így az eddigi szint csökkenni kezdett, így a következő szivárgásig tovább töltöttük az olajat, végül a furatot az ászokcsavarral elzártuk egy imbuszkulcs segítségével. Így a váltó üzemkész állapotba került.

## 5.2. A szabályzó vezérlőegység

A vezérlés a sebességváltó jelentős egysége, mely külső- és belső beavatkozókön keresztül megvalósítja a tervezett feladatát, ellátja funkcióját.

A vezérlőegység a következő alkatrészekből áll:



22. ábra CVT vezérlőegység

Forrás: [8]

- Fémkeret szerelvényegység
- Nyomásérzékelő
- Sebességváltó olaj hőmérséklet érzékelő
- Léptető motor
- Olajnyomást szabályzó mágnesszelep
- Alapjárat / TCC Tengelykapcsoló szabályzó mágnesszelep
- Alapjárat / TCC Mágnesszelep [8]

### 5.3. Nyomásérzékelő

A nyomásérzékelő felügyeli az olajnyomást, melyet 0-5 Voltos analóg jellel történő visszacsatolással közvetít a TCM-be.

A nyomásérzékelő a TCM-től kap tápfeszültséget. A folyadéknyomás mérési határa névlegesen 70 font per négyzethüvelyk (psi)-től 850 psi-ig terjed ki. (4,82bar-58,6bar)

A szenzorok és szolenoidok kapcsolatot a TCM végzi, mely CAN kommunikáció révén valósul meg. Minden egyes érzékelő, ill. beavatkozó CAN csatlakozón keresztül érhető el, melynek lábkiosztását a következő táblázat tartalmazza.

| Lábkiosztás | Működés                                                  |
|-------------|----------------------------------------------------------|
| 1           | Nyomásszenzor föld                                       |
| 2           | A sebességváltó sebességszenzor bemenet (Magas)          |
| 3           | A sebességváltó sebességszenzor bemenet (Alacsony)       |
| 4           | A sebességváltó sebességszenzor kimenet (Magas)          |
| 5           | A sebességváltó sebességszenzor kimenet (Alacsony)       |
| 6           | NI/TCC tengelykapcsoló szabályzó mágnesszelep (Alacsony) |
| 7           | NI/TCC tengelykapcsoló szabályzó mágnesszelep (Magas)    |
| 8           | Alapjárat/TCC mágnesszelep (Magas)                       |
| 9           | Alapjárat/TCC mágnesszelep (Alacsony)                    |
| 10          | Léptető motor B fázis E terminál                         |
| 11          | Nyomásérzékelő Power                                     |
| 12          | Nyomásérzékelő kimenet                                   |
| 13          | Sebességváltó folyadék hőmérsékletszenzor (Alacsony)     |
| 14          | Sebességváltó folyadék hőmérsékletszenzor (Magas)        |
| 15          | Olajnyomást szabályzó mágnesszelep (Magas)               |
| 16          | Olajnyomást szabályzó mágnesszelep (Alacsony)            |
| 17          | Léptető motor A fázis terminál A                         |
| 18          | Léptető motor B fázis terminál B                         |
| 19          | Léptető motor Power (Common)                             |
| 20          | Léptető motor A fázis D terminál                         |

23. ábra CAN csatlakozó lábkiosztása Forrás: [8]

A lábkiosztása jelentőségé a későbbiekben részletezzük.

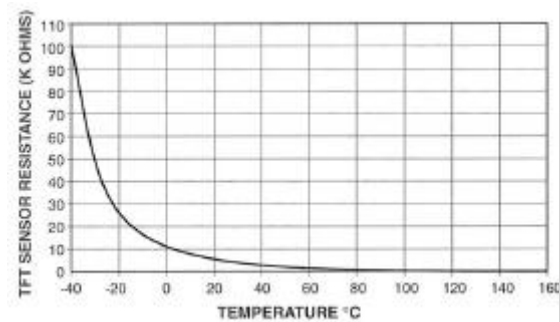
Dolgozatunkban a CAN kommunikációra nem térünk, mivel nem képezte kutatásunk célját. [8]

#### 5.4. Sebességváltó folyadék hőmérséklet (TFT) érzékelő

A TFT érzékelő hőfokfüggő ellenállás (negatív hőmérsékleti együtthatójú termisztor). Az érzékelőnek negatív hőmérséklet együtthatója van. Ez azt jelenti, ha a hőmérséklet nő, akkor az ellenállás csökken, ha a hőmérséklet csökken, akkor az ellenállás nő.

A TCM egy 5V-os referencia jelet szolgáltat az érzékelőhöz és méri a feszültségesést az áramkörben. Amikor a sebességváltómű olaj hideg, akkor a termisztor ellenállása nagy, tehát a rajta eső feszültség is ezzel arányosan nagyobb. A folyadék hőmérséklet normál üzemi hőmérsékletűvé melegszik, akkor az ellenállás alacsony lesz, és a feszültség csökken.

A TCM ezeket az információkat használja, hogy kontrollálja a sebességváltó minőségét.



24. ábra Hőmérsékletszenzor karakterisztika - Forrás: [8]

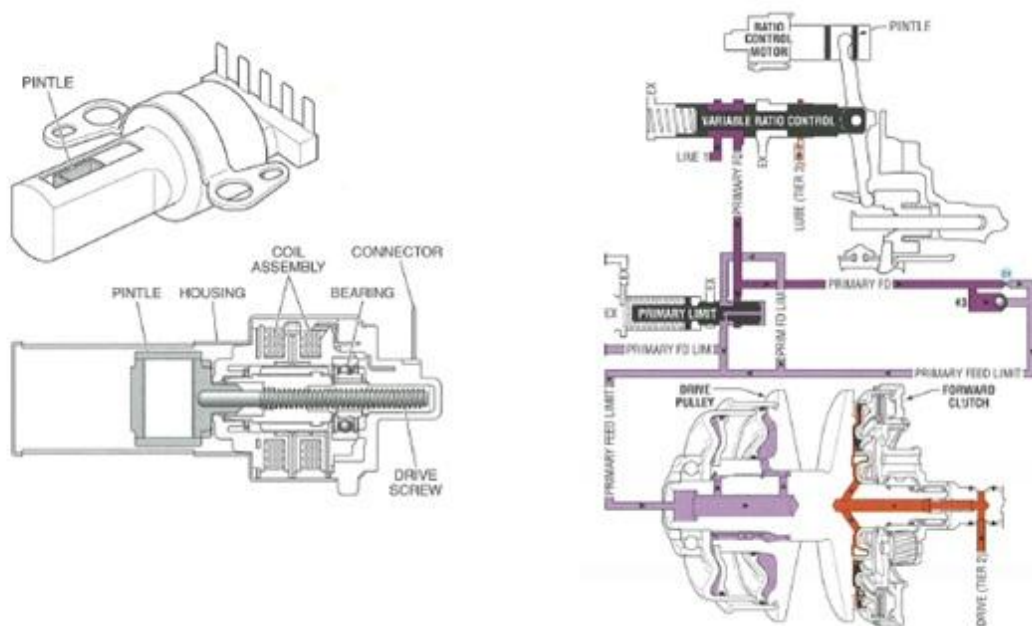
Ha a sebességváltó folyadék hőmérséklet rendkívül magas (hozzávetőleg 140 C° felett) (kalibrálható a TCM-ben), akkor a TCM kikapcsolja az ECCC funkciót és a TCC parancs kereső üzemmódot. A TCC alkalmazása a sebességváltó folyadék hőmérsékletének csökkentésére szolgál, melyet a folyadékkapcsolóval (hidrodinamikus tengelykapcsoló) hoznak létre a nyomatékváltóban a kiengedett TCC-vel. [8]

### 5.5. Leptető motor (RCM)

A léptető motor egy linerális egység részét képezi, amely megváltoztatja a sebességváltó erőátviteli arányát, pontosan vezérelve a vezérlőszelep különböző nyitási állapotát. Tehát elsőként szabályozza a folyadék áramlását.

Az RCM-nek egy 22.0 mm hosszú, névleges mozgáspályája van.

A sebességváltó vezérlő elem ellenőrzi az orsót, az RCM vonókeret helyzetének beállításával. A vonókeret mozgása megváltoztatja a különböző szabályozószelep helyzetét, amely szabályozza az először adagolt folyadék áramlását, és direkt módon változtatja a kúpkerekek távolságának arányát.



25. ábra Léptető motor szerkezeti felépítése és működése - Forrás: [8]

A TCM biztosítja a terület tápellátását, és úgy vezérli az alkalmazást, hogy az RCM-t, hogy lépésenként kitolja vagy visszahúzza a vonókeretet. [8]

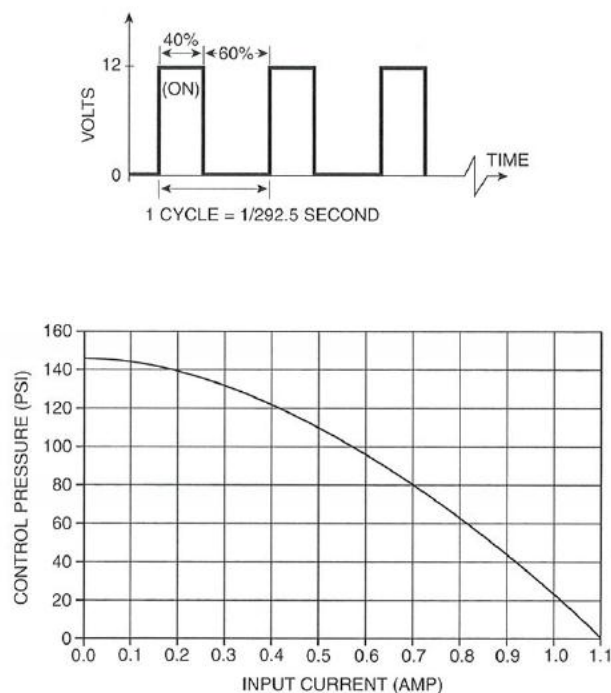
#### 5.5.1. Motor késleltetése

Amikor az unipoláris léptetőmotornak hirtelen forgási irányt kell változtatnia, akkor szükségszerűen be kell iktatnunk egy pillanatnyi szünetet az irányváltások között, mert az amúgy létrejövő, induktív tüskék maradandóan károsíthatnák a motor tekercseit. Ennek kiküszöbölésére a TCM az irányváltások közé szünetet iktat be. [8]

#### 5.6. Nyomásszabályozó

A nyomásszabályozó tulajdonképpen egy dugattyú, amely az olaj tömegáramlását vezérli. A dugattyúra egy rugó hat, melynek ellenerejét a dugattyú körül elhelyezett tekercsen átfolyó árammal hozhatjuk létre. Az áram nagyságát PWM vezérléssel állítjuk mérésünk során.

A PWM jel (Pulse with Modulation) frekvenciája 292,5 Hz.



26. ábra Nyomásszabályzó karakterisztika - Forrás: [8]

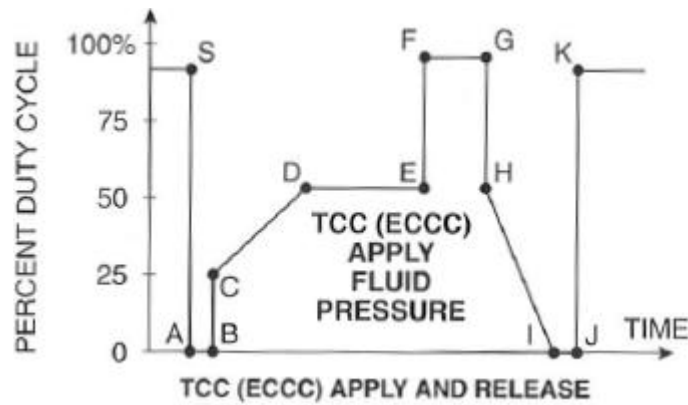
Ha kitöltési tényezője minimális (0%) Akkor a tekercsen átfolyó áram 100 mA nagyságú, ekkor a nyomás maximális. Viszont, a másik véghelyzetben, mikor a kitöltési tényező maximális (100%), akkor a tekercsen átfolyó áram 1,1A, ekkor a nyomás minimális.

A TCM a dugattyú helyzete a gázpozíciótól, a váltóolaj hőmérsékletétől, és a sebességfokozattól függ. [8]

### 5.7. Alapjárat / TCC forgásirány szabályzó mágnes szelep

Ez a szabályzó az üresjárat-, előrement-, és hátramenet előállítására hivatott. A tekercs szabályzójelének frekvenciája 32Hz, működése invertált. A szabályzón 1 ki- és 2 bemenet található.

Amennyiben az üresjárást akarjuk elérni, abban az esetben az on-off szelepet kikapcsoljuk és a szabályzótekercs kitöltési tényezőjét 98%-osra választjuk.



27. ábra Alapjárat / TCC forgásirány szabályzó karakterisztika - Forrás: [8]

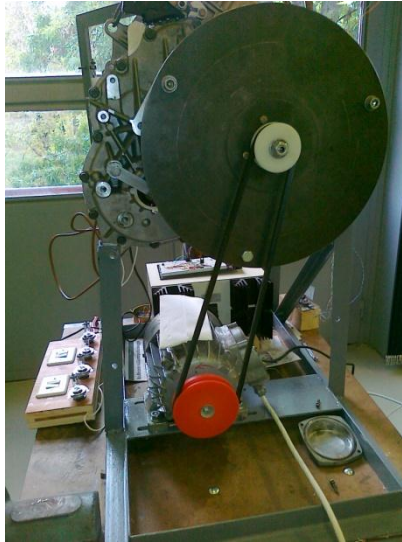
Mikor az on off szelep be van kapcsolva, akkor ez a a natural idlie/TCC arra van használva, hogy nyomást adjon a nyomatékvtóra. Menet közben 14km/h sebességig a vezérlő szolenoidot 90%-os kitöltési tényezővel nyomja ez a S pont a grafikonon. Amikor a jármű működési feltételi megfelelők, hogy bekapcsoljuk a TCC-t, akkor a TCM 0-ra állítja a kitöltési tényezőt, és után közvetlenül 25%-ra. Ezek után a TCm 50%-ig növeli a kitöltési tényezőt, a fokozatos növelést az ECCC-vel éri el. Az ECCC-vel nem teljes a nyomaték átadása, a be és kimeneti oldal között 20-40 fordulat per perc fordulat különbség van. Kiugróan nagy nyomatéknál, vagy nagy sebességnél, teljesen zárt. [8]

### 5.8. On-off Szelep

Kétállású vezérlőszelep, mely alapesetben kikapcsolt állapotban van. Áramlástan szempontból 2 ki- és 1 bemenete van. Működése során hidraulikusan meghatározza, hogy melyik folyadéknyomás, legyen szabályozva a TCC által. [8]

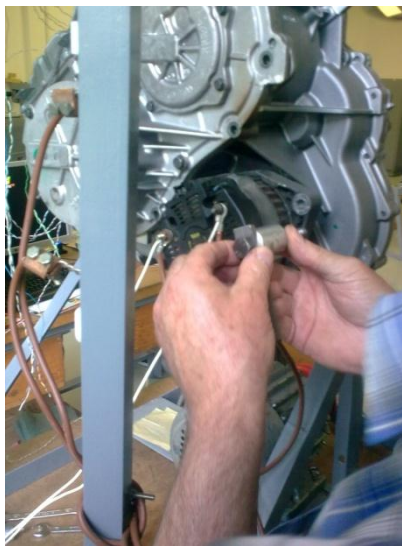
## **6. A mérés kialakítása**

A méréshez szükségünk volt egy hajtó motorra, melynek segítségével meghajtjuk a sebességváltót. Az erőforrást első vizsgálatunkban egy 3fázisú 1kW-os aszinkron motort jelent, melyet 4 csavarral rögzítettünk a vázhoz. A motor tengelyére szíjtárcsát helyeztünk, egy síkba a vele fölötte rögzített CVT-vel. A hajtást egy ékszíz segítségével oldottuk meg. A sebességváltó kimenetén az egyik féltengelyt rögzítettük a sebességváltó testhez, amit a differenciálmű zárása miatt volt szükséges. A rögzítés amiatt volt fontos, hogy a másik féltengelykimenetre adhassunk terhelést.



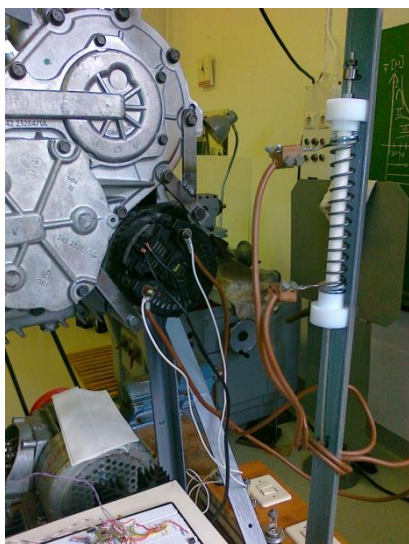
28. ábra Sebességváltó meghajtása 1 kW-os motorral

Ha nem alkalmazunk differenciálmű zárását, akkor a fogaskerekek „legördülése” miatt a terhelés semmisnek minősül.



29. ábra Differenciálmű zárása

A szabadon hagyott kimenetre egy 12V-os gépjárművekben alkalmazott Valeo típusú generátort alkalmaztunk. A generátorra, a terhelését tekintve, egy megközelítőleg 800 W-os ellenálláshuzalt kapcsolunk, továbbá 4 db egyenként 55W-os szintén gépjárművekben alkalmazott H4-es egyenként kapcsolható, párhuzamosan kötött halogénizzót kapcsolunk.



**31. ábra Terhelés kialakítása:**  
Valeo típusú generátor és 800 W-os  
ellenálláshuzal



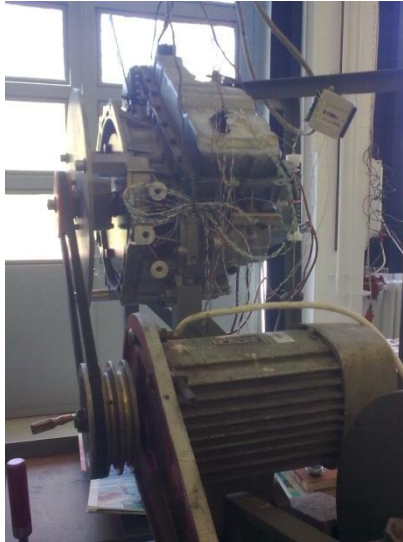
**30. ábra Forrás: 4x55W-os izzóellenállás**

A mérés során alkalmazott villanymotort frekvenciaváltó segítségével vezéreltük, így fokozatosan tudtuk növelni a motor sebességét. A frekvenciaváltó segítségével nyomon tudtuk követni, a felvett teljesítményt. A kimeneti oldalon lakatfogó segítségével lehetőségünk volt az áramerősség mérésére, valamint multiméterrel megmértük a generátor által leadott feszültséget is.

A generátor működésének feltétele a forgórészben indukálódó feszültség, amit külső tápegységgel, gépjárművekben alkalmazott 12V-os akkumulátor segítségével gerjesztettünk.

Vizsgálatunk során az 1 kW-os motor teljesítménye kevésnek bizonyult, mivel nem értük el a kimeneti tengely megforgatásához szükséges bementi fordulatszámot.

További vizsgálatok érdekében beszereztünk egy 2,4 kW-os háromfázisú asszinkron motort, mely a meghajtási konstrukció átalakítását vonta maga után.



32. ábra Motormeghajtás második kialakítása

A vázat az asztalhoz rögzítettük, lehetővé téve a szíj megszorításának lehetőségét, valamint biztosítottuk a konstrukciót a rezgéssel szemben.

A vizsgálat szempontjából a terhelésen nem változtattunk, viszont a vezérlést átalakítottuk, kiegészítettük.

## **7. Vezérlés megvalósítása**

Második feladatunk a vizsgálandó CVT sebességváltó vezérlését kivitelezni. A vezérlés „lelkét” alkotó TCM-t saját ötlet alapján helyettesítettük.

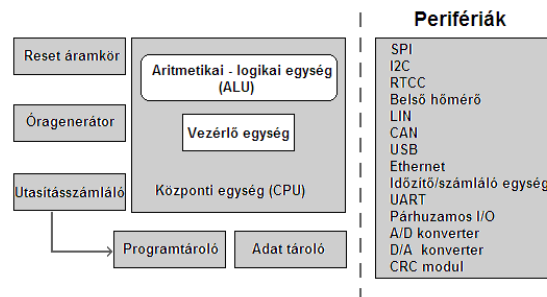
Elektromos vezérlő kialakítása:

Az általunk vizsgált CVT automata sebességváltó vezérlését eredetileg az úgynevezett ECU központi kontroller végzi. Az egység hiányában szükségszerűvé vált annak pótlása, funkcióinak részleges visszaállítása.

### **7.1. PIC-ek**

A vezérlés megvalósításához a Microchip által gyártott PIC mikrokontrollert használtunk. Mikrokontroller alatt a mikroprocesszort és a hozzá kapcsolódó különféle perifériák együttesét értjük. A számítógépekben található processzorokkal ellentétben, a mikrovezérlők általában Harvard architektúrájúak, azaz külön adat- és programmemóriával rendelkeznek. A perifériák, a mikrovezérlők dinamikus fejlődése

által, legkülönbözőbbek lehetnek. (Pl.: DAC, ADC, integrált USB és Ethernet kontroller, CCP modul, Timerek, Komparátorok, LIN, UART, SPI, I<sup>2</sup>C, RTCC stb.). A perifériák alkalmazása csökkenti a CPU terhelését, a hardveres implementációk miatt.



**33. ábra Mikrokontrollerek felépítése - Forrás:[9]**

A piacon a legelterjedtebbek az Atmel által gyártott AVR és a Microchip által gyártott PIC mikrokontrollerek, de a rajtuk kívül még sok másik gyártónak is van saját terméke. A teljesség igénye nélkül: Texas Instruments, Maxim, Motorola, Analog Devices.

A hazai piacot tekintve a legelterjedtebbek a Microchip termékei, de ez inkább a jól dokumentáltságuknak és semmint a hardveres tulajdonságainak köszönhető, bár manapság már nincsenek lényeges különbségek az egyes gyártók termékei között.

A PIC mikrokontrollereket 10 családba sorolhatjuk. A rendszerezés fő irányvonala az adatbusz és a programmemória szélessége, de ezen szempontok szerinti azonos családoknál egyéb megkülönböztetésekkel is élhetünk. Ilyen lehet például a működési sebesség, illetve, hogy rendelkezik-e a család DSP egységgel vagy sem.

PIC-ek rendszerezése a fent leírt szempontok szerint:

|                     |        | Utasítás hossza |                |        |                                        |        |
|---------------------|--------|-----------------|----------------|--------|----------------------------------------|--------|
|                     |        | 12 bit          | 14 bit         | 16 bit | 24 bit                                 | 32 bit |
| Adatbusz szélessége | 8 bit  | PIC10<br>PIC12  | PIC14<br>PIC16 | PIC18  |                                        |        |
|                     | 16 bit |                 |                |        | PIC24F<br>PIC24H<br>dsPIC30<br>dsPIC33 |        |
|                     | 32 bit |                 |                |        |                                        | PIC32  |

34. ábra: PIC-ek rendszerezése - Forrás: [10]

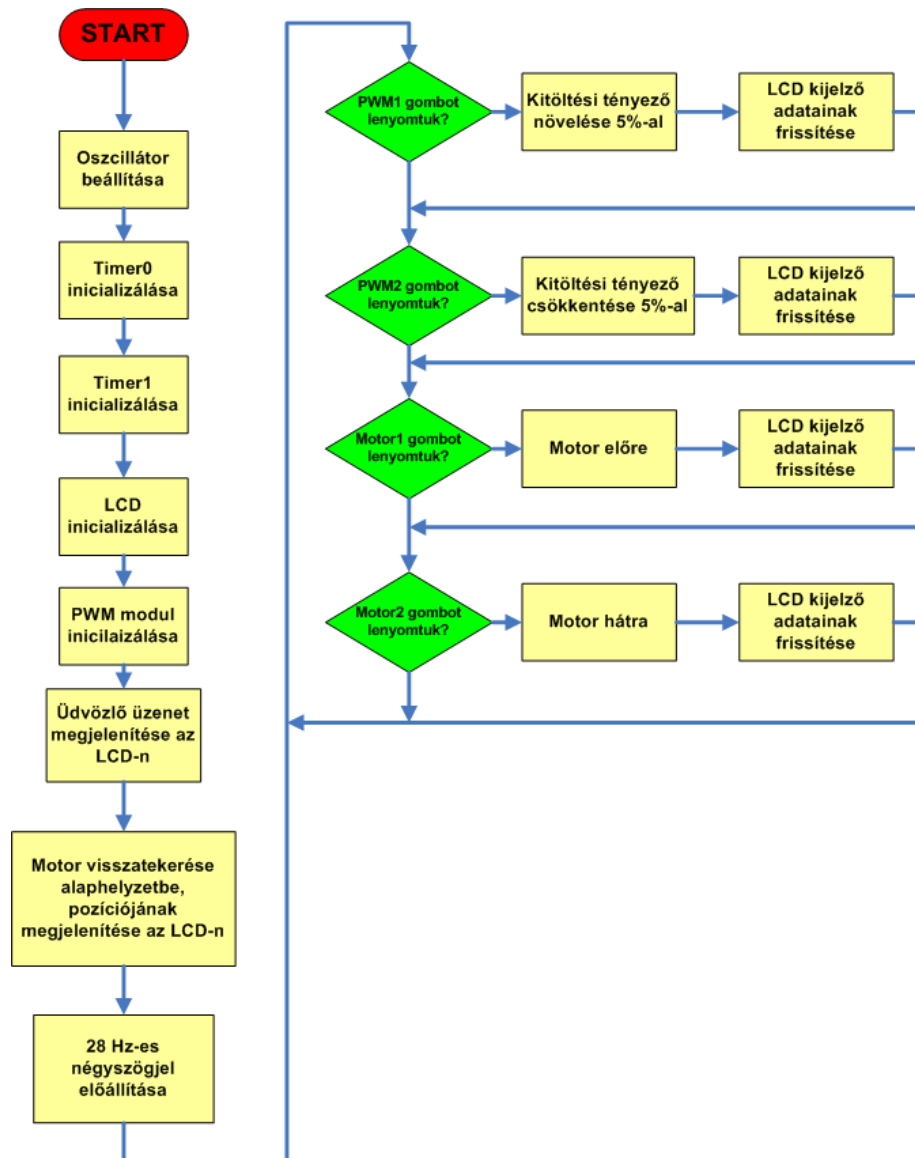
A fenti táblázatban pirossal kiemeltük, hogy pontosan hol is található az általunk alkalmazott PIC18F2550-es controller a termékpalettán. Az adatmemória 8 bit, míg a programmemóriája 16 bit széles. Az eszköz programmemóriája igen nagy, 32 kB-os. A controller széles oszcillátor konfigurációval üzemeltethető. Használhatunk külső, illetve belső oszcillátort. A tok elérhető, legnagyobb órajele 48 MHz. Ehhez már a beépített PLL áramkört kell alkalmazni. Megszakítási rendszere kétszintű, prioritásos. Minden egyes periféria prioritása hozzárendelhető valamelyik megszakítás vektorhoz. Perifériakészlete igen széles: USB 2.0-ás vezérlő modul, Továbbfejlesztett CCP (Capture, Compare, PWM) modul, Továbbfejlesztett soros kommunikációs periféria, SPI, párhuzamos port és 10 bites A/D konverter.

## 7.2. Az áramkörök tervezése és szimulációja

A vezérlő áramkörét három fő, különálló feladatra kellett felkészíteni, melyek rendre az alábbiak: a nyomatékátvitel változtatására szolgáló unipoláris léptetőmotorjának a vezérlése, az üresjárat, előre-, ill. hátrameneti tengelyforgást előidéző mágnes szelep kontrollálása PWM jellel, illetve mindezek mellett egy állandó 28 Hz-es 50 %-os kitöltési tényezőjű négyszögjel előállítás, a főági olajnyomást vezérlő mágnes szelep aktiválása céljából. A PWM betűhármas jelentése Pulse Width Modulation, azaz Impulzus Szélesség Moduláció. Lényege, hogy egy fix periódusidejű négyszögjel

kitöltési tényezőjét változtatjuk, azaz a bevitt energia mennyiségét szabályozzuk. A rendszer jellemzőiről, állapotáról egy HD44780-as karakteres LCD kijelzőn keresztül informálódhatunk.

A kontrolleren futó program fejlesztése a Microchip által biztosított fejlesztő környezetben, az MPLAB IDE-ben történt. Ez egy egységes fejlesztői környezet a PIC mikrovezérlők szoftverfejlesztéséhez. A vezérlőn futó program megírása C programnyelven történt. A program futásának folyamatábrája az alábbi:



35. ábra A szoftver folyamatábrája

Megjegyzés: A képen látható folyamatábra második, javított folyamatot mutatja be, az elsődleges folyamatábra a mellékletben található a hozzá tartozó tervezett és kivitelezett nyáktervvvel.

A program indulásakor az oszcillátor beállítása és az I/O-k felkonfigurálása történik. Ez után a Timer-ek, azaz az időzítő áramkörök, LCD és a PWM periféria inicializálása következik. Ez utóbbi lépést megvalósító C programkódot bemutatjuk annak érdekében, hogy egy képet kapjanak a szoftver jellegéről, de nem célunk a teljes program részletes bemutatása:

```
void PWM1Init(void)
{
    CCP1CON=0b00001100;           //PWM mod

    T2CONbits.T2CKPS=2;           //1:16-os elosztó
    PR2=249;                      //250 Hz-es PWM

    /*0%-os kitöltési tényező*/
    CCPR1L=0b00000000;           // A kitöltési tényező felső 8 bitje

                                   // A kitöltési tényező alsó 2 bitje

    T2CONbits.TMR2ON=1;
}
```

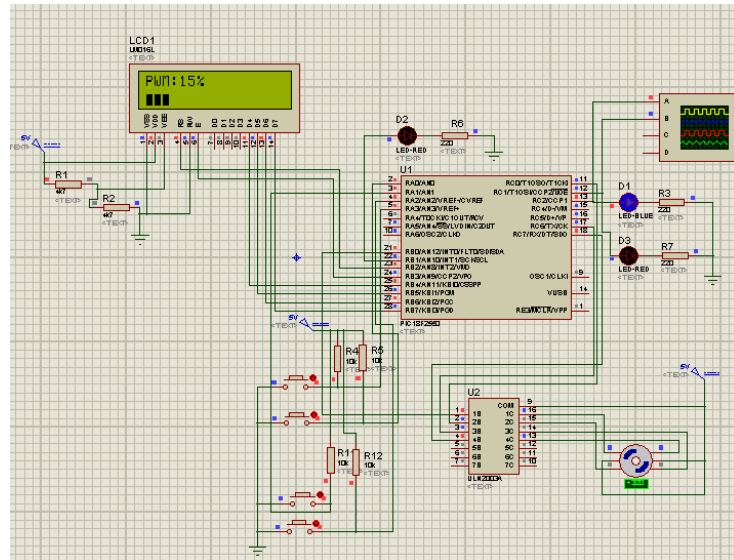
36. ábra A PWM modult inicializáló programkód

Elsőször beállítottuk a PWM jel frekvenciáját. Ennek értékét a CVT sebességváltó dokumentációjában lévő 250 Hz-re állítottuk. Ezek után inicializáltuk a kitöltési tényezőt, melyet alapesetben 0%-osnak állítottunk be.

A program törzse egy végtelen ciklus, melyben a lenyomott gombok függvényében történik a PWM jel kitöltési tényezőjének és a léptető motor forgási irányának vezérlése. A kitöltési tényező értékéről és a motor helyzetéről a felhasználó a karakteres LCD-ről informálódhat.

A motor teljesítményfelvétele meghaladja a kontroller által leadni képes határértéket, így a meghajtáshoz Darlington tranzisztor mezőt alkalmaztunk. Ugyanez a helyzet a mágnesetekercseknél is. Ott e célból N-csatornás, logikai MOSFET-eket használtunk.

Mindezek után elvégeztük a kapcsolás szimulációját Proteus VSM szoftver segítségével. Pozitívuma a programnak, a többi szimulátorhoz képest, hogy lehetőségünk van mikrovezérlős rendszerek tesztelésére is.



37. ábra Szimuláció Proteus VSM segítségével

A szimulációs eredmények segítségével tökéletesítettük a vezérlést, illetve kisebb módosításokat hajtottunk végre az áramkörben, megelőzve a valós teszt közbeni esetleges előforduló problémákat.

## Összegzés

Vizsgálataink során a sebességváltót elindítottuk, a vezérlőegység működőképes, azonban a sebességváltó hatásfokának megállapításához legalább 5kW teljesítményű motor szükséges. A további kutatásra szenzor jelfeldolgozást előkészítettük, NI 6008-as adatgyűjtő kártyával felszereltük, valamint elméleti hibrid hajtás kialakításának lehetőségét is előtérbe helyeztük:

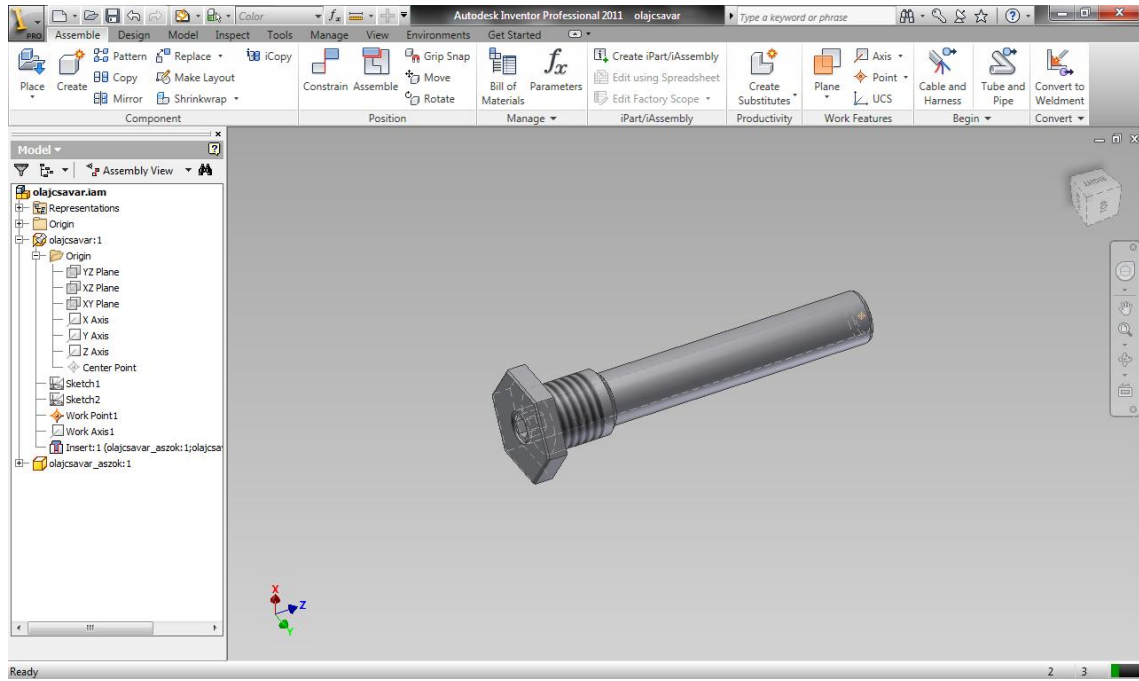
A nyomatékvtóra állandó mágnesek helyezése, valamint a sebességváltótest tekercselés a nyomatékvtó körül energiatakarékossági, valamint üzemanyag megtakarítást jelentene gépjárművek számára. Fékezéskor generátor üzemmód, míg hajtáskor motor üzemmód alakul ki.

## **Irodalomjegyzék**

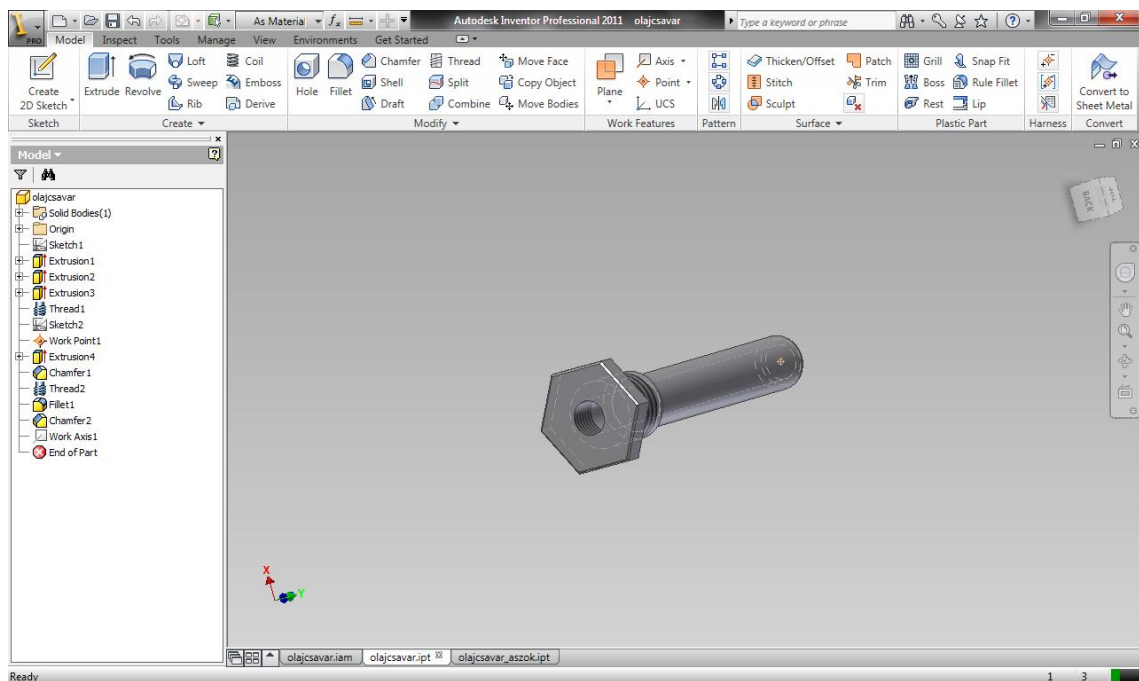
- [1] <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Daf600arievdvliet.jpg>
- [2] <http://automatavaltos-autosiskola.hu/tortenet.php>
- [3] Autótechnika Magazin 2004/4 – Erőátvitel/ dr. Pordán Mihály Váltókörkép c. cikk
- [4] Zinner György – Gépjárművek erőátviteli berendezései
- [5] Saját Fotó
- [6] Matlab megjelenítés
- [7] Saját készítésű rajz
- [8] GM - VT20/25-E Technician's Guid
- [9] Kónya László - Kopják József: PIC mikrovezérlők alkalmazástechnikája
- [10] <http://www.microchip.com/>

## Mellékletek:

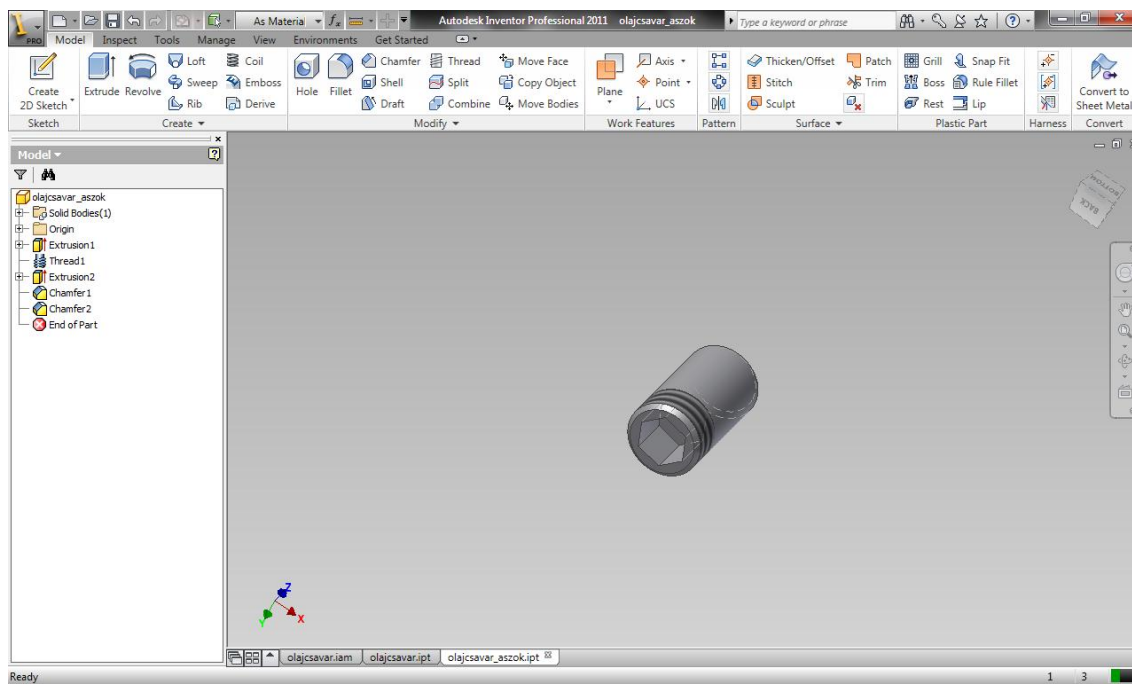
### Melléklet 1.



38. ábra Olajcsavar összeállítás Inventorban



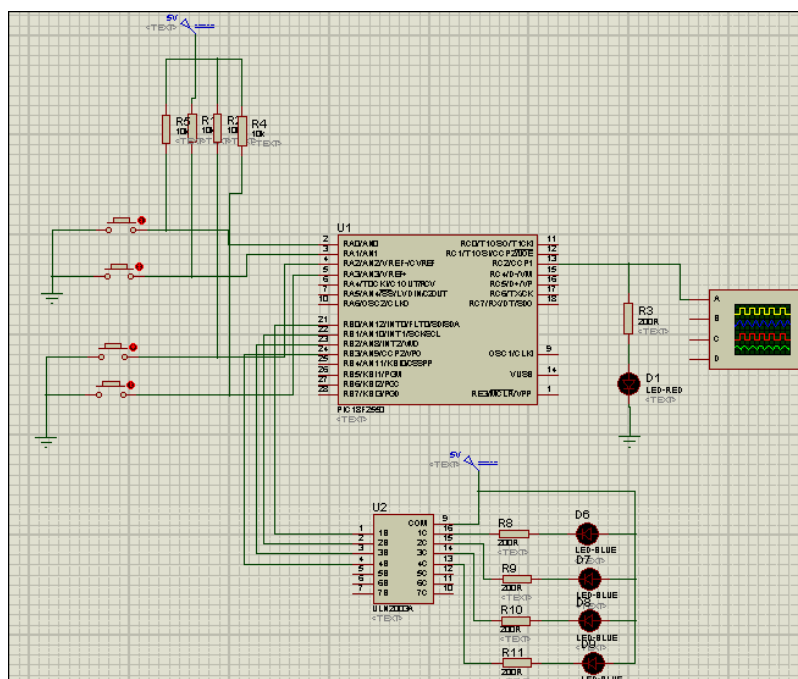
379. ábra Hüvelycsavar (olajszintjelző) Inventorban



40. ábra Zárócsavar (olajszintjelző) Inventorban

## Melléklet 2.

Korábbi kapcsolás szimulációja Proteus VSM programban.



41. ábra Szimuláció Proteus VSM segítségével

Miután a szimuláció segítségével megbizonyosodtunk arról, hogy a kapcsolás az elvárások szerint működik, következett az áramköri lap megtervezése. Ehhez a CADSoft Eagle programját használtuk.



## Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni, Családomnak, Kedvesemnek, Barátaimnak a biztatásért, támogatásért.

Külön köszönetet mondok Elekes Péter és Szőcs Balázs barátaimnak, akik technikai oldalról nyújtottak mind elméleti, mind gyakorlati, szakmai segítséget.

Köszönöm dr. Horváth Pál Tanár Úr közbenjárását kutatómunka lebonyolításában, valamint a dolgozat megírásában nyújtott folyamatos támogatásáért, szakmai segítségéért.

Köszönettel tartozom a Géptan Intézeti Tanszéknek a segítségéért.

Köszönöm az Alkalmazott Géptan Intézeti Tanszék műhelyi közbenjárását Szöllösy György személyében.