

Otto-motor modellezése GT Suite szoftverrel

Dr. Lakatos István Ph.D., egyetemi docens

Széchenyi István Egyetem,
H9026 Győr, Egyetem tér 1. (Tel: +36 30 261-68-30, e-mail: lakatos@sze.hu)

„TAMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003: Mobilitás és környezet: Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép- és Nyugat-Dunántúli Régióban. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

Az MTA Bolyai Ösztöndíj támogatásával

Abstract: A kiválasztott vizsgálati jármű hajtáslánc modellezésének első lépéseként. A belsőégésű (feltöltetlen, 4-hengeres, 8 szelepes Otto-motor) modelljének felépítését végeztük, a GT Suite szoftver segítségével. A modell felépítése és identifikálása komplex, több előzetes adat-meghatározási munkát igénylő jelentő feladat. A cikkben a motor modell felállításának néhány lényeges elemét mutatjuk be.

1. BEVEZETÉS

A K+F projekten belül a belsőégésű motor modell felépítése alapos motorműködési és hő- és ármalástechnikai ismereteket igényel. E folyamat során a szoftver által igényelt adatok meghatározása lényeges feladat volt és a modellezés során folyamatos visszacsatolásokat igényelt. Ebbe a folyamatba és ennek elméleti ismeretanyagába kívánunk betekintést nyújtani a tanulmánnyal.

2. A MODELLKÉSZÍTÉS ALAPJAI

Négyütemű, nem feltöltött Otto-motorral hajtott jármű hajtáslánc modellezésének első lépése a motor modelljének felállítása. Ezt majd eszközként használjuk a többváltozós optimum vizsgálathoz.

A modellezés kellő körütekintést igényelt. A motor szempontjából kulcsfontosságú a töltetcsere és az égésfolyamat leírása. A továbbiakban e kettővel foglalkozunk részletesebben.

Előjáróban azonban mindenképpen le kell rögzíteni a későbbi vizsgálatokra jellemző **motor-üzemállapotot**, amely **stacionárius**. Ez azt jelenti, hogy a motor üzemi és beállítási paraméterei – természetesen a vizsgált jellemzők kivételével – a felvett és vizsgált munkapontokban állandóak.

2.1. A töltetcsere-folyamatot leíró modellek

Töltetcsere-folyamat, definíció szerint, a kipufogó szelep nyitásától a szívószelep zárásáig terjedő periódust értjük. Vizsgálata során, a töltetcsere-vezérlés szempontjából termodinamikailag az alábbi jellemzők ismerete lényeges:

- hengertéri-nyomáslefutás diagram,
- hengertéri-hőmérsékletlefutás diagram,
- a hengertöltet (töltési fok) változása,
- a maradékgáz-tényező változása,
- a töltetcsere munka nagysága.

A modellek a töltött és ürített tartály alapelvén nyugszanak, amelyet először LIST, majd TAYLOR alkalmazott a belsőégésű motorra. Ezt az alapelvet alapvetően kétféle megközelítésben vizsgálhatjuk.

Stacionárius töltetcsere modell

A **stacionárius** jelző ez esetben a motor előtti és utáni **termodinamikai állapotjelzők időbeli állandóságát tételezi fel**. Ez az elv, a változásokat leíró differenciál egyenletek szempontjából a megoldást jelentősen egyszerűsíti.

Instacionárius töltetcsere modell

Az instacionárius vizsgálat már a motor előtt és után uralkodó termodinamikai állapotjelzők időbeli változását is figyelembe veszi. Ez alkalmassá teszi a szívó- és kipufogó vezeték „hangolási” problémáinak megoldására.

E modell matematikai „megfogalmazása” többféleképpen történhet:

Akusztikai elmélet

A módszer a nyomás- és sebesség hullámok felhasználásán alapul. Számítási igénye meglehetősen nagy és ez szűkíti a felhasználói kört.

Karakterisztikák-eljárás

Ez nagyon szemléletes grafikus módszer, amelyet főként iterációk első közelítéseként használnak napjainkban.

A gázoszlop tömegtehetetlenségén alapuló eljárás

HUBER módszere a felgyorsított gázoszlop tömegtehetetlenségét veszi figyelembe. Speciálisan belsőégésű motorok töltetcsere modellezésére fejlesztették ki. Az akusztikai elmélettel jól megegyező eredményt ad, csekélyebb számítási igénnyel. Ez a módszer főként a szívórendszerekre alkalmazható, a kipufogórendszerek ugyanis a beépített hangtompítók miatt nem kezelhetők egyszerű csőrendszerként.

A számítógépek elterjedésével a grafikus módszerekkel szemben a numerikus eljárások kerültek előtérbe és nyertek széleskörű alkalmazást.

2.2. Főmunkafolyamat modellek

A főmunkafolyamat a körfolyamatnak a szívószelep zárásától a kipufogó szelep nyitásáig terjedő része. Tehát magában foglalja a kompresszió-, az égés- és az expanzió-folyamatot.

Vizsgálata során az alábbi jellemzők számítása a lényeges:

- Hengertéri-nyomáslefutás
- Hengertéri-hőmérsékletlefutás
- Indikált munka
- Indikált fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás (illetve indikált hatásfok)

A főmunkafolyamat szakaszai közül az égésfolyamat a jelentősége a legnagyobb, hiszen ez írja le a motorban lezajló energiaátalakulást.

Az égésfolyamat-modellek csoportosítása

Az égésfolyamat modellek alapvetően nulla- egy-, vagy több-dimenzionálisak lehetnek. A **nulla-dimenzionális** modellek a töltetet a hengertérben, illetve annak zónáiban homogénnek tételezik fel. Az egy- vagy több-dimenzionális modellek viszont termodinamika és áramlástechnikai egyenleteket oldanak meg az égéstér különböző pontjaira. Ez utóbbi viszont jelentős és bonyolult számítási igényhez vezet.

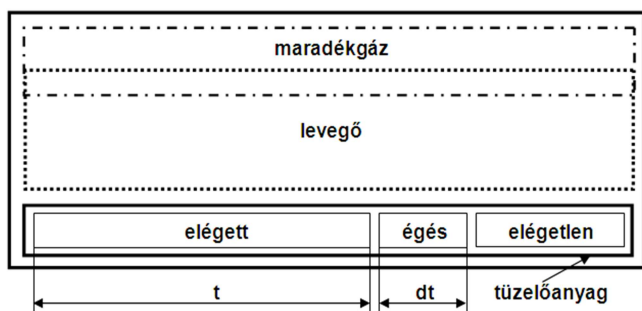
A modellek további csoportosítása aszerint történik, hogy hány részre osztják fel az égésteret a számítás szempontjából.

Egyzónás égésfolyamat modell

Az egyzónás modell arról kapta a nevét, hogy a teljes égéstér egy zónát képvisel, tehát a nyomás és a hőmérséklet az égéstér minden pontjában azonos értékű. Sémáját az 1. ábra mutatja.

A modell alapegyenletei a következők:

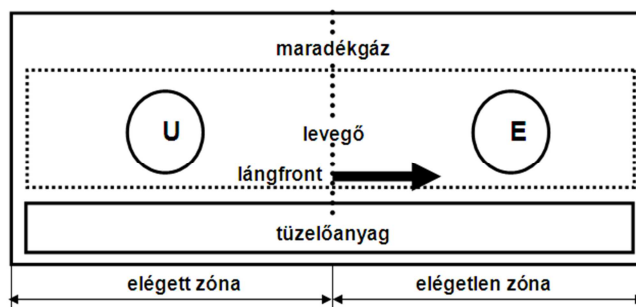
- a termodinamika első főtétele
- a tömegegyensúly
- az energia egyensúly



1. ábra: egyzónás égési modell sémája

Kettő- és több zónás égésfolyamat modellek

A modell elvi sémáját a 2. ábra mutatja.



2. ábra: A kézzónás modell sémája

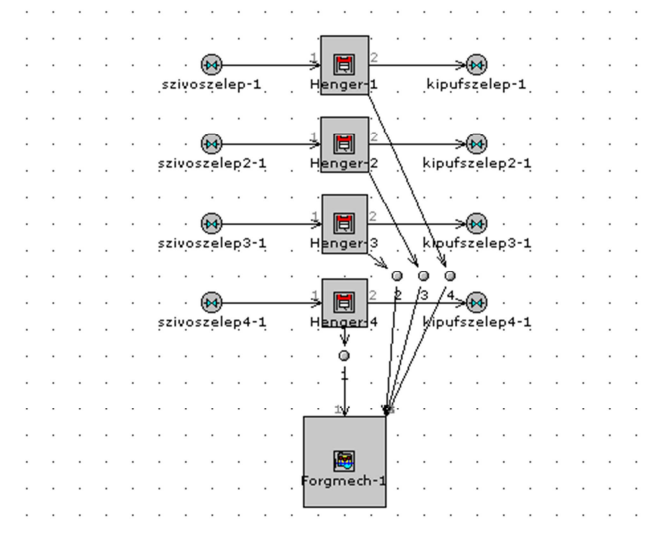
Az egyzónás modellel szembeni legfőbb eltérése a hőmérsékletlefutás számításában adódik, hiszen itt a lángfront előtti és utáni állapot is értelmezve van. Ebből adódóan használata akkor célszerű, amikor erre szükség van (pl. az emissziós szempontok mélyebb elemzése céljából).

A többzónás modell ettől annyiban tér el, hogy az elégett zónát is több részre osztja fel. Ezzel még finomabban meghatározható a hengerbeli hőmérséklet-eloszlás.

3. A MOTOR MODELLEZÉSE GT SUITE PROGRAMMAL

3.1. Szívószelep – henger - forgattyús mechanizmus – kipufogószelep modell-egység

A GT Suite programban a **szívószelep – henger – forgattyús mechanizmus – kipufogószelep rész** általános felépítése megnevezésekkel az 3. ábrán látható.



3. ábra: GT Suite modell egység

Az egyes elemek a képen látható nyilakkal (csatoló elemekkel) működés szerint csatlakoznak egymáshoz, tehát az első számú szívószelep az első számú hengerhez, majd az, az első számú kipufogószelephez. A forgattyús mechanizmushoz valamennyi henger egyaránt kapcsolódik.

Adatok megadása

Szelepek

A szelep-adatok megadása a programban öt fül alatt történik:

- Main (fő)
- Advanced (haladó)
- Scalars (együtthatók)
- Lift array (emelési értékek)
- Flow arrays (áramlási tényezők)
-

A **Main** fül alatt több nélkülözhetetlen, a modellezendő motoron egyszerűen mérhető adatot kell megadni:

- **Valve Reference Diameter:** szelep referencia átmérő (nem egyezik meg minden esetben a valós átmérővel, az áramlási felületeket kell figyelembe venni)
- **Valve Lash:** szelephézag (automatikus szelephézag-kiegyenlítővel rendelkező motorok esetén 0)
- **Cam Timing Angle:** forgattyús tengely – vezérműtengely elékelési szög

A két további állítási lehetőség alapbeállításon maradhat.

Az **Advanced** fül alatti paramétereken alapesetben nem változtattunk.

Scalars fül alatt különféle együtthatók találhatók, az ajánlott alapbeállítások itt is megfelelőek.

Lift Arrays fülénél kell táblázatba foglalnunk a szelepemelési értékeket. Ezt választhatóan főtengely vagy vezérműtengely elfordulási szög függvényében tehetjük meg. Fontos követelmény, hogy az értékeknek monoton formában a -360 és +720 fok közötti tartományban kell esniük. A szögértékek nem ismétlődhetnek az oszlopban. Ezeket az értékeket a hengerfejre épített induktív út- és szöghelyzet-jeladókkal vettük fel.

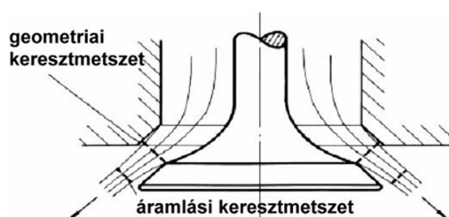
Flow Arrays fül alatt pedig az áramlási tényezőket kell felvennünk.

A szelep áramlási keresztmetszete kisebb, mint a geometriai nyitási keresztmetszet (A_G). A maximális szelepnitítás esetén ($h \approx 0,25 \cdot D$) az áramlási keresztmetszet a geometriai keresztmetszet 60 – 80 %-a.

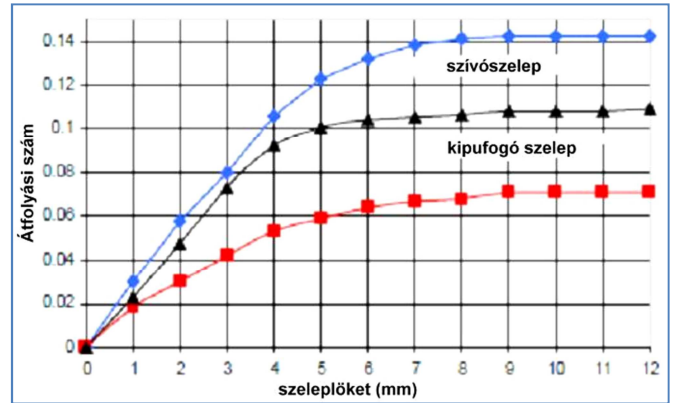
A tényleges áramlási viszonyokra a geometriai keresztmetszetet a μ szűkítési tényezővel kell módosítani.

$$A_{\text{tényleges}} = \mu \cdot A_G$$

A μ függvényt a szelepnitítás függvényében az 5. ábra mutatja.



4. ábra: Közegáramlás szelepen



5. ábra: Szűkítési tényezők

Henger

A **henger objektum** esetében két fülön kell megadni az adatokat, amelyek közül az első esetében pontosan meghatározott adatokra van szükség, a második esetében viszont alapul vehetjük a program által javasolt értékeket (később aztán ezek is pontosításra kerülnek):

- Main (fő beállítások)
- Advanced (Első közelítésben minden ignorálva)

Main fül alatt a következő fontos beállítások szükségesek:

- **Initial State Object:** kezdeti kondíció (állapot) a hengerben

Itt „kezdetikondicio” néven megadtunk egy „FluidInitialState” típusú objektumot, mely a három alábbi sort tartalmazza:

- Pressure (nyomás): 1 bar
- Temperature (hőmérséklet) 293 K
- Composition (összetétel): itt újabb objektumot hoztunk létre „összetétel” néven, ami „FluidMixtureCombust” típusú és két fülből áll:

Main és Fluids

- Main-en belül pedig a Mixture Property Flag mellett kell megadni, hogy éghető-e avagy nem (burn, noburn és combine).
- Fluids-nál pedig az összetevőket kell megadni. Elemzett mintamodellek alapján „O₂-vap” nevű objektumot 0,233 tömegarányban, míg az „N₂-vap” nevűt pedig 0,767 arányban adtuk meg.

- **Wall Temperature Object** (falhőmérséklet objektum)

„falhőmérséklet” néven létrehoztunk egy „EngCyltWall” típusú objektumot, amihez három hőmérséklet értéket kellett megadnunk, amelyeket a vonatkozó szakirodalom és smintamodellek alapján vettünk fel:

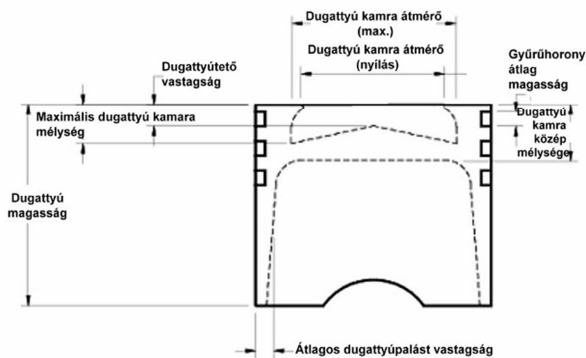
- Head Temperature (hengerfej hőmérséklet): 575 K
- Piston Temperature (dugattyú hőmérséklet): (575 K)
- Cylinder Temperature (henger hőmérséklet): 400 K

• **Heat Transfer Object** (hőátadás objektum)
„hoatadas” néven készítettünk egy „EngCylHeatTr” objektumot, melyben a következő adatsorokat állítottuk be:

- Heat Transfer Model (hőátadási modell): a minta modellek alapján a WoschniGT-t választottuk
 - Head/Bore Area Ratio (hengerfej-felszín(gáz oldali) / hengerfurat-felület aránya)
 - Piston/Bore Area Ratio: dugattyúfelszín és hengerfurat-felület aránya
 - Convection Temperature Evaluation (konvektív hőátadás): a mintamodellek alapján a quadratic-ot választottuk
- A többi adatsor maradhat def/ign értéken.

• **Flow object:** áramlás objektum
„egester” néven készítettük el az „EngCylFlow” típusú objektumot, mely az alábbi négy fület tartalmazza:

- Geometry
 - Piston Cup Object: dugattyúkamra objektum
- Ennél a pontnál létrehoztuk a „dugattyucsesze” nevű, „EngCylPistCup” típusú objektumot, melyben a dugattyúkamra geometriai méreteit az alábbi ábra alapján kellett megadni:

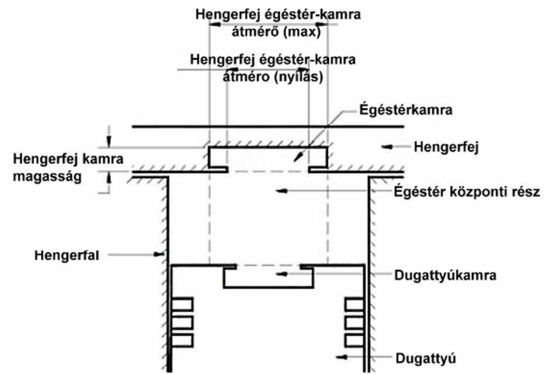


6. ábra: Dugattyúkamra méretek

A méréssel meghatározott méretek az alábbiak:

- Dugattyú kamra átmérő (max.) 62,4 mm
- Maximális dugattyú kamra mélység 2,5 mm
- Dugattyú kamra átmérő (nyílás) 62,4 mm
- Dugattyú kamra közép mélysége 2,5 mm
- Dugattyú magasság 51 mm
- Dugattyútető vastagság 9,7 mm
- Gyűrűhorony átlag magasság 3 mm
- Hengerfej égéstér-kamraátmérő (max) 80,6 mm
- Hengerfej égéstér-kamraátmérő (nyílás) 80,6 mm
- Hengerfej kamra magasság 8 mm
- Dugattyú előállítás 0,42 mm

Utóbbi négy geometriai méret a 7. ábra alapján értelmezhető:

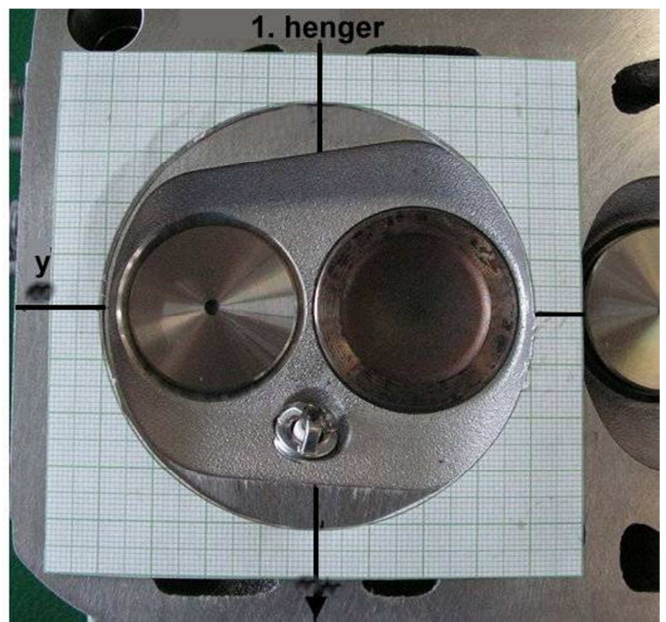


7. ábra: További dugattyú és égéstér méretek

A további három fülnél (Initialization/Imposed, Tumble Options, User Routine) változtatás nem szükséges, a program által ajánlott értékek megfelelőek.

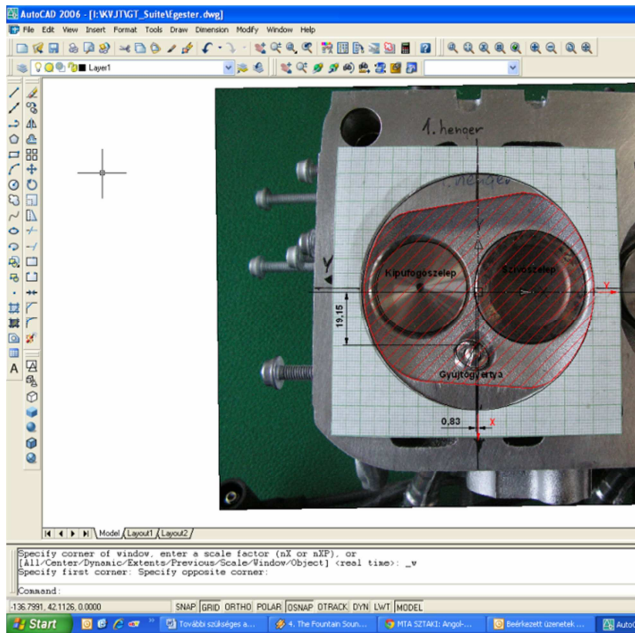
A dugattyúkamra méretei az alábbi módszerrel kerültek meghatározásra:
Mért paraméterek:

Első lépésben milliméter-papírral ragasztottunk a hengerfejre.

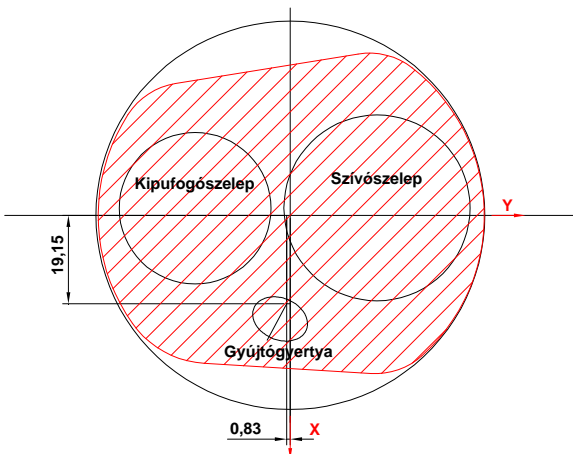


8. ábra: Milliméter papírral „preparált” hengerfej

A képet AutoCad-ben mérethelyesen megjelenítettük, majd ezen a méretarányos képen megmértük a szükséges adatokat (9. ábra).



9. ábra: Autocad-be importált hengerfej kép



10. ábra: Megszerkesztett dugattyúkamra alaprajz

A koordináta rendszert úgy vettük fel, hogy az X tengely a jármű hosszirányába mutat. A pozitív irány a jármű haladási iránya.

Y tengelyt az X tengely óramutató járásával ellenkező irányban, vízszintes síkban történő 90 fokos forgatással kaptuk.

Z tengelyt a Y tengely forgatása óramutató járással ellenkező irányban, függőleges síkban 90 fokos forgatással kaptuk.

A 10. ábrán pirossal sraffozott terület súlypontjának koordinátái:

- X koordináta: - 0,4438 (negatív)
- Y koordináta: 7,9401

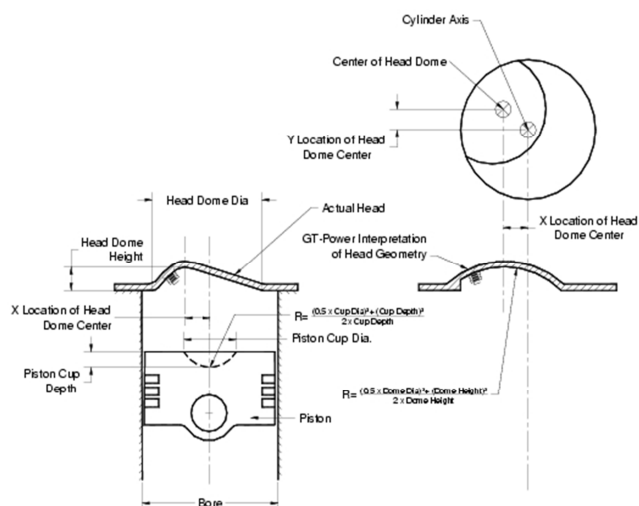
Combustion Object: égés objektum

„gyújtás” néven hoztunk létre egy „EngCylCombSITurb” típusú objektumot, ami a következő füleket tartalmazza:

- Main (fő adatok):
 - Flame Geometry Object: láng geometriai objektum Esetünkben elkészítettük a „láng” nevű, „EngCylFlame” típusú objektumot, mely két fő fülre tagolódik (a másik kettő lehetőséget ignorálhatjuk):
 - Sparkplug: gyújtógyertya
 - X Location of Spark: szikra X koordinátája
 - Y Location of Spark: szikra Y koordinátája
 - Z Location of Spark: szikra Z koordinátája
 - Flame Center Motion Control: def

- Geometry: geometria

- Surface Discretization Resolution: def
- Head and Valves Geometry Type: hengerfej égéstér geometriai típus, esetünkben dome
- X Location of Head Dome Center: X helyzet a hengerfej égéstér közepétől (11. ábra alapján)
- Y Location of Head Dome Center: Y helyzet a hengerfej égéstér közepétől (11. ábra alapján)
- Head Dome Diameter: hengerfej égéstér átmérő (11. ábra alapján)
- Head Dome Height: hengerfej égéstér magasság (11. ábra alapján)
- Plot Internal Mesh for the Head: kipipáljuk (kiválasztjuk) a mintamodell alapján
- Piston Geometry Type: dugattyú geometriai típus, esetünkben cup
- X Location of Piston Cup Center: dugattyúkamra-közép X helyzete (11. ábra alapján)
- Y Location of Piston Cup Center: dugattyúkamra-közép Y helyzete (11. ábra alapján)
- Piston Cup Diameter: dugattyúkamra átmérő (11. ábra alapján)
- Piston Cup Depth: dugattyúkamra mélység (11. ábra alapján)
- Plot Internal Mesh for the Piston: kipipáljuk a mintamodell alapján



11. ábra: Égéstér geometriai adatok

LamSpeed fiúlnél a mintamodell alapján csak a „Fuel Name for Laminar Speed” menüpontot állítottuk be „gasoline-old”-ra.

Itt az alábbi tüzelőanyagok közül választhatunk:

Fuel	B _m [m/s]	B Φ [m/s]	Φ _m	α	β
gasoline	0.350	-0.549	1.100	2.4 - 0.271 φ ^{3.51}	-0.357 + 0.14 φ ^{2.77}
gasoline-old	0.305	-0.549	1.210	2.4 - 0.271 φ ^{3.51}	-0.357 + 0.14 φ ^{2.77}
isooctane	0.263	-0.847	1.130	2.18 - 0.8 (Φ - 1)	-0.16 + 0.22 (Φ - 1)
methanol	0.369	-1.405	1.110	2.18 - 0.8 (Φ - 1)	-0.16 + 0.22 (Φ - 1)
propane	0.342	-1.387	1.080	2.18 - 0.8 (Φ - 1)	-0.16 + 0.22 (Φ - 1)
methane	Proprietary				
hydrogen	Proprietary				
ethanol	0.452	-1.639	1.091	2.18 - 0.8 (Φ - 1)	-0.16 + 0.22 (Φ - 1)

12. ábra: Tüzelőanyag kiválasztás

Az alábbi fülek változtatás nélkül maradhatnak:

- **Cylinder Combustion Mode:** henger égési mód, esetünkben independent, azaz független
- **Measured Cylinder Pressure Analysis Object:** mért hengernyomás analízis objektum, esetünkben ignorálva
- **Cylinder Pressure Analysis Mode:** hengernyomás-analízis mód, esetünkben off, azaz kikapcsolva

Forgattyús mechanizmus

A forgattyús mechanizmus objektum hét fiúlból áll, amiből az első hárommal foglalkoztunk részletesebben. A többi a modell alkalmazási céljának szempontjából jelenleg figyelmen kívül hagyható. A fülek a következők:

- **Main** (fő)
- **Cylinder Geomety** (henger geometria)
- **Firing Order** (gyújtási sorrend)
- RLT Norms
- Inertia (tehetetlenségi nyomatékok)
- Bearing Loads (csapágy terhelések)

- Vibration Isolator (rezgés csökkentés)
- A **Main** fiúlon több fontos értéket kell megadnunk:
- Engine Type: motor típusa (2 vagy 4 ütemű)
 - Speed or Load Specification: ki kell választani, hogy motor fordulatszám vagy terhelés függvényében dolgozunk
 - Engine Speed: motor fordulatszám (munkaponti)
 - Engine Friction Object or FMEP: motor súrlódási objektum

„frikcio” néven létrehoztam egy „EngFrictionCF” típusú objektumot, aminek négy értékét a súgóban található ajánlott értéktartományok középértékeire vettem fel

- Start of Cycle (CA at IVC): ciklus kezdete (főtengelyelfordulási szögben, a felső holtpont előtt, ahol a számítás indul)

A **Cylinder Geometry** fiúl alatt két fő objektumot kell megadni:

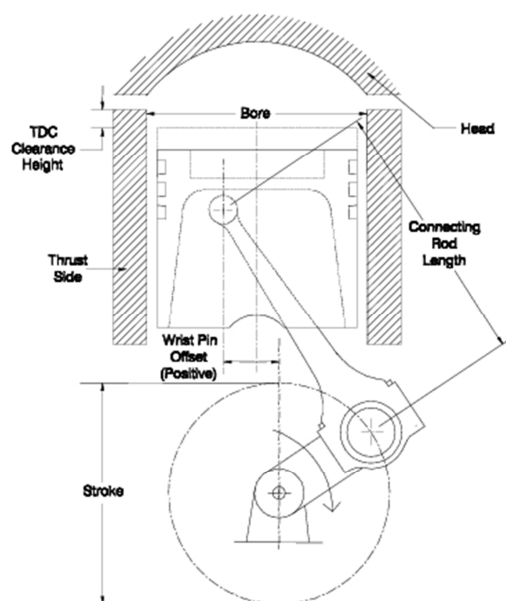
- Cylinder Geometry Object: henger geometriai objektum

„hengergeom” névvel készítettünk egy „EngCylGeom” típusú objektumot, mely három fiúlból épül fel:

- **Main**
- Piston-to-Crank Offset
- Crank-Slider Compliance

A **Main** fiúlon kell megadni a főbb geometriai adatokat:

- Bore: furat, esetünkben 81,03 mm
- Stroke: löket, esetünkben 77,4 mm
- Connecting Rod Length: hajtórúd hossza, esetünkben 151,98 mm
- Compressio Ratio: kompresszióviszony, esetünkben 10,5
- TDC Clearance Height: dugattyú előállítás, esetünkben 0,42 mm



13. ábra: A forgattyú mechanizmus geometriai méretei

Hajlított szakasz modellezése:

Itt is az egyenes szakasznál látható adatokat kell megadni, valamint a „Bend” fülön van még szükség néhány további adatra:

- A hajlítás sugara: Radius of Bend
- A hajlítás szöge: Radius of Bend

Ez az adatfűl látható a 21. ábrán.

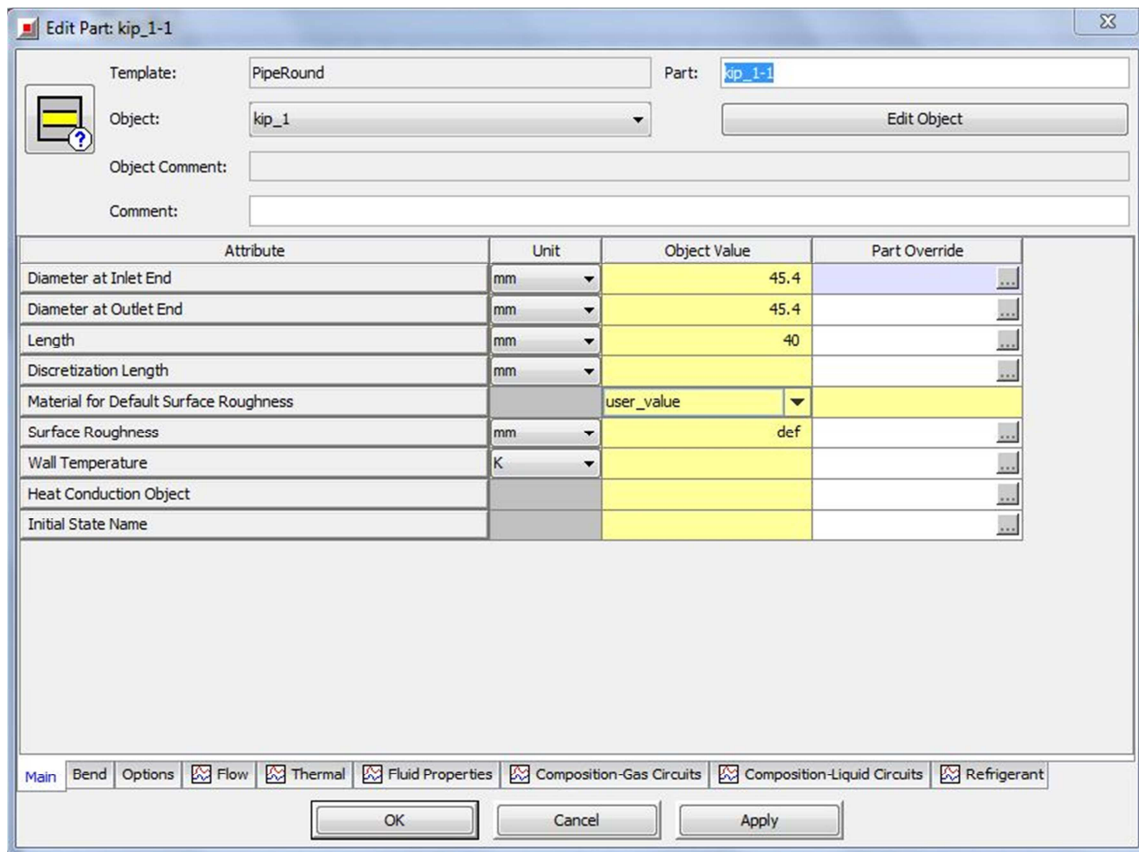
Az Y csatlakozás modellezése

Ez már több odafigyelést kívánt a megfelelő szögértékek megadásához. Itt mértékadó térfogatot is meg kell adni,

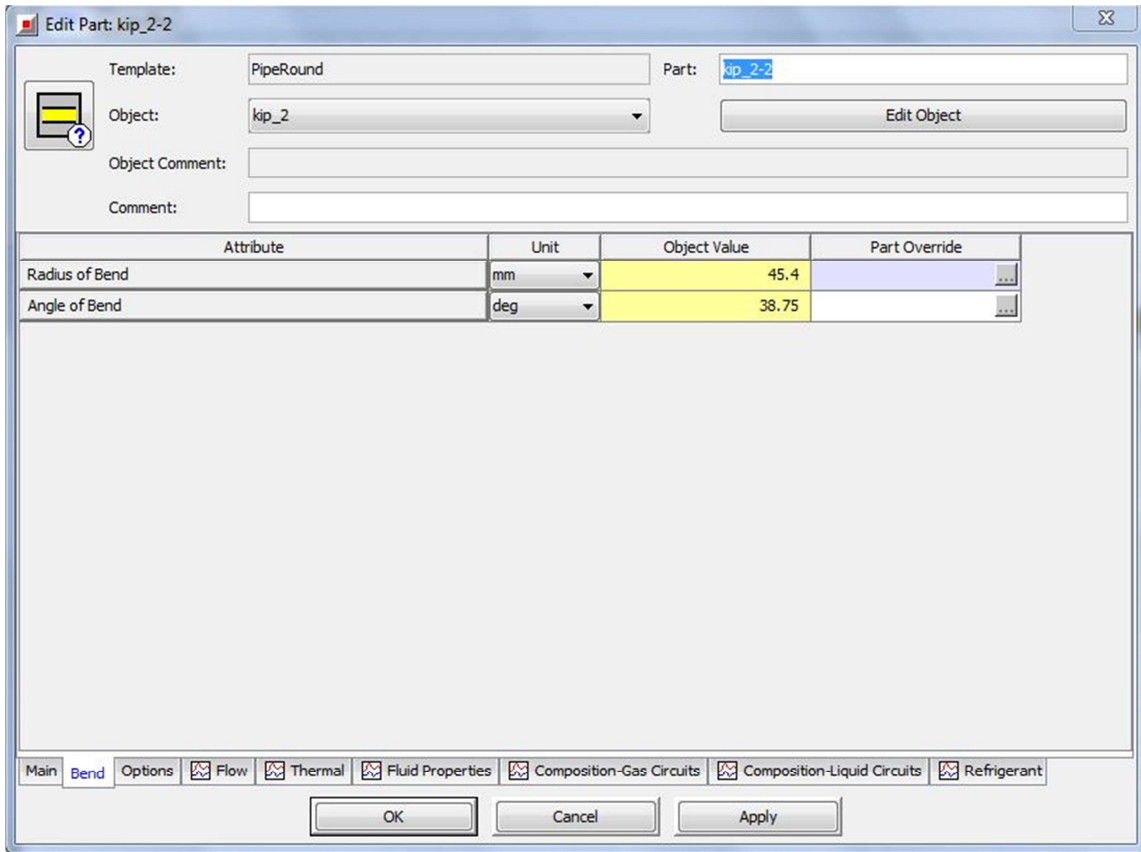
amelynek függvényében a modellen látható kék gömb mérete változik (22. ábra).

A katalizátor definiálása:

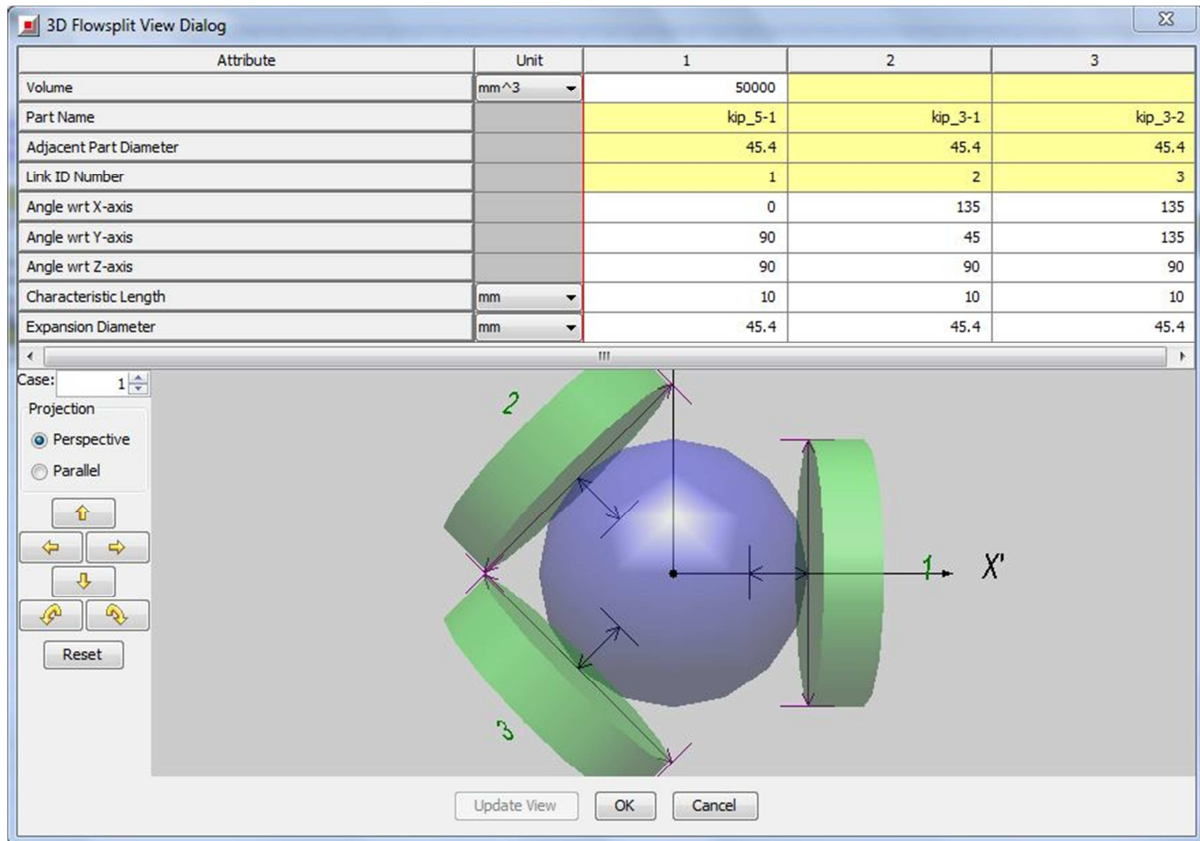
1. A katalizátor keresztmetszete, homloklapfelület: 11959 mm^2
2. Az áramlás számára nyitott keresztmetszet százalékban: a mintamodell alapján: 70%
3. Cellasűrűség: az általánosnak vehető 400 cpsi (cella per négyzetinch) adatból számolva $0,62 \text{ cella/mm}^2 = 62 \text{ cella/cm}^2$



20. ábra: Egyenes csőszakasz modellezése



21. ábra: Hajlított csőszakasz modellezése



22. ábra: Y-elágazás modellezése

Template: CatalystBrick Part: kip_15_kat-1

Object: kip_15_kat Edit Object

Object Comment:

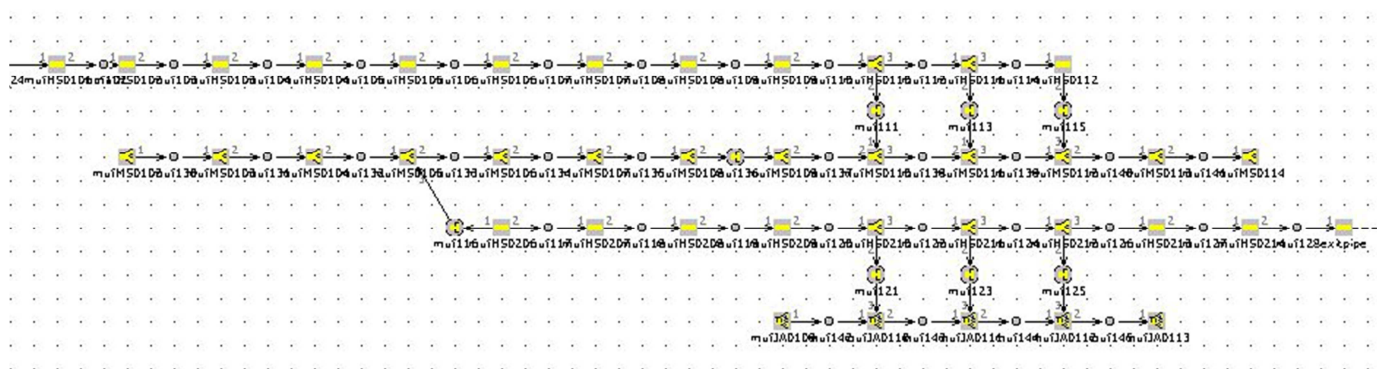
Comment:

Attribute	Unit	Object Value	Part Override
Frontal Area of the Catalyst	mm ²	12271.8463	...
Percentage of the Area Open to Flow			...
Cell Density	1/cm ²		...
Surface Reaction Area Ratio		ign	...
Length of the Catalyst Chamber	mm	220	...
Discretization Length	mm		...
Material for Default Surface Roughness		user_value	...
Surface Roughness	mm	def	...
Wall Temperature	K		...
Heat Conduction Object (1D only)			...
Initial State Name			...

23. ábra: Katalizátor definiálása

A kipufogódobok

Ebben az esetben a GT Suite egy benzines mintamodelljét használtuk fel, a befoglaló méretek ismeretében parametrizálva. Ezt a modellt a 24. ábra mutatja.



24. ábra: a kipufogódob modellje

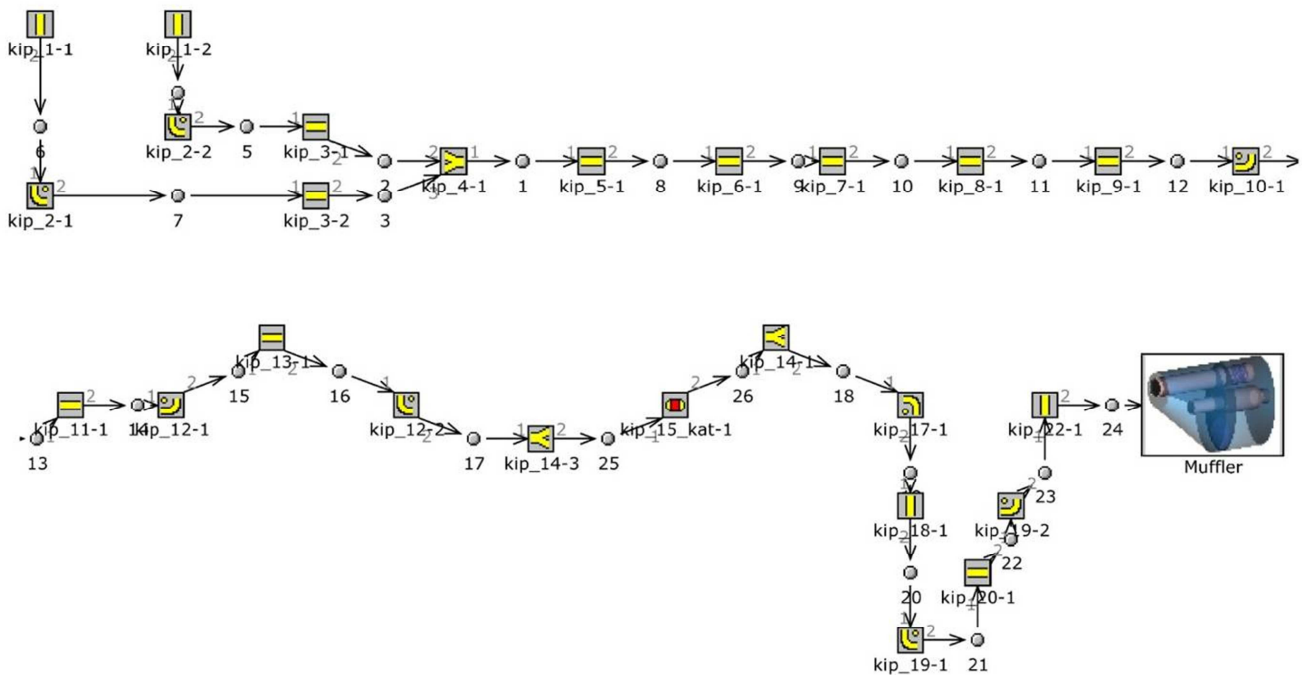
Az egyes modell elemek összekapcsolása

A 25. ábrán látható eszközzel lehet az „alkatrészeket” összekapcsolni, oly módon, hogy kiválasztjuk az eszközt, majd egymás után a két összekapcsolandó eszközre kattintunk. A kapcsolat létrejöttét egy golyóval megszakított nyíl fogja jelezni a két alkatrész között.



25. ábra: Alkatrészek összekapcsolása a modellben

A kipufogórendszer elkészült modellje a 26. ábrán látható.



26. ábra: Kipufogó rendszer GT Suite modell

ÖSSZEFOGALALÁS

A tanulmányban arra kívánunk rámutatni, hogy a belsőégésű motorok modellezése nagyon összetett és bonyolult kérdés. Az identifikálhatóság megköveteli az adatok minél szélesebb körű és pontosabb ismeretét.

A modell felállítása kizárólag a modellezett szerkezet pontos ismerete birtokában képzelhető el.

Az így elkészült modell esetében még hátra van a pontos identifikáció hosszadalmas folyamata. Az optimalizálási szempontok feltárása és az elemző vizsgálatok csak ezt követően kezdődhetnek.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1.] Dr. Lakatos István: Töltetcsere-időzítés hatása a négyütemű feltöltetlen Otto-motorok üzemére, Ph.D. disszertáció, BME, 2002, 112 p.
- [2.] TAMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003: Mobilitás és környezet: Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép- és Nyugat-Dunántúli Régióban projekt **Gépjármű hajtáslánc modellezése és szimulációja, hajtáslánc optimális irányítása K+F projektjének** Projektvezető: Dr. Lakatos István, project tagok: Titrik Ádám, Orbán Tamás, Klaffl Balázs, Hertner Dávid, Sarkadi-Nagy Balázs, Árkus Ádám) elkészített munkaanyagai
- [3.] A GT Suite szoftver leírása