

# GEÁTAG03 – Numerikus áramlástan

Dr. Szente Viktor

[szente@ara.bme.hu](mailto:szente@ara.bme.hu)

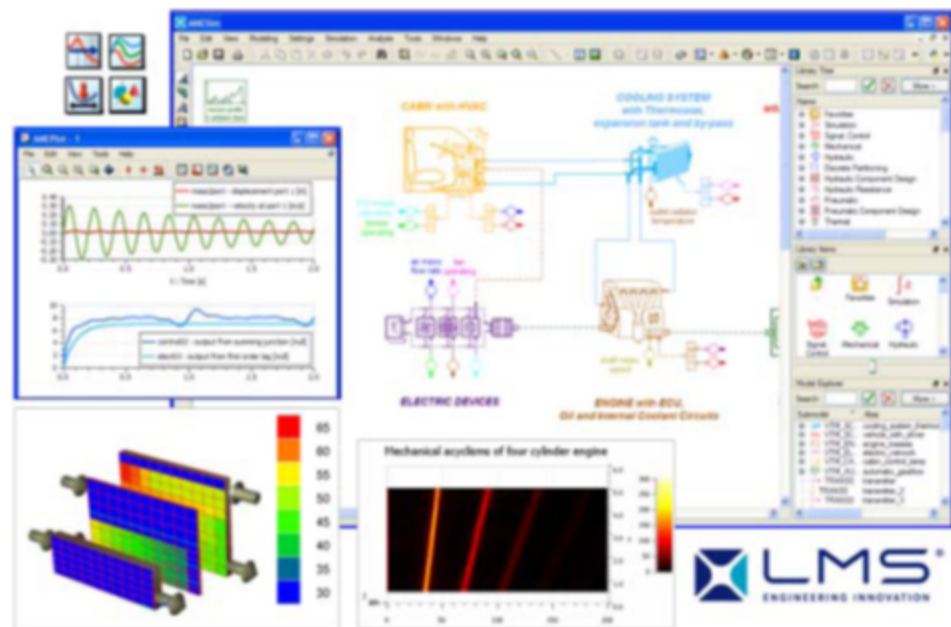
[www.ara.bme.hu](http://www.ara.bme.hu)

[www.ara.bme.hu/poseidon](http://www.ara.bme.hu/poseidon)

# Imagine.Lab AMESim

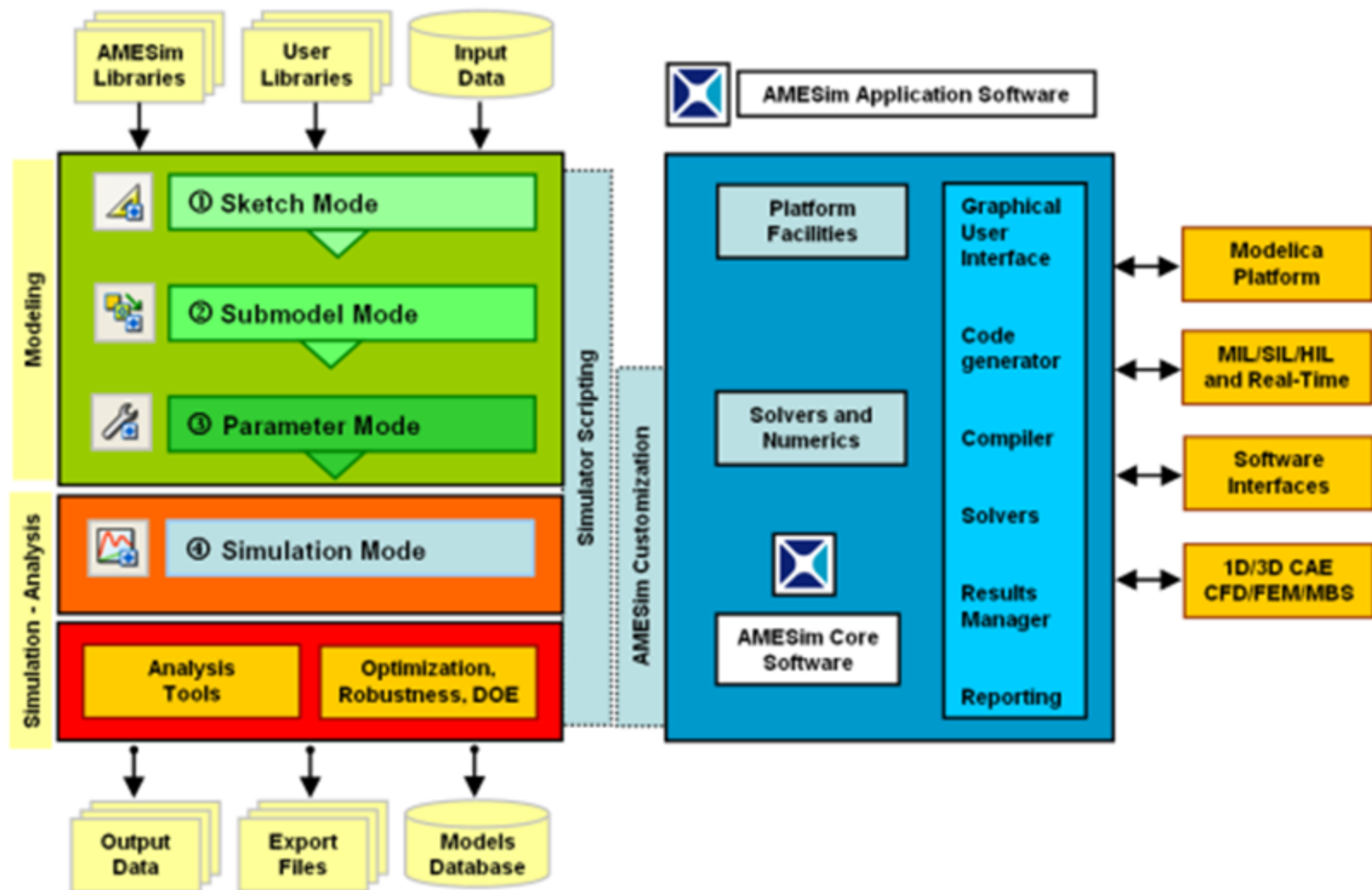
**AMESim** = **A**dvanced **M**odeling **E**nvironment for performing **S**imulations of engineering systems.

- Különböző fizikájú rendszerek együttes szimulációja
- Széleskörű alkalmazási lehetőség
- Stacioner, tranziens és frekvenciafüggő analízis
- Szimulációk készíthetők MIL/SIL/HIL (Model/Software/Hardware-in-the-loop) és valós idejű (Real-time) rendszerekre
- Lineáris és nemlineáris rendszerek
- Paraméter érzékenység vizsgálat
- Integráció CAE szoftverekkel



# Imagine.Lab AMESim

## Felépítés



# Imagine.Lab AMESim

AMESim: **1D koncentrált paraméterű dinamikus szimulációs** fejlesztőeszköz.

1D: a rendszer fizikai jellemzői (pl. nyomás, hőmérséklet) csak egy dimenzió mentén terjednek (pl. áram egy vezetékben).

Koncentrált paraméter: olyan egyszerűsítés, mely szerint egy térben elosztott jellemzőkkel rendelkező fizikai rendszer modellezése skalár paraméterekkel történik.

Dinamikus: időfüggő, tranziens vizsgálatok elvégzésére is képes, a rendszerjellemzők értéke a szimuláció teljes időtartamára ki van számítva.

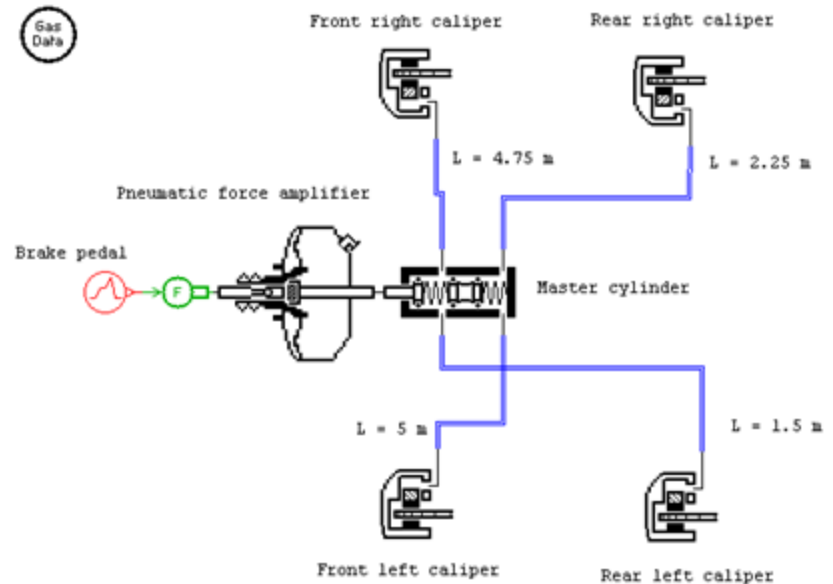
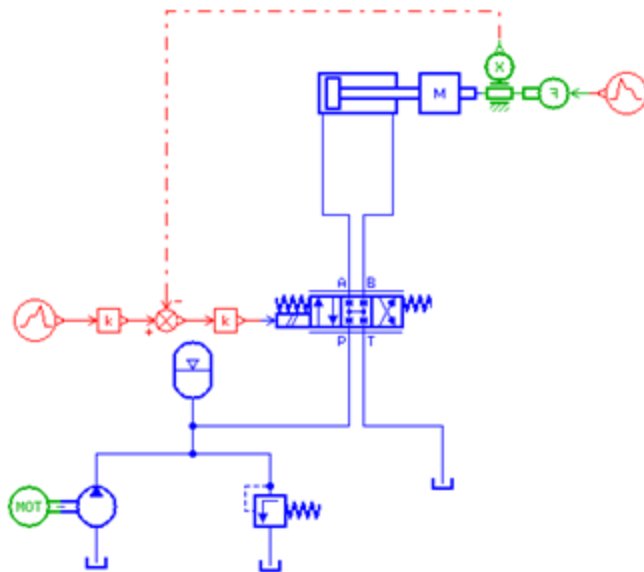
# Imagine.Lab AMESim

Ikonok jelenítik meg a rendszer elemeit, melyek:

- olyan **szabványos szimbólumokon** alapulnak, mint pl. a hidraulikus és pneumatikus komponensek ISO megfelelői

Ha nincs ilyen szabvány, akkor:

- olyan szimbólumokon, melyekről a komponens könnyen felismerhető.



# Rendszerszimuláció

A **rendszer** egy szervezett, célirányú struktúra, mely egymással kapcsolatban álló, egymástól függő elemekből (komponensek, tagok, részek, stb.) áll. Ezek folyamatosan befolyásolják egymást a saját aktivitásuk és a rendszer létezésének fenntartása, a rendszer céljának elérése érdekében.

A rendszerek:

- rendelkeznek egy vagy több **bemenettel, kimenettel, visszacsatolással**,
- a változó környezet ellenére a belső állapot állandósult fenntartására törekednek
- rendelkeznek határokkal, melyeket rendszerint a rendszer megfigyelője határoz meg.

Minden rendszer

- egy nagyobb rendszer része
- alrendszerekből áll
- rendelkezik más rendszerekhez hasonló tulajdonságokkal, melyek segítenek a más rendszereknél megismert jellemzők és megoldások átvitelében.

**Rendszermodell:** a rendszer viselkedését leíró egyenletrendszer, és annak implementálása programozási nyelvben.

**Almodell:** a rendszer egyes komponenseinek leíró egyenlete és implementálása programozási nyelvben.

# Rendszerszimuláció AMESim-ben

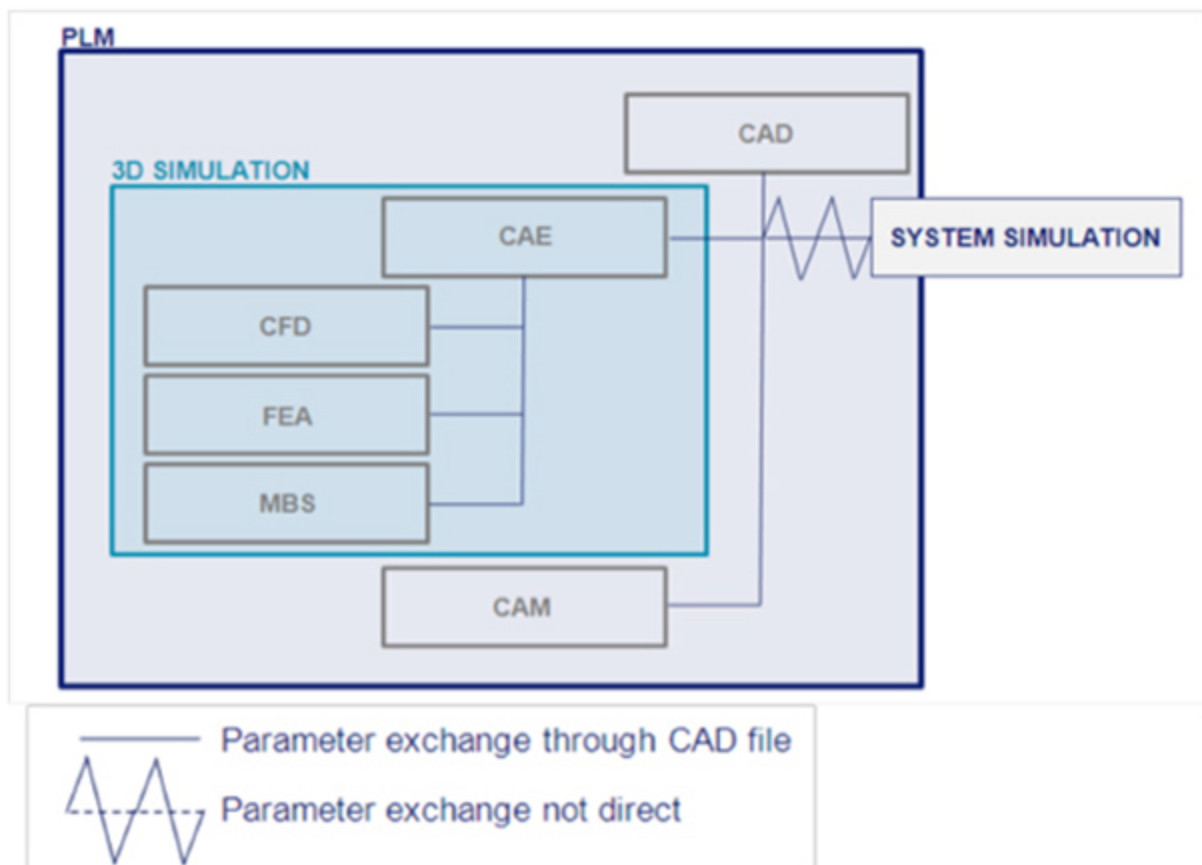
Több fizikai tartományt átfogó modellek teljesítményátvitelen alapuló szimulációja a rendszer időfüggő működésének megismerése céljából.

- Előtervezéskor is végezhető, csökkentett paraméterszámmal
- Időfüggő egyenleteken alapul (rendszerint)
- A rendszeren belüli teljesítményáramláson alapul
- E teljesítményáramlás kézbentartása érdekében rendszerint szoros kapcsolatban van valamilyen vezérléssel vagy szabályozással
- Ez a kapcsolat elsősorban az ún. intelligens rendszerekre jellemző
- Nem használ (még) teljes 3D geometriát.
- Csökkentett paraméterigény.

# A rendszerszimuláció elhelyezése

Az iparban használatos szoftverek többnyire CAD fájlkon alapulnak. A CAD, CAE, CFD, FEM és Multi-body szoftverek ezeket a fájlokat használják a 3D paraméterek tárolására. A rendszerszimuláció többnyire nincs teljesen integrálva ebbe a folyamatba, a legtöbb paraméter táblázatok alapján, ill. kísérletekből származik.

A rendszerszimuláció összetett, számos alrendszerből és számos különböző fizikai tartományból álló rendszerek szimulálásának egy lehetséges módja.





# AMESim programcsomag

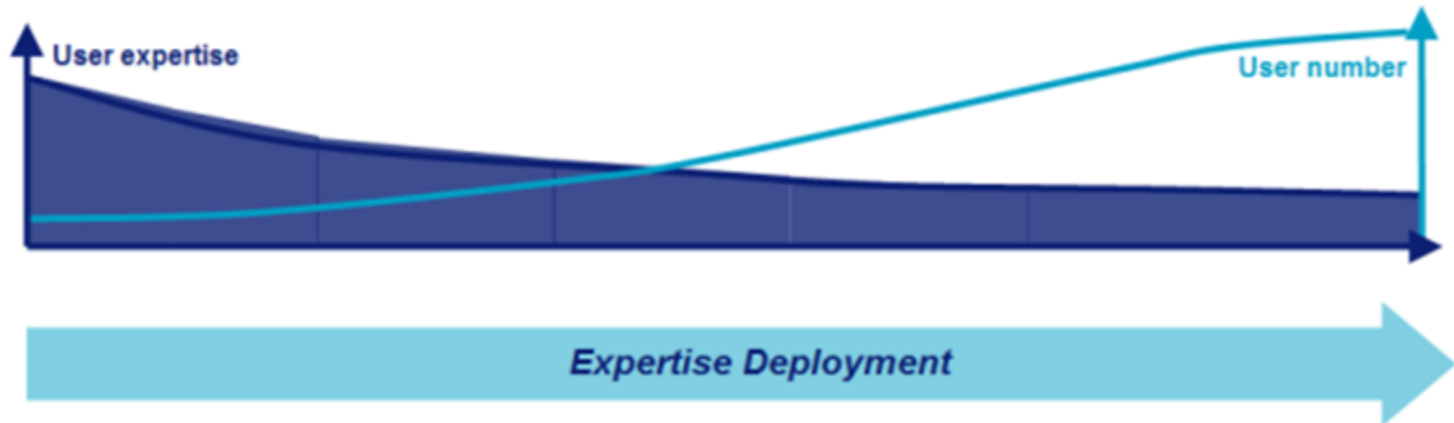


• *Development of new components*

• *Modeling*  
• *Simulation*  
• *Analysis*

• *Libraries management*  
• *Model Packaging*

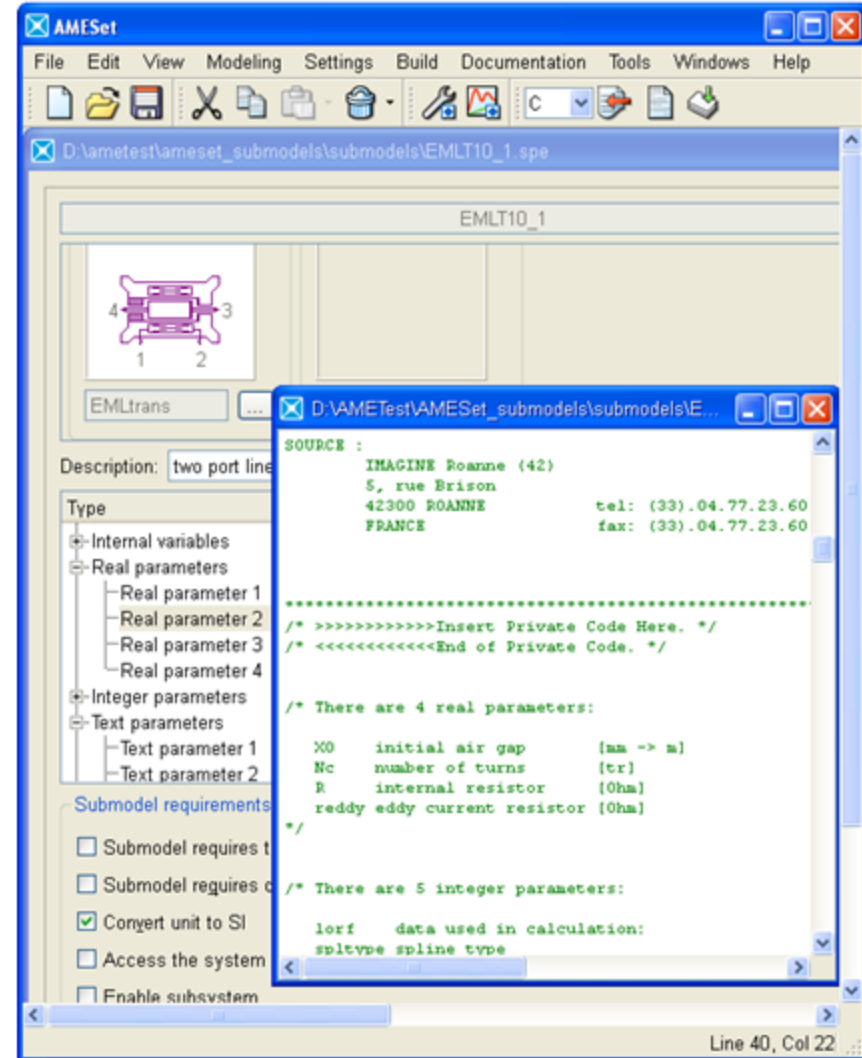
• *Run only*  
• *Parametric studies*



# AMESim programcsomag - AMESet

Gyakorlott AMESim felhasználók az AMESet segítségével az alábbi feladatokat végezhetik el:

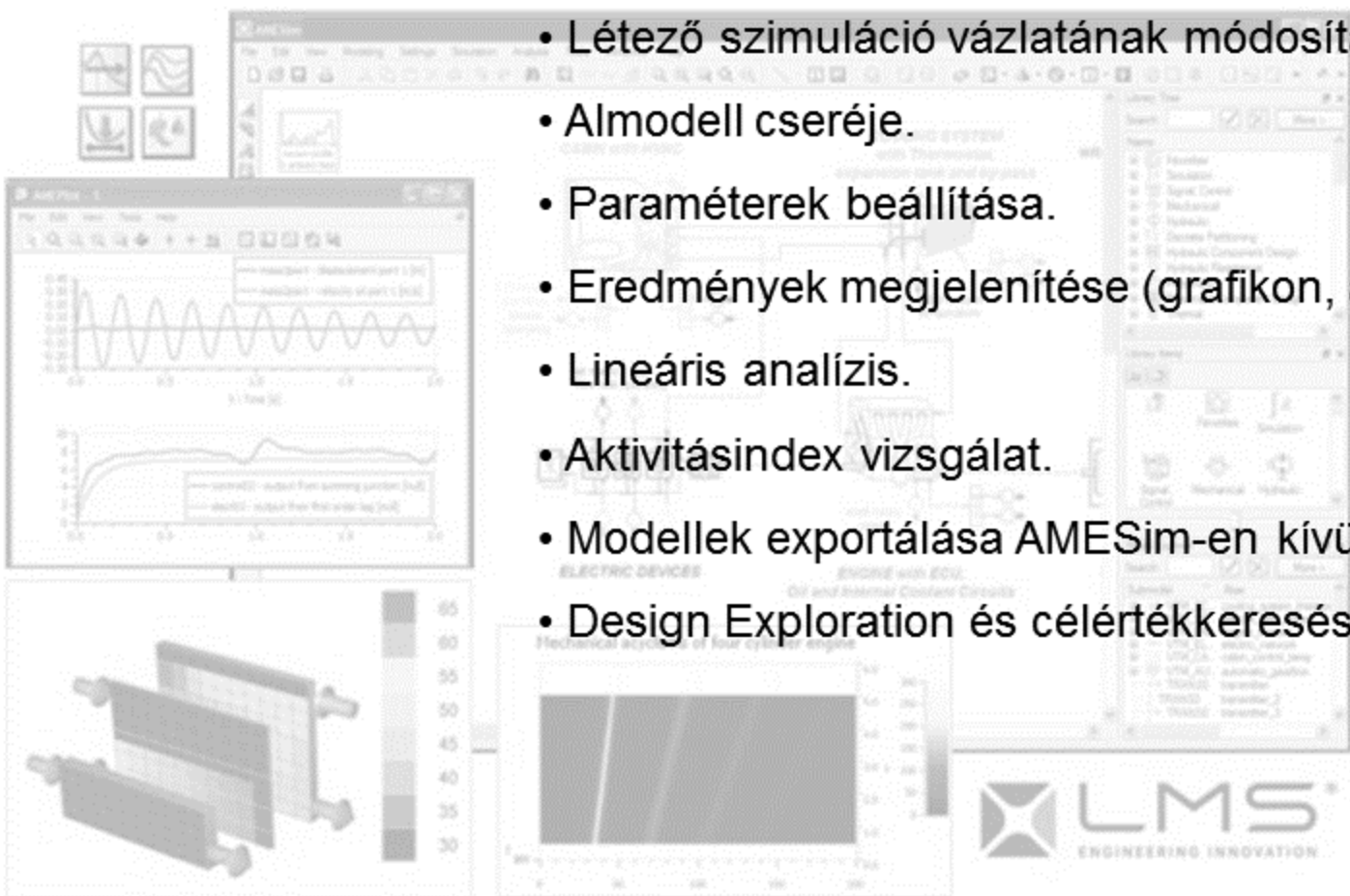
- Máshonnan (pl. partnercégtől) származó ikonok és almodellek beolvasztása.
- Meglevő kategóriák és almodellek módosítása.
- Új ikonok és almodellek készítése.



# AMESim programcsomag - AMESim

Az AMESim programcsomag fő terméke az AMESim, melynek segítségével az alábbi feladatok végezhetőek el:

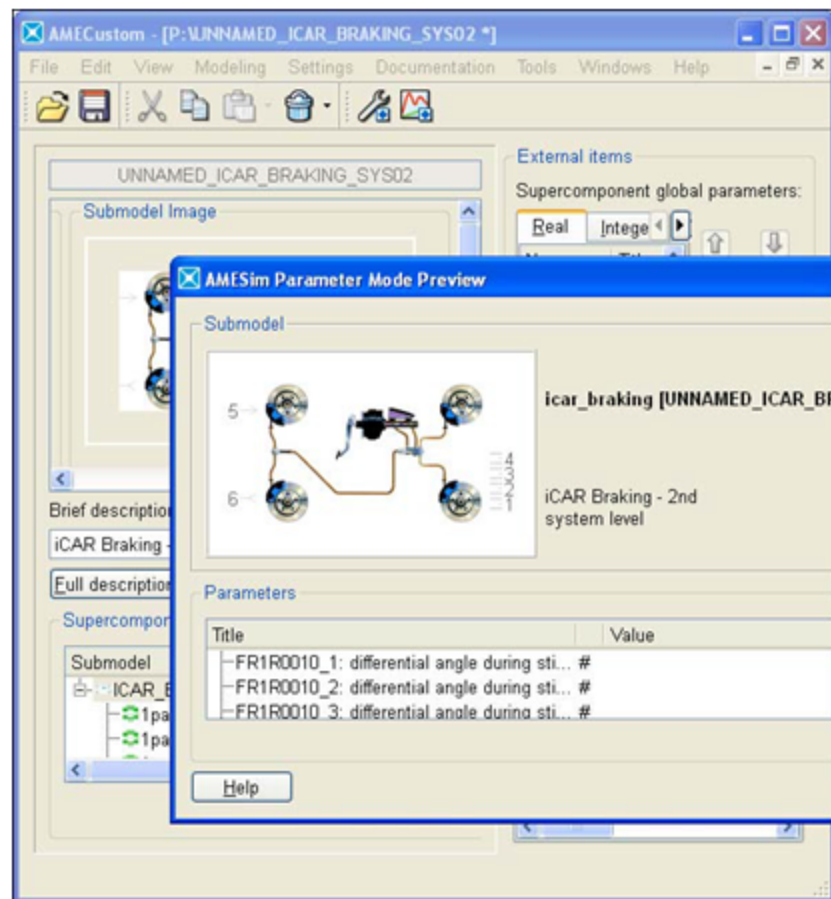
- Új szimuláció készítése.
- Szimulációk megnyitása.
- Létező szimuláció vázlatának módosítása.
- Almodell cseréje.
- Paraméterek beállítása.
- Eredmények megjelenítése (grafikon, animáció).
- Lineáris analízis.
- Aktivitásindex vizsgálat.
- Modellek exportálása AMESim-en kívüli futtatásra.
- Design Exploration és célértékkeresés.



# AMESim programcsomag - AMECustom

Az AMECustom segítségével az almodellek és szuperkomponensek testreszabhatók. A testreszabott komponens az eredetin alapul, amire egy "maszk" kerül. Ez a maszk csak a vizsgálandó paramétereket teszi láthatóvá.

Ezzel a módszerrel összetett rendszerek megjelenítését lehet egyszerűsíteni, így a későbbi felhasználónak nem kell a teljes – és feltehetően bonyolult – összeállítást megismernie.



# AMESim programcsomag - AMERun

Az AMERun valójában az AMESim, de Vázlat és Almodell módok nélkül.

Az AMERun segítségével az alábbiak végezhetőek el:

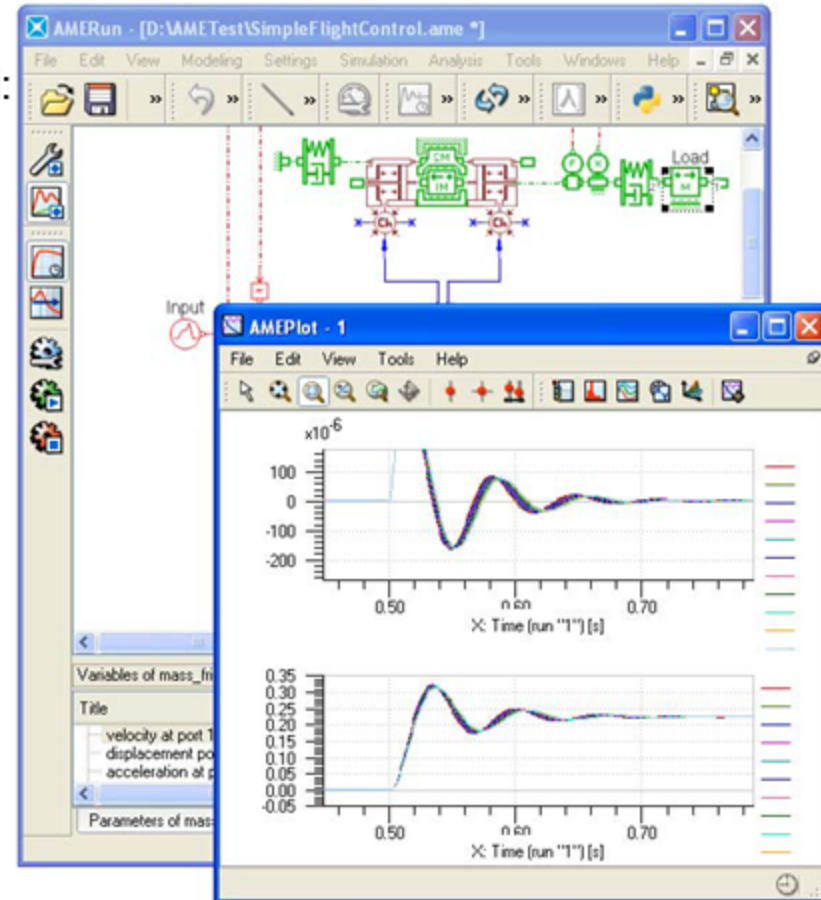
- Szimulációk megnyitása.
- Paraméterek beállítása.
- Egyszerű és batch futtatások.
- Eredmények grafikonos megjelenítése.
- Lineáris analízis.

Nem végezhető el:

- Új szimuláció készítése.
- Létező szimuláció vázlatának módosítása.
- Almodell cseréje.

Az alábbi feladatok elvégzésére ajánlott:

- Technikusok, gyakornokok által elvégezhető paramétervizsgálatok, gyakorlott mérnökök által készített szimulációkon,
- Megrendelők számára készített rendszerek,
- Vevők számára előregyártott rendszerek működésének bemutatása.

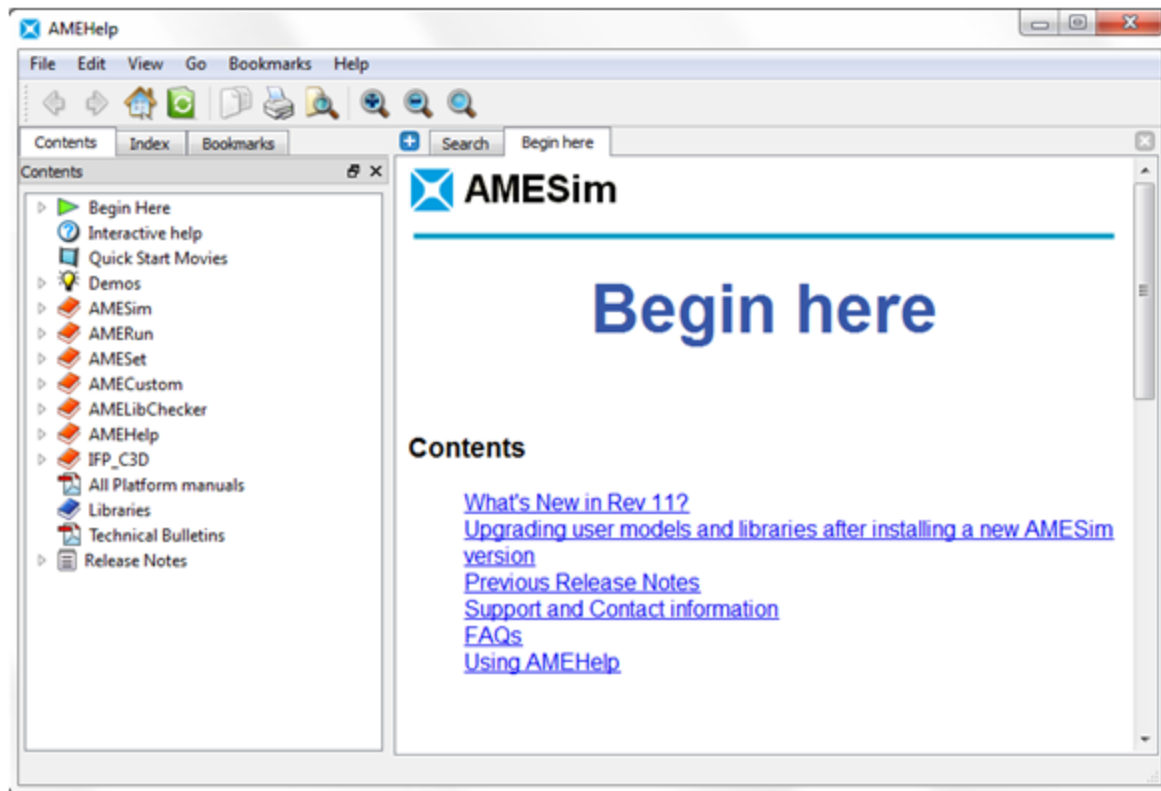


# AMESim dokumentáció

A dokumentáció az alábbi, **angol nyelvű** elemekből áll:

- HTML és PDF kézikönyv az összes AMESim komponenshez.
- PDF kézikönyv az összes elemkönyvtárhoz.
- HTML specifikációk az almodellekhez.

A dokumentáció indítása: **Help/Online**, vagy **F1 billentyű**.



# A négy üzemmód AMESim-ben

Szimuláció készítése AMESim-ben:

- Vázlatrajz készítése, melynek során a rajzterületre ikonok, szimbólumok kerülnek. (Sketch mód).
- Az egyes ikonokhoz matematikai leírások rendelése (Submodel mód).
- A komponensek paramétereinek beállítása (Parameter mód).
- A szimuláció futtatása és az eredmények kiértékelése (Simulation mód).

Sketch módban lehet:

- új vázlatot készíteni,
- meglévő vázlatot módosítani,
- almodell hozzárendelést megszüntetni.

Submodel módban

lehet:

- almodellt rendelni az ikonokhoz
- a Premier submodel gomb használatával az automatikusan az alapértelmezett almodelleket rendelni az ikonokhoz.

Parameter módban

lehet:

- almodell paramétereit változtatni
- almodell paramétereit menteni, másolni,
- globális paramétereiket beállítani,
- a vázlaton kijelölt ikonok közös paramétereit beállítani,
- batch futtatást beállítani.

Simulation módban

lehet:

- futtatni a szimulációt
- grafikonokat készíteni az eredményből
- elmenteni ill. betölteni a grafikon konfigurációkat
- linearizálást végezni
- a linearizált rendszeren különféle vizsgálatokat végezni
- aktivitásindex-analízist végezni.

# AMESim elvek: összetettségi szintek

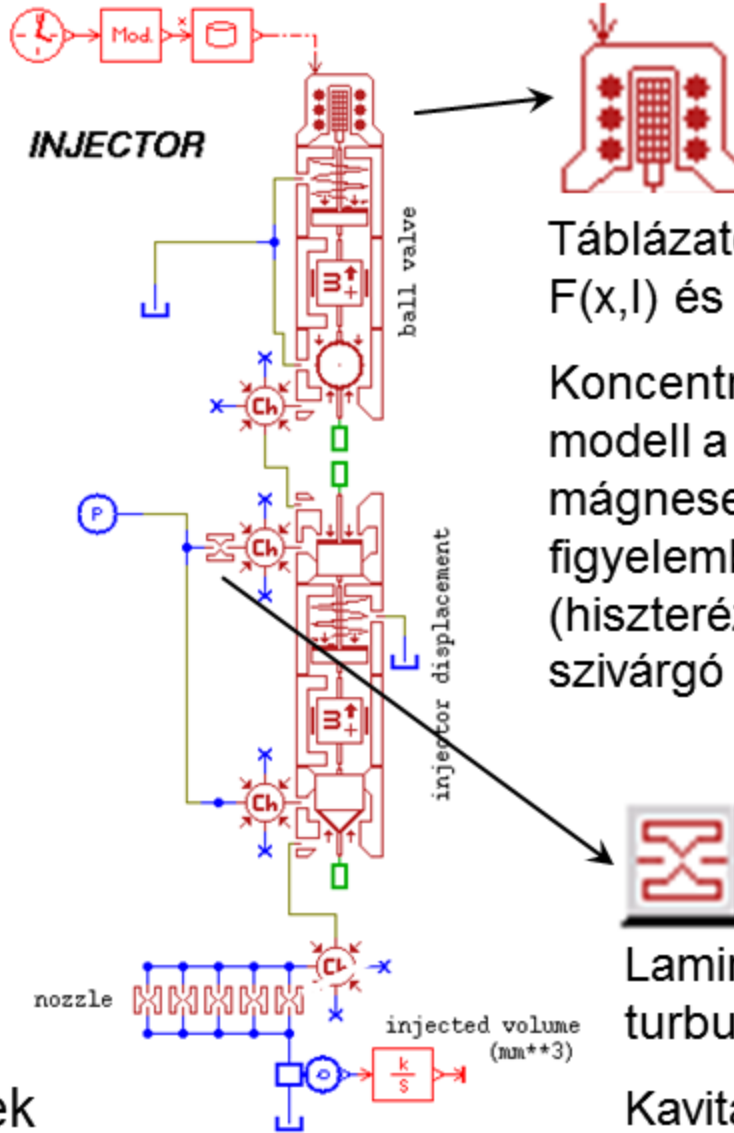


Állandó rugalmassági tényező  $\beta$  és sűrűség  $\rho$

$\beta$  és  $\rho$  a nyomás függvénye (levegősődés, kavitáció)

$\beta$  és  $\rho$  a nyomás és a hőmérséklet függvénye (hőhatások)

Különböző egyszerűsítések



Táblázatos modell:  
 $F(x,l)$  és  $L(x,l)$

Koncentrált paraméterű modell a geometria és a mágneses anyagjellemzők figyelembevételével (hiszterézis, örvényáram, szivárgó áram)

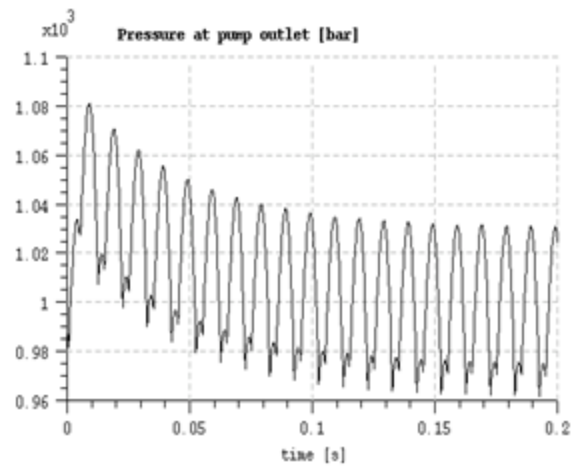
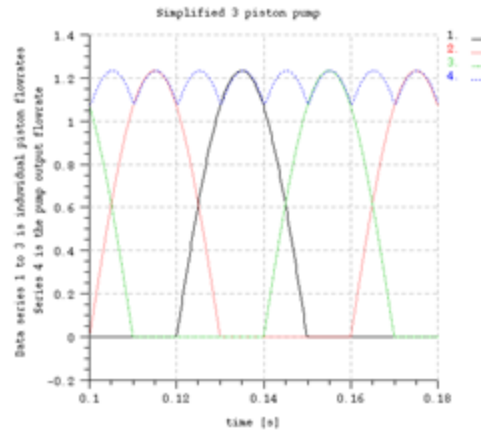
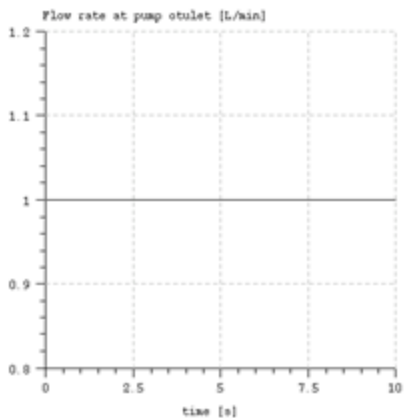
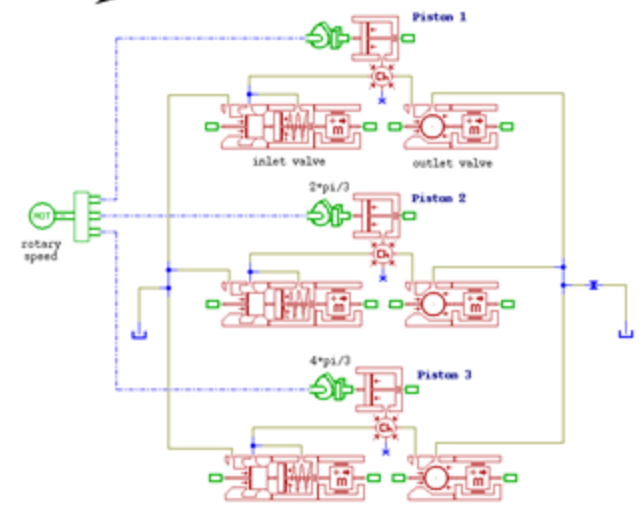
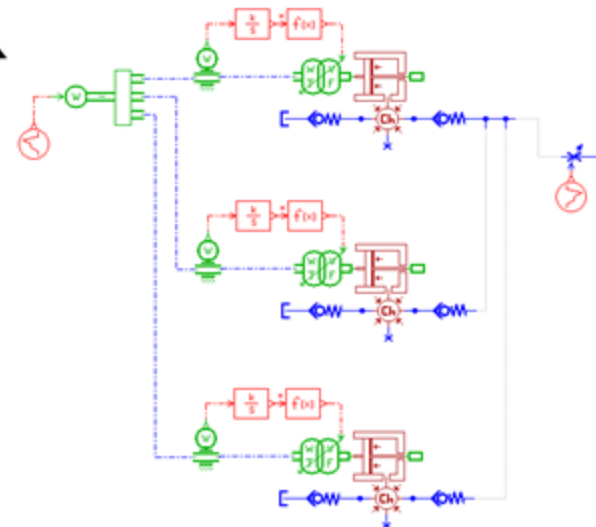
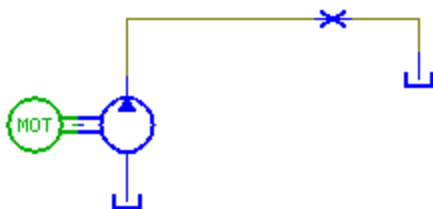
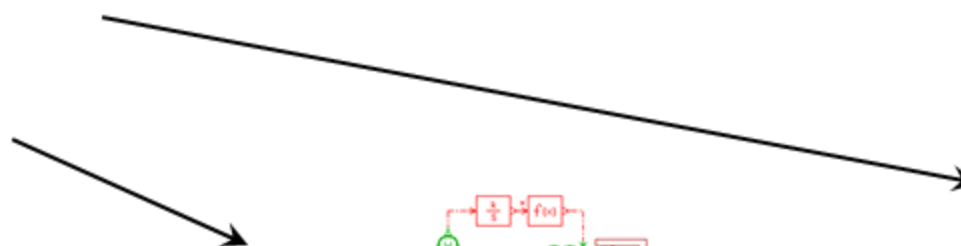
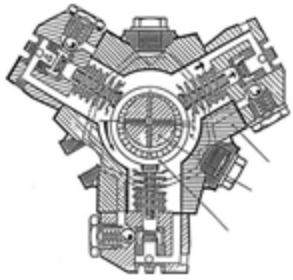


Lamináris vagy turbulens áramlás

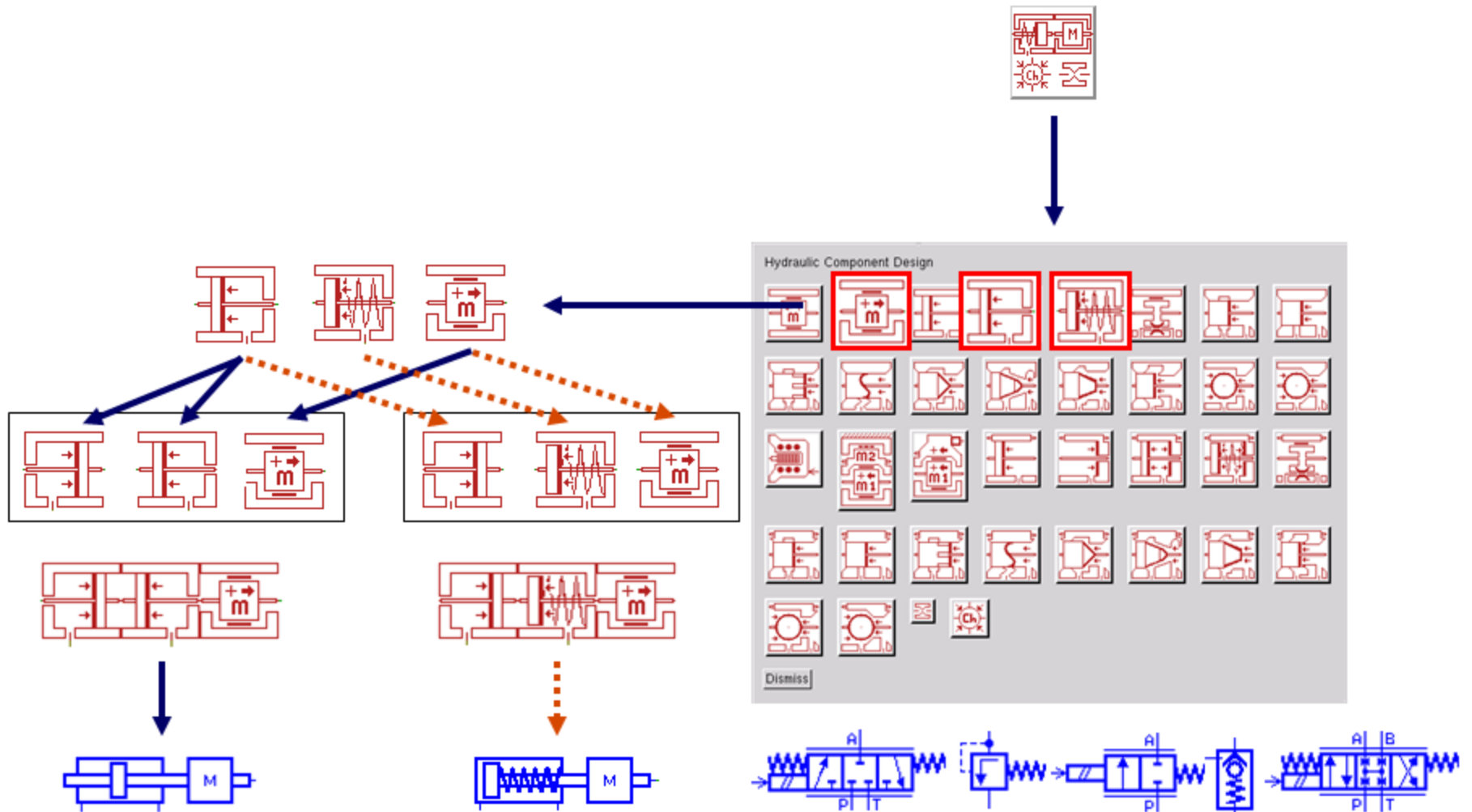
Kavitációs tényező



# AMESim elvek: összetettségi szintek



# AMESim elvek: Alapvető elemek



# AMESim elvek: Modellezési szintek

## 4 modellezési szint:

```
/*Calculation Function Executable Statements*/
```

```
/* Jack area */
```

```
area = c[0];
```

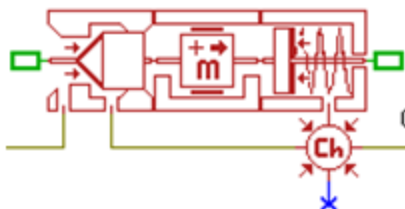
```
*q1 = (*v3) * area / q0top_(p1);
```

```
*f3 = (*f2) + (*p1) * area;
```

```
*length = x0 - *x3;
```

```
*voll1 = *length * area;
```

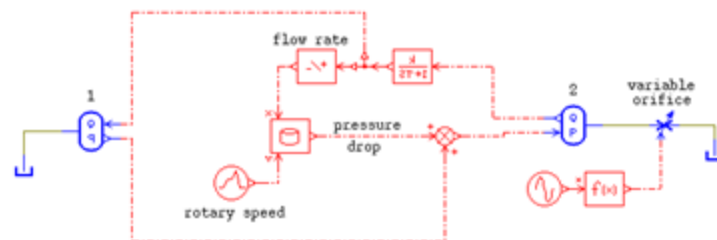
### Egyenletek (AMESet)



### Alapvető elemek



### Komponensek



1 and 2 : conversion between hydraulic variables and signal variables

### Blokkdiagram

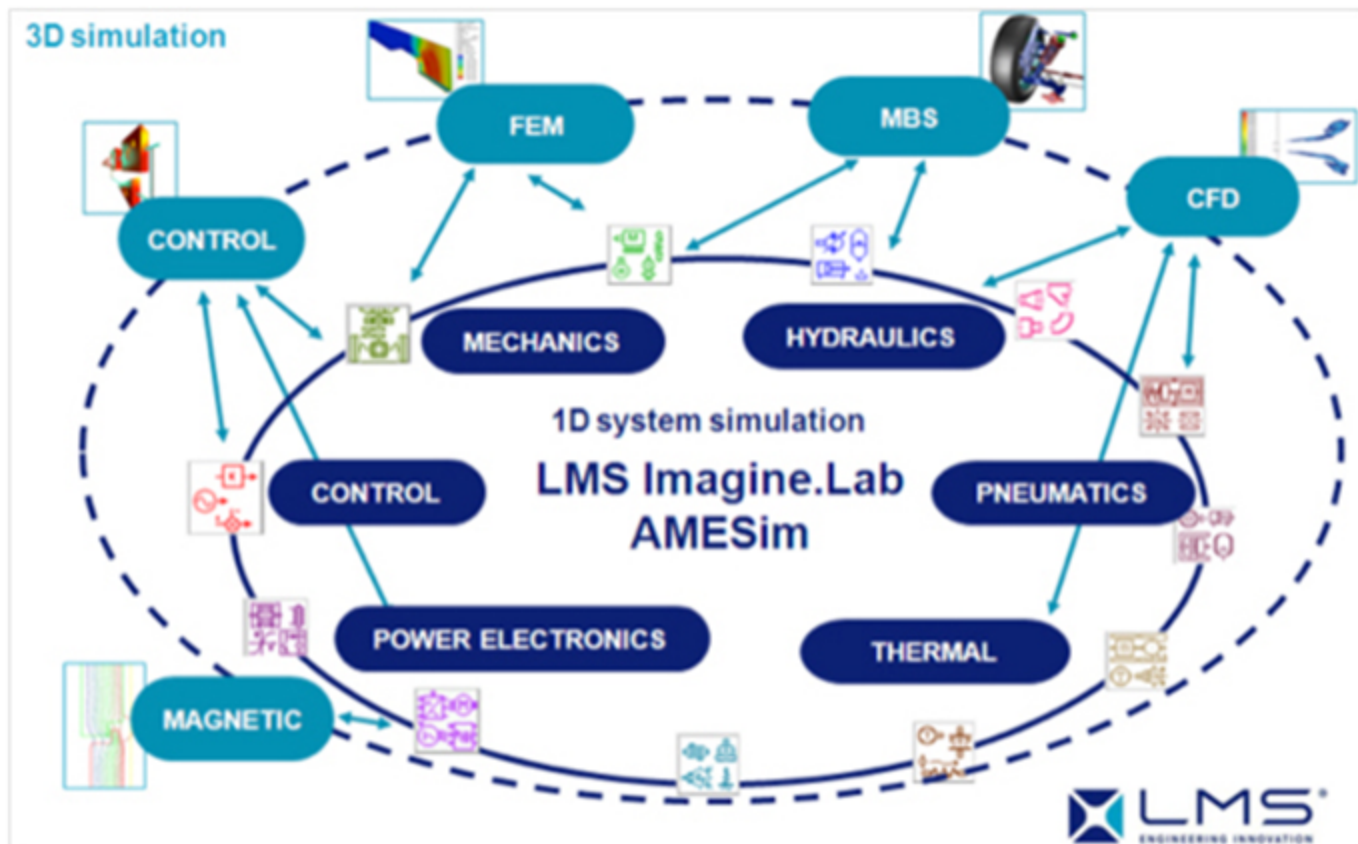
# AMESim elvek: Solver

- Az integráló algoritmus automatikus és dinamikus kiválasztása (LSODA, DASSL, DASKR)
- Rögzített vagy dinamikus időlépés
- Diszkontinuitáskezelés
- Diszkrét partícionálás többszálú futtatáshoz
- Többszálú futtatás
- Hozzáférés a forráskódhoz

# AMESim elvek: Kommunikáció más szoftverekkel

**Interfész:** közvetlen kommunikáció a szoftverek között, így azok együtt dolgozhatnak.

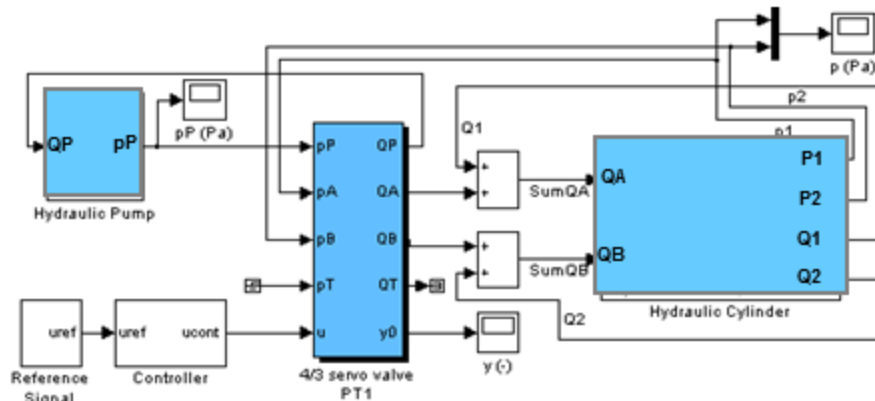
**Exportálás:** AMESim futtatható fájlok külső (AMESim-en kívüli) irányítása megfelelő ki- és bemenetek meghatározásával.



# AMESim elvek: Multiport módszer

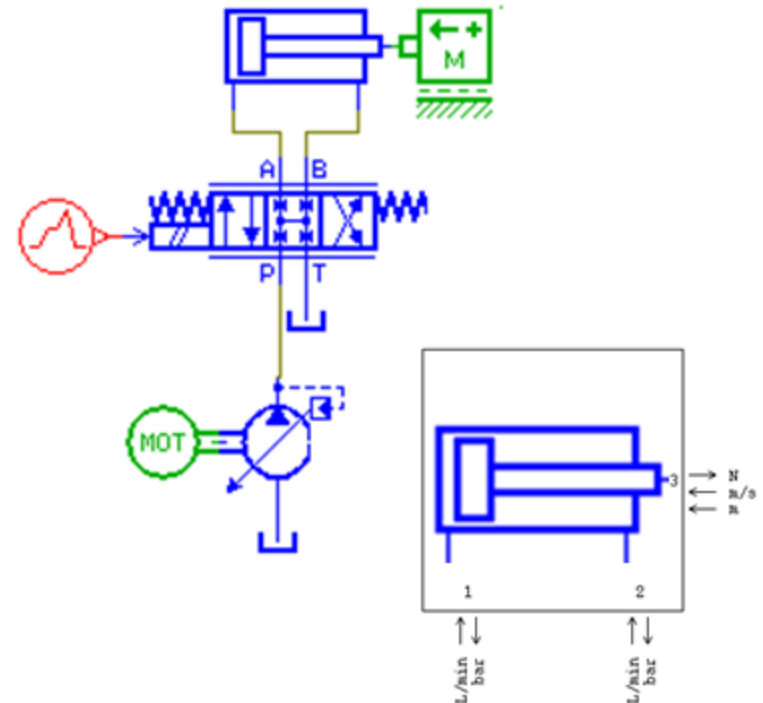
Jel módszer:

- alapvetően matematikai
- irányítástechnikai szakembereknek



Multiport módszer:

- a komponensek közti kapcsolatot a portokon keresztüli teljesítmény-átvitel definiálja
- mérnököknek



# AMESim elvek: Portok

Portok: Azok a pontok, ahol az ikonok összekapcsolódnak.







Ha egy ikonnak nincs portja, akkor nem kapcsolható össze más ikonnal (bár egyéb módon kommunikálhatnak).

Két port csak akkor csatlakozhat ha egyformák.

(Kivétel: jel portok bármely más típushoz csatlakoztathatók)

# AMESim elvek: Portok

## Port típusok:

- **Lineáris:** 1D lineáris mozgás (pl. dugattyúrúd).  
*Átvitt fizikai mennyiségek:* erő és sebesség. 
- **Forgó:** tengelyek (pl. szivattyú- ill. motortengely).  
*Átvitt fizikai mennyiségek:* forgatónyomaték és szögsebesség. 
- **Áramlás:** hidraulikus, pneumatikus folyadékok (pl. szivattyú, kompresszor).  
*Átvitt fizikai mennyiségek:* nyomás és térfogatáram (hidraulikus), abszolút nyomás és tömegáram (pneumatikus) vagy abszolút hőmérséklet és hőteljesítmény (termál áramlás). 
- **Elektromos:** elektromos teljesítmény.  
*Átvitt fizikai mennyiségek:* áram és feszültség. 
- **Jel:** nem fizikai mennyiség átvitele. Külön ki- és bemeneti portok a jel adására és vételére.  
*Átvitt fizikai mennyiségek:* n/a 
- **Termál:** hőáram szilárd ill. folyékony anyagok között.  
*Átvitt fizikai mennyiségek:* hőmérséklet és hőáram. 



# AMESim elvek: Elemkönyvtárak

## Standard



**Simulation:** szimulációs paraméterek beállítására, futtatási statisztikák készítésére, interaktív és 3D komponenseket is tartalmaz.



**Signal, Control:** Tartalmazza a rendszer irányításához, méréséhez, megfigyeléséhez szükséges elemeket. Szükség esetén blokkdiagramok készítésére is használható.

*Tipikus elemek:* jelforrás, jelerősítő, integrátor, késleltetés, átviteli függvények, egyenletblokkok.



**Mechanical:** A legtöbb rendszer általában tartalmaz mechanikus elemet is, ugyanakkor léteznek kizárólag mechanikus rendszerek is. Lineáris és forgó komponenseket is tartalmaz.

*Tipikus elemek:* tömeg, rugó, csillapítás, kontakt, holtjáték, súrlódás, kar, áttétel, kábel, csiga.

# AMESim elvek: Elemkönyvtárak

További



**Air Conditioning:** légkondicionáló rendszerek modellezésére.



**Automotive Electrics:** autókban használatos elektromos eszközök modellezésére.



**Cam and Followers:** szeleptengelyek és szelepemelők modellezésére.



**CFD1D:** gázok áramlásának részletes modellezésére.



**Cooling System:** Belsőégésű motorok és egyéb hőerőgépek hűtőrendszerének modellezésére.



**Discrete Partitioning:** nagy hidraulikus rendszerek széttagolására, előkészítés többszálú futtatásra.

# AMESim elvek: Elemkönyvtárak

További



**Electric Motors and Drive:** mechanikus és hidraulikus mozgatókat helyettesítő elektromotorok.



**Electrical Basics:** alapvető elektronikai építőelemek, mint pl. ellenállás, kondenzátor, tekercs.



**Electrical Static Conversion:** autókban megtalálható teljesítményelektronikai komponensek.



**Electro-Mechanical:** alapvető elektromechanikus építőelemek, melyekből pl. elektromágneses mozgatót lehet építeni (pl. légrés, vasmag).



**Electrochemistry components:** elektrokémiai komponensek, tipikusan üzemanyagcellák részletes modellezésére.

# AMESim elvek: Elemkönyvtárak

További



**Engine Signal Generator:** jelgenerátorok belsőégésű motorokhoz



**Filling:** A hidraulikus veszteség könyvtárhoz hasonló, az üres hidraulikus rendszerek hidraulikafolyadékkal való feltöltésének modellezésére.



**Fuel cell components:** gépjárművekbe való üzemanyagcella komponensek.



**Gas Mixture:** akár 20 komponensű gázokat alkalmazó pneumatikus körök modellezésére.



**Generic Cosimulation:** ko-szimulációs komponensek különféle külső programokkal való együttfuttatáshoz.



**Heat Exchangers Assembly Tool:** autók hűtőrendszerének modellezésére, figyelembe véve a hűtők motorház alatti elhelyezkedését és a hűtőrács áramlási viszonyait (2D-3D).

# AMESim elvek: Elemkönyvtárak

További



**Hydraulic:** Számos alapvető hidraulikus komponenst tartalmaz, mellyel ideális dinamikus viselkedésű rendszerek szimulálhatók a komponensek teljesítményadatai alapján.



**Hydraulic Component Design:** Hidromechanikus rendszerek alapvető építőelemei. A legkülönbözőbb rendszerek modellezhetők injektortól szervoszelepig.



**Hydraulic Resistance:** nagyméretű hidraulikai rendszerek építésére, az elemek geometriai kialakítása alapján határozza meg a nyomásvesztést.



**IFP Drive:** belsőégésű motorral hajtott valamint hibrid járművek fogyasztásának, emissziójának számítására.



**IFP Engine:** belsőégésű motorok részletes modellezése, fogyasztás, teljesítmény, emisszió.



**IFP Exhaust:** kipufogórendszerek modellezése, beleértve a különféle kipufogógáz-tisztítási eljárásokat.

# AMESim elvek: Elemkönyvtárak

További



**Moist Air:** termopneumatikus és termohidraulikus elemeket tartalmazó elemkönyvtár kifejezetten párás levegő és más gázok modellezésére.



**Planar Mechanical:** 2D testek mechanikai modellezése.



**Pneumatic:** komponensszintű és alapvető elemeket tartalmaz egyszerű és összetett pneumatikus rendszerek vagy éppen nagyméretű pneumatikus hálózatok leírására.



**Pneumatic Component Design:** Pneumatikus rendszerek alapvető építőelemei.



**Powertrain:** hajtáslánc ill. azok elemeinek modellezésére, a vibráció és veszteségek figyelembevételével. A hidraulikus és a mágneses könyvtárral együtt akár automata váltók is modellezhetők.

# AMESim elvek: Elemkönyvtárak

További



**Thermal:** szilárd anyagok közti hőátvitel modellezésére. Fel lehet használni a termohidraulikus és termopneumatikus könyvtárak elemeinek összekötésére is.



**Thermal Hydraulic:** A hidraulikus veszteségek könyvtárhoz hasonló elemeket tartalmaz, azonban figyelembe veszi a súrlódás által generált hőveszteséget, ill. összeköttetést biztosít egyéb hőátviteli modellekkel.



**Thermal Hydraulic Component Design:** a hidraulikus komponensek könyvtárhoz hasonló, de figyelembe veszi a hőhatásokat, mint pl. a súrlódás keltette hőt ill. az egyes elemek hőkapacitását.



**Two-Phase Flow:** kétfázisú közegek modellezésére, különösen olyan esetekre ahol fázisváltás is történik.



**Vehicle Dynamics:** ECU (jármű központi elektronika) tervezésére, megbízhatósági és hibadiagnosztikai modellezésre.

# AMESim elvek: Elemkönyvtárak

Nem látható



**Hydraulic lines:** a hidraulikus komponensek összekötése után az összekötő vonalak csöveket is jelképezhetnek. A fejlettebb modellek pl. figyelembe veszik a hullámeffektusokat, kavitációt, összenyomhatóságot, frekvenciafüggő súrlódást, csőfali deformációt.



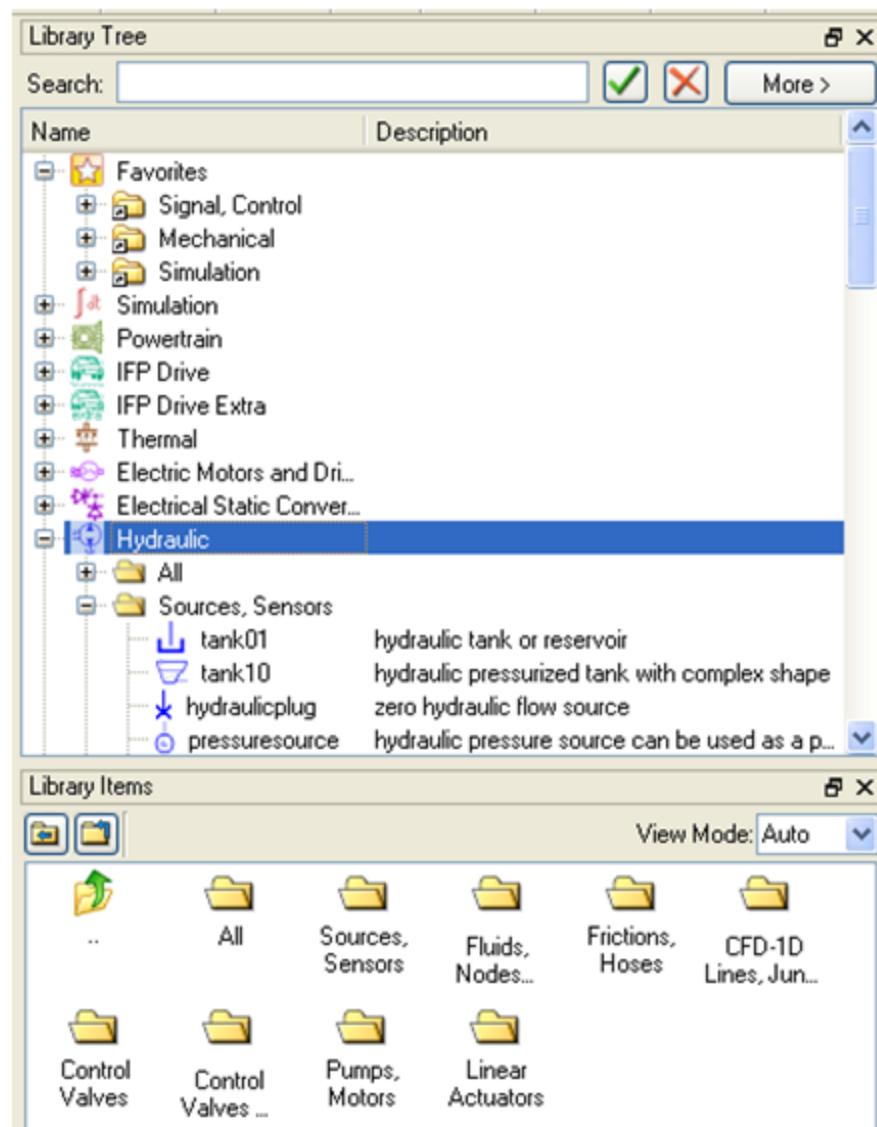
**Pneumatic lines:** a pneumatikus komponensek összekötése után az összekötő vonalak csöveket is jelképezhetnek. 8 különböző matematikai modell áll rendelkezésre, melyek egyre részletesebb leírást tesznek lehetővé.



# AMESim elvek: Elemkönyvtárak

## Könyvtárfa

- Minden elemkönyvtár alcsoportokba osztja az elemeit
- A könyvtárfa ablak dokkolható
- Keresési lehetőségek
- Navigációs gombok
- Az egyes könyvtárak is dokkolhatók
- Kedvencek beállítása
- Saját elemkönyvtárak összeválogatása



# AMESim elvek: Kategóriák

A "Category path list" meghatározza azokat az elemkönyvtárakat, amik a modellezés során elérhetőek.

Az alábbiakat lehet beállítani:

- Az elemkönyvtárakat, amelyek az AMESim-ben Sketch módban látszanak,
- A használható almodelleket,
- A "Premier submodel" opció prioritásait.

