

Korszerű járműdiagnosztika a fenntartható közlekedés szolgálatában

Dr. Lakatos István Ph.D., egyetemi docens *

* Széchenyi István Egyetem, Győr, e-mail: lakatos@sze.hu

Készült a MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
BOLYAI JÁNOS KUTATÁSI ÖSZTÖNDÍJA támogatásával

Abstract: A mai autók összetett mechatronikai rendszerek, ebből következően a diagnosztizálásuk, hibakeresésük is kellőképpen komplex és bonyolult. Az elektronikusan irányított rendszereket a járművekben fedélzeti diagnosztika „figyeli”, amelynek eredményeit diagnosztikai berendezésekkel kérdezhettük le. A hibák a jármű különböző részein, részegységeiben keletkezhetnek. Mechatronikai szempontból a jármű, mint rendszer két fő részre bontható: elektronikus rendszerre és környezetre. Közös ezekben a rendszerekben, hogy gyakran kommunikálnak más rendszerek irányítóegységeivel, így a hiba tünete gyakran másik egységben jelentkezik. A modell-alapú diagnosztika kifejezetten a fenti hibák felismerésére alkalmas.

1. BEVEZETÉS

A járművekbe épített hardver és szoftver rendszerek komplex hálózatot alkotnak. Ezen túlmenően még az is előfordulhat, hogy a járműbe épített egyes irányított modulok adott esetben különböző cégektől származnak. Az elektronikusan irányított rendszerek üzem közbeni diagnosztizálása az On Board Diagnostics (fedélzeti diagnosztika) feladata. Ennek eredményei diagnosztikai berendezésekkel lekérdezhetőek.

2. ELEKTRONIKUSAN IRÁNYÍTOTT RENDSZEREK HIBA KÓDOLÁSA

A hibák a jármű egyes részein, részegységeiben keletkezhetnek. Mechatronikai szempontból a jármű, mint rendszer két fő részre bontható: elektronikus rendszerre és környezetre (1. ábra). Az elektronikus rendszer részei az alábbiak:

elektronikus irányítóegységek,

érzékelők,

beavatkozók,

összekötő vezetékek, busz-rendszer.

Az ECU (Electronic Control Module: elektronikus irányítóegység) legfontosabb feladata a mechanikus rendszerek (pl. motor, nyomatékváltó, stb.) irányítása (szabályozása). A környezet magában foglalja magát a járművet, a vezetőt, az utat, az időjárást. A járművön belül a terminológia az alábbi rendszereket nevesíti:

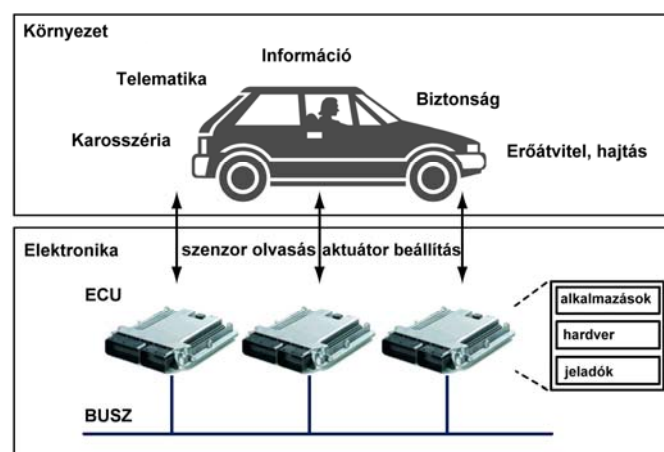
Powertrain: motor, hajtómű, nyomatékváltó, stb.

Chassis:fékkormány, felfüggesztés, kormányzás

Body: világítás, légkondicionálás, stb.

Safety: légszák, aktív biztonsági öv

Telematics/Infotainment: rádió, navigációs rendszer, telefon, stb.



1. ábra: a jármű mechatronikai modellje

A hibák előfordulási helye szerinti csoportosítás a 2. ábrán látható. A környezet címszó alatt a fentiekben nevesített kategóriák szerepelnek, míg elektronikai szempontból a hiba keletkezhet az alábbi területeken:

ECU,

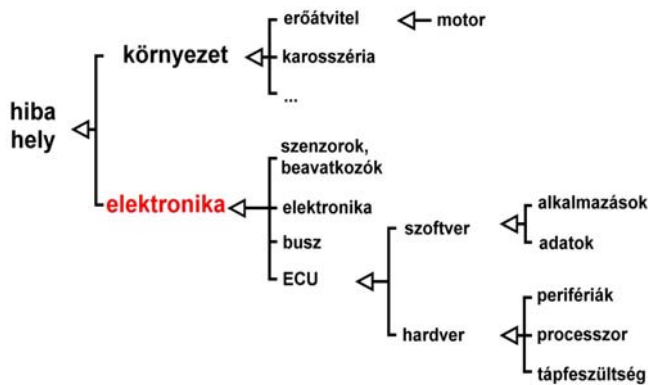
buszcsatlakozások,

tápfeszültség csatlakozások,

érzékelők,

beavatkozók, vezetékek.

Fontos megemlíteni, hogy az irányítóegységeken belül mind a hardver, mind a szoftver okozhat hibát.



2. ábra: a hibák csoportosítása

3. TÜNETALAPÚ DIAGNOSZTIKA

A fedélzeti diagnosztikai rendszerek feladata a hibák azonosítása, tárolása és jelzése a vezető számára. A hibaazonosításban azonban számolnunk kell egy problémával: a hibák nem detektálhatók közvetlenül, csupán hatásukat képes villamos mérésekkel mérni a járműbe épített elektronika. Motorhibára utalhat pl. adott érzékelők üzemiállapotnak nem megfelelő értéke. A diagnózis tehát alapvetően három lépésben állítható fel:

Szokatlan üzemiállapotok azonosítása az elvárt és a megfigyelt járműállapot összehasonlításával. A feltárt eltérés maga a hiba tünete.

A hibák behatárolása: A tüneteken alapuló, lehetséges mögöttes hibák megállapítása

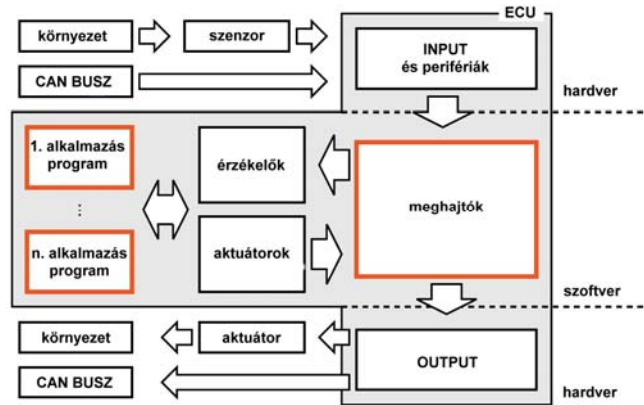
Intézkedések foganatosítása: például figyelmeztetés a vezetőnek.

A tüneteket az ECU-k szoftvermoduljai azonosítják. A 3. ábra egyszerűsített ECU struktúrát mutat szoftver-oldalról: a szoftvermodulok alkalmazásai különböző hardver és szoftver szinteken keresztül olvassák a szenzor- vagy busz-jeleket, és adatokat küldenek a beavatkozók vagy a busz irányába. Fontos, hogy a tünetek meghatározása a szoftver modulokban történik, emiatt nem egyszerű a hibák megkülönböztetése. A tünetek két fő kategóriába sorolhatók:

Helyi tünetek: ezek a tünetek közvetlenül a hiba helyén keletkeznek. Példa lehet erre az ECU-hoz csatlakozó vezeték rövidzárata. A hibák, amelyek ilyen tüneteket okoznak, meglehetősen könnyen azonosíthatók. A példában, a megfelelő I/O meghajtóban észlelhető a hibás feszültség szint. Általában véve több módszer is létezik ezen hibák azonosítására.

Távoli tünetek. A tünetek másik kategóriája bizonyos távolságban keletkezik a hiba helyétől. Példák lehetnek erre a környezetben fellépő hibák, pl. motor problémák vagy buszhibák, amelyek hatást gyakorolnak a velük kapcsolatban levő ECU-kra. Ezen hibák azonosítása már jóval bonyolultabb probléma.

A **távoli tünetek** az utóbbi néhány évben jóval gyakrabban fordultak elő. Ez nagyrészt az egyre bonyolultabb rendszerek kialakításának köszönhető, másrészt viszont a nagy és megosztott szoftver rendszerek is ezt a trendet erősítik. A vezetőasszisztens rendszerek, mint pl. aktív sebességszabályozás (ACC= active cruise control) vagy az aktív kormányzás (AFS= active front steering) jó példák erre.



3. ábra: az ECU struktúrája

Közös ezekben a rendszerekben, hogy gyakran kommunikálnak más rendszerek irányítóegységeivel, így a hiba tünete gyakran másik egységben jelentkezik.

A modell-alapú diagnosztika kifejezetten a fenti hibák felismerésére alkalmas. Az alapötlet, hogy a valós rendszerrel párhuzamosan futtatunk egy modellt és a szimuláció eredményeit használjuk fel az elvárt és a megfigyelt viselkedés összehasonlítására. Az ilyen típusú modellt viselkedési modellnek hívjuk. Elméletben, a lehetséges hibák által okozott tünetek megtalálhatók a viselkedési modell elemzése segítségével, a tünetektől pedig eljutunk a hibáig. A gyakorlatban azonban ez a módszer nem mindig működőképes, ezért gyakran szakértő rendszerként kell kiegészíteni.

4. JÁRMŰVES ALKALMAZÁSOK DIAGNOSZTIKÁJA

Az autógyártásban gyakran használnak modell-alapú alkalmazásokat. Ezek a módszerek egyaránt alkalmazhatók **onboard** (fedélzeti) és **offboard** (javítóműhelyi) felhasználásra. Ez nagyon fontos, hiszen különösen a károsanyag-emisszió és a közlekedésbiztonság területén jogszabályi előírás is a megbízható fedélzeti diagnosztika. A modellek egy része **működési modellt** használ a szenzor-hibák vagy szívórendszeri tömítetlenségek azonosítására. A diagnosztika rendszer struktúrált hipotézisek keretrendszerét használja arra, hogy melyik modellezett hibát támasztják alá a mért adatok.

Léteznek olyan modellek is, amelyek pl. a belsőégésű motor működési modelljét használják háló elkészítésére.

5. DIAGNOSZTIKAI MODELLEZÉS

A továbbiakban példaként egy négyütemű Otto-motor körfolyamat modelljének alapelvét ismertetem, mint működési modellt. Ez alapvetően áramlástani és empirikus egyenleteket használ fel.

5.1. Négyütemű, feltöltetlen otto-motor körfolyamatának matematikai modellje

A töltetcsere folyamat matematikai modellje

Példaként a négyütemű, feltöltetlen Otto-motor körfolyamatából a töltetcsere rész matematikai modelljének felépítését mutatom be. A modell a **stacionárius töltetcsere számítási elven** (LIST-, HASSELGRUBER-módszer) alapul. Az alapelv alkalmazásának alapfeltétele a motor előtti és utáni termodinamikai állapotjelzők időbeli állandósága.

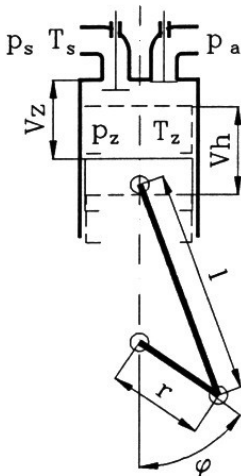
A hengerbeli nyomásváltozást leíró differenciál-egyenlet a módszer a Poisson-egyenletekre épül (4. ábra):

$$p_z(\varphi) \cdot V_z(\varphi)^\chi = \text{áll.} \quad (1.)$$

Ahol:

- p_z a hengertéri nyomás [Pa],
 - V_z a hengertéri fajtérfogat [kg/m^3],
 - χ a töltet adiabata kitevője,
- a forgattyúszög AHP-tól számítva [$^\circ$].

Az egyenlet jelölései megfelelnek az 4. ábrán láthatóknak.



4. ábra: a motor modellje

(1.)-et φ szerint deriválva, majd átrendezve a következő alakot kapjuk:

$$\frac{1}{p_z} \cdot \frac{dp}{d\varphi} = -\frac{\chi}{V_z} \cdot \frac{dV}{d\varphi} = -\frac{\chi}{V_z} \cdot \frac{dV}{d\varphi} \quad (2.)$$

Ahol:

- V_z a pillanatnyi hengertérfogat.
- A kitöltött hengertérfogat változását, (dV)-t alapvetően három tényező okozza:
- a dugattyú mozgástörvénye által megszabott térfogat változást (dV_z),

a szívónyíláson átáramló töltet hatását (dV_e) és

a kipufogó nyíláson átáramló töltet hatását (dV_a).

Ez matematikai megfogalmazásban a következőt jelenti:

$$\frac{dV}{d\varphi} = \frac{dV_z}{d\varphi} - \frac{dV_e}{d\varphi} + \frac{dV_a}{d\varphi} \quad (3.)$$

A két egyenletből megkapjuk a számításra alkalmas differenciál egyenletet.

$$\frac{1}{p_z} \cdot \left(\frac{dp_z}{d\varphi} \right) = -\frac{\chi}{V_z} \cdot \left(\frac{dV_z}{d\varphi} - \frac{dV_e}{d\varphi} + \frac{dV_a}{d\varphi} \right) \quad (4.)$$

A **hengerbeli hőmérséklet-változást** leíró differenciál egyenletet három fő tényező befolyásolja:

1. a nyomásváltozás,
2. a falak hőátadása, valamint
3. a friss töltet keveredése a hengertartalommal.

(A továbbiakban 1, 2, 3 indexekkel jelölve)

A hőmérséklet-változás hatását ugyancsak a Poisson-egyenlet írja le:

$$T_z(\varphi) \cdot p_z(\varphi)^{\frac{1-\chi}{\chi}} = \text{áll.} \quad (5.)$$

Ahol:

- T_z a hengertöltet hőmérséklete [K].

Ezt φ szerint deriválva, majd átrendezve az alábbi formára jutunk:

$$\frac{1}{T_z} \cdot \frac{dT_{z1}}{d\varphi} = \frac{\chi-1}{\chi} \cdot \frac{1}{p_z} \cdot \frac{dp_z}{d\varphi} \quad (6.)$$

A falak fűtő hatásából származó felmelegedés egyenlete:

$$\frac{dT_{z2}}{d\varphi} = \frac{1}{C_v \cdot M_z} \cdot \frac{dQ_w}{d\varphi} \quad (7.)$$

Ahol:

- M_z a hengerben levő gáztömeg [kg],
- C_v a közeg fajhője [J/kg.K],
- Q_w a falról átadott hő [J].

A friss töltettel történő keveredést a keveredési szabály írja le:

$$\frac{dT_{z3}}{d\varphi} = \frac{1}{M_z} \cdot \frac{dM_e}{d\varphi} \cdot (T_z - T''_s) \quad (8.)$$

Ahol:

dM_e a beáramló elemi friss töltet [kg],

T_s'' a friss töltet hőmérséklete [K].

A három hatás összessége írja le a tényleges változást. A számítási igény ésszerűsítése miatt a falak hűtő hatását a (7.) helyett egy ún. felfűtési tényezővel (τ_e) vesszük figyelembe. A hengerbe jutó töltet hőmérséklete tehát:

$$T_s'' = \tau_e \cdot T_s' \quad (9.)$$

Ahol:

T_s' a korrigált szívócső-hőmérséklet [K].

T_s' fogalma a visszaáramlások által módosított szívócső-hőmérsékletet jelenti, tehát értéke a keveredési szabály segítségével határozható meg:

$$T_s' = \frac{M_G \cdot T_s + \int_1^1 T_z \cdot (-dM_e)}{M_G + M_R} \quad (10.)$$

A jelöléseket az 5. ábra szemlélteti:

dM_e – szívószelepen belépő elemi gáztömeg [kg],

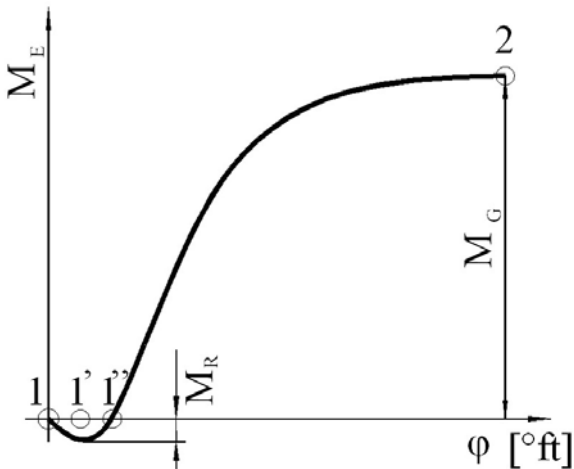
M_R – a szívószelepen visszaáramlott összes gáztömeg [kg],

M_G – az összes beáramlott gáztömeg [kg].

Ezek után a hőmérséklet-változás differenciál egyenlete az alábbi alakot ölti:

$$\frac{1}{T_z} \cdot \frac{dT_z}{d\varphi} = \frac{\chi - 1}{\chi} \cdot \frac{1}{p_z} \cdot \frac{dp_z}{d\varphi} - \frac{1}{M_z} \cdot \frac{dM_e}{d\varphi} \cdot \frac{T_z - T_s''}{T_z} \cdot \delta_1 \quad (11.)$$

A hengertérfogat dugattyúmozgásból fakadó változása az alábbi egyenlettel írható le:



5. ábra: a levegő-áramlási függvény

$$V_Z(\varphi) = V_C + \frac{V_H}{2 \cdot r} \cdot s(\varphi) \quad (12.)$$

Ahol:

V_Z a pillanatnyi hengertérfogat [m³],

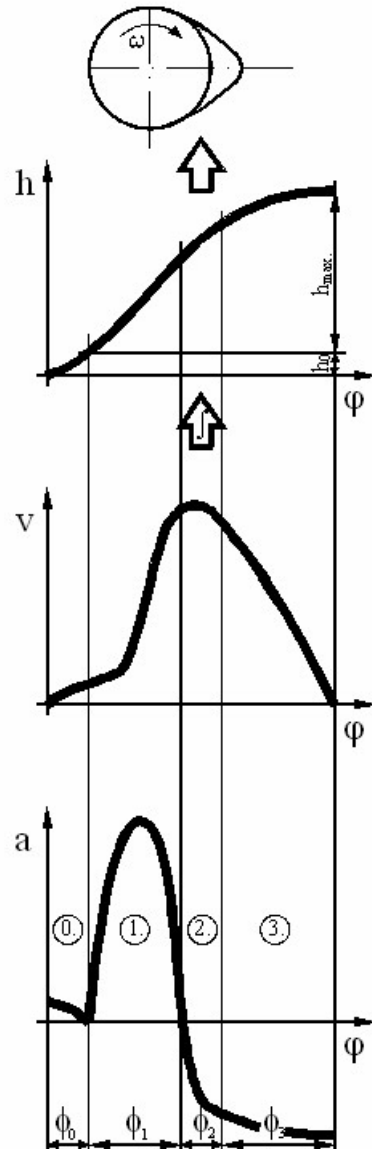
V_C a kompresszió térfogat [m³],

V_H a lökettérfogat [m³],

r a forgattyúsugár.

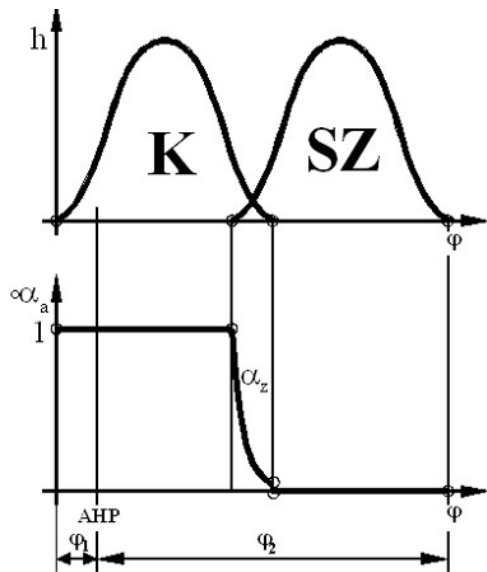
A szelepeken át történő áramlási folyamatok matematikai leírása pedig a szelepek nyitási függvényének felhasználásával modellezhető:

Ez a szelepek foronómiai görbéinek alapul vételével oldható meg (6. ábra).



6. ábra: a szelepek foronómiai görbéi

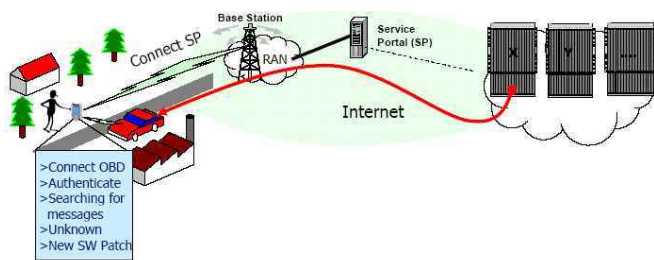
A nyitási keresztmetszeteket ábrázoló függvény a 7. ábrán látható.



7. ábra: a szelepek nyitási keresztmetszei

6. TÁVDIAGNOSZTIKA

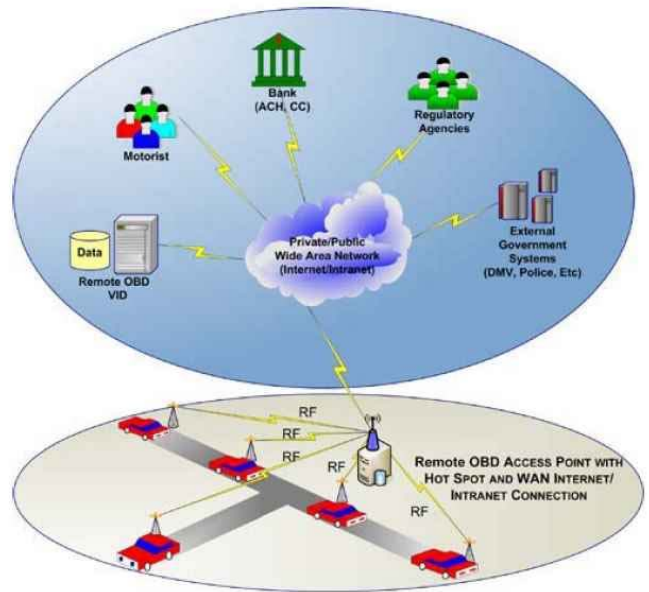
A 21. században a közlekedés egyik legfontosabb kihívása a károsanyag-emisszió csökkentése. Ez természetesen a járművek üzemeltetőitől is megköveteli a megfelelő műszaki állapotban tartást. Az OBD (fedélzeti diagnosztikai) rendszerek jelzik a felhasználónak a jármű szerviz-igényét. A jelenlegi rendszerekben ez a MIL-lámpa feladata. Jelenleg az OBD rendszerek 2. generációja van jelen a járművekben. A 3. generáció fő továbblépése abban fog állni, hogy nem csupán jelzi a hibát az üzemeltetőnek, hanem rá is kényszeríti intézkedésre. A fedélzeti diagnosztikai rendszer ugyanis az emisszió-technikai berendezésekről rendelkezésre álló információit helyi hálózati állomásokon vagy műholdakon keresztül eljuttatja a hatóságokhoz (8., 9., 10. ábra).



8. ábra: a távdiagnosztika működése



9. ábra: adóberendezés az autóban és a vevő az út mellett



10. ábra: a diagnosztikai (OBD) információ felhasználási területei

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elektronikusan irányított rendszerek fedélzeti diagnosztikája több lehetőséggel is szolgál, a fenntartható közlekedés érdekében:

- egzaktabb diagnosztikai információkkal szolgál,
- távdiagnosztikaként működtetve szigorúbbá teszi a hatósági felügyeleti munkát, így kiszűrhetőbbé válnak a környezetet szennyező járművek.

A cél mindenképpen az, hogy minél objektívebb eredményeket kapjunk és a hibák kijavításának folyamatából zárjuk ki az emberi szubjektivitást.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1.] Dr. Lakatos István: Töltetcsere időzítés hatása a négyütemű, feltöltetlen Otto-motorok üzemére, Ph.D. értekezés, 2003, Budapest, BME
- [2.] Dr. Lakatos István: OBD, EOBD fedélzeti diagnosztika, 2005, Győr, Minerva-Sop
- [3.] Benno Stein, Oliver Niggemann, Heinrich Balzer: Diagnosis in Automotive Applications, A Case Study with the Model Compilation Approach, Third Monet-Workshop on Model-Based Systems (MBS 06) Wotawa (Ed.), ECAI Workshop Proceedings pp. 34-40, c University of Trento, Italy 2006.
- [4.] Peter Struss, Chris Price: Model-based systems in the automotive industry, *AI Magazine*, 24(4), 17.34, (20