

## MODELAREA ȘI SIMULAREA VEHICULELOR ELECTRICE ȘI HIBRIDE FOLOSIND PROGRAMUL ADVISOR

### 1. Introducere

Pentru a obține performanțe optime pentru vehicule, metodologia de proiectare s-a modificat, trecându-se de la proiectarea independentă a componentelor la proiectarea simultană a sistemelor mecanice, electrice, de control și diagnoză. Complexitatea vehiculelor electrice și hibride face ca efortul de proiectare să fie deosebit de mare, fiind posibil doar prin utilizarea intensă a simulărilor numerice, acestea având scopul de a evidenția din fazele inițiale ale proiectării cum se comportă componentele noi în cadrul sistemului ca ansamblu.

Simularea de vehicule ajută inginerii să determine cum să crească durata de viață a componentelor, pentru a îmbunătăți performanța vehiculului, prin optimizarea sistemului de pe vehicul și reducerea timpului de dezvoltare și aceasta înainte de realizarea prototipului.

### 2. Modelarea liniei de acționare a vehiculelor electrice și vehiculelor electrice hibride

Linia (sau lanțul) de acționare cuprinde toate elementele care asigură legătura dintre sistemul de propulsie și roțile motoare și care asigură transferul optim al energiei de la sursa (sursele) de cuplu la roțile motoare pentru obținerea performanțelor dorite cu un consum minim de energie. Vehiculele electrice hibride pot fi cu structură serie, paralelă sau mixtă.

La un vehicul electric hibrid de tip paralel și motorul termic și motorul electric pot acționa independent roțile motoare, fie simultan fie separat. Structura vehiculului cuprinde:

- motorul termic (alimentat de la rezervor), cutia de viteze, transmisia;
- motorul electric (care poate fi trecut în regim de generator) bateria de acumulatori, convertoare electronice de putere pentru controlul și gestionarea energiei, transmisia, structura „Power split” (divizor de putere) care permite cuplarea simultană a motoarelor la roți.

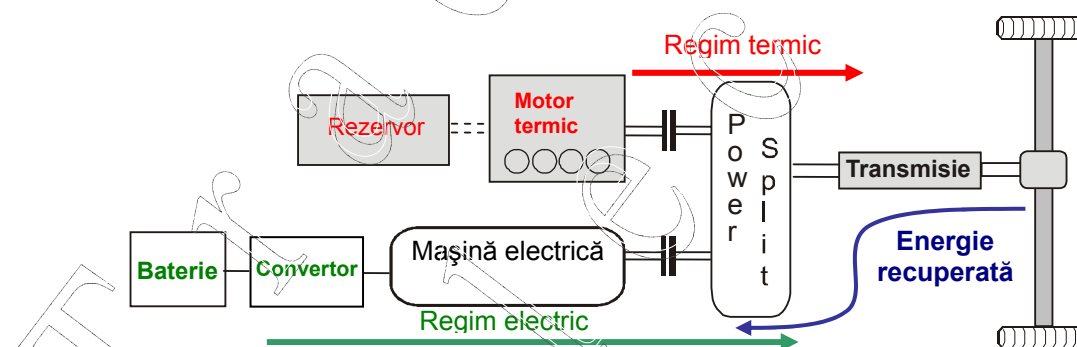
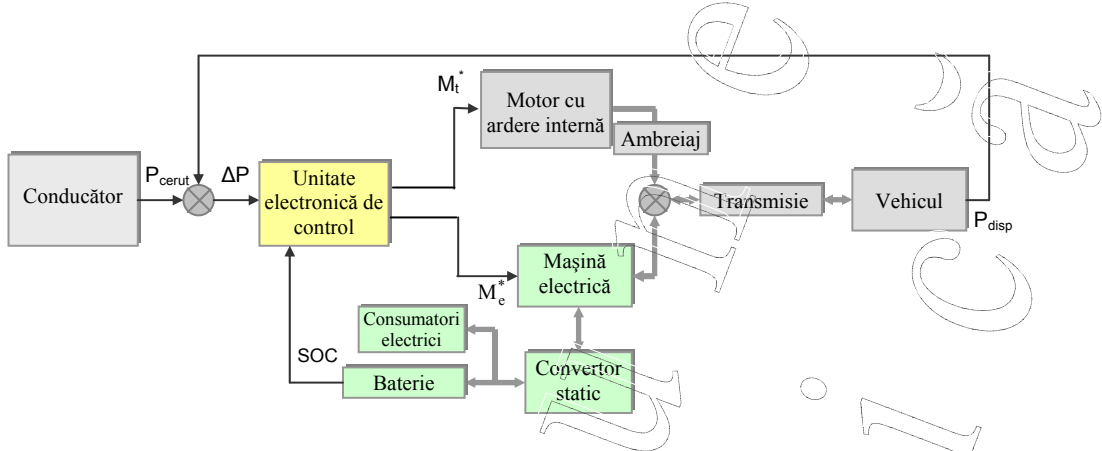


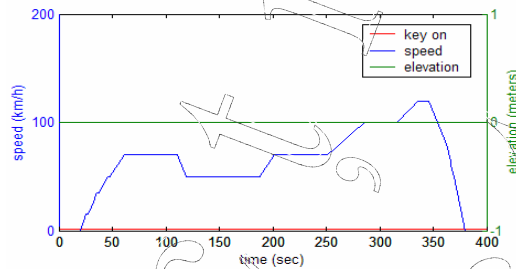
Figura 1 Structura unui vehicul electric hibrid de tip paralel

Modelul complet al unui vehicul cuprinde combinații ale componentelor individuale, interconectate prin intermediul forțelor și cuplurilor transmise de-a lungul liniei de acționare. Mărimile principale de intrare sunt comenzile de accelerare și frânare iar cele de ieșire sunt viteza vehiculului, consumul de energie, etc. Dacă modelarea numerică a elementelor componente din linia de acționare este relativ ușor de realizat, comportarea conducătorului

vehiculului este mai dificil de modelat deoarece depinde de caracteristicile fizice și psihologice ale acestuia și de cerințele din trafic. Modelarea se poate face folosind diverse profile de viteză care vor corespunde controlului pedalelor de accelerare și de frânare de către conducător. Profilele (sau ciclurile de viteză) pentru teste sunt standardizate.



**Figura 2** Modelul unui vehicul electric hibrid tip paralel



**Figura 3** Ciclu de viteză CYC\_EUDC (Extra Urban Driving Cycle)

În condițiile deplasării unui vehicul pe o cale de rulare rectilinie de pantă  $\alpha$ , ecuația de mișcare în regim tranzitoriu, la demaraj, se obține din egalitatea lucrului mecanic al forței rezultante care acționează asupra vehiculului și energia cinetică a maselor aflate în mișcare de translație și în mișcare de rotație. Expresia finală a ecuației de mișcare este

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{\delta \cdot m_a} \cdot [F_R - \sum R] \quad (1)$$

în care :  $\delta$  - coeficientul de influență a maselor aflate în mișcare de rotație,

$m_a$  - masa vehiculului,

$F_R$  - forța la roata motoare,

$\sum R$  - forța rezultantă a rezistențelor la înaintare.

Cuplul de sarcină al lanțului de antrenare se poate obține ca soluție a ecuației diferențiale (1), ce descrie dinamica autovehiculului

$$\delta m_a \frac{dv}{dt} + \sum R = \frac{M_e i_{tr} \eta_{tr}}{r_r} \quad (2)$$

în care:  $M_e$  - cuplul la ieșire,

$i_{tr}$  - raportul de transmisie,

$\eta_{tr}$  - randamentul transmisiei,

$r_r$  - raza roților motoare.

Această ecuație diferențială simulează majoritatea forțelor și cuplurilor ce acționează asupra vehiculului în mișcare.

### 3. Simularea vehiculelor cu programul Advisor

ADVISOR (**Advanced Vehicle Simulator**) este un program de simulare pentru diverse structuri și componente de vehicule, fiind util pentru estimarea consumului de energie, a emisiilor de noxe și pentru evaluarea unor strategii de management energetic atât pentru vehicule convenționale cât și pentru vehicule electrice și vehicule electrice hibride (de tip serie, paralel sau mixte).

Modelele sunt în general empirice, legate de date măsurate în laborator sau quasi-stactice, folosind date preluate în regim staționar (la cuplu sau viteză constantă) și corectate pentru regimurile tranzitorii. Programul lucrează într-un mod interactiv cu mediul de programare *Matlab* și *Simulink* și conține o bază de date importantă (tipuri de vehicule, motoare termice și electrice, baterii, supercondensatoare, transmisii mecanice, etc.). Interfața grafică este accesibilă și ușor de utilizat, permițând folosirea simplă și rapidă a datelor de intrare (fișiere, date tehnice pentru componente și vehicul), modificările utilizatorului fiind ușor de realizat. Soft-ul a fost dezvoltat de către Centrul pentru Sisteme și Tehnologii de Transport (Center for Transportation Technologies and Systems – NREL) din SUA începând cu anul 1994, în vederea stimulării cercetărilor în domeniul vehiculelor hibride. Din anul 2000 există și conferințe internaționale care au ca tematică programul *Advisor*.

Ca tehnologie ADVISOR folosește fizica de bază cu calcule și componente de măsurat performanțe la modelul conceptual al vehiculelor. Utilizatorul definește un vehicul folosind datele globale ale acestuia și prescrie o viteză de contra-fimp, împreună cu clasa de drum, pe care vehiculul trebuie să urmeze. Acestea calculează precis cuplul, viteza, tensiunea, curentul și puterea ce a trecut de la o componentă la alta. ADVISOR permite utilizatorului să răspundă la întrebări, cum ar fi:

- Care este modul de rulare optim, care oferă cele mai bune economii de combustibil?
- A fost vehicul capabil să urmeze viteza prescrisă?
- Cât de mult combustibil și/sau energie electrică a fost necesar la încercare?
- Care a fost puterea de vârf și randamentul? Care a fost distribuția cuplului și viteza?

Beneficiile aduse de către ADVISOR pot fi: reduce timpul de testare pentru a evalua diferite vehicule de propulsie alternative; oferă un instrument de simulare comun pentru industrie și cercetare; asistă industria de automobile prin dezvoltarea de vehicule cu consum redus a componentelor.

Lansarea programului *Advisor* se poate face din fereastra de comenzi Matlab cu comanda *advisor*. În figura 1 este prezentată fereastra de start a aplicației, în care prima opțiune pentru utilizator este cea legată de sistemul de unități de măsură (metric sau US), după care, cu butonul **Start**, se deschide interfața grafică a aplicației care permite accesul la stabilirea datelor de intrare pentru vehiculul simulat și componentele acestuia.

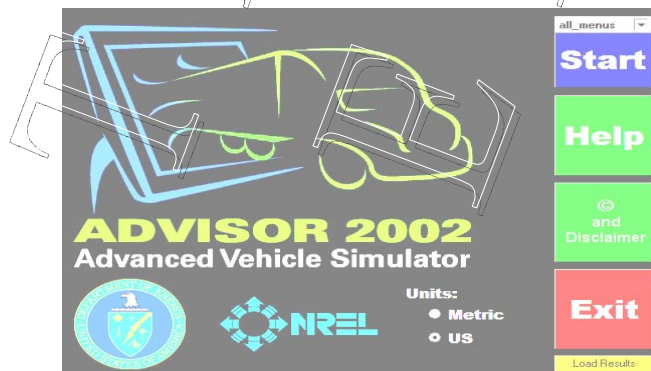


Figura 1 Fereastra de start *ADVISOR*

Ca instrument de analiză ADVISOR folosește ca date de intrare viteza cerută/dorită și

determină cuplul mecanic, vitezele și puterile acționării care sunt necesare pentru a atinge acea viteză. Datorită acestui flux de informații în sens invers prin sistemul de acționare, adică de la roți la osie, la cutia de viteze etc., ADVISOR realizează ceea ce se numește o simulare în sens invers a vehiculului (*backward-facing vehicle simulation*).

Modelarea și simularea implică trei etape, regăsite în trei interfețe:

- prima etapă corespunde introducerii datelor de intrare pentru modelul de vehicul (motor termic, motor electric, baterii, transmisie, control, structură mecanică, etc.
- etapa a doua permite introducerea datelor legate de viteză (ciclul de viteză, viteza maximă, etc), a declivității, etc.
- a treia interfață grafică prezintă rezultatele simulării atât grafic cât și sub forma unor date analitice.

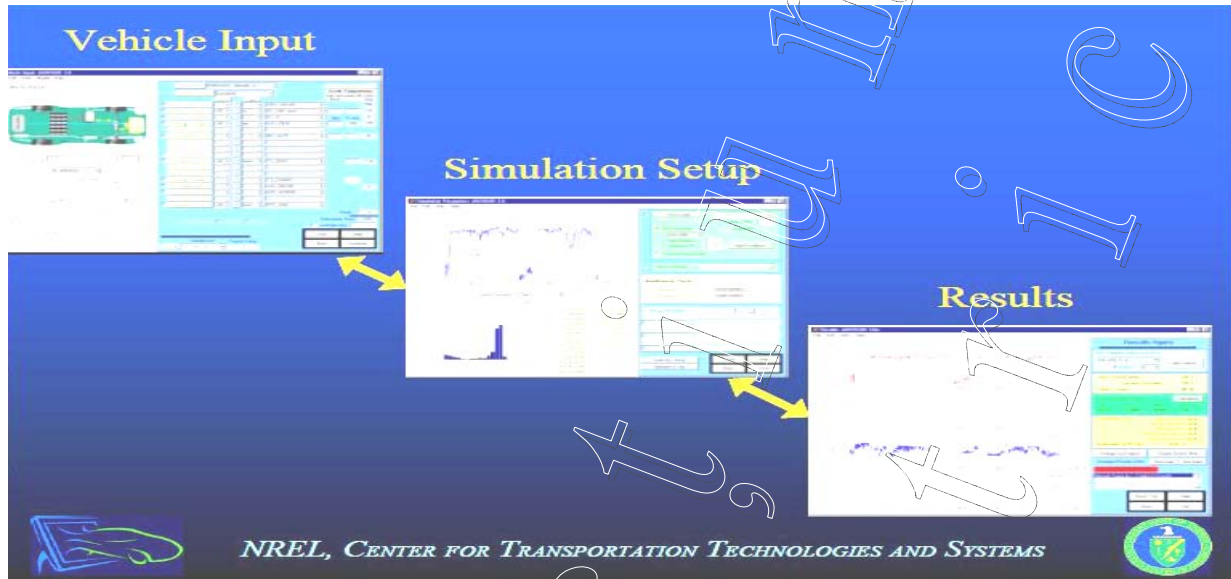


Fig 2. Interfețe ADVISOR

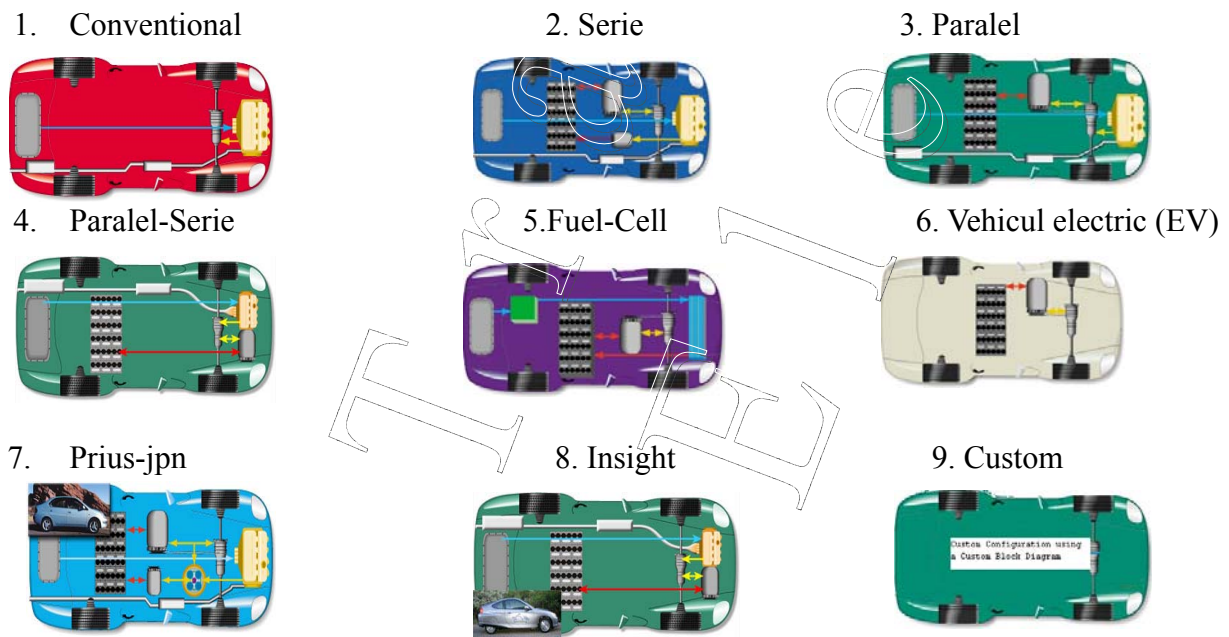


Fig. 3 Tipuri de structuri de vehicule (DriveTrain Configuration)

În figura 4 este prezentată interfața grafică prin care utilizatorul poate introduce și selecta datele de intrare pentru vehicul și pentru elementele componente. În stânga ferestrei este o prezentare grafică interactivă sugestivă a tipului de vehicul care se simulează. Imaginea indică tipul de configurație (vehicul convențional, hibrid serie sau paralel, vehicul pur electric sau cu hidrogen) iar interactivitatea permite accesul imediat la baza de date pentru fiecare componentă ilustrată. Tot în stânga utilizatorul poate vizualiza informații grafice legate de performanțele componentelor (randamentul motorului termic sau electric, emisiile de gaze, eficiența bateriei).

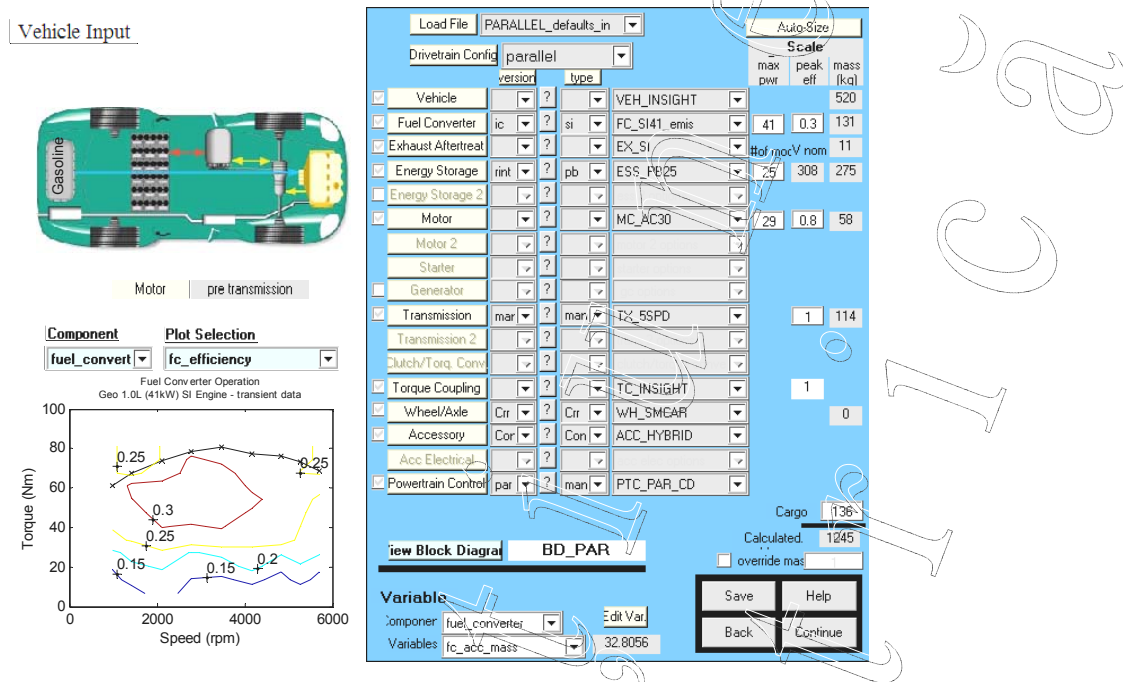


Fig. 4 Interfața grafică date intrare *ADVISOR* (Vehicle Input Screen)

În general utilizatorii trebuie să urmeze doi pași: mai întâi trebuie să definească un vehicul utilizând măsurări sau estimări ale componentelor și alte date și apoi să prescrie o curbă de variație a vitezei funcție de timp împreună cu traiectoria pe care vehiculul trebuie să o urmeze.

În dreapta ferestrei utilizatorul poate specifica sau selecta date de intrare pentru toate componentele din structura sistemului (tip de vehicul, motor termic, elementele de stocare a energiei electrice, motor electric, generator, transmisie, comandă, etc.), fiecare casetă de comandă permițând accesul la baza de date specifică a Advisor-ului. În plus, secțiunea *Scale components* permite utilizatorului să introducă date diferite pentru putere și randament maxim, programul realizând automat o rescalare liniară a datelor, dar cu păstrarea formei originale a caracteristicilor. În partea din dreapta jos se calculează masa totală a componentelor selectate de către utilizator, acesta putând să aleagă masa utilă (*Cargo*). Structura aleasă poate fi salvată cu toate datele selectate și modificate, ceea ce permite revenirea mai târziu asupra modelului sau interactivitatea cu alt utilizator. După stabilirea datelor de intrare, butonul *Continue* permite deschiderea ferestrei în care se pot stabili caracteristicile simulării.

**Load File:** Se poate alege din aproximativ 38 de modele de vehicule, cel pe care dorim să executăm tipul de simulare, conținând variante cu vehicule mari, autobuze, electrice și normale.

**Driving train Configuration:** Se alege felul acționării vehiculului (serie sau paralel) de asemenea se pot modifica componentele vehiculului.

**Vehicle:** Se alege tipul de vehicul, ce are legătură din **Load File**

**Fuel Converter:** Se selectează din 5 variante modelul ales.

**Energy Storage:** Modul de stocare a energiei, cu baterii de plumb, nichel, sau metal hidrid.

**Motor:** Se poate alege tipul de motor cu care poate fi echipat vehiculul, din motoare de curent alternativ (MC\_AC) sau cu magneti permanenți (MP).

**Transmission :** Se prezintă tipul cutiei de viteză ce poate fi cu 5 trepte sau automată.

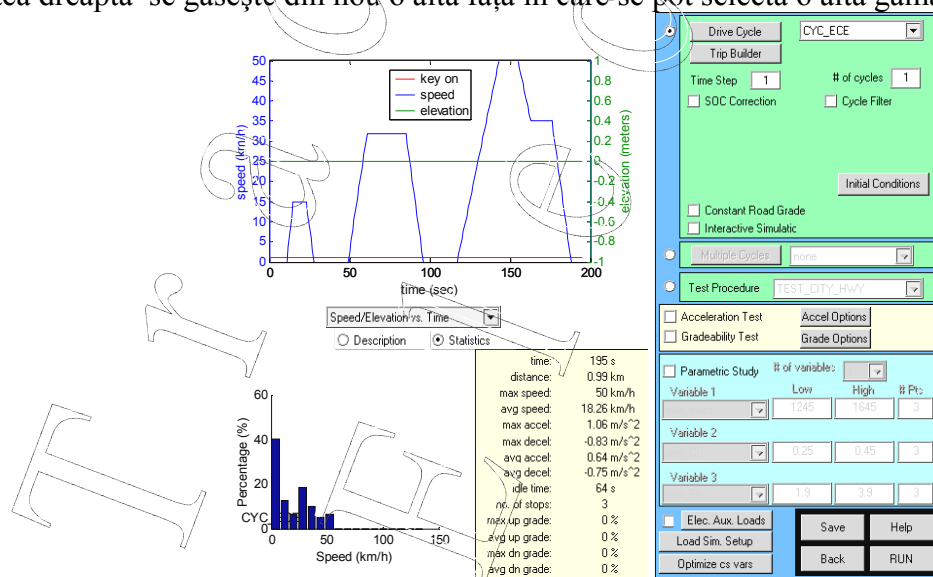
**Wheel/Axle :** Se prezintă modul de echipare a vehiculului cu un anumit tip de roți și pneuri.

**Selecting Component :** După selectarea configurației trenului de rulare, toate componentele vehiculului pot fi selectate folosind meniurile, sau făcând clic pe componenta în imagine. La stânga meniuri este un buton care vă va permite să adăugați sau să ștergeți componentele prin selectarea lor corespunzătoare enumerate m-fișiere. M-fișier a unei componente specifice, pot fi accesate pentru vizualizarea sau modificarea fie din butonul de componenta sau făcând clic pe componenta de imagine.

**Editing Variables:** După selectarea tuturor componentelor dorite pentru vehicul, variabilele scalare de intrare pot fi modificate. O modalitate la acest lucru se poate face cu lista de variabile de la partea de jos a figurii (Edit. Var.). Mai întâi se selectează variabila pentru a schimba și apoi se face clic pe butonul Editare pentru a modifica valoarea acesteia. Valoarea implicită este întotdeauna afișată pentru referință. Aveți posibilitatea să faceți clic pe butonul de ajutor pentru a vedea o scurtă descriere și unitățile folosite pentru variabilele de intrare. După selectarea componentelor pe vehicul variabilele de intrare pot fi modificate prin intermediul butonului.

**AutoSize:** Butonul de auto-size ia vehiculul selectat și ajustează parametrii vehiculului până când acesta îndeplinește obiectivele de accelerare și pantă admisibilă. Parametrii se modifică prin convertor de cuplu, scară de combustibil ( $fc\_trq\_scale$ ), operatorul cuplului motor scară ( $mc\_trq\_scale$ ), numărul de module de sistem de stocare a energiei, și masa vehiculului. Scară cuplul minim este stabilită astfel încât producția sa de putere la vârf este de o anumită valoare. Numărul de module bateriei este limitat pentru a obține o tensiune nominală maximă de 480 V. Implicit obiectivele de performanță sunt menținerea cel puțin 6% grad de la 55 mph, și obținerea de 12 secunde 0-60 mph, 23.4 secunde 0 – 85 mph timp și 5.3 secunde 4-60 mph timp.

Dupa alegerea vehiculului urmarind pașii enumerați se apasă *SAVE* pentru a se salva configurația mașinii, apoi se apasă pe butonul *Continue* ce trece la **pagina 2** care are o interfață asemănătoare, numai că în partea stângă se pot observa 2 categorii de grafice la care se pot selecta diferiți parametri de viteză funcție de timp, viteza funcție de distanță, s.a.m.d.. Iar în partea dreaptă se găsește din nou o altă față în care se pot selecta o altă gamă de parametri.



**Figura 5** Interfața grafică *Advisor* pentru caracteristicile simulării (Simulation Setup Screen)

În această fereastră utilizatorul poate selecta diagrama (ciclul) de viteză (*Drive Cycle*) care va fi folosită pentru simulare, putând opta pentru una sau pentru multiple diagrame predefinite sau să-și realizeze propria diagramă de viteză (*Trip builder*) folosind opt tipuri

diferite de diagrame. Interfața afișează forma grafică a dependenței viteză-timp precum și o serie de date corespunzătoare diagramei (distanță, viteza maximă, viteza medie, accelerație, decelerație, declivitate, numărul de opriri, timpul de mers în gol, etc.). Utilizatorul poate opta de asemenea pentru declivitatea traseului (constantă sau variabilă).

**DriveCycle:** În cazul în care ciclul de conducere este selectat puteți utiliza meniul derulant pentru a selecta dintr-o listă de cicluri de conducere disponibile. Puteți selecta apoi de câte ori doriți ciclului care se repetă, precum și dacă doriți SOC corecție. Condițiile inițiale pot fi de asemenea setate de aici. (figura 9).

**Trip Builder:** Un ciclu poate fi creat prin combinarea mai multe cicluri diferite de back to back folosind această funcționalitate. Acest nou ciclu este apoi salvat în format ciclul normal și poate fi rulat ca atare.

**Auxiliary Loads:** Selectarea acestui buton afișează o interfață grafică pentru a selecta diferite sarcini auxiliare on/off ori legate de ciclul de conducere.

**SOC Corection:** Există două opțiuni SOC corectare: *liniar și zero delta*. Linear SOC corecție execută două simulări, care dă o schimbare pozitivă în starea de încărcare și unul care dă o schimbare negativ în SOC. Valoarea corectată a variabilelor de interes ce sunt apoi interpolate din schimbarea de la zero în SOC o potrivire liniară la punctele de date. Zero-Delta reglează SOC inițial, până la randamentele ce simulează o schimbare zero în SOC + / - cu o bandă de toleranță de 0,5%.

**Constant Road Grad:** Bifând caseta de selectare puteți rula ciclul de conducere cu ajutorul unui grad constant de declivitate.

**Interactive Simulation:** Selectarea casetei de simulare interactivă provoacă o interfață în timp real de simulare interactivă pentru a activa în timp simularea.

**Multiple Cycle:** Puteți accelera procesul de a rula mai multe cicluri diferite cu aceleași condiții inițiale folosind această funcționalitate. Mai multe cicluri salvează informațiile de configurare, inclusiv condițiile inițiale și apoi rulează fiecare dintre cicluri selectate și salvează rezultatele. Din rezultatele figurate puteți accesa toate rezultatele diferite cu ajutorul unei liste rezultate.

**Test Procedure:** În cazul în care procedura de testare este selectată puteți utiliza meniul derulant pentru a selecta ce fel de test se dorește pentru a rula.

**Acceleration Test:** Prin selectarea acestei casete de validare, se va desfășura un test de accelerare în plus față de ciclul ales. Prin accelerare, accelerații maxime și distanțe de călătorie în 5 secunde va fi afișată în figura rezultatele. Acest test va fi rulat în plus față de ciclul de ales. Pentru a vedea al doilea ieșire a unei încercări de accelerare, se alege *CYC\_ACCEL* din meniul de ciclu (figura 10).

**Gradeability Test:** În cazul în care pantă admisibilă este selectată, se produce un test de pantă admisibilă ce va fi rulat în plus față de ciclul ales. Gradele afișate în figura vor fi gradul maxim de întreținere la mph de intrare.

**Parametric Study:** Se poate vedea efectul până la trei variabile pe vehicul, astfel selectați un studiu parametric. Valorile joase și înalte pot fi stabilite, precum și numărul de puncte dorite pentru acea variabilă. Un studiu parametric rulează o serie de simulări pentru a acoperi punctele de intrare, astfel încât în cazul în care 3 variabile sunt selectate cu 3 puncte fiecare, 27 de simulări vor rula (figura 11).

**Load Sim Setup:** O simulare de configurare anterior salvată poate fi reîncărcată folosind butonul *Load Sim. Setup*.

**Optimize cs vars:** Optimizați cu variabile, deschide o fereastră de configurare. Verificarea casetelor selectează variabilele de proiectare folosite pentru a optimiza obiectivele alese și constrângerile.

**Save:** Salvează configurarea executând simularea (figura 12).

**Run:** Clic pe Run se execută simularea și se aștepta pentru rezultate.

Pagina finală 3 arată rezultatele finale (**Results Figure**) ce prezintă unele rezultate rezumate (economia de combustibil, emisiile, distanța totală) și permite utilizatorului să completeze până la patru parcele serii de timp prin selectarea o variabilă din meniul pop-up. În cazul în care casetele de accelerație și pantă admisibilă ce au fost culese în ecranul de configurare simulare, rezultatele corespunzătoare vor fi, de asemenea, afișate.

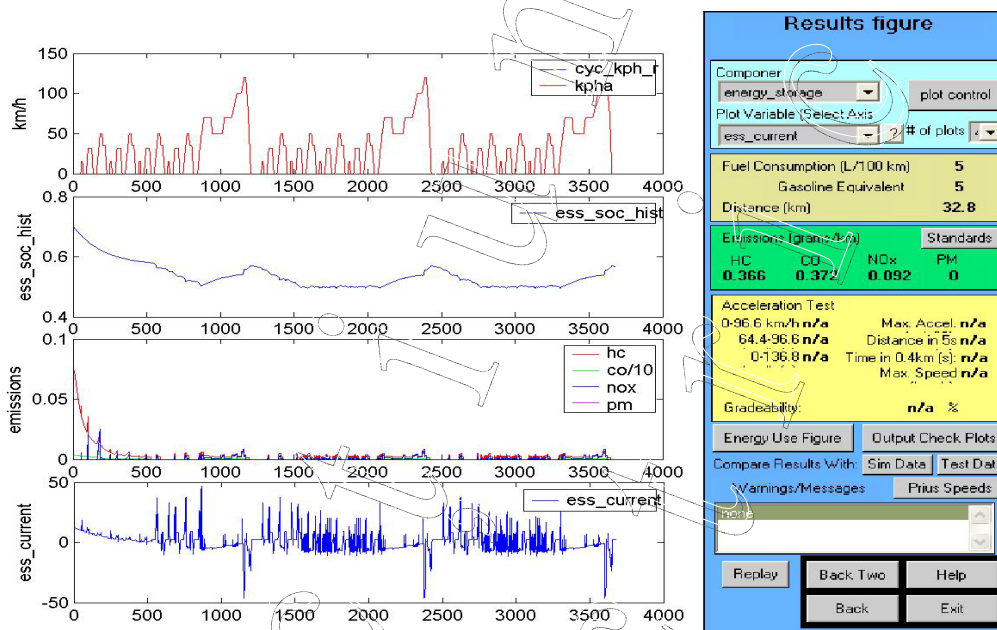


Fig. Interfața grafică cu rezultate ale simulărilor

Toate variabilele ADVISOR folosesc prefixe, cu excepția celor trei variabile de ieșire principale: emisiilor de la țeava de evacuare, consumul de combustibil total și viteza vehiculului mpha – real. De intrare și alte variabile de ieșire folosesc prefixe utilizate pentru numele de componenta fișierul de date, care sunt, de asemenea, incluse în “<” în bloc Simulink corespunzătoare la nivelul principal de diagrame bloc ADVISOR:

**CS\_\*** : Hybrid strategie de control variabile;  
**cvt\_\*** : Transmisie variabilă;  
**\*cyc\_\*** : Variabile ciclu de conducere;  
**ess\_\*** : Energie sistem de stocare variabile;  
**fc\_\*** : Combustibil variabil;  
**fd\_\*** : Variabile final drive;  
**gb\_\*** : Cutie de viteze variabilă;  
**gc\_\*** : Generator / variabile controller;  
**mc\_\*** : Motor / variabile controller;  
**\*tx\_\*** : Transmisie variabilă;  
**\*vc\_\*** : Vehicul control (motor și ambreiaj);  
**veh\_\*** : Vehiculul.

Alte conventii de denumiri sunt:

ACC: Accesoriu incarcare fisier;  
 OYC: Ciclu de conducere;  
 ESS: Energie de stocare a datelor;  
 EX: Catalizatori (esapament);  
 FC : Date de combustibil ;



TX : Cutie de viteze ;  
GC: Generator;  
MC: Motor;  
PTC: Control motor, Control ambreaj;  
TC: Cuplu motor;  
VEH: Vehicul;  
Wh: Roata/Axa;  
BD: Simulink.

În funcție de modalitatea de interconectare a motoarelor electrice și a motorului termic se disting două configurații de hibridizare totală de bază:

1. Transmisii hibride *serie* (numele provine de la modalitatea de conectare a componentelor), la care numai motoarele electrice sunt conectate la roțile automobilului, motorul cu ardere internă acționează un generator electric care alimentează motoarele electrice prin intermediul conectorilor electrice. Curentul produs alimentează motoarele electrice care acționează roțile. Un astfel de sistem se întâlnește la Toyota Coaster. Totuși această soluție este foarte rar întâlnită la automobile;

2. Transmisii hibride *paralele*, la care ambele surse de putere – motorul termic și mașina electrică – sunt conectate la roțile motoare prin intermediul unor legături mecanice adecvate. Motorul termic și mașina electrică pot acționa punțile motoare simultan sau individual, separat (o punte) sau împreună (ambele punți), ele putând fi cuplate între ele. Un exemplu de utilizare a acestei tehnologii este Honda IMA (Integrated Motor Assist) pe Insight și Civic.

### Mersul lucrării

1. Se va studia programul de modelare și simulare Advisor, interfața acestuia, modul de realizare a unui model de vehicul și modul de utilizare a datelor de intrare.
2. Se vor analiza elementele din structura de acționare a vehiculelor electrice și hibride și modul de alegere a lor ca date de intrare pentru simulări.
3. Pe baza unor modele diferite de vehicule electrice sau hibride, se vor realiza simulări ale acestora pentru diverse cicluri de viteză și regimuri de deplasare.
4. Se vor analiza rezultatele simulărilor și performanțele pentru: motorul electric, motorul termic, baterii, consum de combustibil, poluare, etc.
5. Pe baza rezultatelor simulării se vor nota concluzii și se vor evidenția caracteristicile diferitelor tipuri de modele de vehicule.