



Modeliranje i optimizacija energetske sustava

Prof. dr. sc. Gojmir Radica
Sveučilište u Splitu –
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i
brodogradnje
E-mail: gojmir.radica@fesb.hr



- **Razvoj energetske sustava**
- **Modeliranje termodinamičkih procesa**
- **Ekspertni sustavi za dijagnostiku i optimizaciju energetske procesa**
- **Hibridni energetske sustavi i primjeri novih tehnologija**
- **Simulacije energetske procesa u realnom ciklusu opterećenja**
- **Aktivnosti na FESB-u**

Automatski sustavi razvijaju se u autonomne sustave

Sustavi postaju sve složeniji i od PID kontrolnih jedinica prelazi se u kompleksne upravljačke sustave sa sigurnosnim programima.

Autonomija se prirodno razvija od automatskih sustava.



Autonomy
(From today to ???)

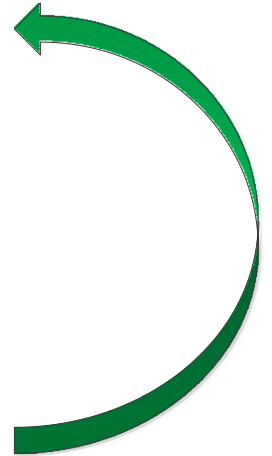


Source: Seadogs-Oriana



Source:Pinterest

Automation/Automatic
(1980's totoday, 40 years in the making)



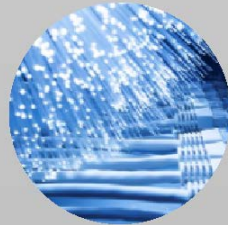
Tehnologije koje omogućavaju Autonomiju



Umjetna
inteligencija



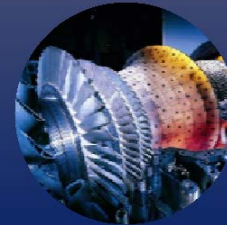
Usjetnici i
GPS



Komunikacije



Računalna
sigurnost



Ekspertni
sustavi za
dijagnostiku

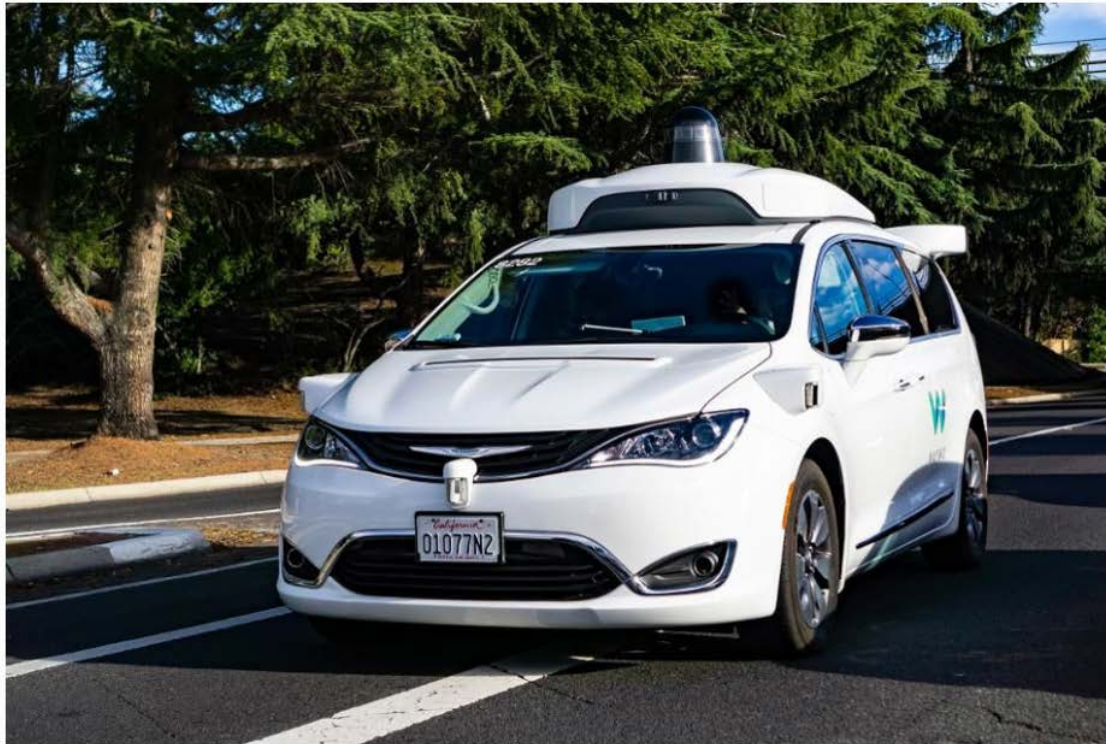


Upravljanje
energijom,
optimizacija i
održivost
sustava



Autonomna vozila

U 2018, 28 svjetski firmi ispituje vozila po javnim cestama Kalifornije. Ukupno 467 vozila su prešla 4 mil. km potpuno autonomno.



December 23, 2018 Mountain View / CA / USA - Waymo self driving car performing tests on a street near Google's headquarters, Silicon Valley (Photocredit: Getty). GETTY



Brodska industrija razvija autonomne brodove

Tehnologije koje se primjenjuju u pomorstvu



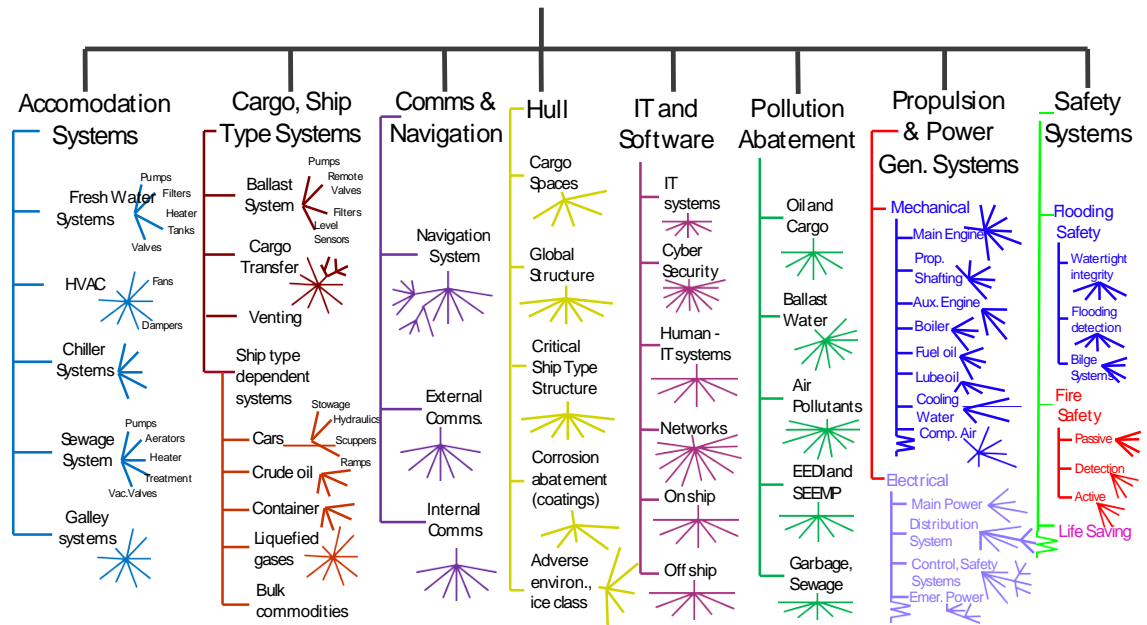
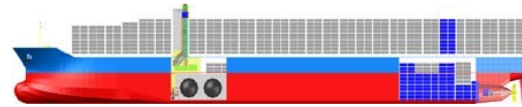
- ✓ Redukcija troškova
- ✓ Povećanje efikasnosti
- ✓ Unapređenje sigurnosti
- ✓ Održivost sustava
- ✓ Smanjenje utjecaja na okoliš



Automatsko ≠ Autonomno

Automatsko (određene su granice normalnih i abnormalnih situacija) ≠

Autonomno (mogućnost učenja i adaptivnog poboljšanja performansi)



Na tipičnom brodu ima preko 30 različitih sustava za komunikaciju, električnih, mehaničkih, navigacijskih, sigurnosnih i sl.



Projekti autonomnih brodova u realizaciji

Rolls-Royce

[Advanced Autonomous Waterborne Applications\(AAWA\)](#).

Kongsberg sa Vard brodogradilištem iz Norveške razvija autonomni brod koji bi trebao zaploviti 2020.

U Europi se razvija projekt [MUNIN](#) (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks), voditelj je [Fraunhofer Center for Maritime Logistics and Services](#), in Hamburg.

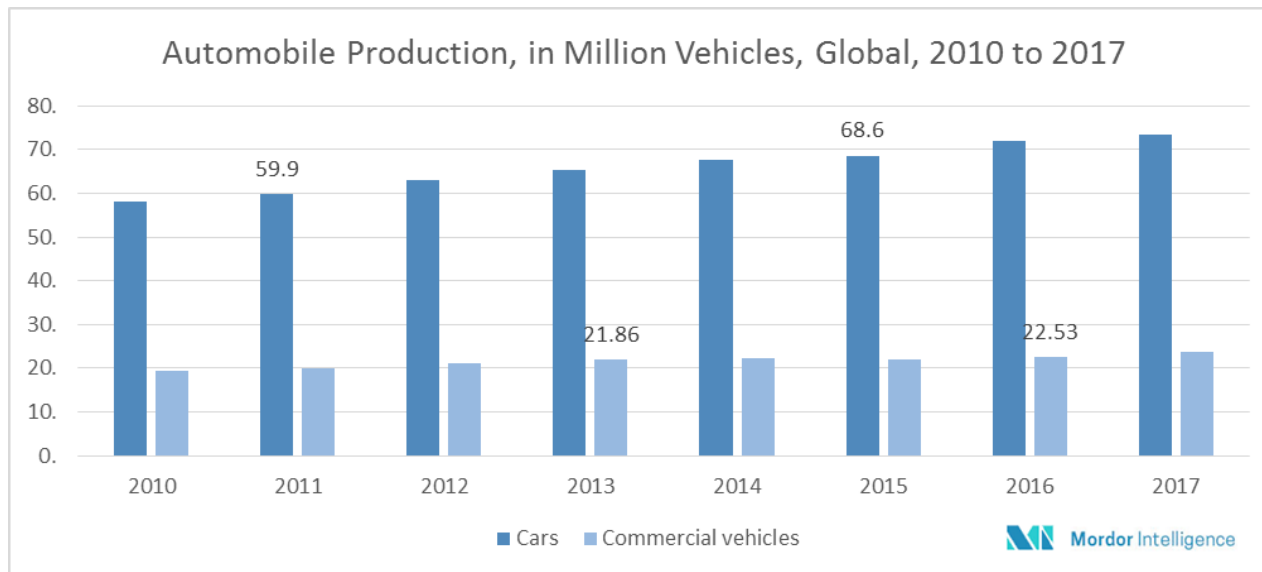
U UK Maritime Autonomous Systems Regulatory Working Group (MASRWG) razvijaju kodove za Conduct for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) a napravljeni su i protokoli za provjeru sigurnosti koji su na razmatranju kod Maritime & Coastguard Agency to the Maritime Safety Committee (MSC) of the IMO.

Image source: RollsRoyce



Trendovi u auto industriji

- Emisije automobilskih vozila čine više od 25% ukupne emisije stakleničkih plinova.
- EPA, CAFE, IMO propisi o smanjenju emisija i povećanju efikasnosti postali su stroži.
- Trendovi smanjenja zapremine motora SUI.
- Benzinski i dizelski motori drže preko 60% ukupnog tržišta.
- Zbog fluktuacije cijene nafte i rastućih ekoloških problema, očekuje se porast električnih i hibridnih vozila.



Trendovi u auto industriji

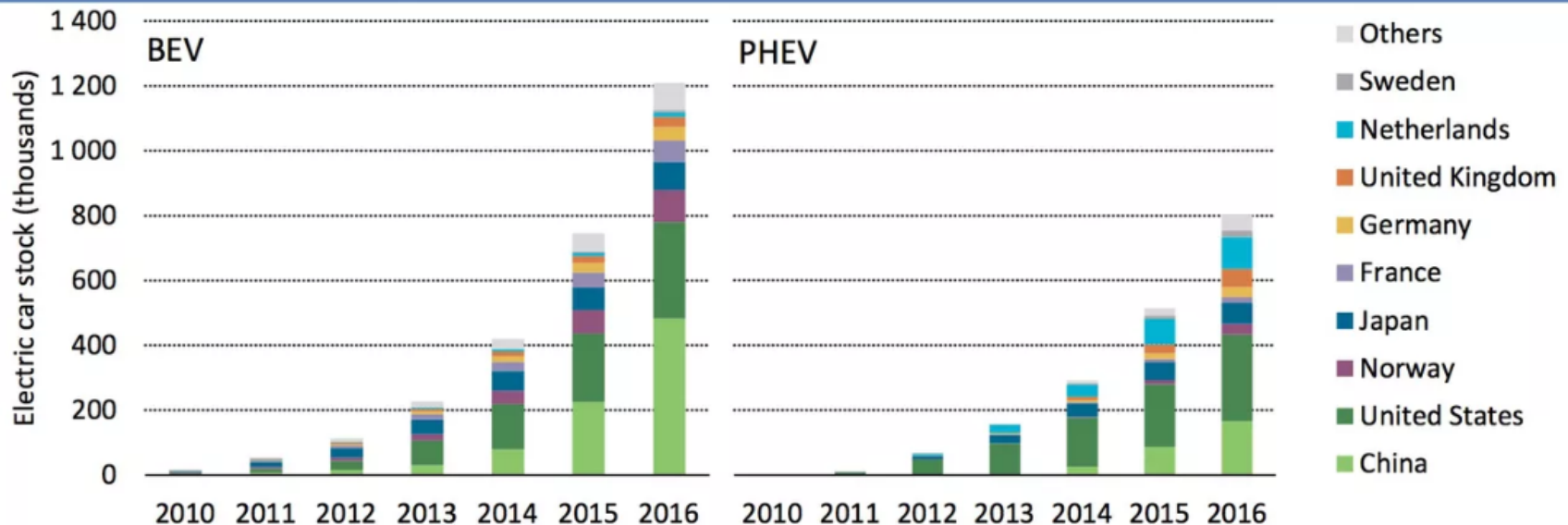
- Nacionalna zabrana prodaje vozila na fosilna goriva: Norveška i Danska do 2025; Francuska i Engleska do 2040,...
- Proizvođači automobila obećavaju uvođenje EV
- Volkswagen najavio do 2025. godine više od 30 BEV-a na tržište, sa ciljem od 2 do 3 milijuna prodanih do te godine ili oko 25 posto ukupne prodaje.
- U ožujku Daimler (vlasnik Mercedes-Benz) najavio je ubrzavanje EV programa i imao bi 10 novih EV-a na tržište do 2022. godine.
- U srpnju, Volvo je najavio da će svi modeli predstavljani 2019. i kasnije biti hibridni ili električni.
- Kinezi (sa tržištem od 30% svjetske proizvodnje osobnih vozila) najavili da rade na gašenju proizvodnje vozila na tradicionalni pogon!





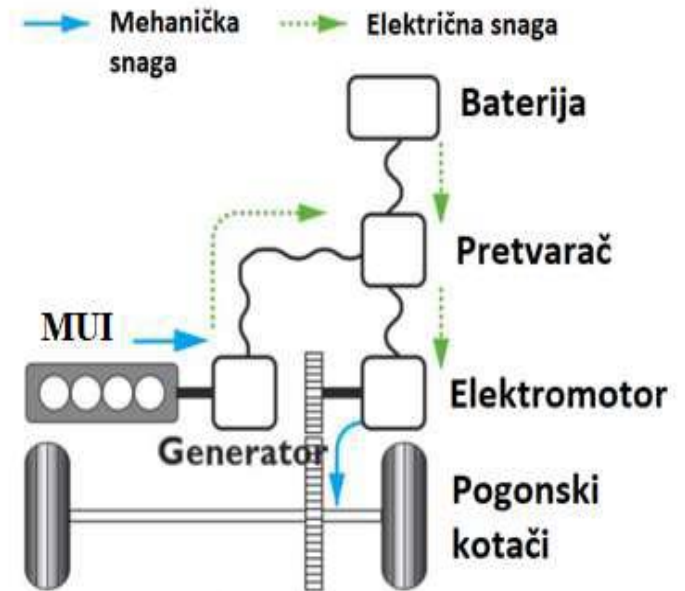
PHEV i HEV vozila

- 2016. ukupan broj PHEV i EV - osobnih vozila, prešli su 2 milijuna, što je oko 0,2 od svjetske flote osobnih vozila. BEV-ovi prepuštaju tržište PHEV-ovima, uglavnom zbog kineskog tržišta.
- U Kini se prodalo oko 289.000 BEV i PHEV u 2016. godini; EU oko 215.000; US oko 150.000. U istoj godini prodano je 92 milijuna vozila s motorom SUI.



Hibridni sustavi - Serijski pogon

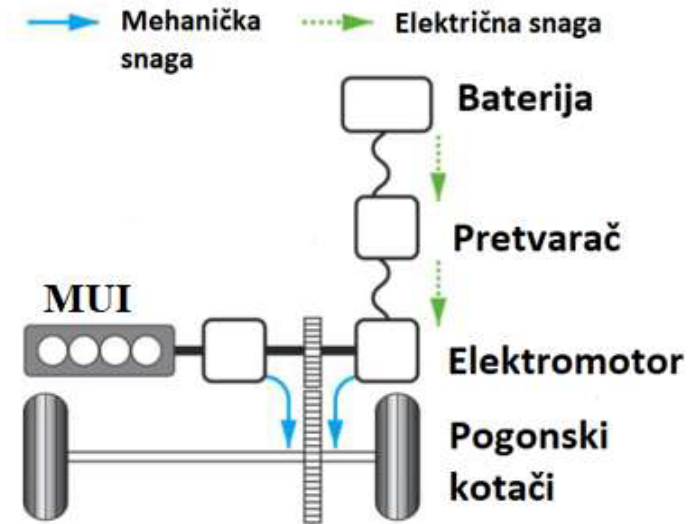
- 1889. godine prvi primjerak, pogonski sustav se sastojao od: benzinskog motora(0,75 hp)+ generatora (1,1kW)
- Motor s unutrašnjim izgaranjem (MUI)→ mehanička snaga→ generator → elek. energija baterija → elektromotor
- Nedostaci: pretvorba energije reducira efikasnost
- Prednost: MUI radi u optimalnom režimu rada, nepostojanje mehaničke veze MUI-a i kotača



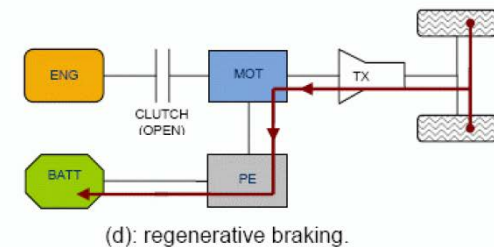
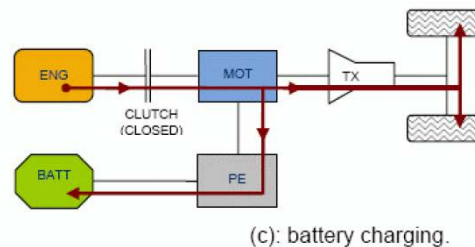
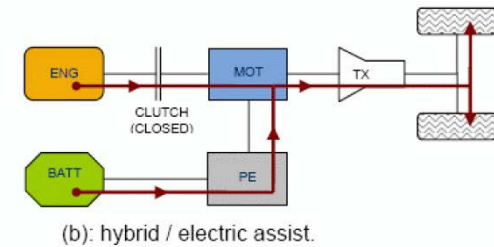
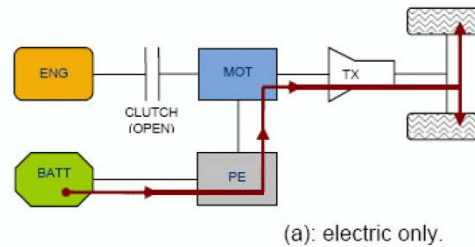
Prikaz serijskog pogona hibridnog vozila

Paralelni hibridi

- 1889. godine prvi primjerak, pogonski sustav se sastojao od olovnih baterija + benzinskog motora
 - Nedostaci: komplicirana konstrukcija, niska efikasnost pri malim brzinama vrtnje motora, nemogućnost punjenja baterije za vrijeme stajanja
 - Prednost: učinkovitost za vrijeme duge vožnje autocestom, fleksibilnost prebacivanja između električne energije i energije MUI-a
- 4 osnovna načina rada

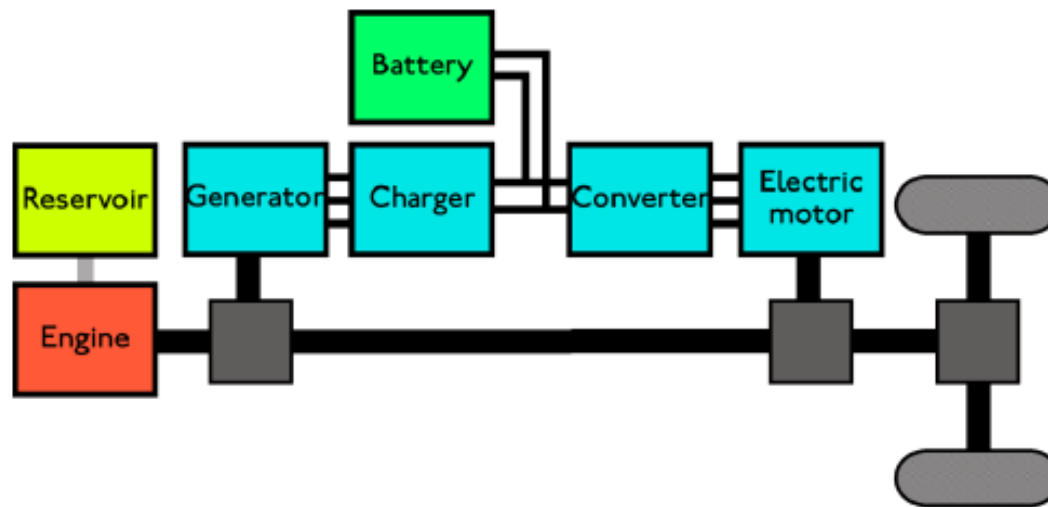


Prikaz paralelnog pogona hibridna vozila



Kombinirani pogonski sustav hibrida

- 1903. godine prvi primjerak, pogonski sustav se sastojao od elektromotora (14 hp) i MUI-a (6 hp)
- Sadrži značajke i serijskog i paralelnog sustava
- Nedostaci: kompleksnost, cijena, učinkovitost ovisi o količini energije prenesene električnim putem
- Prednost: fleksibilnost prebacivanja snage, u odnosu na serijski sadrži manji, lakši i učinkovitiji MUI



Prikaz kombiniranog pogona hibridnog vozila

Najvažnije karakteristike električnog i hibridnih vozila

Tablica: Karakteristike hibridnih vozila

Tipovi električnog vozila	Električno vozilo pogonjeno baterijom	Hibridna električna vozila	Gorivni članak električnog vozila
Pogon	<ul style="list-style-type: none"> Električni motor 	<ul style="list-style-type: none"> Električni motor Motori s unutarnjim izgaranjem 	<ul style="list-style-type: none"> Električni motor
Energetski sustav	<ul style="list-style-type: none"> Baterija 	<ul style="list-style-type: none"> Baterija MUI 	<ul style="list-style-type: none"> Gorivni članci Potrebna baterija za povećanje gustoće snage za pokretanje
Izvor energije i infrastruktura	<ul style="list-style-type: none"> Postrojenja za napajanje električnom mrežom 	<ul style="list-style-type: none"> Benzinske stanice Postrojenja za napajanje električnom mrežom (za Plug in Hybrid) 	<ul style="list-style-type: none"> Vodik Proizvodnja vodika i transportna infrastruktura
Karakteristike	<ul style="list-style-type: none"> Nema ispušnih štetnih plinova Visoka energetska učinkovitost Neovisni o nafti Relativno kratak domet Visoka početna cijena Komercijalno dostupna 	<ul style="list-style-type: none"> Niska emisija ispušnih plinova Veliki domet Komercijalno dostupna 	<ul style="list-style-type: none"> Niska emisija štetnih plinova Visoka energetska učinkovitost Neovisnost o nafti (osim ako se ne koristi za proizvodnju vodika) Zadovoljavajući domet Visoka cijena U razvoju
Glavni problemi	<ul style="list-style-type: none"> Baterija i upravljanje baterijom Postrojenja za napajanje Cijena 	<ul style="list-style-type: none"> Višestruka kontrola izvora energije, optimizacija i upravljanje Veličina baterije i upravljanje 	<ul style="list-style-type: none"> Cijena gorivnih članaka, životni ciklus i pouzdanost Infrastruktura vodika

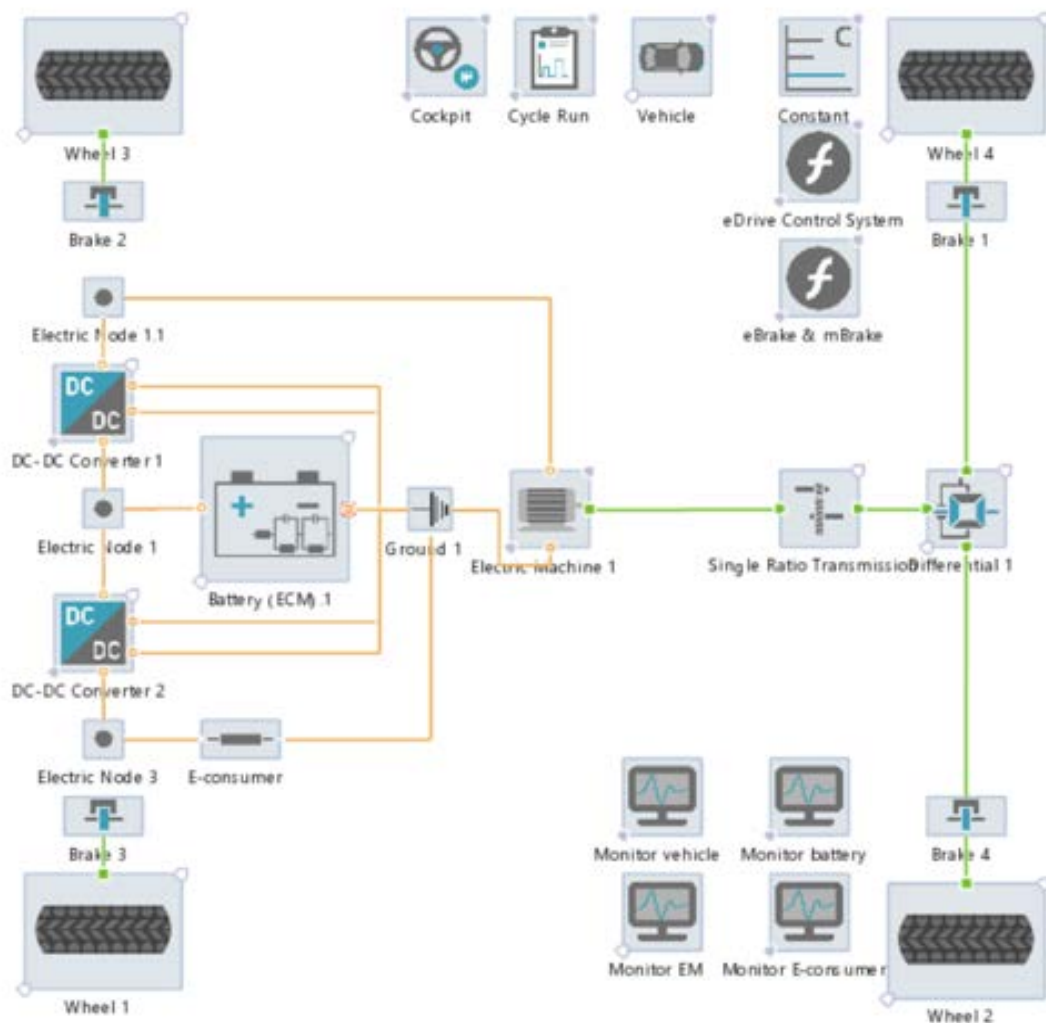


PEM FC



Model električnog vozila

- AVL- Cruise M, korišteni softverski paket



Tablica . Karakteristike Nissan Leaf

masa [kg]	1481
dužina [mm]	4445
visina [mm]	1551
širina [mm]	1770
međuosovinski razmak [mm]	2700
snaga elektromotora [kW/Nm]	80/280
nominalni napon članaka [V]	3,75
konfiguracija baterije	96p2
ukupna snaga baterije [kWh]	24
maksimalna brzina [km/h]	150 km/h
ubrzanje (0-97 km/h)	9,9 s
maksimalni domet (NEDC) [km]	135
Cijena	32500 \$



Model hibrida pogonjenog gorivnim člancima

- Kao osnova za parametre gorivnih članaka korištena Toyota Mirai

Fuel Cell 1
Fuel Cell

Administrative Properties

Settings

Compressor

Battery Parameterization Wizard

Extended Parameter Settings d

Layout Configuration d

Number of cells in a stack:

Fuel Cell Properties d

Cell area: cm²

CCL proton conductivity: A / (V·m)

Ideal open circuit voltage: V

Tafel slope: V

Catalyst layer thickness: cm

GDL thickness: cm

Maximum current: A

Cathode Gas Properties d

Oxygen constitute: %

Initial Conditions d

Cathode inlet gas pressure: bar

Relative humidity: %

Tablica . Karakteristike Toyote Mirai

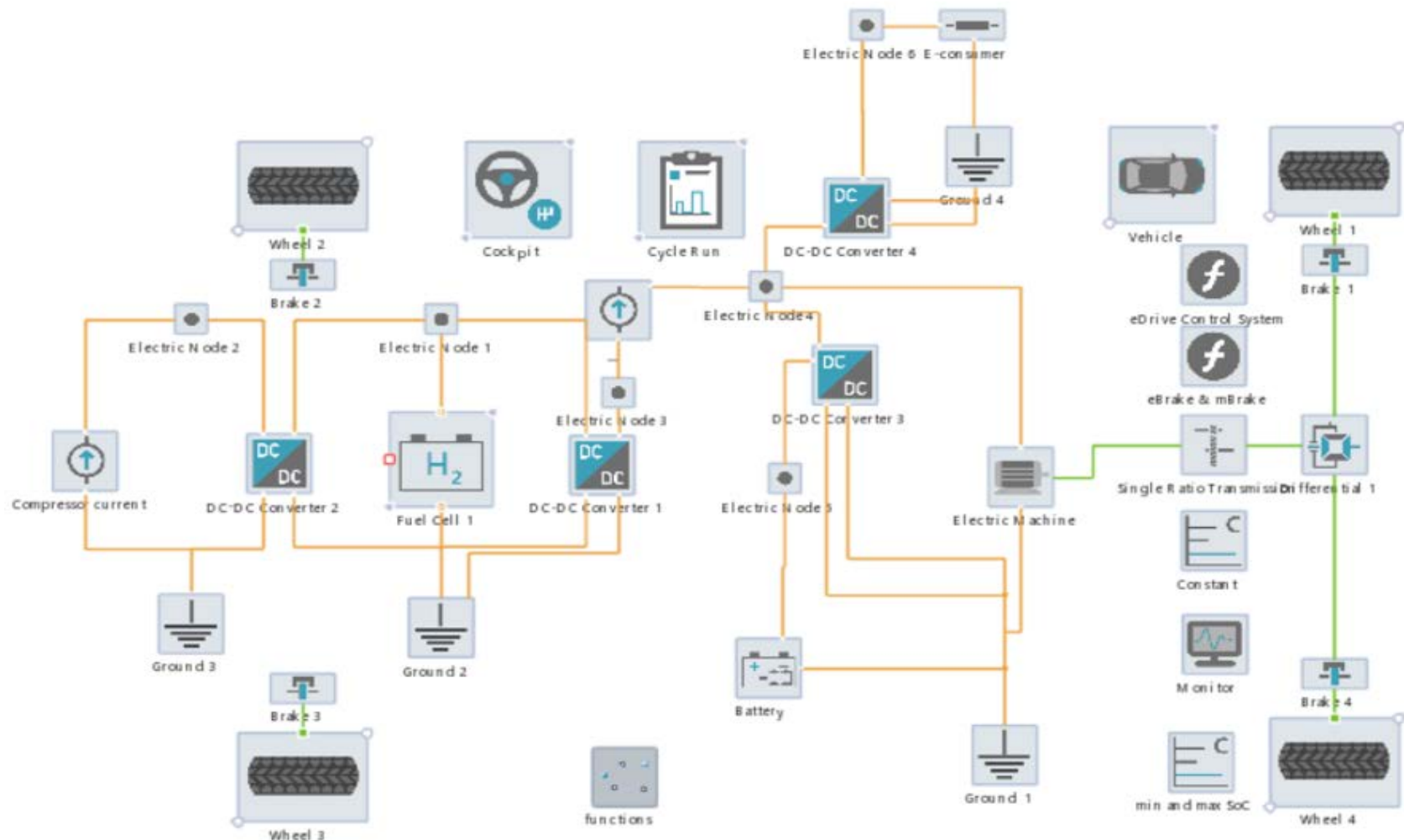
masa [kg]	1850
dužina [mm]	4890
visina [mm]	1553
širina [mm]	1815
međuosovinski razmak[mm]	2780
snaga elektromotora[kW/Nm]	113/335
nominalni napon [V]	244
kapacitet [Ah]	6,5
maksimalna brzina [km/h]	180
ubrzanje (0-97 km/h)	9,6 s
maksimalni domet (EPA) [km]	502
cijena	57500 \$



Slika. Toyota Mirai

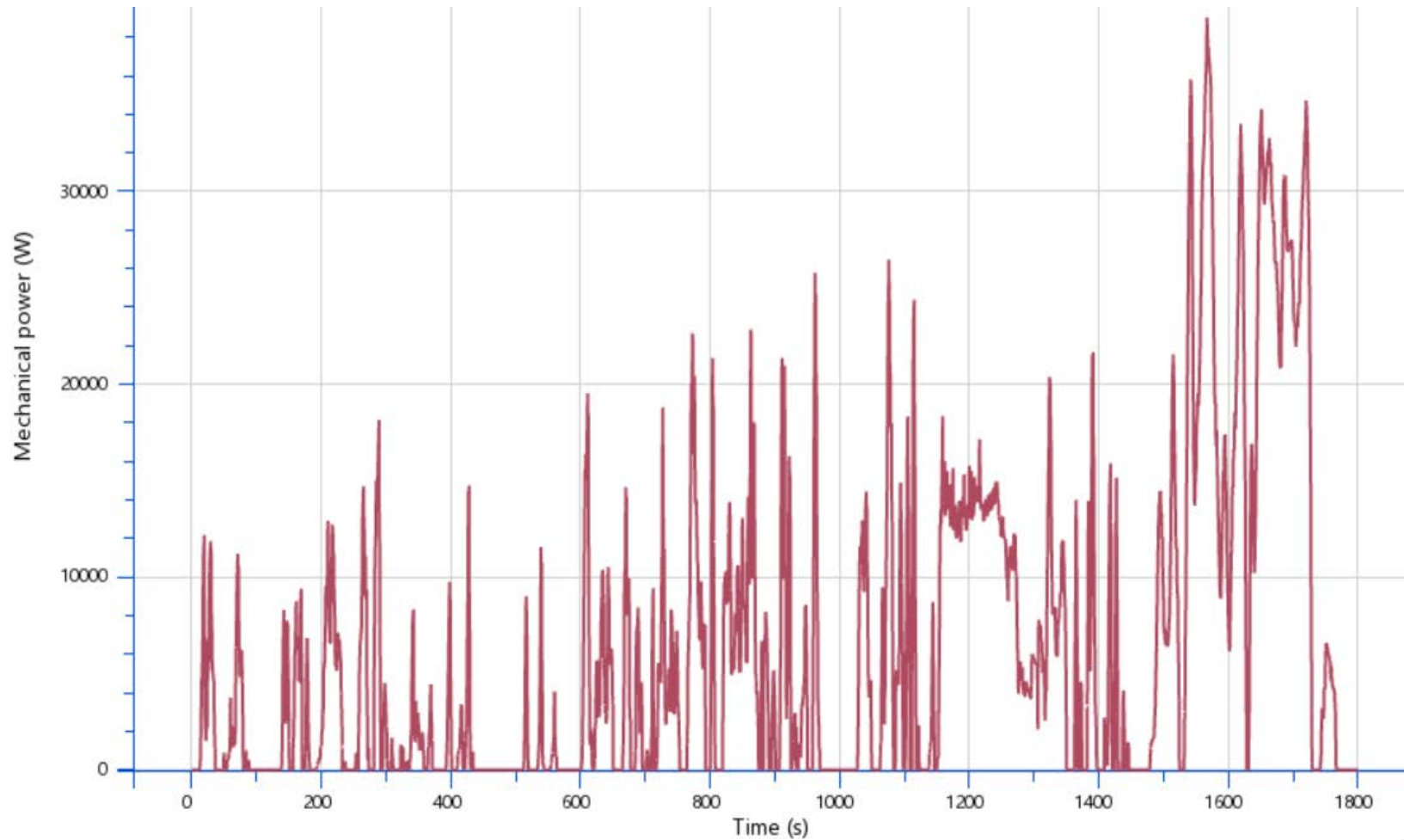


Pojednostavljeni model hibrida u softverskom paketu



WLTC ciklus vožnje

- Hibridni pogon sa PEM gorivnim člankom i snazi 30726 W.



Utjecaj promjene određenih parametara na karakteristike vozila (WLTC ciklusu vožnje)

Tablica . Promjene karakteristika uzrokovane različitim stehiometrijskim omjerima

stehiometrijski omjer	1,2/2,15	1,5/2
snaga potrebna za rad kompresora[W]	1018	950
zahtijevani maseni protok vodika [kg/s]	0,00057	0,000716
zahtijevani maseni protok zraka [kg/s]	0,0349	0,032573
učinkovitost [%]	54,96	54,7
domet sa spremnikom od 5kg [km]	547,511	519,853
prosječna potrošnja vodika [kg/100km]	0,91	0,96

Tablica Promjene karakteristika uzrokovane različitim Tafelovim nagibima

Tafelov nagib	0,027	0,03	0,033
snaga potrebna za rad kompresora[W]	940	1018	1120
zahtijevani maseni protok vodika [kg/s]	0,00052	0,00057	0,00063
zahtijevani maseni protok zraka [kg/s]	0,03244	0,0349	0,0384
učinkovitost [%]	59,544	54,96	49,9
domet sa spremnikom od 5kg [km]	591,015	547,511	447,232
prosječna potrošnja vodika [kg/100km]	0,846	0,91	1,1

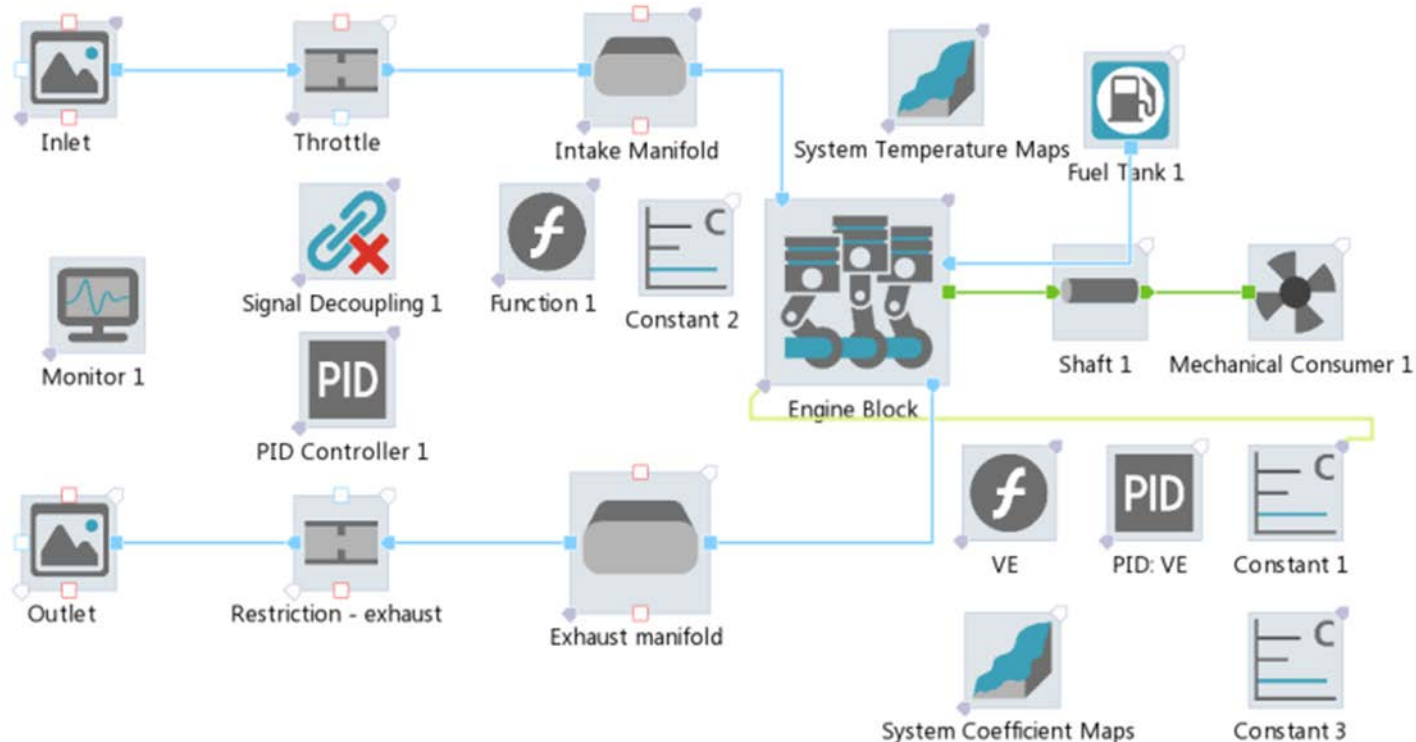


- Dobiveni rezultati za domet modela električnog vozila su približno jednaki kao objavljeni rezultati proizvođača vozila (132,8 spram 135 km , NEDC).
- Dodavanjem spremnika vodika od 5kg (uz stehiometrijski omjer 1,2/2,15) domet vozila se povećao s 132,8 km na 577,153 km.
- Promjenom ciklusa opterećenja tj. vožnje povećava se prosječna potrošnja vodika (za NEDC ciklus 0,866 kg vodika/ 100 km, WLTC 0,91 kg vodika/100 km)
- Promjena stehiometrijskog omjera utječe na performanse gorivnog članka, a time i vozila
- Povećanjem Tafelovog nagiba smanjuje se efikasnost gorivnog članka, povećava se potrošnja vodika, a time se smanjuje domet vozila





ISTRAŽIVANJE POJAVE DETONANTNOG IZGARANJA KOD PREDNABIJENOG BENZINSKOG MOTORA SA VVT SUSTAVOM

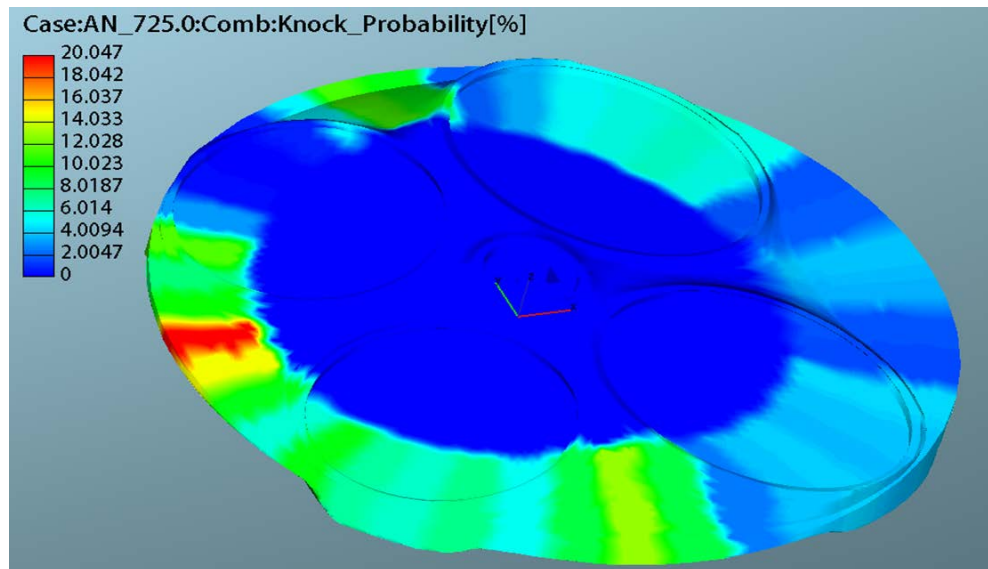


CRUISE M simulacijski model 600cc
petrol engine

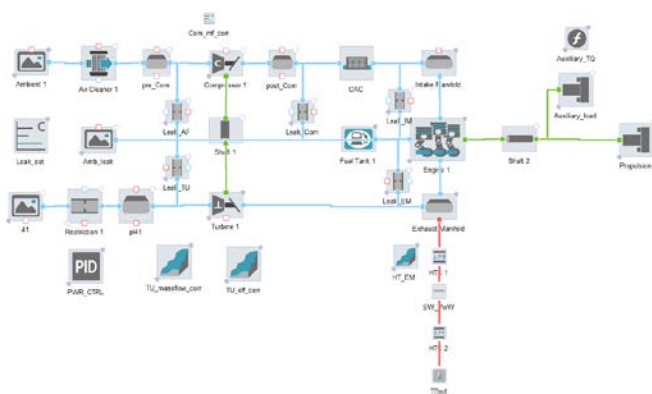




Modeliranje sporokretnog Dizelskog motora



CFD Analize detonantnog izgaranja kod benzinskih motora

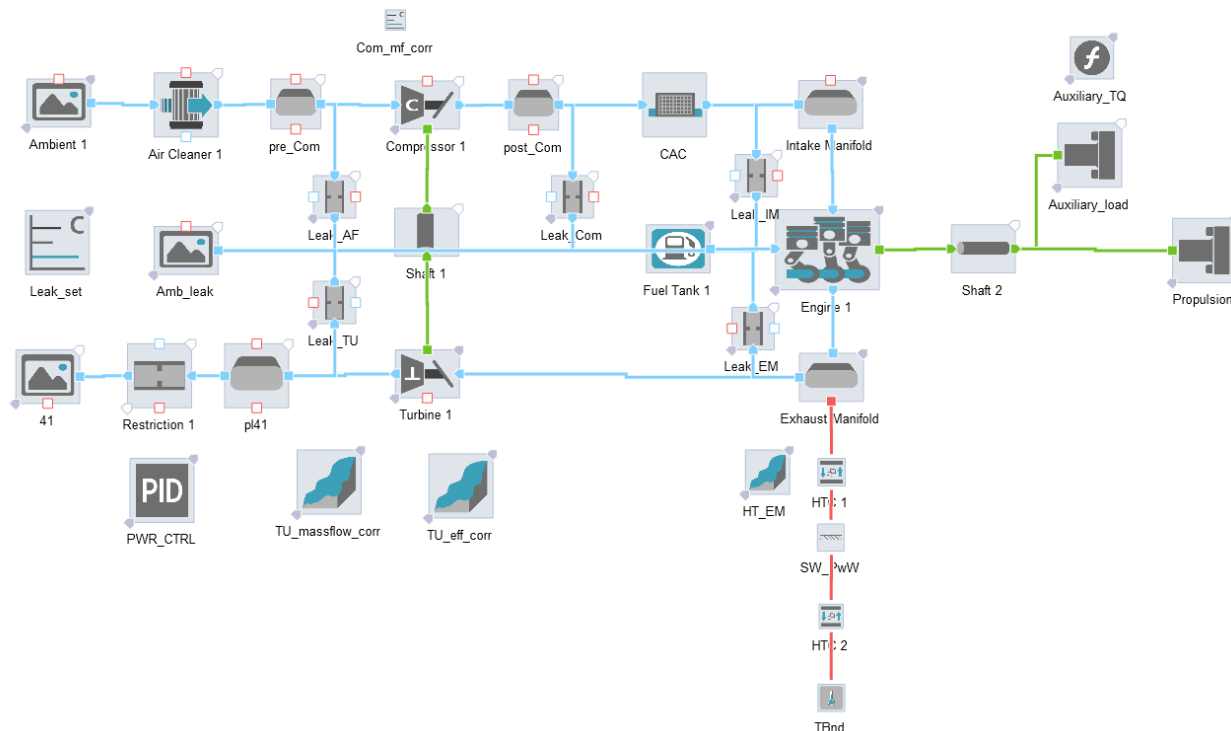


Dijagnostika četverotaktnih brzokretnih brodskih motora



Dijagnostika brodskog dizelskog motora

Simulacija i određivanje inicijalnih simptoma kvarova u svrhu stvaranje podatkovne baze za treniranje virtualnog dijagnostičkog eksperta





Projekti u vezi s vodikom i gorivnim člancima

- Upravljanje vodom i toplinom i trajnost membranskih gorivnih članaka, Hrvatska zaklada za znanost, 2014-2018
- Automotive Derivative Energy System (AutoRE) EC FCH Joint Undertaking (Horizon2020), 2015-2018
- GiantLeap Fuel Cell Bus, EC FCH Joint Undertaking (Horizon2020), 2016-2019
- Projektna aktivnost IC – Razvoj gorivnih članaka i elektrolizatora STIM-REA
Centar izvrsnosti za znanost i tehnologiju i integraciju mediteranske regije – STIM, EU
strukturni fondovi MZO/SAFU, 2017-2022
- HYDRIDE4MOBILITY EC-REA Marie Skłodowska-Curie RISE (H2020) 2018-2021

SAPPHIRE



GIANTLEAP





Formula Student projekt



ATV i autobus na gorivne ćlanke



Multifunkcionalno vozilo

Mjerna oprema za ispitivanje MUI



Dinamometar Schenck



Mjerenje opterećenja i torzijskih vibracija

Mjerenje Ispušnih emisija





HVALA NA POZORNOSTI !

Prof. dr. sc. Gojmir Radica
FESB, SVEUČILIŠTE U SPLITU
gojmir.radica@fesb.hr

SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

