



# АЛТЕРНАТИВНИ ПОГОНИ ВОЗИЛА

Проф. др Иван Благојевић  
Универзитет у Београду  
Машински факултет



# АЛТЕРНАТИВНИ ПОГОНИ ВОЗИЛА

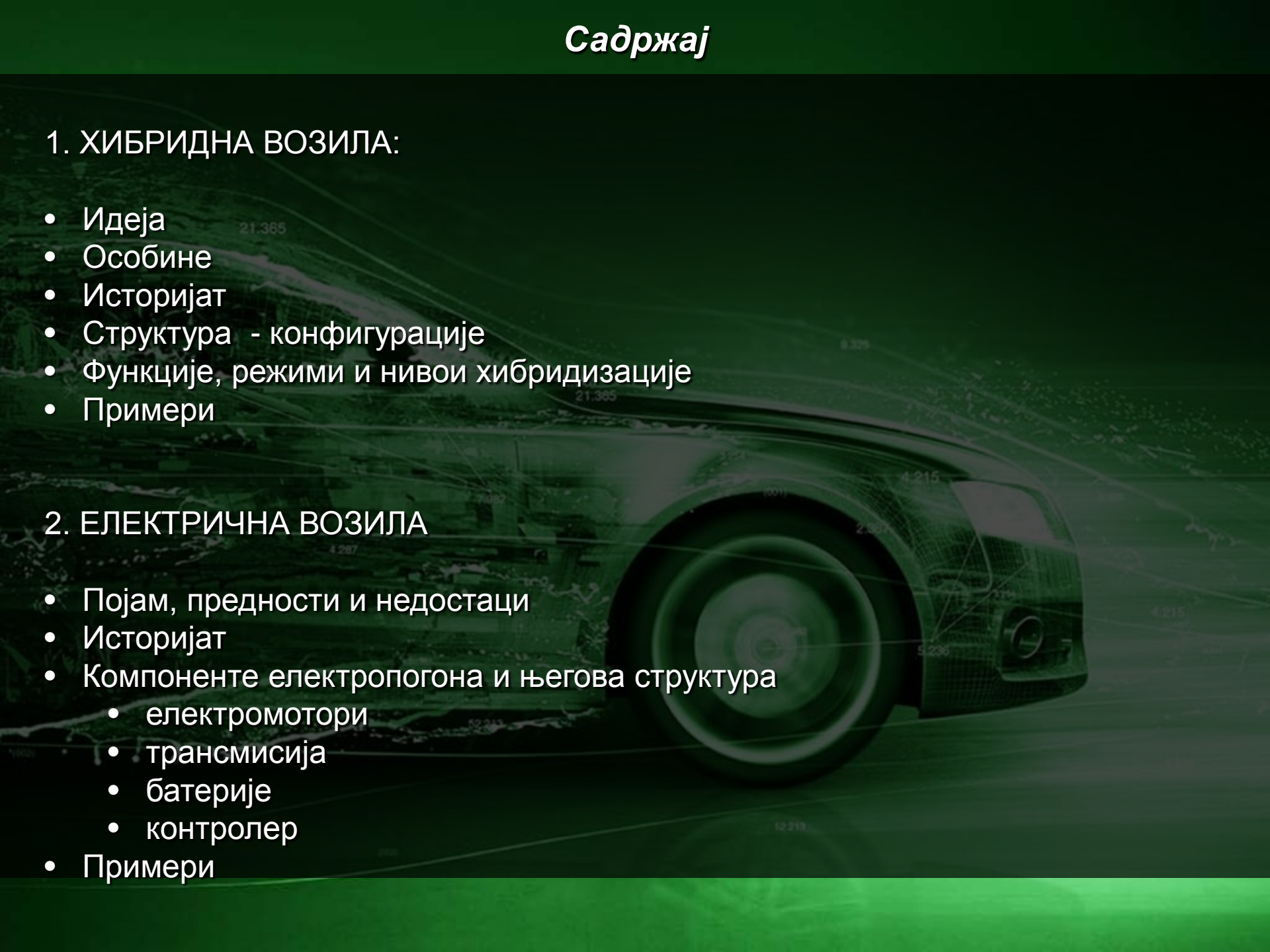
Проф. др Иван Благојевић  
Универзитет у Београду  
Машински факултет

## 1. ХИБРИДНА ВОЗИЛА:

- Идеја
- Особине
- Историјат
- Структура - конфигурације
- Функције, режими и нивои хибридизације
- Примери

## 2. ЕЛЕКТРИЧНА ВОЗИЛА

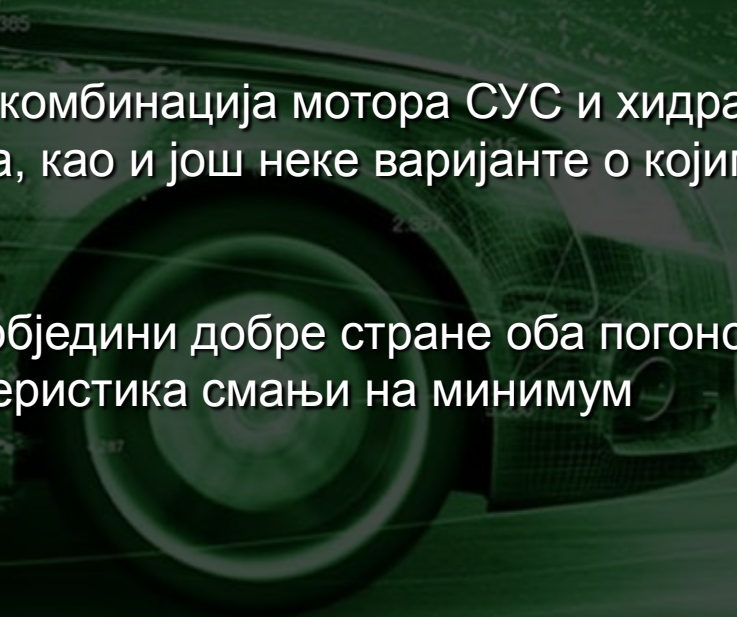
- Појам, предности и недостаци
- Историјат
- Компоненте електропогона и његова структура
  - електромотори
  - трансмисија
  - батерије
  - контролер
- Примери





## Хибридна возила – идеја

- Свако возило код којег се два или више различитих видова енергије претварају у механичку енергију која га погони, називамо хибридним возилом
- Највећу употребу имају хибридна електрична возила (*Hybrid Electric Vehicle - HEV*) која за погон користе мотор са унутрашњим сагоревањем (бензински или дизел) и електромотор
- У знатно мањој мери користи се и комбинација мотора СУС и хидрауличног или пнеуматског погонског система, као и још неке варијанте о којима неће бити речи
- Хибридно возило има задатак да обједини добре стране оба погонска извора, а број неповољних карактеристика смањи на минимум



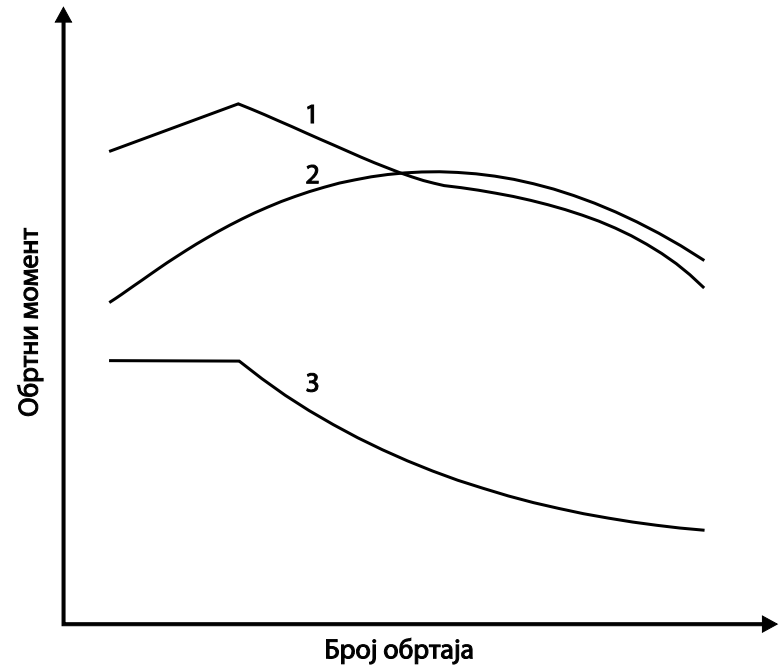
# Хибридна возила – особине

## Мотор СУС:

- + маса и простор
- + допуна горива
- + аутономија кретања
- степен корисности
- издувна емисија
- обртни момент и спец. потрошња

## Електромотор:

- + обртни момент
- + издувна емисија штетних гасова
- + степен корисности
- маса
- пуњење
- аутономија кретања



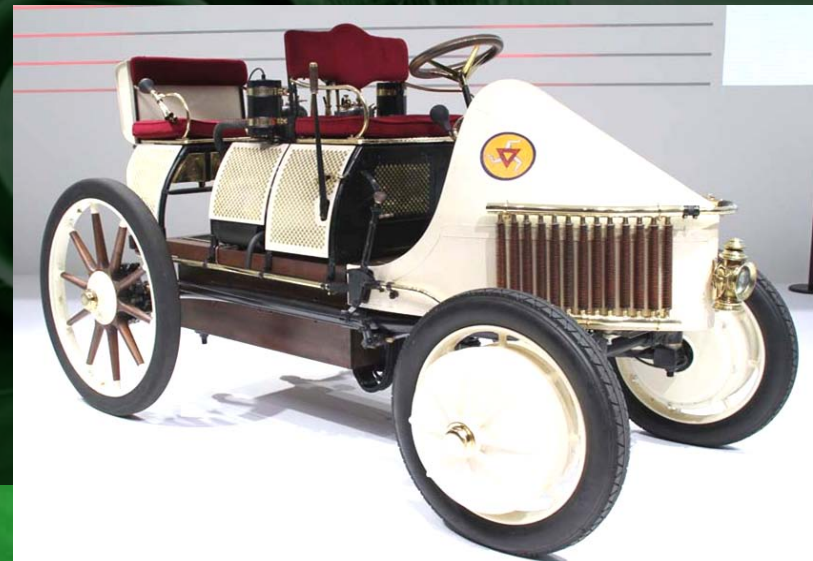
- 1 – хибридни погон
- 2 – мотор СУС
- 3 – електромотор



## Хибридна возила – историјат

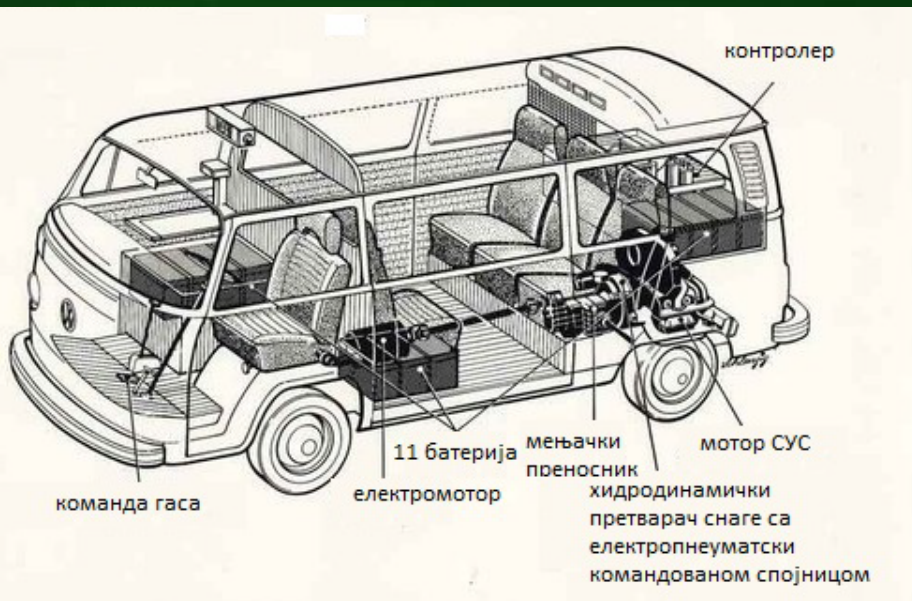
- ❖ Прво хибридно возило представљено је на париском салону аутомобила 1899. године као трицикл (француско-белгијски). Два точка на задњој осовини била су погоњена независним електромоторима, док је мотор са унутрашњим сагоревањем максималне снаге од  $\frac{3}{4}$  коњске снаге био упарен са генератором снаге 1,1 kW. Улога генератора је била да допуни батерије и тако повећа аутономију кретања возила.
- ❖ Белгијанац Камиј Женаци представио је хибридно возило паралелне структуре на париском салону аутомобила 1903. године.
- ❖ Француз Луј Антоан Кригер, направио је серијски хибрид 1902. године.

*Lohner-Porsche Mixte Hybrid*

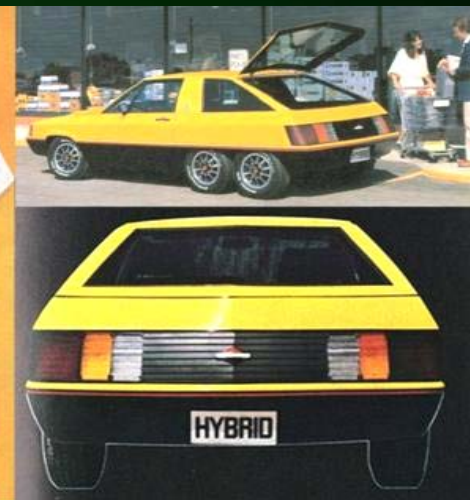




# Хибридна возила – историјат



**VW Taxi**

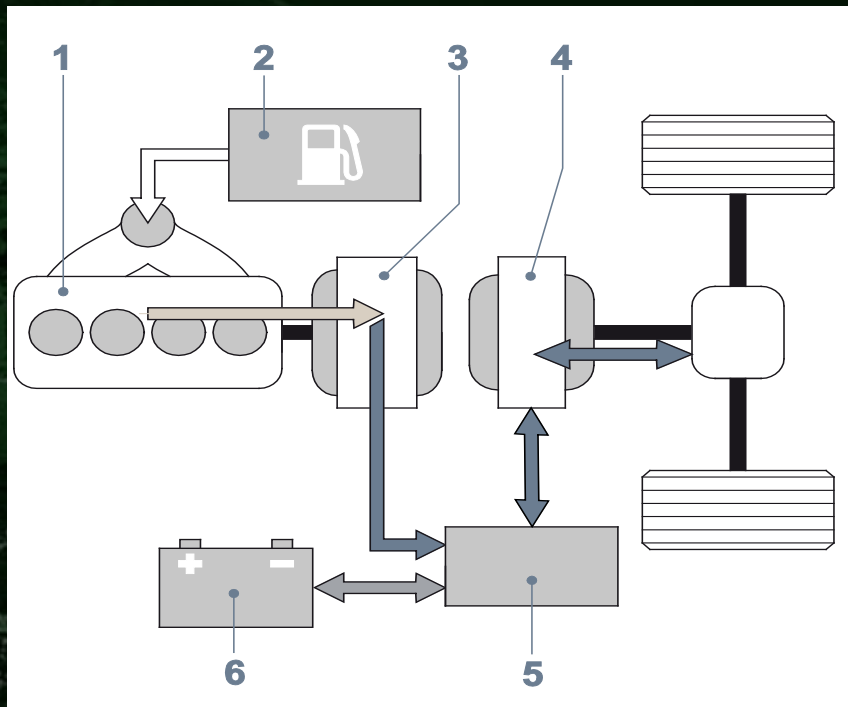


**Briggs and Stratton Hybrid Concept**



**Четири генерације Toyota Prius – I генерација (1997 - 2003.), II генерација (2003 - 2009.), III генерација (2009 - 2015.) и IV генерација (2015 -)**

# Хибридна возила – конфигурације



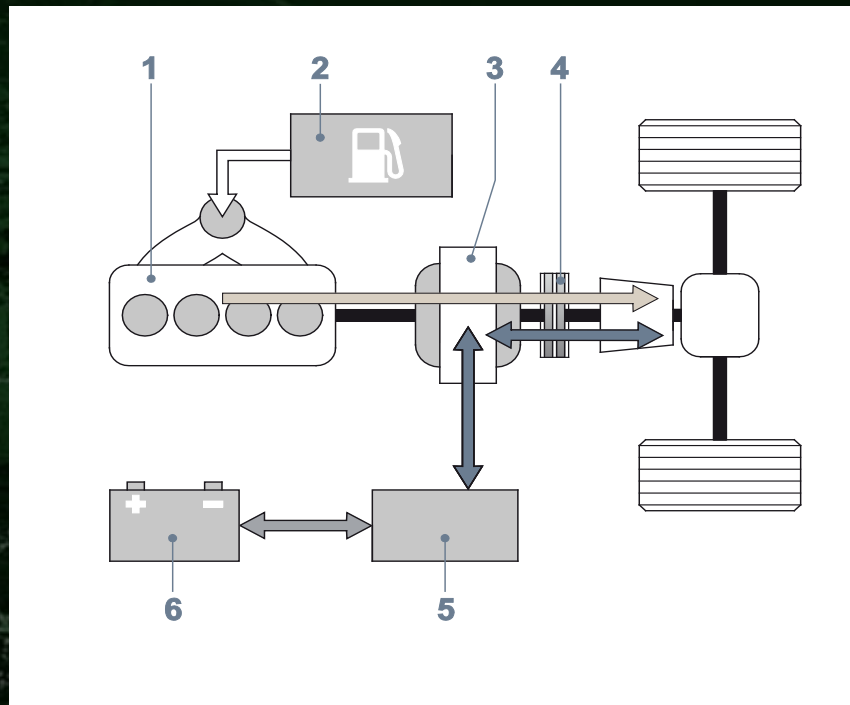
1. мотор СУС
2. резервоар
3. генератор
4. електромотор
5. инвертор
6. батерија

## Редни хибриди

- + једноставна конструкција
  - + оптималан рад мотора СУС
  - + више типова брзоходних мотора
  - + смештај мотора и генератора
  - + нема трансмисије
  - + могућност електромотора у точку
  - + погодан за градске услове
  - вишеструка трансформација енергије и губици при томе
  - кретање већим брзинама
- Најчешће код тешких теретних возила и градских аутобуса (више простора)
  - Могуће је регенеративно кочење



# Хибридна возила – конфигурације



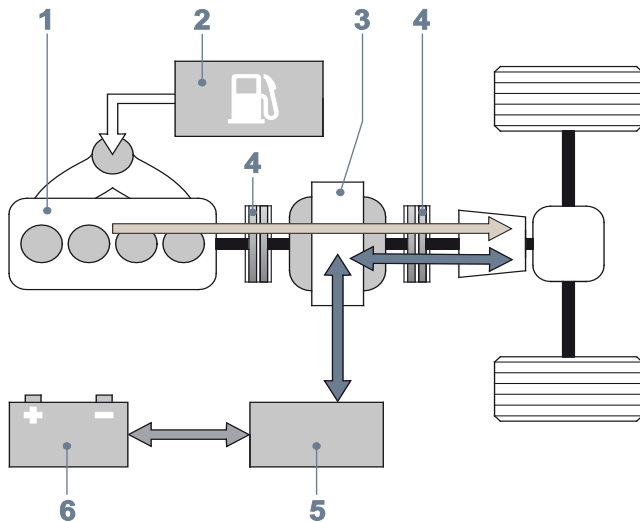
1. мотор СУС
2. резервоар
3. електромотор / генератор
4. спојница
5. инвертор
6. батерија

## Паралелни хибриди

- + оба мотора учествују у погону
  - + нема вишеструке трансформације
  - + компактна конструкција
  - мотор СУС и ЕМ механички повезани са трансмисијом
  - рад мотора СУС није најоптималнији
- Најчешће код путничких возила
  - Могуће је регенеративно кочење
  - Постоји више варијанти паралелних хибрида, као и варијанта са две погонске осовине где се једна погони мотором СУС, а друга електромотором

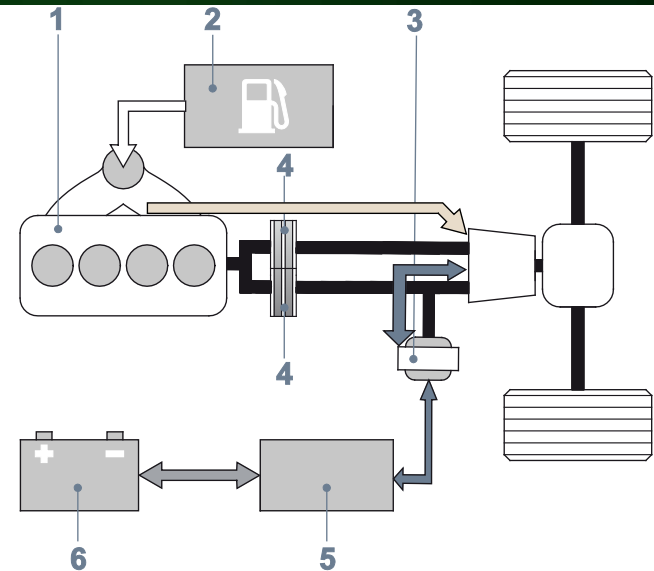


# Хибридна возила – конфигурације



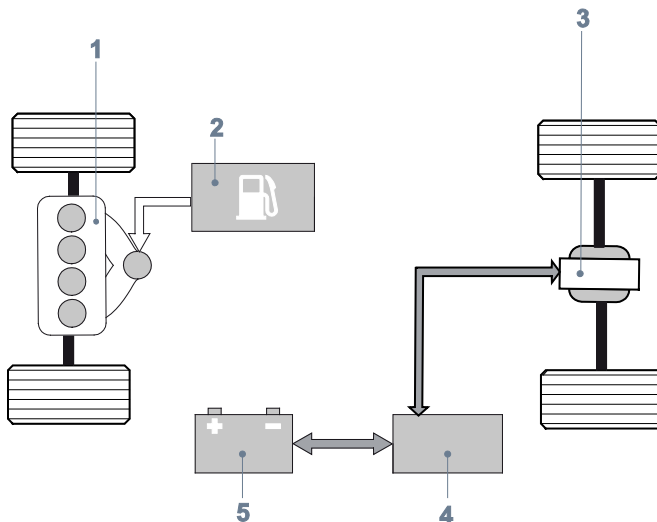
Паралелна конфигурација са две спојнице

- |                           |                               |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1. мотор СУС              | 4. спојнице                   |
| 2. резервоар              | 5. пулно контролисан инвертор |
| 3. електромотор/генератор | 6. батерија                   |



Паралелна конфигурација са двоструком спојницом и два вратила

- |                           |                               |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1. мотор СУС              | 4. спојнице                   |
| 2. резервоар              | 5. пулно контролисан инвертор |
| 3. електромотор/генератор | 6. батерија                   |



## Варијанте паралелних хибриди

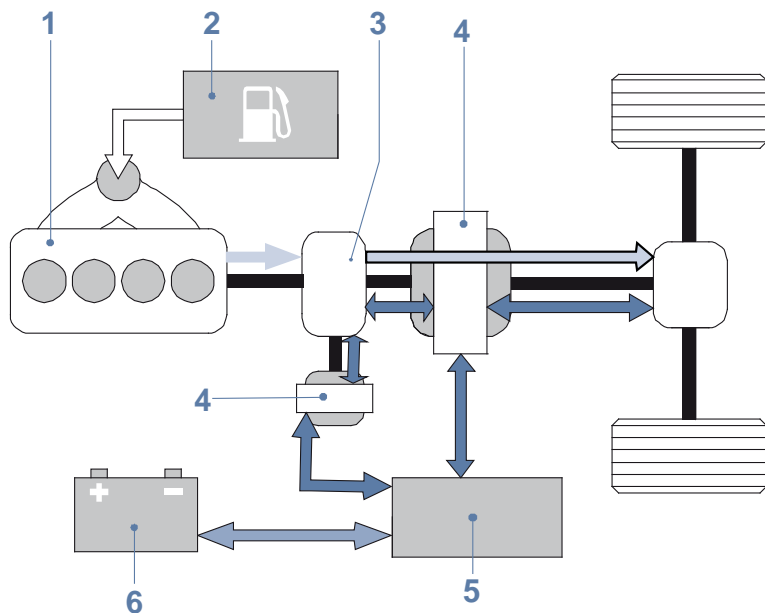
Паралелна конфигурација са две погонске осовине различитог погона

- |                           |                               |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1. мотор СУС              | 4. пулно контролисан инвертор |
| 2. резервоар              | 5. батерија                   |
| 3. електромотор/генератор |                               |

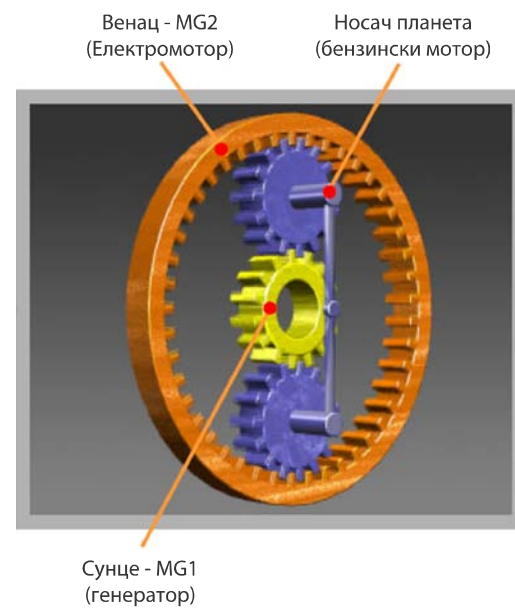
# Хибридна возила – конфигурације

## Хибриди са планетарним разводником (редно-паралелни хибриди)

- + оптималан рад мотора СУС
- + редни и паралелни хибрид зависно од режима вожње
- + режим нулте емисије (ел. возило)
- + међуубрзања
- + регенеративно кочење и допуна батерија у кретању и мировању
- сложена конфигурација и алгоритам управљања



1. мотор СУС
2. резервоар
3. планетарни разводник снаге
4. електромотор / генератор
5. инвертор
6. батерија





# Хибридна возила – нивои хибридизације

Функције / режими	Нивои хибридизације			
	Микро хибрид ( <i>Micro hybrid</i> )	Благи хибрид ( <i>Mild hybrid</i> )	Потпуни хибрид ( <i>Full hybrid</i> )	Плаг-ин хибрид ( <i>Plug-in hybrid</i> )
Старт / стоп	●	●	●	●
Регенеративно кочење	●	●	●	●
Хибридни режим		●	●	●
Електрични режим			●	●
Допуна на пунилишту				●

# Хибридна возила – примери

## Toyota Prius (IV)

Бензински мотор ( $1798 \text{ cm}^3$ , 71 kW при 5200 o/min, 142 Nm при 3600 o/min);  
Аткинсонов циклус - касније затварање усисних вентила омогућава већу ефикасност у односу на мотор који ради по Ото циклусу;

Генератор - електромотор са сталним магнетом макс. напона 600 V;  
Погонски електромотор са сталним магнетом (макс. 600 V, 53 kW , 163 Nm);  
Оба електромотора користе наизменичну струју и хладе се водом;

Инвертор - једносмерну струју високонапонске батерије претвара у наизменичну за покретање електромотора и генератора (приликом стартовања мотора СУС) и повећава напон батерије са 201,6 V на максимално 600 V које могу користити електромотори;  
Трансформација једносмерне струје из батерије у наизменичну неопходна је и за друге електропотрошаче у возилу, као што је, на пример, клима уређај;

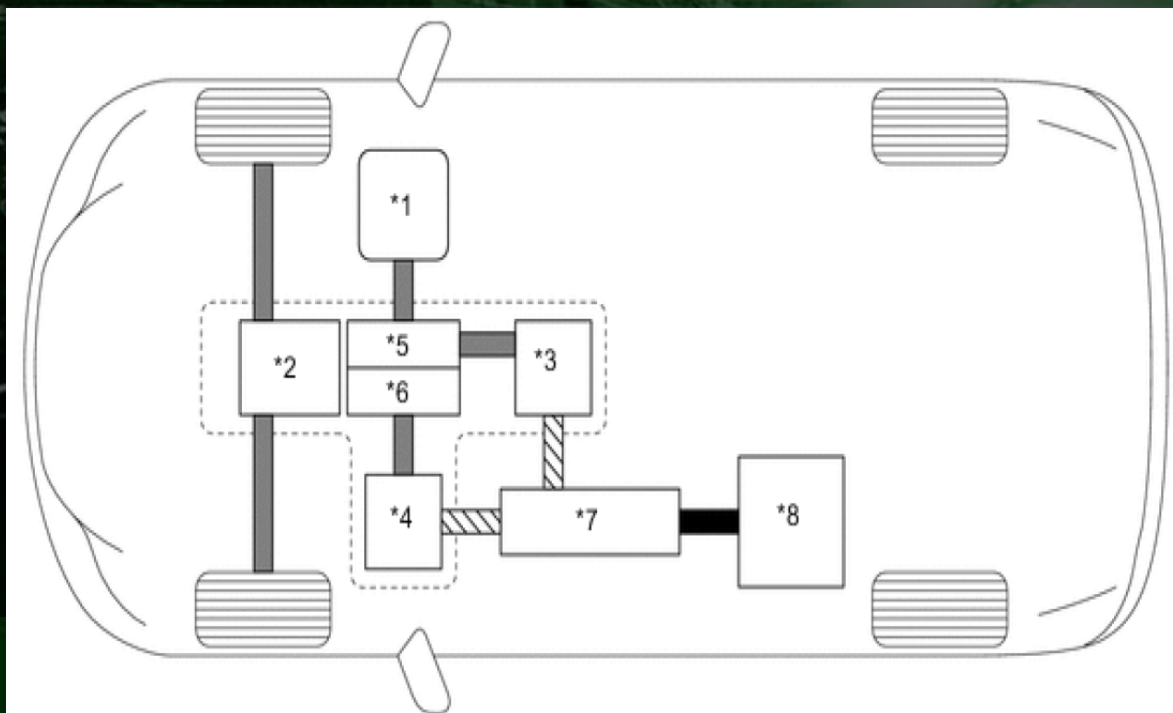
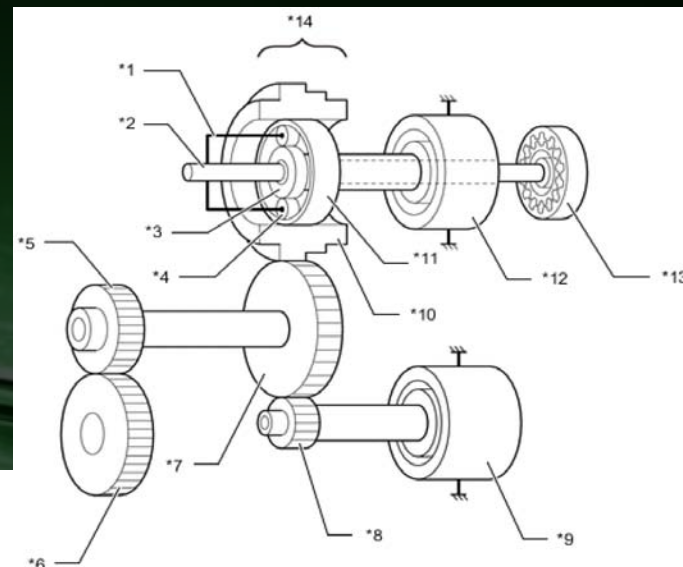
Високонапонска никл-метал-хидридна (NiMH) батерија компактно је смештена испод задњег седишта и хлади се ваздухом.



# Хибридна возила – примери

## Toyota Prius (IV) – компоненте система

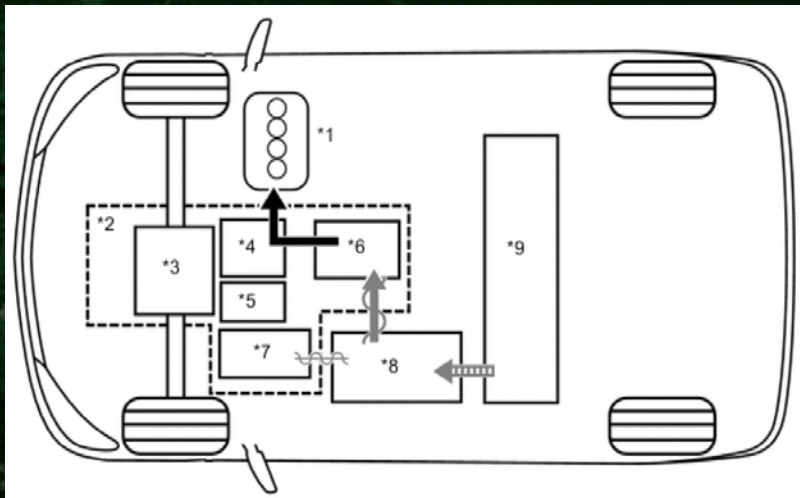
- \*1 – мотор СУС;
- \*2 – главни и дифер. преносник;
- \*3 – генератор;
- \*4 – електромотор;
- \*5 – планетарни разводник снаге;
- \*6 – редуктор брзине електромотора;
- \*7 – инвертор;
- \*8 – високонапонска батерија.



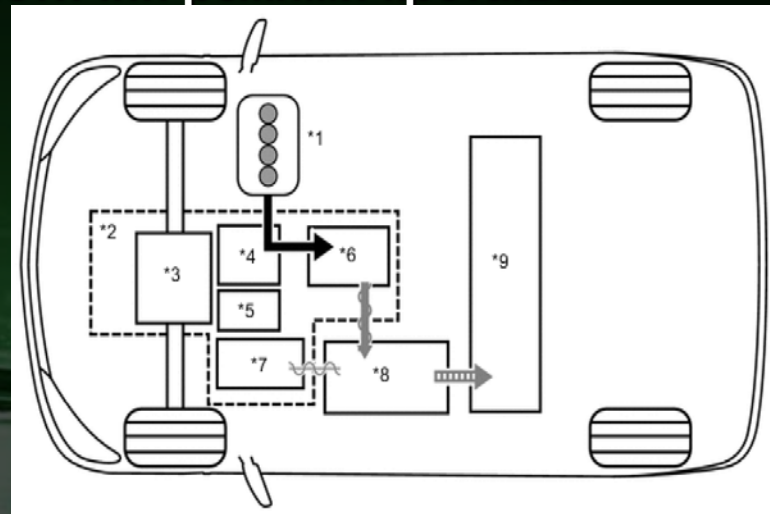
- електрична веза једносмерном струјом
- механичка веза
- електрична веза наизменичном струјом

## Хибридна возила – примери

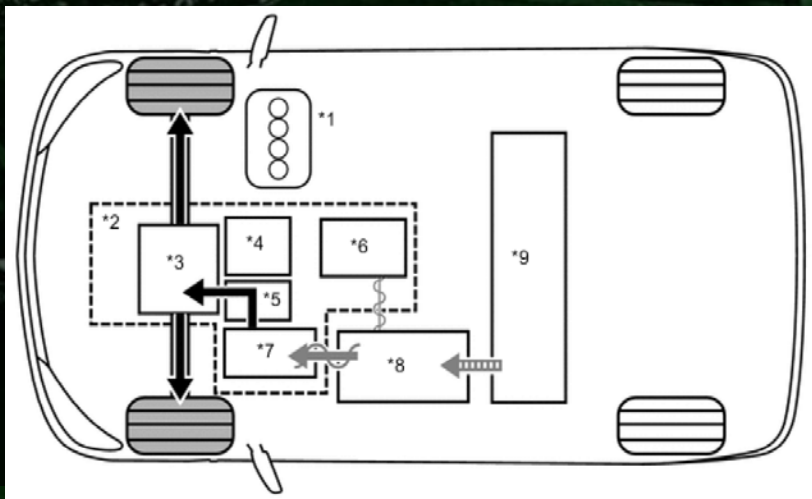
## Toyota Prius (IV) – карактеристични режими кретања



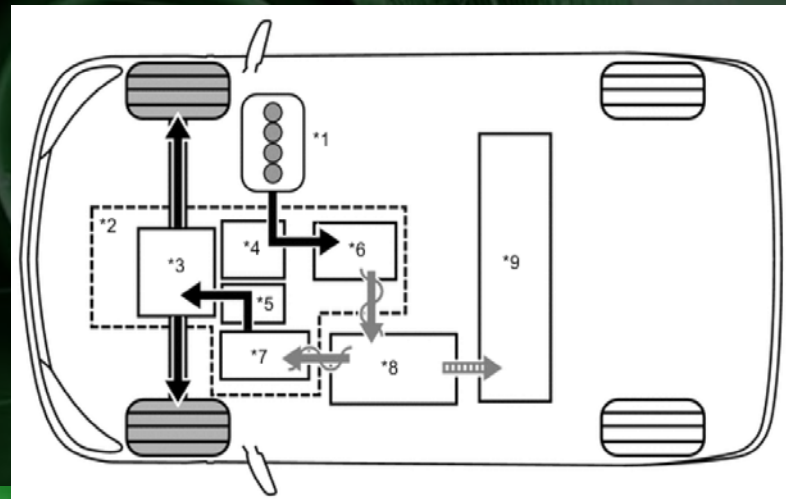
### Стартовање мотора СУС



### Пуњење батерије када се возило не креће



## Полазак из места

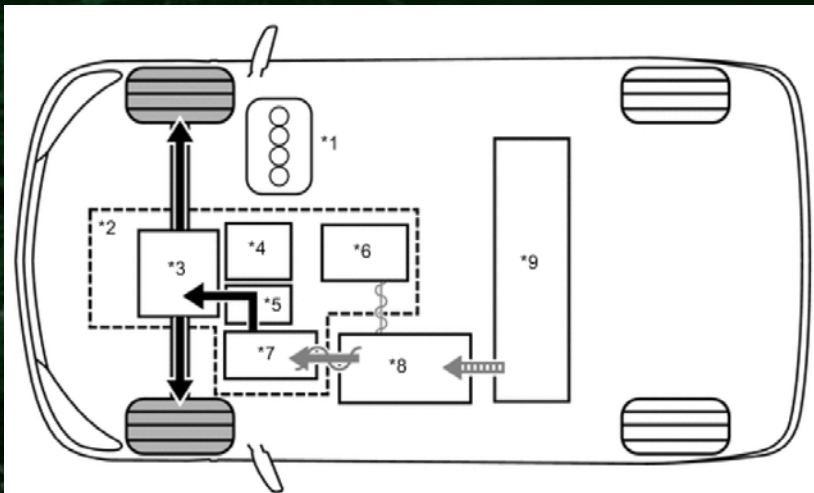


Полазак из места уз мин. ниво батерије

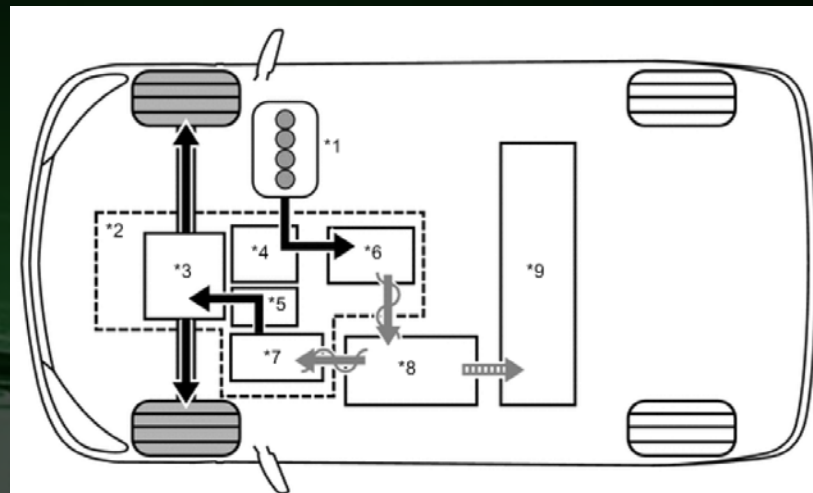


# Хибридна возила – примери

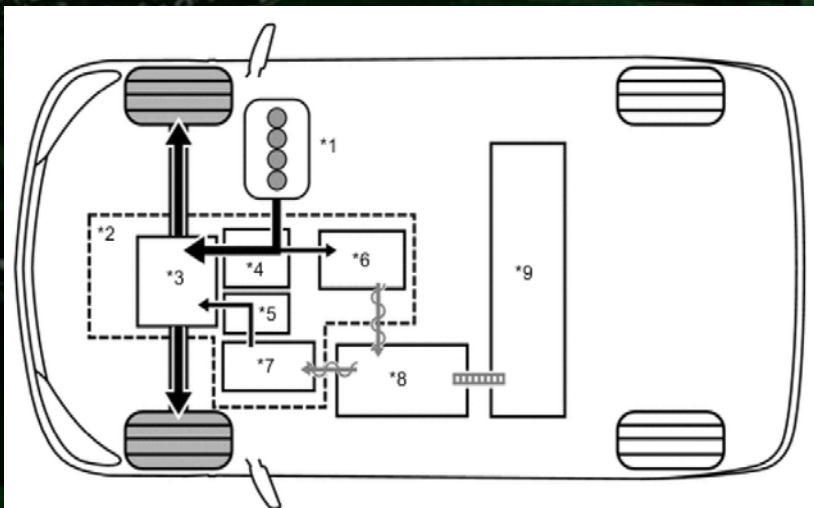
## Toyota Prius (IV) – карактеристични режими кретања



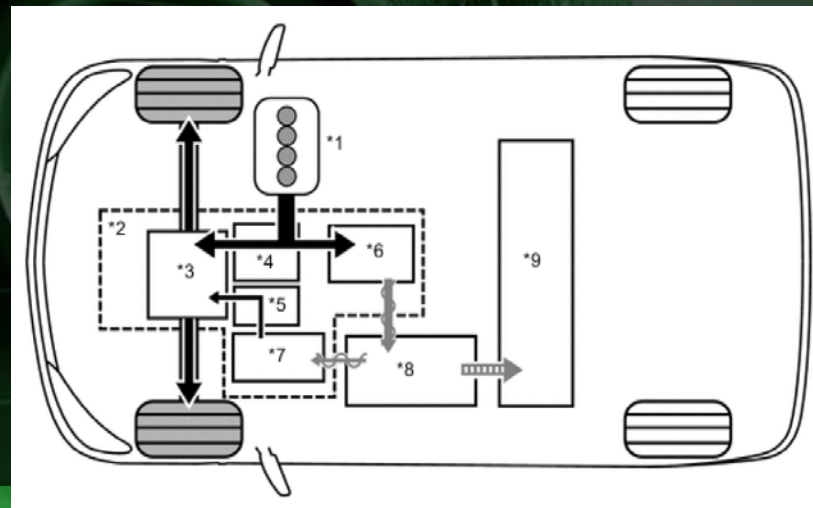
Кретање са малим отпорима - мање константне брзине кретања (искључиво електропогон)



Кретање са малим отпорима - мање константне брзине кретања уз мин. ниво батерије



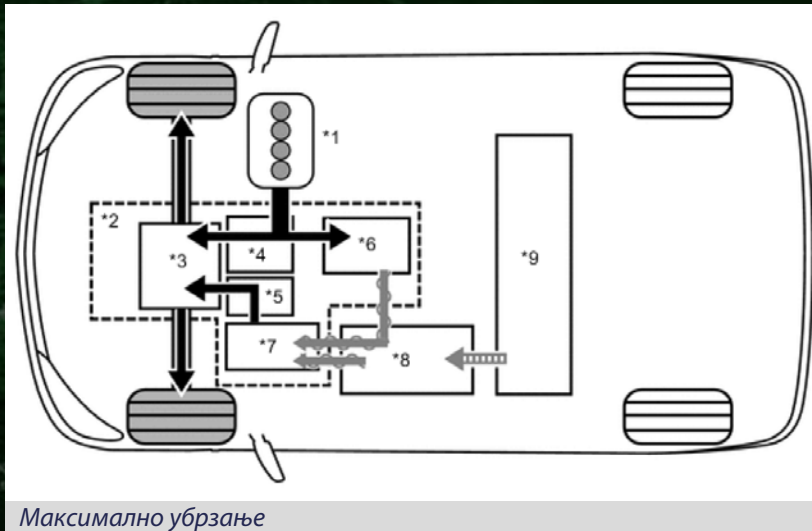
Кретање константном брзином -крстарење



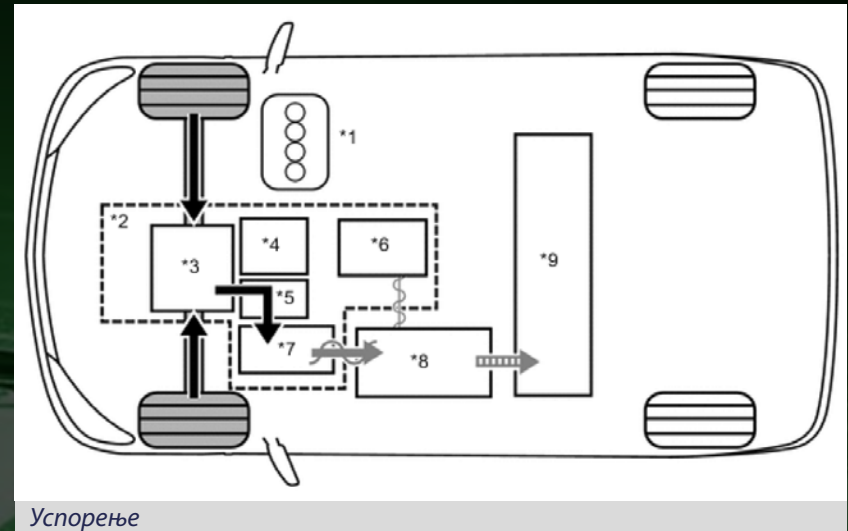
Кретање константном брзином – крстарење уз мин. ниво батерије

# Хибридна возила – примери

## Toyota Prius (IV) – карактеристични режими кретања



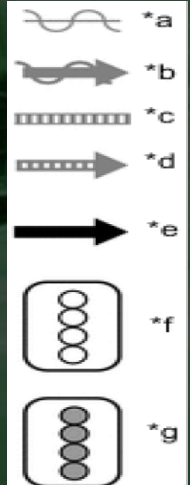
Максимално убрзање



Успорење

- \*1 – мотор СУС
- \*3 – главни и диференцијални преносник
- \*4 – планетарни разводник снаге
- \*5 – редуктор брзине електромотора
- \*6 – генератор
- \*7 – електромотор
- \*8 – инвертор
- \*9 – високонапонска батерија

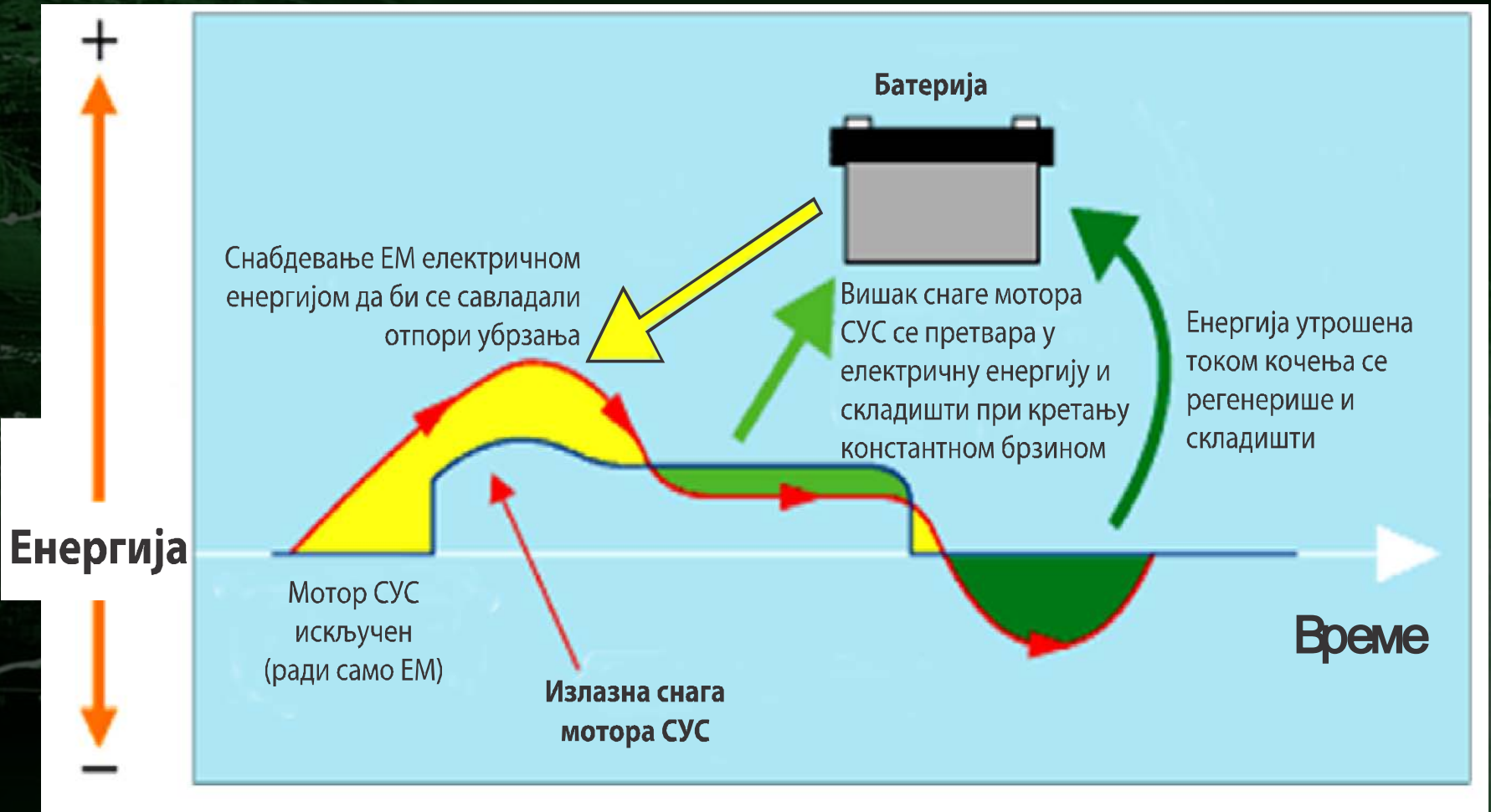
- ā - наизменична струја
- \*b - ток наизменичне струје
- \*c - једносмерна струја (201,6 V)
- \*d - ток једносмерне струје
- \*e - ток мех. енергије
- \*f - мотор СУС не ради
- \*g - мотор СУС ради





# Хибридна возила – примери

## Toyota Prius – енергетски биланс при режимима кретања



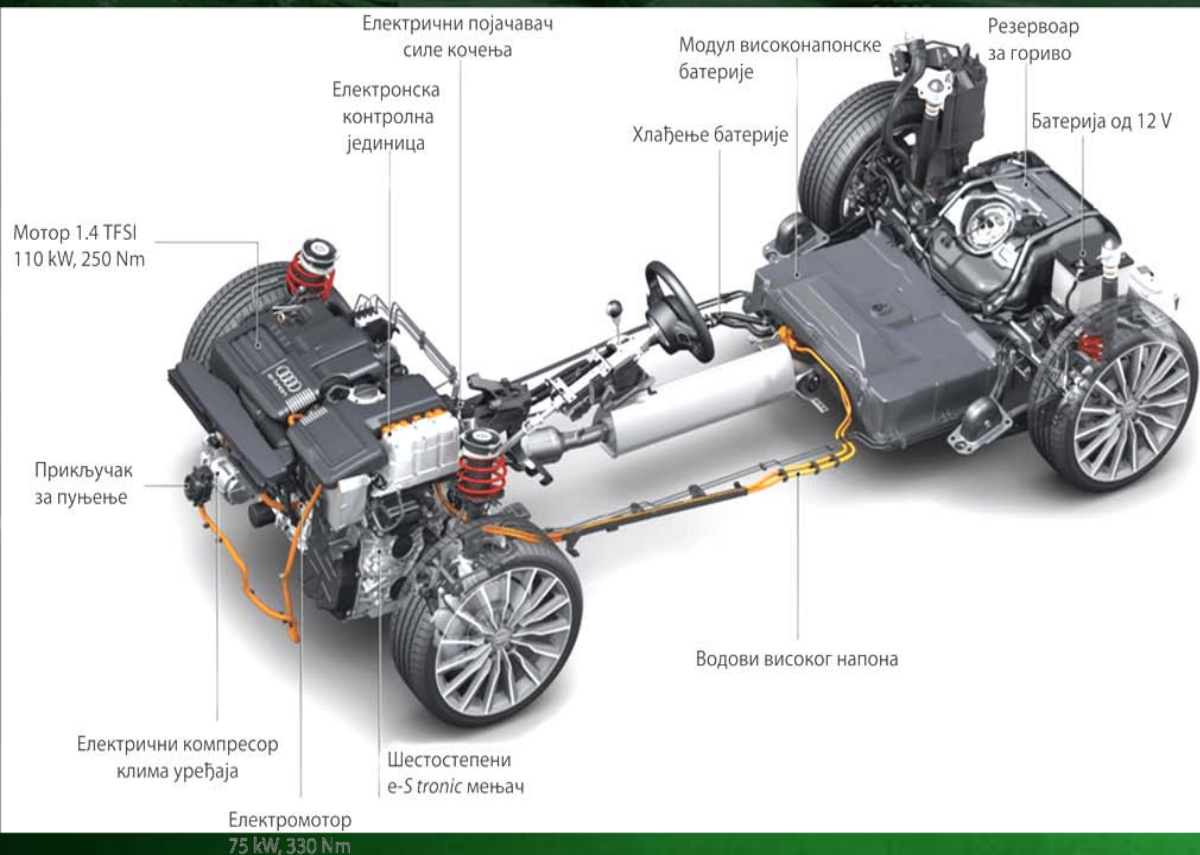
# Хибридна возила – примери

## VW GOLF GTE / AUDI A3 Sportback e-tron

паралелна конфигурација *plug-in*:

бенз. мотор (1,4l, 110 kW) и трофазни синхрони електромотор са перманентним магнетима на ротору излазне снаге 75 kW.

Електромотор је смештен између спојнице која искључује/укључује мотор СУС из погона и мењачког преносника са двоструком вишеламеластом спојницом и шест степени преноса





# Хибридна возила – примери

## BMW i8

Троцилиндрични бензински мотор (1499 cm<sup>3</sup>, 170 kW при 5800 o/min, 320 Nm при 3700 o/min и емисије CO<sub>2</sub> 49 g/km) преко шестостепеног аутоматског мењача покреће задње точкове;

На мотор СУС је причвршћен генератор који има улогу да допуњује високонапонску батерију када је то неопходно, али и да служи као покретач (стартер) мотора СУС на рачун електричне енергије из батерије;

Електромотор (49,5 kg, 96 kW у трајању од максимално 5 s, односно континуалну снагу 25 kW, 250 Nm у опсегу од 0 до 4000 обртаја, а максимални број обртаја износи 11400 o/min) преко двостепеног мењачког преносника покреће предње точкове;

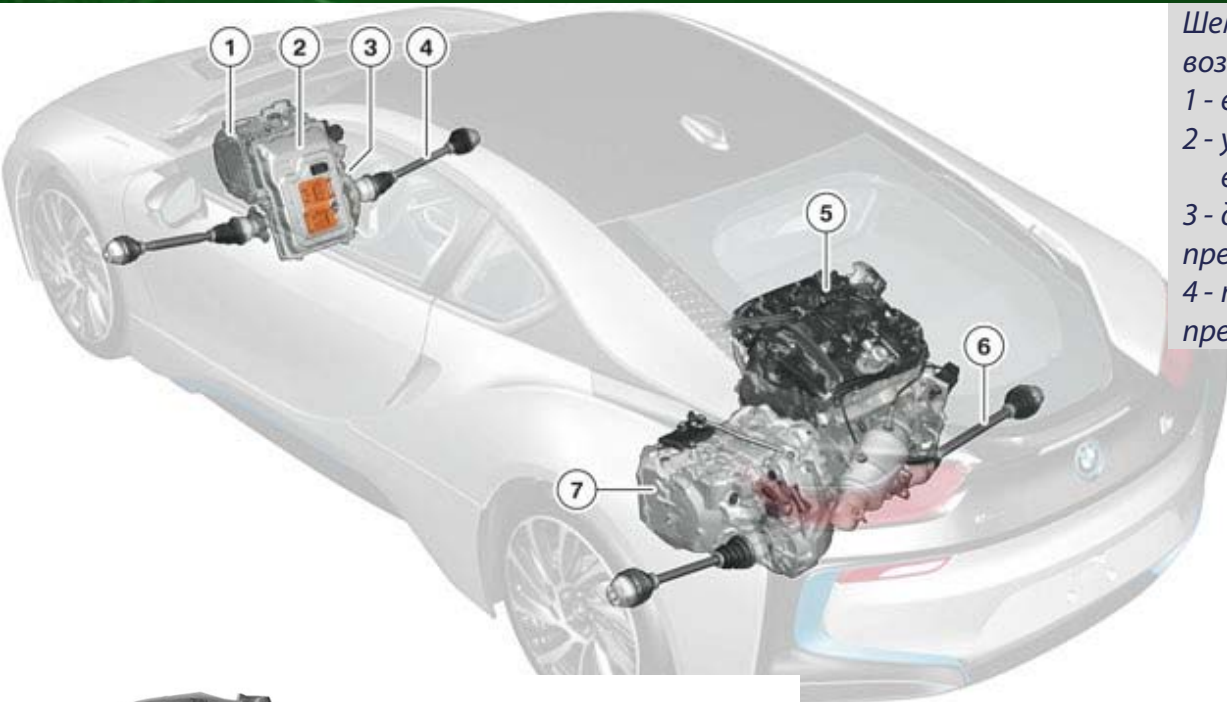
оперативне стратегије управљања погонем у зависности од стила вожње (*Comfort, Eco Pro, Sport, Max eDrive*);

искључиво на електропогон (*Max eDrive*) може се прећи око 37 km не прелазећи брзину од 120 km/h;

за сателитско навођење путање кретања возила, рачунар може да испланира стратегију максималне енергетске ефикасности.

# Хибридна возила – примери

## BMW i8



Шематски приказ предње и задње погонске групе возила BMW i8

1 - електромотор

2 - управљачка јединица електромотора

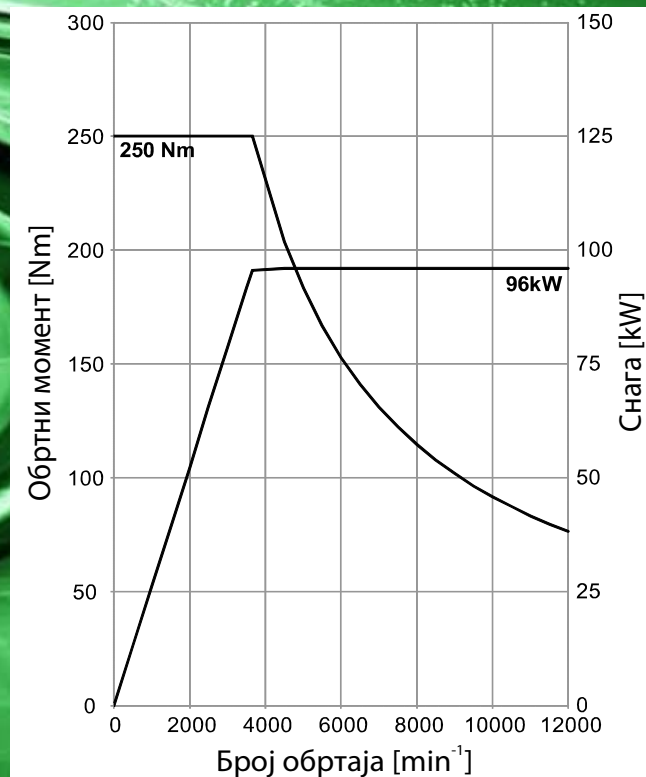
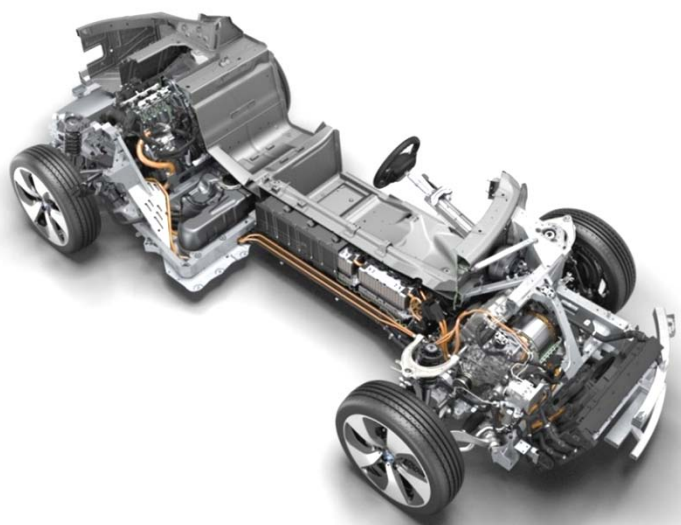
3 - двостепени мењачки преносник

4 - погонско полувратило предње осовине

5 - мотор СУС

6 - погонско полувратило задње осовине

7 - шестостепени аутоматски мењач



Карактеристике обртног момента и снаге електромотора



# Електрична возила – појам, предности и недостаци

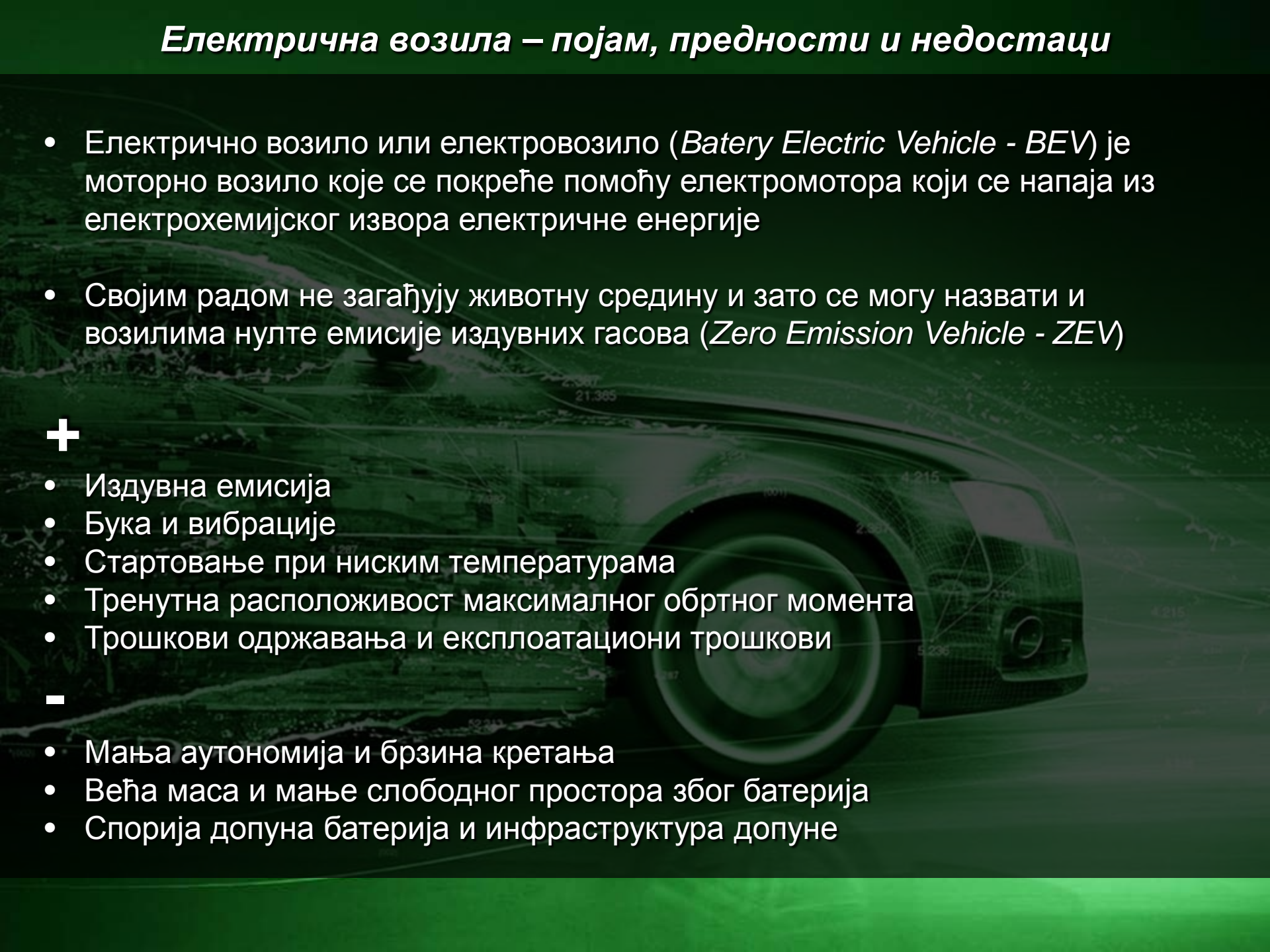
- Електрично возило или електровозило (*Battery Electric Vehicle - BEV*) је моторно возило које се покреће помоћу електромотора који се напаја из електрохемијског извора електричне енергије
- Својим радом не загађују животну средину и зато се могу назвати и возилима нулте емисије издувних гасова (*Zero Emission Vehicle - ZEV*)



- Издувна емисија
- Бука и вибрације
- Стартовање при ниским температурама
- Тренутна расположивост максималног обртног момента
- Трошкови одржавања и експлоатациони трошкови



- Мања аутономија и брзина кретања
- Већа маса и мање слободног простора због батерија
- Спорија допуна батерија и инфраструктура допуне



## Електрична возила – историјат

На светској изложби у Берлину, 1879. године компанија *Siemens* је приказала први применљив пример електричног возила на шинама, које је могло да вуче три мања вагона са путницима.

У Европи су прво електрично возило конструисали Французи Шарл Жанту и Камиј Алфонс Фар 1881. године. Снага мотора била је између 2,2 и 2,9 kW, а акумулаторске батерије капацитета 200 Ah биле су смештене у задњи део возила и имале масу од 420 kg.

У Енглеској је 1888. године Старли конструисао мали ел. аутомобил. *Electric carriage and wagon co.* из Филаделфије 1894. започиње производњу у комерцијалне сврхе, а 1897. их испоручује Њујорку.

1. маја 1899. године ел. возило у облику торпеда названо „Никад задовољан“ постигло је брзину од 100 km/h. Возило масе 1800 kg конструисао је Белгијанац Камиј Женаци.





## Електрична возила – историјат

1900. године на путевима у Америци од осам хиљада аутомобила чак 38% је било са погоном на електричну енергију. Остатак су чинила возила која су за погон користила парну машину и мотор СУС.

**Sebring-Vanguard (САД) 1974. - CitiCar**  
(970 kg , 48 V, 2,5 kW, 45 km/h) Унапређена  
верз. (60 km/h, пут од 75 km)  
Цена: 3000 долара (данас 15000).



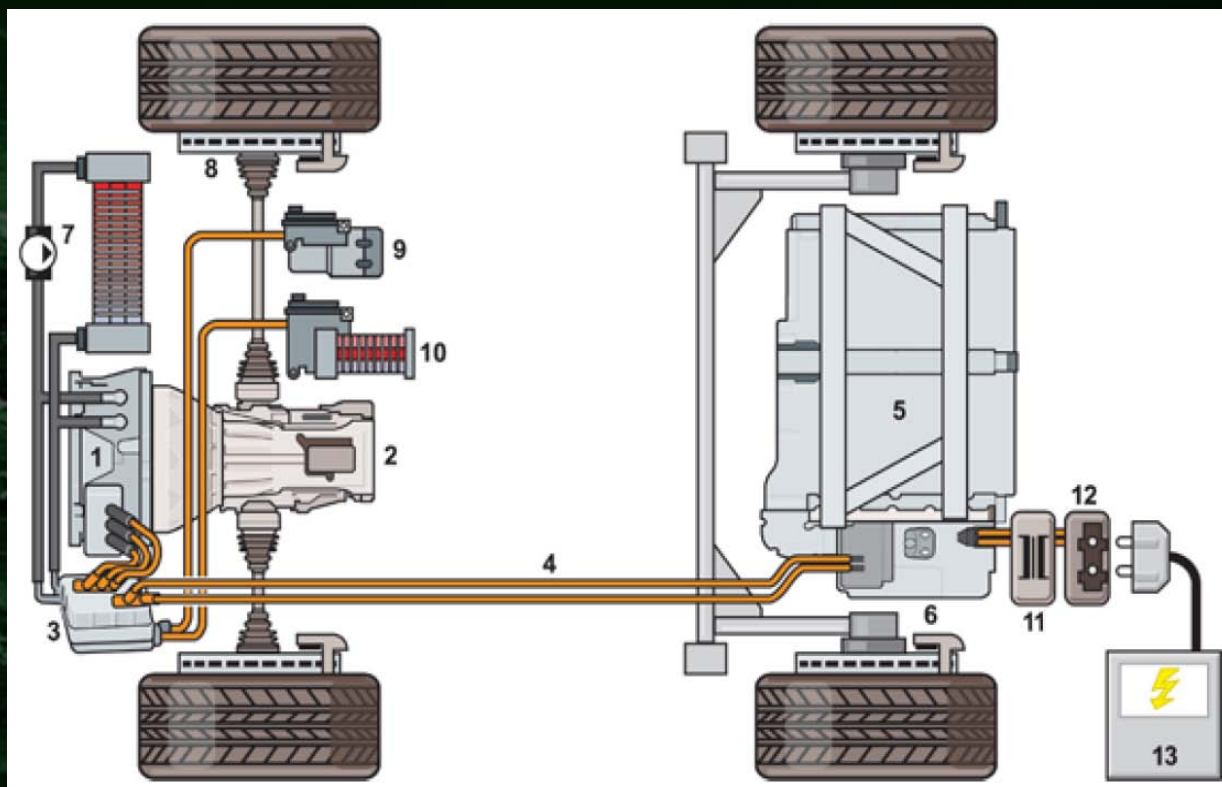
**GM (1996.) – EV1**

0 -100 km/h за 8 s, макс. 160 km/h

Pb батерија 53 Ah, 312 V, 100 km

После NiMH батерија 240 km

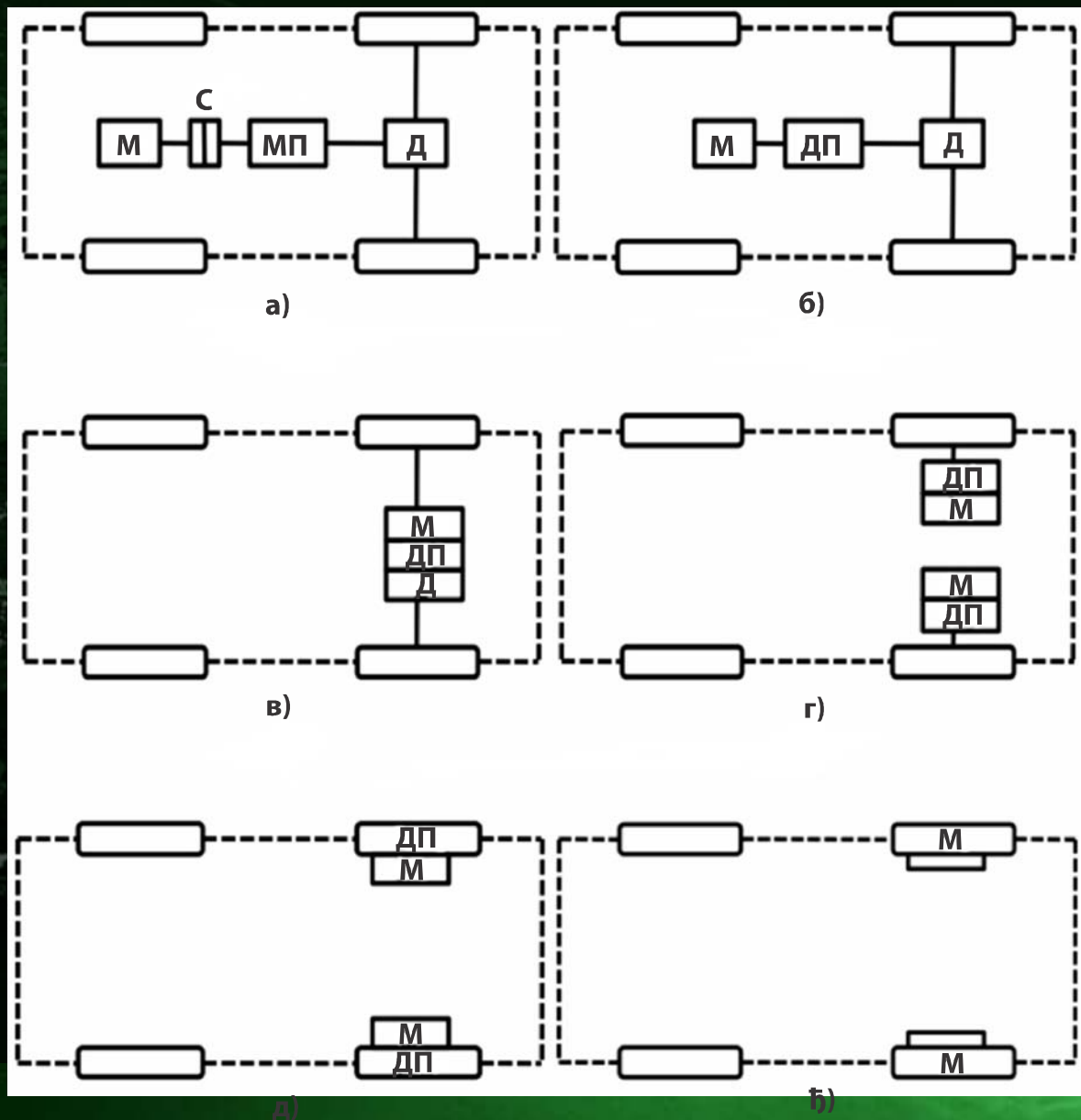
## Компоненте електропогона и његова структура



- 1 - електромотор (генератор); 2 - систем трансмисије;  
3 - контролер; 4 - проводници електричне енергије; 5 - батерија;  
6 - инвертор; 7 - систем за хлађење; 8 - систем за (регенеративно) кочење;  
9 - компресор клима уређаја; 10 - систем за грејање; 11 - пуњач батерије;  
12 - прикључак за пуњење; 13 - спољни извор електричне енергије



# Компоненте електропогона и његова структура



Структура

М – електромотор

С – спојница

МП – мењачки преносник

ДП – допунски преносник  
(редуктор)

Д – диференцијални  
преносник



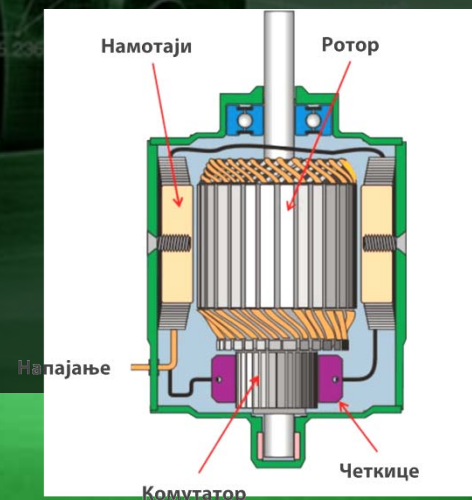
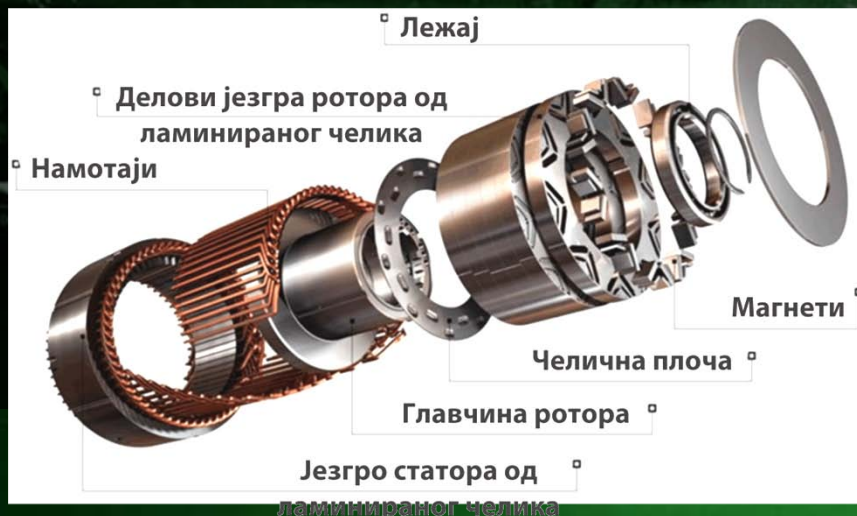
# Компоненте електропогона и његова структура

## Електромотор

Електромотор је електрична машина која користи електричну енергију за производњу механичке енергије, углавном путем међусобног дејства магнетног поља и проводника кроз који протиче електрична струја;

Производња електричне енергије из механичке, као супротни процес, постиже се генератором;

Код електричних возила најчешће су у употреби трофазни мотори наизменичне струје и то индукциони (асинхрони) мотори и синхрони мотори са сталним магнетом, као и мотори једносмерне струје који за рад користе четкице или их не користе (са побудом сталног магнета).





# ***Компоненте електропогона и његова структура***

- Ефикасност електромотора је знатно већа (и до 96%)

Најчешће су у употреби:

- Трофазни мотори наизменичне струје - индукциони (асинхрони) мотори и синхрони мотори са сталним магнетом
- Мотори једносмерне струје који за рад користе четкице или их не користе (са побудом сталног магнета)

## **Мотори са сталним магнетом**

- + компактни, карактеристика снаге
- алгоритам управљања

## **Мотори једносмерне струје**

- + уградња, цена, краткотрајна убрзања до мањих брзина
- пораст температуре при раду, неконтролисан пораст броја обртаја, карактеристике у режиму рада генератора



# Компоненте електропогона и његова структура

## Батерије

Тип батерије	Pb	NiCd	NiMH	Li-Ion
Ном. напон ћелије [V]	2	1,2	1,2	3,6
Густина енергије [Wh/kg]	35	50÷80	70÷95	118÷250
Специфична снага [W/kg]	180	200	200÷300	200÷430
Месечно самопражњење [%]	<5	10	20	<5
Број циклуса пуњења	1000	2000	<3000	2000
Радна температура [°C]	-15÷50	-20÷50	-20÷60	-20÷60
Трошкови производње [\$/kWh]	60	250÷300	200÷250	150
Тип батерије	Li-Po	LiFePO4	Zn-air	ZEBRA
Номинални напон ћелије [V]	3,7	3,2	1,6	2,6
Густина енерг. [Wh/kg]	130÷225	120	460	90÷120
Специфична снага [W/kg]	260÷450	2000÷4500	80÷140	155
Месечно самопражњење [%]	<5	<5	<5	<5
Број циклуса пуњења	>1200	>1200	200	>1200
Радна температура [°C]	-20÷60	-45÷70	-10÷55	-245÷350
Трошкови производње [\$/kWh]	150	350	90÷120	230÷345



# Компоненте електропогона и његова структура

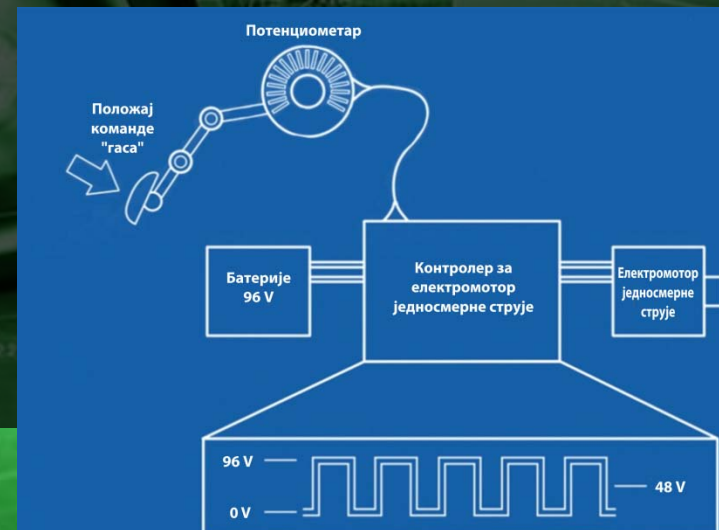
## Управљачка једница мотора - контролер

Функцију управљања електромотором контролер врши регулишући параметре електричне струје којом се мотор снабдева на основу положаја команде убрзања („педале гаса“), при чему се мора обезбедити потребна снага за савладавање отпора кретања;

Контролер омогућава и функцију регенеративног кочења како би се кинетичка енергија возила претворила у електричну, уместо да се у виду топлотне енергије трајно изгуби;

Контролери за трофазне и монофазне индукционе моторе, односно електромоторе наизменичне струје користе технологију којом се променом фреквенције напона контролише његова угаона брзина и снага;

Контролери за моторе једносмерне струје раде на једноставнијем принципу.



# Примери електровозила

## *Tesla model S*

У зависности од енергије батерије постоје варијанте од 40, 60, 65, 70, 75, 85, 90 и 100 kWh (тренутно су у продаји остале варијанте од 75 и 100 kWh);

Осим погона на задње точкове постоји и верзија са погоном на свим точковима који се постиже додавањем још једног електромотора задуженог за погон предњих точкова;

Максимална снага се креће од 285 kW до 586 kW колико има тренутно најснажнија верзија *P100D* са максималним обртним моментом од 931 Nm што омогућава убрзање од 0 до 100 km/h за свега 2,4 секунде;

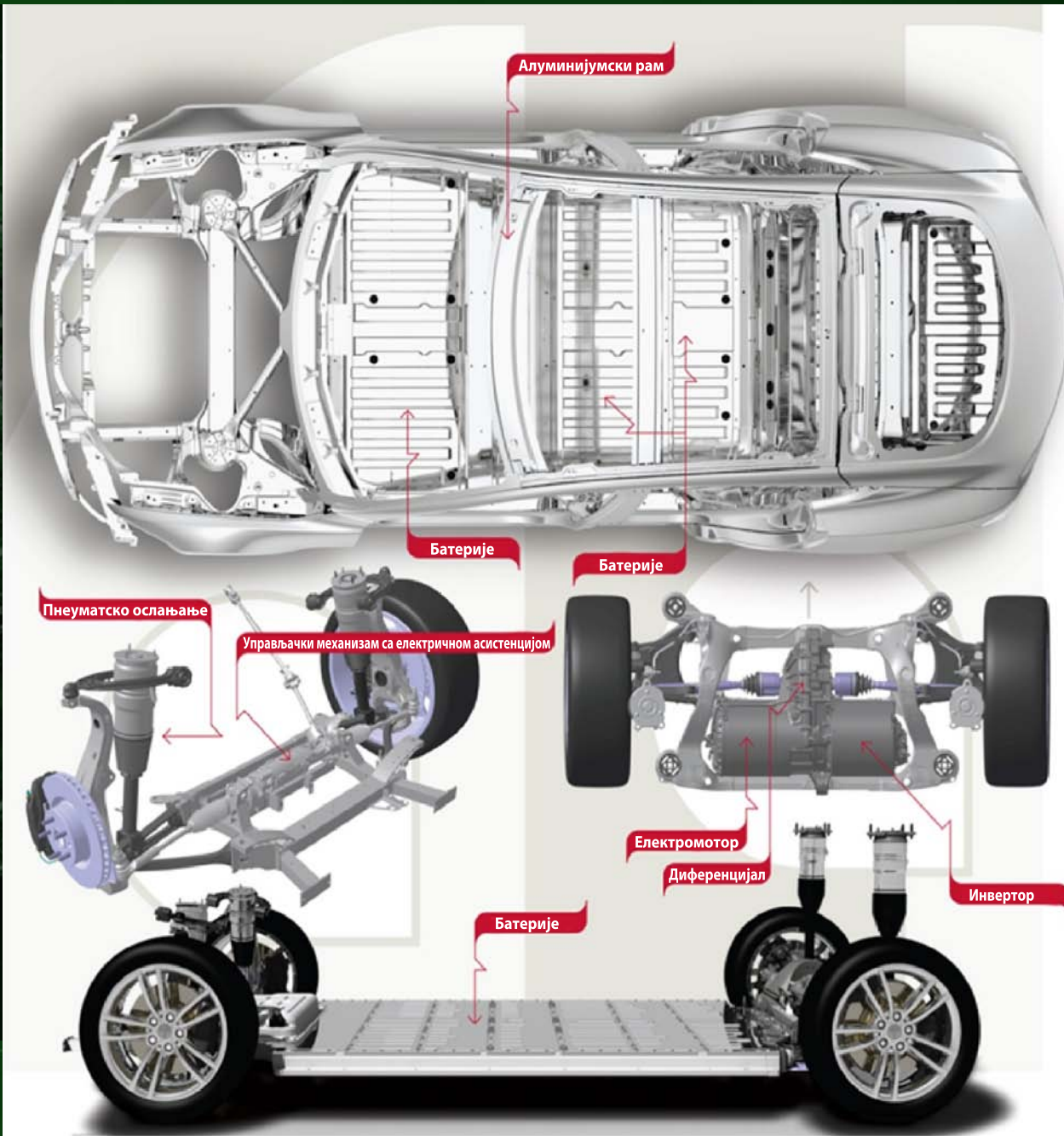
Погон се добија од трофазног индукционог мотора;

Литијум-јонска батерија смештена је у поду возила, а чини је више од 7000 цилиндричних ћелија које су међусобно повезане у више модула;

Маса батерије енергије 85 kWh износи 544 kg, што чини четвртину укупне масе возила.



# Примери електровозила



***Електрична возила са горивним ћелијама (Fuel Cell Vehicle - FCV)***

***VS***

***Електрична возила са батеријама (Battery electric vehicle - BEV)***

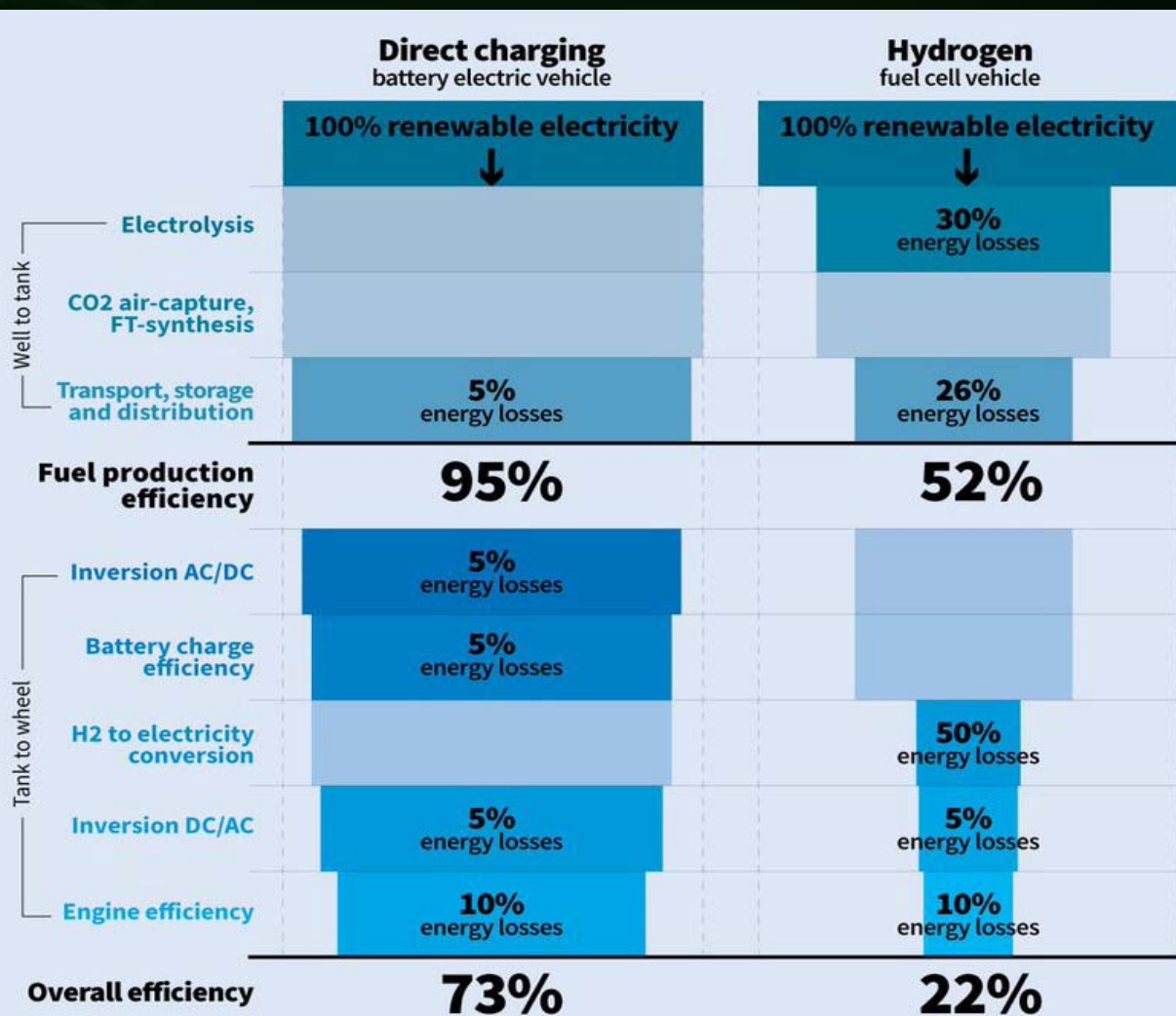
- Возила са горивним ћелијама имају већу аутономију кретања (преко 480 km);
- Возила са горивним ћелијама могу да се допуне горивом у року од неколико минута (допуна батерија траје сатима);
- Визила са горивним ћелијама имају проблем складиштења водоника док ел. возила са батеријама имају проблем са њиховим капацитетом и масом;
- Батерије су широко распрострањене у свакодневној употреби док је технологија горивних ћелија релативно нова и непозната;
- Разлике у технологији пуњења батерија (зеље, континенти) постоје а за водоник не;
- Тренутна цена ел. енергије за пуњење батерије знатно је мања од цене водоника;
- Енергетска ефикасност (BEV 73% : 22% FCV)



# Електрична возила са горивним ћелијама (Fuel Cell Vehicle - FCV)

VS

# Електрична возила са батеријама (Battery electric vehicle - BEV)



**Електрична возила са горивним ћелијама (Fuel Cell Vehicle - FCV)**  
**VS**  
**Електрична возила са батеријама (Battery electric vehicle - BEV)**





# Закључак

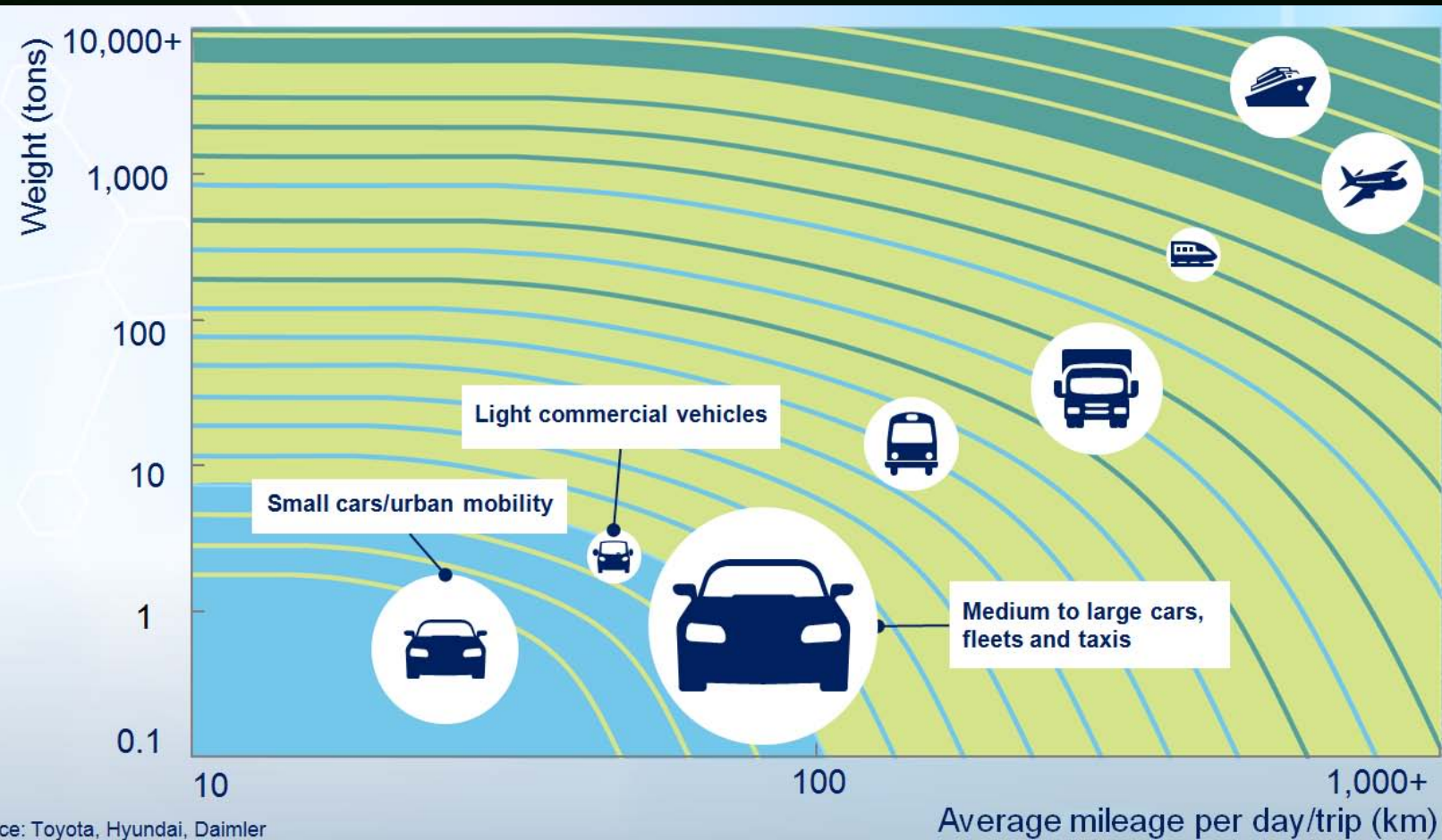
## Електровозила

- Све досадашње прогнозе, а посебно оне са краја прошлог века, прогнозирале су знатно већу употребу електровозила у првој и другој деценији XX века, што се није десило
- Узроци: "нафтни лоби", још увек висока цена возила, инфраструктура пунионица...
- Стварни еколошки учинак електровозила

## Водоник као погонско гориво

- Најраспрострањенији хемијски елемент
- Неопходно смањење трошкова производње и транспорта водоника, као и изградња разгранате инфраструктуре точионица
- Масовна производња возила неће заживети у наредних 15 година

# Закључак



- BEV
- FCV
- Bio- and (H<sub>2</sub>-based) synthetic fuels

Bubble size represents relative annual energy consumption of this type in 2013



# Закључак

## Хибридна возила

- Најраспрострањенија (иако заједно са електровозилима не чине ни 1%)
- Употреба хибридних возила нема изражене недостатке
- Не могу се сматрати возилима нулте издувне емисије, иако се еколошка предност у односу на класичан погон мотором СУС никако не сме занемарити
- Прелазно решење ка возилима нулте издувне емисије
- Неколико светских произвођача возила најавило је да ће у наредних 5 до 10 година у потпуности прећи на хибридни и/или електро погон

***Научно-технолошки развој само је потребан, али не и довољан услов за решавање наведених проблема.***

***Довољан услов лежи у еколошкој свести сваког од нас.***

# Хвала на пажњи!

