

Analiza hibridnih in električnih vozil z uporabo faktorja Pihef

David Nedeljković

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: davidn@fe.uni-lj.si

Povzetek. Čedalje več proizvajalcev avtomobilov v svojo ponudbo umešča tudi električna in hibridna vozila. Že razvrščanje teh vozil glede njihovih pogonskih sklopov ni enoznačno, še več vprašanj pa porajajo podatki o njihovem izkoristku, dosegu in izpustih. Pri vrednotenju teh podatkov si lahko pomagamo tudi s pred kratkim predstavljenim faktorjem Pihef (plug-in hybrid electric factor), ki bi ga lahko poimenovali "faktor električnosti priključnega hibrida". V prispevku je predlagana nekoliko spremenjena uporaba faktorja Pihef, s katero bi lažje ovrednotili gospodarnost konkretnega modela vozila. V nadaljevanju je podana analiza izkoristka oziroma porabe goriva različnih tipov vozil glede na njihove pogonske sklope (klasični, hibridni, priključni hibridni, električni) ob upoštevanju normnih podatkov, kot jih zahtevata regulatorna organa Evropske unije in ZDA. Po sklepnih ugotovitvah imajo glede izkoristka in udobja uporabe za zdaj prednost priključna hibridna vozila pred povsem električnimi vozili.

Ključne besede: električna vozila, priključna hibridna vozila, izkoristek, poraba goriva, doseg

Analysis of Hybrid and Electric Vehicles by Using the Plug-In Electric Hybrid Factor (Pihef)

Many major car manufacturers have started to offer all-electric and hybrid electric vehicles. There is no simple classification of these vehicles as to their power train and there have been several questions raised about their efficiency, range and tailpipe emissions. Their classification can be performed by using the recently introduced Plug-In Hybrid Electric Factor (Pihef). The paper proposes a slightly modified use of Pihef to simplify the evaluation of the vehicle performance and its fuel economy. The vehicles performance is analyzed with regard to their drive type (ICE, HEV, PHEV, EV) and rules and regulations adopted in the European Union and the USA. The conclusion to be drawn at this stage is that the plug-in hybrids outperform the all-electric vehicles in terms of their efficiency and usage comfort.

1 UVOD

Osebna vozila na električni pogon se lahko pohvalijo z zelo dolgo zgodovino, a so na začetku 20. stoletja motorji z notranjim zgorevanjem prevladali. Paradoksalno je k temu znatno pripomogel prav elektromotor v vlogi zaganjalnika, ki je nadomestil naporno in neelegantno ročno zaganjanje. Odločilno vlogo pri uveljavitvi motorjev z notranjim zgorevanjem za pogon osebnih vozil pa je nedvomno odigralo gorivo v obliki naftnih derivatov, saj natakanje nekaj deset litrov goriva v rezervoar vozila na bencinski črpalki opravimo hitro in zelo preprosto. S tovrstnim kratkim postankom si zagotovimo doseg, ki za sodobna osebna vozila ne samo ob upoštevanju normne porabe, temveč tudi v povsem realnih razmerah pogosto presega 1000 kilometrov.

Shranjevanje električne energije na električnem vozilu je bilo in še vedno je nekoliko bolj problematično. Zgodnje akumulatorske baterije so ob veliki masi omogočale dokaj omejen doseg električnega vozila, električno omrežje še ni bilo dovolj razširjeno, pa tudi to, čemur bi danes rekli "polnilna naprava", je bilo še v povojih. A kljub temu so elektromotorji prevzeli primat pri pogonu tirnih vozil, kjer je bilo mogoče zgraditi posebno napajalno omrežje (železnica, tramvaj, podzemna železnica), pa tudi tam, kjer proge niso elektrificirane – pri vleki so se namreč kot zelo učinkovite izkazale dizel-električne lokomotive, ki jih uvrščamo med serijske hibride.

Naftna kriza, ki je pred desetletji postavljala v negotovost do tedaj razvite oblike osebne mobilnosti, je sočasno spodbudila tudi razmišljanja o drugačnih energentih, ki bi omogočali nadaljnji razcvet filozofije osebnih avtomobilov. Nekaj korakov v tej smeri je bilo storjenih, kot so npr. uporaba (bio)etanola in utekočinjenega naftnega plina, pri čemer se niti osnovni koncept (bencinska črpalka – rezervoar – motor z notranjim zgorevanjem) niti sama tehnika v bistvu ne razlikujeta od bencinskega. Takratni poskusi z električnimi vozili niso dali uporabnih rezultatov in ko na lepem pomanjkanje nafte za človeštvo ni pomenilo nobene skrbi več, je tudi ta razvoj zastal. Osebna vozila so začela pridobivati na dimenzijah in funkcionalnostih ter tudi masi, napredek na področju elektronike pa je omogočil vsaj deklarativno zmanjševanje porabe goriva.

Za vnovično pospešitev razvojnih aktivnosti na področju električnih avtomobilov je bilo ključnega pomena odkritje "nevarnega plina" – ogljikovega

dioksida. Grožnje z vesoljnim potopom in podobnimi katastrofami svetovnih razsežnosti, ki so jih razširili morda nekoliko pretirano zaskrbljeni znanstveniki, so hitro povzeli politiki, ki so se s CO₂ dokopali do orožja za množično zastraševanje in – obdavčevanje. Saj ni dolgo tega, ko je razmišljanje o plačljivem zraku še veljalo za skrajno obliko črnega humorja, zdaj pa se na veliko in veselo trguje z emisijskimi kuponi, pri čemer se ustvarja visoka dodana vrednost ...

Poglavitna pomanjkljivost pri elektrifikaciji cestnih vozil je že omenjeno omejeno shranjevanje električne energije na samem vozilu. Čeprav je napredek pri akumulatorjih glede na klasične svinčeve (ki zmorejo shraniti pičle 0,03 kWh/kg) velikanski, sodobni akumulatorji še vedno ne zmorejo shraniti več kot 0,2 kWh električne energije na kilogram mase. V težko opredeljivi prihodnosti se sicer obetajo rešitve s kapaciteto celo do 3 kWh/kg [1], ki bi sicer zagotovile povsem sprejemljiv doseg električnega vozila, a način uporabe bi krepko posegel v obstoječe navade in razvade uporabnikov. Nekatere študije [2] sicer kažejo, da bi bila večina uporabnikov povsem zadovoljna z dosegom nekaj nad 100 km, pri čemer jih ne bi motilo, da polnjenje traja nekaj ur. A tovrstna uporaba električnega vozila pomeni samo to, da je pač električno vozilo namenjeno specifičnim potrebam – za drugačne potrebe pa voznika v garaži čaka klasično vozilo z motorjem z notranjim zgorevanjem. S stališča prodaje vozil je to seveda slišati spodbudno, vendar takšna redundanca nima ničesar skupnega z racionalnim razpolaganjem z naravnimi viri in v temeljih negira poglavitne cilje uvajanja električnih vozil.

Poleg intenzivnih raziskav akumulatorskih baterij se iščejo še rešitve shranjevalnih sklopov z gorivnimi celicami, superkondenzatorji ali njihovo kombinacijo z različnimi vrstami akumulatorjev [3, 4]. V koraku s tem potekajo raziskave pogonskih sklopov [5], pretvorniških vezij [6] in polnilnih postaj [7] ter njihovega vpliva na električno omrežje [8, 9]. V nadaljevanju prispevka bodo predstavljeni osnovni tipi hibridnih in električnih vozil [10] ter njihovo vrednotenje s pomočjo faktorja Pihef [11, 12]. Za lažje vrednotenje gospodarnosti konkretnega modela vozila bo predlagana modificirana uporaba faktorja Pihef. Sledila bo analiza izkoristka oziroma porabe goriva različnih tipov vozil glede na njihove pogonske sklope (klasični, hibridni, priključni hibridni, električni) ob upoštevanju normnih podatkov, kot jih zahtevata regulatorna organa Evropske unije [13] in ZDA [14], nakar bodo obravnavane še težave, za katere goreči proponenti električne mobilnosti najraje ne bi slišali.

2 PREGLED TIPOV HIBRIDNIH IN ELEKTRIČNIH VOZIL

V primerjavi z navadnim vozilom, ki ga poganja bencinski ali dizelski motor z notranjim zgorevanjem (sl. 1), so pri hibridnih pogonskih sklopih mogoči

različni pristopi. Pri večini je kot hranilnik električne energije uporabljen akumulator, ki ga v posameznih primerih lahko nadomestijo ali dopolnjujejo superkondenzatorji. V nadaljevanju bodo vsi hibridni koncepti obravnavani kot potencialno priključni, kar pomeni, da bi akumulatorje lahko polnili s t. i. zunanjim polnilnikom tudi iz električnega omrežja. Topologije pretvorniških vezij so prilagojene konkretnim izvedbam hranilnikov (akumulatorjev) in tipom uporabljenih električnih motorjev, pri čemer je pogosto izvedena možnost regenerativnega zaviranja.

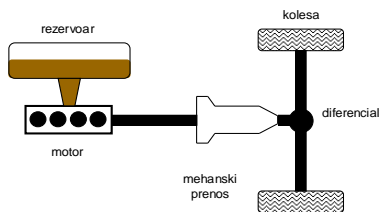
Pri hibridnem vozilu s serijskim hibridnim pogonom (slika 2) se za pogon koles vozila uporablja izključno električni motor, katerega napajanje zagotavlja akumulator prek pretvorniškega vezja. Za polnjenje akumulatorja skrbi generator, ki ga poganja motor z notranjim zgorevanjem.

Za povsem hibridni pogon (slika 3) je značilno, da v odvisnosti od krmilnega algoritma in obratovalnih razmer pri pogonu koles sodelujeta tako elektromotor kot motor z notranjim zgorevanjem prek posebnega prenosnega gonila. Akumulator se v tem primeru lahko polni le iz omrežja ali z regenerativnim zaviranjem. Seveda je bolj prikladno, če lahko akumulator polnimo (pa čeprav v le omejenem obsegu) tudi prek generatorja (lahko le alternatorja), gnanega z motorjem z notranjim zgorevanjem, a takšen koncept že razvrščamo pod paralelno-serijski hibridni pogon (slika 4). V to skupino spadata med drugimi Toyota Prius (vse generacije) in Opel Ampera / Chevrolet Volt. Tržniki sicer pri zadnjem dvojčku poskušajo prepričati kupce, da gre za t. i. električno vozilo s podaljševalnikom dosega (kar je popolno zavajanje s poimenovanjem – potemtakem bi to bil priključni serijski hibrid), čeprav v določenih razmerah pogonsko moč kolesom zagotavljata tako električni kot bencinski motor.

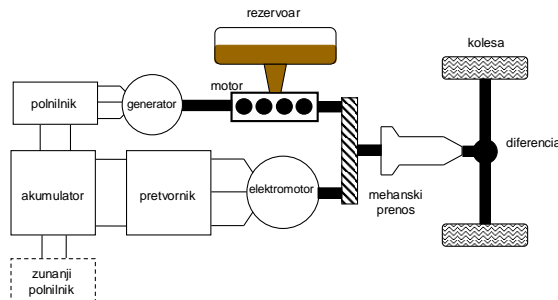
Tudi električno vozilo na gorivne celice, katerega blokovna shema je prikazana na sliki 5, se zaradi narave njihovega obratovanja poslužuje akumulatorja kot dodatnega hranilnika. Pri povsem električnem vozilu (slika 6), kjer se vsa energija shranjuje na njem izključno v električni obliki, pa mora za zagotavljanje spodobnega dosega vozila imeti vgrajeni akumulator bistveno večjo kapaciteto od tiste pri različnih oblikah hibridnega pogona.

3 IZKORISTEK HIBRIDNIH IN ELEKTRIČNIH VOZIL TER DEFINICIJA FAKTORJA PIHEF

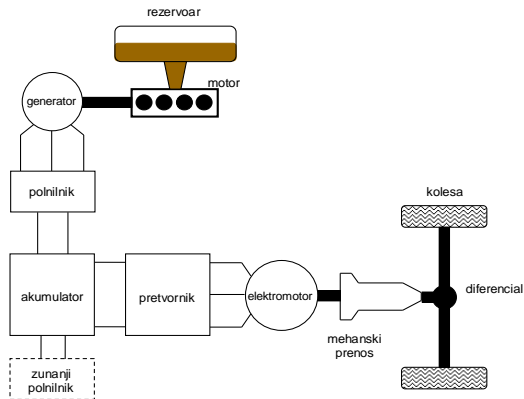
Analiza predstavljenih hibridnih vozil glede njihovega izkoristka in porabe energije bi bila bistveno preprostejša (slika 7), če ne bi upoštevali priključne opcije. Z možnostjo polnjenja akumulatorjev iz omrežja pa se v energetski bilanci vozila poleg primarnega goriva pojavlja še dodatna veja (slika 8). Le-ta sama po sebi zahteva poznavanje številnih težko določljivih in tudi variabilnih parametrov, ki jih potrebujemo pri nadaljnji obravnavi, kot so delež energije obnovljivih in



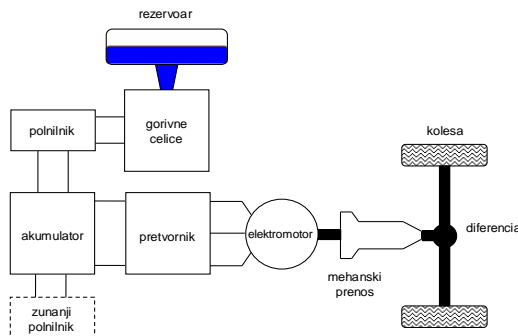
Slika 1: Blokovna shema navadnega vozila z motorjem z notranjim zgorevanjem



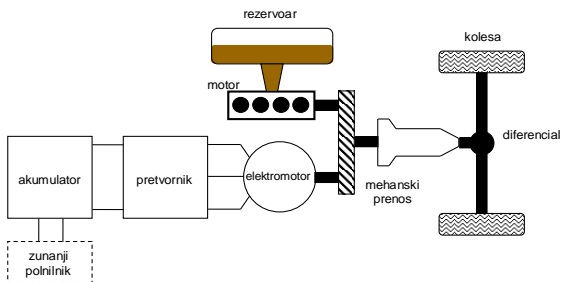
Slika 4: Blokovna shema (priključnega) hibridnega vozila s paralelno-serijskim hibridnim pogonom



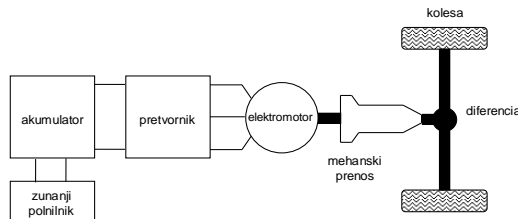
Slika 2: Blokovna shema (priključnega) hibridnega vozila s serijskim hibridnim pogonom



Slika 5: Blokovna shema (priključnega) vozila na gorivne celice



Slika 3: Blokovna shema (priključnega) hibridnega vozila s paralelnim hibridnim pogonom



Slika 6: Blokovna shema električnega vozila

neobnovljivih virov v elektroenergetskem sistemu, izkoristek posameznih elektrarn ter izgube pri prenosu in distribuciji. Obenem pa je kombinacija uporabe dveh različnih virov na vozilu povezana s številnimi dejavniki, ki se lahko med sabo diametralno razlikujejo. Čeprav velja podoben pomislek tudi ob npr. navajanju standardizirane porabe goriva za klasična (pa tudi nepriključna hibridna) vozila, ki jo podatki iz realnih preizkusov praviloma presegajo vsaj za 30 odstotkov, pa je pri priključnih hibridih vpliv načina uporabe vozila bistveno izrazitejši.

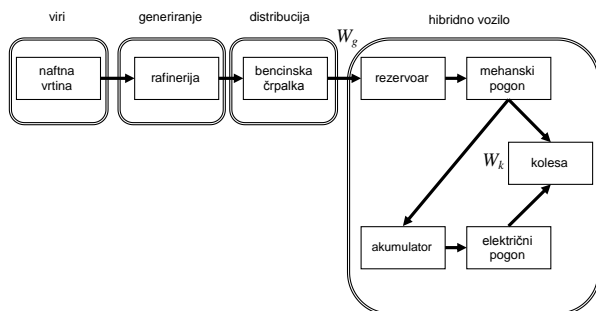
Kot lahko razberemo z blokovne sheme priključnega hibridnega vozila (PHEV – Plug-In Hybrid Electric Vehicle) s paralelno-serijskim hibridnim pogonom (sliki 4 in 8), je skupna energija (W_{skupna}), potrebna za pogon takšnega vozila, vsota energije goriva (W_g) in energije iz električnega omrežja (W_o):

$$W_{skupna} = W_g + W_o \tag{1}$$

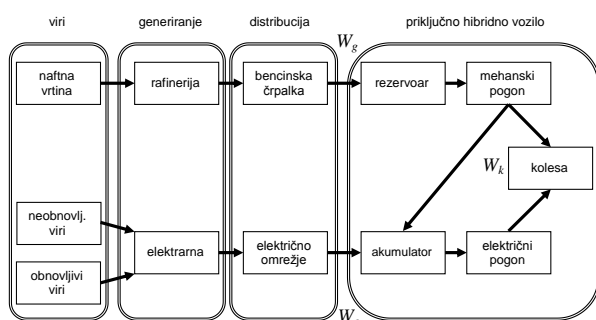
Za pogon vozila potrebujemo energijo na kolesih W_k , nekaj energije pa potrebujejo tudi dodatni porabniki na vozilu W_d . Čeprav lahko ravno dodatni porabniki pri električnih vozilih ali v električnem načinu delovanja priključnih hibridov odločilno vplivajo na zmogljivosti vozila, bodo v nadaljnji obravnavi zanemarjeni. Tako lahko zapišemo izkoristek priključnega hibridnega vozila (η_{PHEV}):

$$\eta_{PHEV} = \frac{W_k + W_d}{W_g + W_o} \approx \frac{W_k}{W_g + W_o} = \frac{W_k}{W_{skupna}} \tag{2}$$

Priključni hibrid (PHEV) se brez uporabe opcije polnjenja iz električnega omrežja obnaša kot navadno hibridno električno vozilo (HEV), ki vso potrebno energijo prejema iz goriva.



Slika 7: Pretok energije pri nepriključnem hibridnem vozilu (HEV)



Slika 8: Pretok energije pri priključnem hibridnem vozilu (PHEV)

Izkoristek hibridnega vozila (η_{HEV}) lahko torej izračunamo podobno kot pri klasičnih vozilih z motorjem z notranjim zgorevanjem:

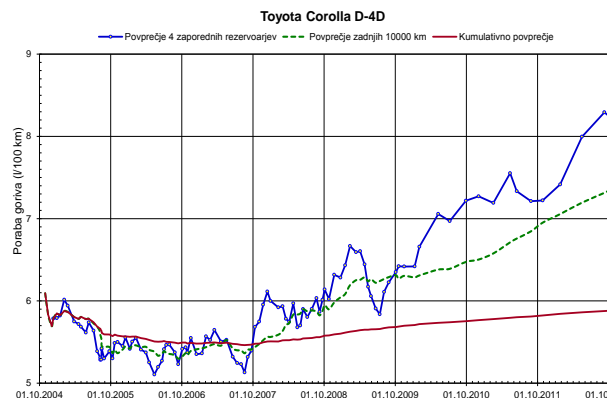
$$\eta_{HEV} = \frac{W_k}{W_g} \quad (3)$$

Od hibridnih vozil seveda pričakujemo, da bodo imela zaradi prilagojenega pogonskega sklopa in učinkovitega upravljanja pretoka in shranjevanja energije višje izkoristke kot primerljiva klasična vozila.

Če priključni hibrid (PHEV) oskrbujemo z energijo samo iz električnega omrežja, ga lahko obravnavamo kot povsem električno vozilo (EV), pri čemer bo njegov izkoristek (η_{EV}):

$$\eta_{EV} = \frac{W_k}{W_o} \quad (4)$$

Priključni hibridi lahko obratujejo v različnih načinih (klasični, hibridni ali povsem električni), vse to pa vpliva na stanje napolnjenosti (SOC – state of charge) njihovih hranilnikov energije (EES – energy storage system). Zato bi za podrobnejšo analizo delovanja priključnih hibridov potrebovali številne dodatne parametre, kot so začetna in končna ter tudi minimalna dopustna količina energije v hranilniku. Ti parametri so odvisni od uporabljenega regulacijskega algoritma, ki pa naj bi nekatere ključne odločitve prepuščal tudi vozniku. Prednosti priključnih hibridov namreč ne smemo razumeti samo kot višji izkoristek in zmanjšane izpuste, temveč tudi kot možnost izbire najustreznejšega načina obratovanja na posameznih odsekih poti. Tako npr. vožnja, ki se začne v središču mesta, kjer veljajo omejitve glede izpustov, zahteva uporabo povsem



Slika 9: Izmerjena povprečna poraba za Toyota Corollo D-4D: povprečje štirih zaporednih rezervoarjev, povprečje zadnjih prevoženih 10.000 km in kumulativno povprečje

električnega načina, za kar potrebujemo že na začetku ustrezno napolnjene akumulatorske baterije. Podobno se za vožnjo, ki se konča v središču mesta z omejitvami izpustov, zahteva ustrezna napolnjenost akumulatorjev pred zadnjim odsekom poti.

Pogonski sklop priključnega hibrida lahko obravnavamo glede na oba vira energije: gorivo in električno omrežje. Energija na kolesih vozila (W_k), ki je potrebna za opravljanje popolnoma enakega voznega cikla, prvič v hibridnem načinu (3) in drugič v povsem električnem načinu (4), znaša:

$$W_k = \eta_{HEV} \cdot W_g = \eta_{EV} \cdot W_o \quad (5)$$

Posledično lahko izrazimo razmerje izkoristkov med obema obratovalnima načinoma priključnega hibrida ($EER_{EV/HEV}$):

$$EER_{EV/HEV} = \frac{\eta_{EV}}{\eta_{HEV}} = \frac{W_g}{W_o} \quad (6)$$

Razmerje izkoristkov $EER_{EV/HEV}$ bo zaradi višjega izkoristka električnega pogonskega sklopa od izkoristka hibridnega pogonskega sklopa zagotovo presegalo vrednost 1.

Pri vrednotenju porabe in izkoristka priključnih hibridov si lahko pomagamo z vpeljavo faktorja Pihef (plug-in hybrid electric factor) [11, 12], ki bi ga lahko poimenovali "faktor električnosti priključnega hibrida". Pihef je definiran kot:

$$Pihef = \frac{W_o}{W_g + W_o} = \frac{W_o}{W_{skupna}} \quad (7)$$

Pri tem je W_o energija, ki jo vozilu zagotavlja električno omrežje, in W_g energija, ki jo vozilo prejme z gorivom. Pihef bi torej lahko obravnavali kot povprečni delež električne energije iz omrežja, ki ga pri svojem delovanju uporablja vozilo. Faktorja Pihef nikakor ne smemo razumeti kot obliko izkoristka, še manj pa kot

"razmerje moči", kot bi lahko izhajalo iz napačnega razumevanja definicije povprečne energije namesto povprečnega deleža energije!

Za klasična vozila z motorjem z notranjim zgorevanjem, kakor tudi za nepriključne hibride, ki vso energijo prejemajo z gorivom, znaša vrednost $Pi_{hef} = 0$. Faktor Pi_{hef} doseže svojo maksimalno vrednost, ki je enaka 1, pri povsem električnem vozilu. Pri priključnih hibridih pa se Pi_{hef} nahaja v razponu med 0 in 1 ($0 < Pi_{hef} < 1$).

V nasprotju s postopki, ki jih predlagajo utemeljitelji faktorja Pi_{hef} [11], kjer se Pi_{hef} ugotavlja za standardizirani voznik cikel za izbrani model priključnega hibrida glede na kapaciteto hranilnikov energije, bi veljalo razmisliti o navajanju podatkov o porabi energije in izkoristku ter izpustih pri različnih vrednostih Pi_{hef} v razponu pod 0 do 1 s korakom npr. 0,05 za konkreten model vozila. Tako bi glede na predvideni prevladujoči način uporabe priključnega hibrida vsak lastnik oziroma voznik ocenil gospodarnost svojega vozila. Podobno kot spremljamo povprečno porabo goriva klasičnega vozila v l/100 km (sl. 9), bi lahko sledili tudi kumulativni in parcialnim vrednostim faktorja Pi_{hef} priključnega hibrida. Faktor Pi_{hef} bi se seveda spreminjal v odvisnosti od načina uporabe vozila.

Energija na kolesih priključnega hibridnega vozila (W_k), ki jo potrebujemo, da opravimo vožnjo, kjer se uporabljata tako povsem električni način kot tudi hibridni, prihaja iz obeh virov – iz vsakega s svojim izkoristkom:

$$W_k = \eta_{PHEV} \cdot W_{skupna} = \eta_{HEV} \cdot W_g + \eta_{EV} \cdot W_o \quad (8)$$

Izkoristek priključnega hibrida (η_{PHEV}) je potemtakem:

$$\eta_{PHEV} = \frac{\eta_{HEV} \cdot W_g + \eta_{EV} \cdot W_o}{W_g + W_o} \quad (9)$$

Z upoštevanjem faktorja Pi_{hef} iz (7) dobimo:

$$\eta_{PHEV} = \eta_{HEV} \cdot (1 - Pi_{hef}) + \eta_{EV} \cdot Pi_{hef} \quad (10)$$

Zaradi razmerja izkoristkov $EER_{EV/HEV}$ (6), ki je višje od 1, se z višjim Pi_{hef} nižajo tako poraba energije in goriva kakor tudi izpusti ogljikovega dioksida na prevoženi km, izkoristek priključnega hibrida pa narašča.

Če torej isto priključno hibridno vozilo obratuje pri višjem Pi_{hef} (na kar vplivamo z njegovim načinom uporabe), pričakujemo boljše rezultate. Opozoriti velja, da se zbrani podatki nanašajo samo na sklop vozila (skrajno desno) s slik 7 in 8. Izkoristke na poti goriva do vozila bi lahko ocenili, precej več neznank pa je glede proizvodnje in prenosa električne energije. Vse skupaj bi lahko zajeli v obsežnejši analizi, ki bi obsegala tudi energetska bilanco same izdelave vozila.

4 PRIMERJAVA PRIKLJUČNIH HIBRIDOV S KLASIČNIMI VOZILI

V zadnjem času je več izdelovalcev osebnih vozil začelo kupcem ponujati priključne hibride in tudi povsem električna vozila. Najpogostejša modela priključnih hibridov sta Prius Plug-In in Volt/Ampera, med povsem električnimi vozili pa, vsaj po normnih podatkih, izstopa sicer nišno vozilo Tesla Model S. V tabeli 1 so zbrani nekateri ključni tehnični podatki o porabi goriva, porabi energije in dosegu za navedena tri vozila. Njim so dodane še specifikacije treh klasičnih vozil z motorjem z notranjim zgorevanjem: Toyota Corolla (model 2004, dizelski motor D-4D 2 l, 85 kW), Renault Clio (model 2000, bencinski motor 1.4 l, 72 kW) in Škoda Favorit (model 1992, bencinski motor 1.3 l, 43 kW), ki so obogatene s podatki njihovega dolgotrajnega preizkusa. Za Toyota Corollo so podrobnejši podatki takšnega preizkusa razvidni s slike 9.

Celinska Evropa se od ZDA in Združenega kraljestva že tradicionalno razlikuje v terminologiji glede porabe goriva in gospodarnosti vozil. Nekaj težav pri razumevanju povzroča še uporaba različnih merskih enot, vendar to niso nepremostljive ovire, da ne bi mogli preračunati podatkov v zeleno obliko. Več odprtih vprašanj pri primerjavah podatkov se poraja zaradi različnih standardov in preizkusnih voznih ciklov, ki jih za Evropsko unijo narekuje predpis Evropske komisije št. 692/2008 (ES) [13], v ZDA pa regulativa Agencije za varovanje okolja (EPA – Environmental Protection Agency) [14]. Evropski preizkusni voznik cikli so bili deležni številnih kritik, še zlasti zato, ker ne ponazarjajo realnih voznih razmer. Podatki o porabi iz tabele 1 po standardih EPA zvenijo nekoliko bolj realistično, zato je razmerje izkoristkov $EER_{EV/HEV}$ med električnim in hibridnim načinom za oba priključna hibrida (Prius Plug-In in Volt/Ampera) izračunano na podlagi podatkov EPA. Zanimiv je velik doseg električnega vozila Tesla Model S (426 km); le-ta presega vrednost 360 km, ki bi jo izračunali iz kapacitete akumulatorja (85 kWh) in porabe energije (23,6 kWh/100 km). Očitno so standardi za tovrstna vozila še neusklajeni, izdelovalci pa se jim hitro prilagodijo.

Že iz kapacitete akumulatorske baterije izhajajo, da je priključni hibrid Volt/Ampera zasnovan tako, da iz električnega omrežja prejme večji delež energije kot Prius Plug-In. Posledično bo njegov faktor Pi_{hef} v odvisnosti od časa vseskozi izkazoval večje vrednosti kot Toyotin tekmeč.

5 SKLEP

V prispevku so bili predstavljeni osnovni koncepti hibridnih vozil. Obdelana je bila problematika izkoristka in porabe priključnih hibridov, kjer je s faktorjem električnosti priključnega hibrida Pi_{hef} mogoče zaobjeti različne načine uporabe tovrstnih vozil. Podatki kažejo, da je s trenutnimi tehnologijami

Tabela 1: Primerjava vozil Tesla S, Prius Plug-In in Volt/Ampera z nekaterimi navadnimi vozili

| Parameter | Tesla Model S (85 kWh) (2013) | Prius Plug-In (2012) | Volt/Ampera (2012) | Toyota Corolla D4D (2004) | Renault Clio 1.4 (2000) | Škoda Favorit 135L (1992) |
|---|-------------------------------|----------------------|--------------------|---|---|---|
| Rezervoar (l) | 0 | 45 | 35 | 55 | 50 | 47 |
| Kapaciteta akumulatorja (kWh) | 85 | 4,4 | 16 | | | |
| EPA električni doseg (km) | 426 | 18 | 56 | | | |
| ES električni doseg (km) | | 25 | 40 – 80 | | | |
| EPA celotni doseg (km) | 426 | 869 | 612 | 965 ^{a)} | 769 ^{a)} | 595 ^{a)} |
| ES PHEV poraba goriva v kombiniranem ciklu (l/100 km) | | 2,1 | 1,2 | | | |
| EPA HEV poraba goriva v kombiniranem ciklu (l/100 km) | 2,6 ^{c)} | 4,7 | 6,4 | 5,7 ^{a)} / 5,9 ^{b)} | 6,5 ^{a)} / 6,5 ^{b)} | 7,9 ^{a)} / 8,2 ^{b)} |
| EPA EV ekvivalentna poraba goriva (l/100 km) | 2,6 | 2,2 | 2,5 | | | |
| EPA EV poraba energije (kWh/100 km) | 23,6 | 20,0 | 22,4 | | | |
| EPA HEV poraba energije v kombiniranem ciklu (kWh/100 km) | 23,6 ^{c)} | 41,8 | 56,6 | 57,1 ^{a)} / 59,1 ^{b)} | 57,9 ^{a)} / 57,9 ^{b)} | 70,3 ^{a)} / 73,0 ^{b)} |
| Razmerje EER med EV/HEV načinoma | | 2,1 | 2,5 | | | |
| EPA CO ₂ izpusti (g/km) | | 83 | 54 | | | |
| ES CO ₂ izpusti (g/km) | | 49 | 27 | 151 | 155 | 168 |

^{a)} Podatki za vozilo z motorjem z notranjim zgorevanjem po ES

^{b)} Podatki za vozilo z motorjem z notranjim zgorevanjem po dolgotrajnem preizkusu

^{c)} Podatki za električno vozilo po EPA

najučinkovitejši pristop s priključnimi hibridi, kjer ni težav z omejenim dosegom vozila in počasnim polnjenjem akumulatorjev (ali logističnih zapletov z njihovo menjavo "prazno za polno" na "črpalkah"). Prav tako priključni hibridi ne zahtevajo temeljite prevzgoje uporabnikov, kar je dejstvo pri dandanašnjih povsem električnih avtomobilih. Tehnologija pač še ne omogoča zelenih lastnosti, zato poteka prepričevanje za prilagoditev potreb ob "ozaveščanju" kupcev, da le-ti potem izdelek rade volje drago preplačajo. A tudi visok izkoristek priključnih hibridov je treba obravnavati rezervirano, še zlasti če je v ozadju dokaj visoka poraba. Večjim in potratnejšim (obenem pa tudi dražjim) vozilom je namreč preprosteje vgraditi sklope hibridnega pogona in tudi kupci takšnih vozil lažje sprejmejo pribitek k ceni.

Čas za električne avtomobile očitno kljub intenzivnim prizadevanjem dela industrije in samograditeljev še ni pravi. Ne nazadnje se že uporabniki klasičnih vozil soočajo s hudimi preglavicami glede pomanjkanja parkirnih prostorov – kaj bi šele doživljali, če bi parkirna mesta bila hkrati tudi polnilne postaje ... A tudi ko bo doseg električnih vozil postal konkurenčen, ga ne bo smel skaziti vklop ogrevanja v hladnem zimskem jutru.

Morda bi lahko prav zaradi navedenih pomanjkljivosti pričakovali, da se bodo ob sprejemljivih lastnostih njihovih bencinskih sorodnikov (doseg okoli 200 km) in specifičnega načina uporabe (krajše vožnje v lepem vremenu) pred električnimi avtomobili uveljavili

električni skuterji. Ampak tukaj že posegamo na področje akustike ...

LITERATURA

- [1] A. Kraetsberg, Y. Ein-Eli, "Review on Li-air batteries - Opportunities, limitations and perspective", *Journal of Power Sources*, 2011, 196:p.886–893.
- [2] Ph. Spichartz, M. Schael, B. Ni, A. Broy, C. Sourkounis, "Fleet Test of Electric Vehicles Regarding Their Suitability for Daily Use", *SPEEDAM 2012 Proceedings*, pp. 1396-1400, Sorrento, Italy, 2012.
- [3] A. F. Burke, "Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 95, No. 4, April 2007.
- [4] M. Španer, "Hranilniki energije pri hibridnih pogonih", magistrsko delo, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2010.
- [5] M. Ehsani, K. M. Rahman, H. A. Toliyat, "Propulsion System Design of Electric and Hybrid Vehicles", *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, Vol. 44, No. 1, February 1997.
- [6] A. Emadi, Y. J. Lee, K. Rajashekara, "Power Electronics and Motor Drives in Electric, Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles", *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, Vol. 55, No. 6, June 2008.
- [7] M. Etezadi-Amoli, K. Choma, J. Stefani, "Rapid-Charge Electric-Vehicle Stations", *IEEE Transactions On Power Delivery*, Vol. 25, No. 3, July 2010.
- [8] K. Clement-Nyns, E. Haesen, J. Driesen, "The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid", *IEEE Transactions On Power Systems*, Vol. 25, No. 1, February 2010.

- [9] P. Richardson, D. Flynn, A. Keane, "Optimal Charging of Electric Vehicles in Low-Voltage Distribution Systems", IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 27, No. 1, February 2012.
- [10] D. Nedeljković: "Električna mobilnost – z električnimi vozili ali s priključnimi hibridi?", Zbornik ERK 2012, Zv. A, str. 269–272, Portorož, Slovenija, 2012.
- [11] S. G. Wirasingha, A. Emadi, "Pihef: Plug-In Hybrid Electric Factor", IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol. 60, No. 3, March 2011.
- [12] S. G. Wirasingha, R. Gremban, A. Emadi, "Source-to-Wheel (STW) Analysis of Plug-in HybridElectric Vehicles" .IEEE Transactions On Smart Grid, Vol. 3, No. 1, March 2012.
- [13] European Commission Regulation No 692/2008 [Online] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32008R0692:en:NOT>.
- [14] U. S. Department of Energy, Environmental Protection Agency (EPA), The official U. S. government source for fuel economy information [Online]. <http://www.fueleconomy.gov>.

David Nedeljković je diplomiral leta 1991, magistriral leta 1996 in doktoriral leta 1998 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Zaposlen je kot profesor na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, kjer je od leta 2008 tudi prodekan za finančne zadeve. Ukvarja se s problematiko digitalnega procesiranja na področju naprav močnostne elektronike in elektromotorskih pogonov.