

# Hibrīdelektriskā piedziņa militārajos transporta līdzekļos

**Juris Kiploks**

Rīgas Tehniskā universitāte  
Rīga, Latvija  
juris.kiploks@rtu.lv

**Ivars Raņķis**

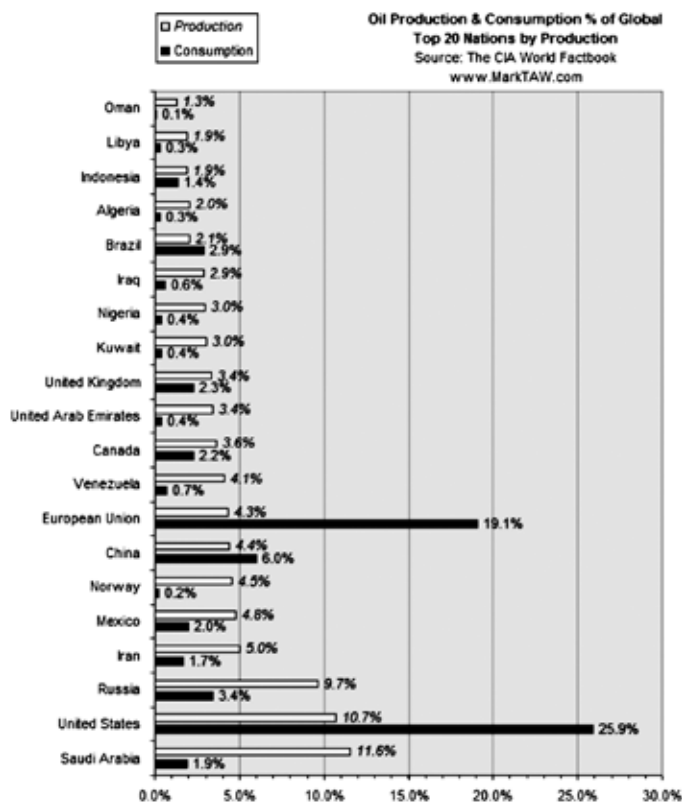
Rīgas Tehniskā universitāte  
Rīga, Latvija  
E-mail: rankis@eef.rtu.lv

Atslēgas vārdi: hibrīdelektriskā piedziņa, sauszemes transportlīdzeklis, klusā pārvietošanās, vietējā strāvas ražošana.

## I. Ievads

2008. gadā pasaules naftas ražošana sasniedza savu līdz šim augstāko punktu – 81,73 miljoni barelu dienā. Apmēram 70% no visā pasaulē saražotās naftas tiek izmantoti transporta degvielas ražošanai, kamēr vienīgi 15 līdz 20% no iekšdedzes dzinējā sadedzinātās degvielas atbrīvotās enerģijas īstenībā veic reālu darbu. Ņemot vērā nevienmērīgo naftas iegulu sadalījumu un to patēriņu pasaulē, svarīgi ir nodrošināt zināmu balansu starp naftas produktu patēriņu un ieguvu. Kā redzams 1. attēlā, Eiropas Savienības valstis patērē ievērojami vairāk naftas produktu, nekā tās saražo, tādējādi kļūstot viegli ievainojamas un pilnībā atkarīgas no naftas produktu piegādātājiem. Šādā situācijā ir jāizmanto visas iespējas mazināt enerģētisko atkarību, veidojot ievērojamus uzkrājumus, izmantojot alternatīvos kurināmā veidus un samazinot naftas produktu patēriņu. Lielāko ieguvumu var iegūt, samazinot naftas produktu izlietošanu transportā kā galvenajā naftas produktu patērētājā.

Labs veids degvielas patēriņa samazināšanai transporta līdzekļos ir elektriskā un hibrīdā piedziņas tehnoloģija.



1. att. Pasaules naftas ražošanas un patēriņa procentuālais salīdzinājums

Hibrīdelektriskās piedziņas (HEP) sistēma ietver divas piedziņas, iekšdedzes un elektrisko motoru. HEP piedziņas sistēmai jānodrošina enerģijas uzkrāšana augsta enerģētiskā blīvuma baterijās transporta līdzekļu sistēmu stabilai darbībai un galvenā dzinēja atbalstam maksimālās slodzes laikā (piemēram, paātrinājuma gadījumā).

Elektriskās piedziņas izmantošana sauszemes transporta līdzekļiem nodrošina ne tikai degvielas ekonomiju un ekoloģiskās situācijas uzlabošanu, bet sniedz arī lielu ieguvumu īpaši militārajiem transporta līdzekļiem, kas paredzēti, lai pārvietotos šķēršļotā apvidū. Degvielas patēriņa samazināšana militārajiem transporta līdzekļiem dod iespēju palielināt operāciju diapazonu bez papildu degvielas uzpildīšanas.[1]

## II. Vēsturiskais pārskats

Elektriskās piedziņas efektivitāti 1931. gadā pierādīja amerikāņu izgudrotājs Nikola Tesla. Viņa pirmā elektromobiļa maiņstrāvas elektromotors ar



2. attēls. Prettanku triecienlielgabals *Ferdinand*

80 zirgspēku (~60 kW) jaudu un vārpstas rotācijas ātrumu 1800 apgriezienu minūtē, nodrošināja elektromobiļa kustības ātrumu līdz 90 jūdzām stundā (~145 km/h).

Elektrisko piedziņu militārajam sauszemes transportam pirmo reizi pielietoja Vācija II pasaules karā. Šī inovācija ir saistīta ar Dr. Ferdinanda Poršē vārdu. Viņa izstrādātā tanka *Tiger (P)* prototipam bija kombinēta elektriskā piedziņa. Gan Poršē, gan uzņēmuma *Henschel* tankus 1943. gadā pakļāva lauka izmēģinājumiem, tomēr, neskatoties uz Poršē tanka labākiem rezultātiem gaitas izmēģinājumos, priekšroka tomēr tika dota *Henschel* tankam *Tiger 2*, lielā mērā pateicoties tā zemākām tehnoloģiskām izmaksām. Poršē tanka platformu vēlāk sāka izmantot prettanku triecienlielgabalam *Ferdinand* (2. att.).

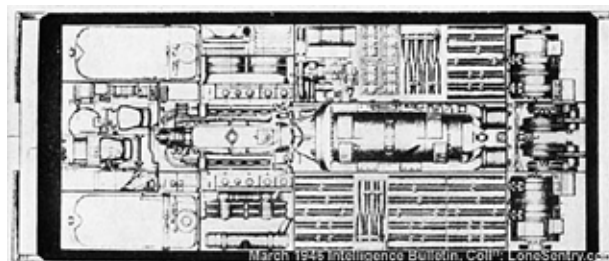
*Ferdinand* elektromehāniskā piedziņa sastāvēja no diviem *Mybach* HL120 TRM 265 zirgspēku (~198 kW) iekšdedzes dzinējiem, kas katrs darbināja *Siemens-Schuckert* tipa AGV ģeneratoru. Šāda konstrukcija nodrošināja šai 65 tonnu smagajai

mašīnai elastīgas manevrēšanas iespējas. Tā bija pirmā reize, kad sauszemes transporta līdzeklim tika izmantota HEP piedziņa.

Vēlāk šāda veida transmisija atrada pielietojumu Vācijas supersmagā tanka *Mouse* projektā.

Pēdējo desmit gadu laikā ASV un ES militārās nozares pētniecības iestādēs ir veikti vairāki pētījumi un izmēģinājumu projekti saistībā ar elektriskās un HEP piedziņas izmantošanu sauszemes transportlīdzekļiem. Militārajā jomā vismaz 4 no šādiem projektiem noritēja NATO RTO

3. attēls. *Mouse* elektriskās transmisijas shēma





4. attēls. Militārais sauszemes transportlīdzeklis *Aggressor*

(Zinātniskās pētniecības un tehnoloģijas organizācija) paspārnē. Viens no minētajiem projektiem noslēdzās 2003. gadā Beļģijā ar militāro transportlīdzekļu demonstrāciju. Šajā izmēģinājumā militārie speciālisti pārbaudīja vairākus HEP piedziņas sauszemes transporta līdzekļus.

Vairāku valstu armijas grasās integrēt funkcionālo HEP piedziņas sistēmu kaujas tehnikā. Elektriskās piedziņas sistēma tādejādi kļūs par transportlīdzekļu galveno piedziņas sistēmu.

2007. gada augustā ASV armija nāca klajā ar paziņojumu par pirmā HEP militārā sauszemes transportlīdzekļa (MGV) *Aggressor* izveidi, kuru izmēģinās ASV Armijas Dzinēju un energosistēmu integrācijas laboratorija (*Power and Energy Systems Integration Laboratory*). Tieši tāpat kā civilo sauszemes transportlīdzekļu platforma, arī jaunie MGV ietver hibrido piedziņu ar dīzeļa dzinēju un akumulatoru bloku. Atšķirībā no civilajiem HEP transporta līdzekļiem, *Aggressor* spēs darboties arī ar kumulātoriem vien. Izslēdzot dīzeļa piedziņu, pārvietošanās norit ārkārtīgi klusu un izdala ievērojami mazāk siltuma, tādejādi akustiskie un termālie signāli kļūst grūti identificējami apvidū, sevišķi, ja tos īpaši nemeklē.

ASV Jūras kājnieku korpuss un ASV Armijas īpašo operāciju pavēlniecība (*US Army Special Operations Command*) pārrauga jaunu dziļā triecienu, dziļās izlūkošanas transportlīdzekļu programmu, sauktu par *Shadow*. *Shadow* ir izlūkošanas, patruļas un mērķu noteikšanas transportlīdzeklis (RST-V), ko izstrādājusi kompānija *General Dynamics Land Systems*. *Shadow* RST-V koncepcija tika izstrādāta Jūras kājnieku korpasa Kaujas paņēmieni laboratorijā (*Marine Corps Warfighting Laboratory*), un to



5. attēls. Izlūkošanas, novērošanas un mērķu noteikšanas transportlīdzeklis *Shadow*

finansēja Aizsardzības progresīvās pētniecības projektu aģentūra (*Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)*) un Jūras spēku pētniecības birojs (*Office of Naval Research (ONR)*).

Lai samazinātu transportlīdzekļa svaru, kā arī uzlabotu tā aizsardzības spējas un dzīvotspēju, transporta līdzekli konstruēja no mūsdienīgiem materiāliem. HEP sistēma un moderna ritošā daļa nodrošina uzlabotu mobilitāti gan uz ceļa, gan bezceļa apstākļos. Mašīna ir aprīkota ar izlūkošanas novērošanas un mērķu noteikšanas uzdevumu veikšanai nepieciešamo iekārtu komplektu, kurā ietilpst navigācijas/ģeolokācijas iekārta, mērķa atklāšanas un noteikšanas sistēmas, radio un satelītkomunikācijas, kā arī tuvošanās apzināšanas sistēmas.

HEP pamatā ir mašīnas priekšpusē izvietots *Detroit Diesel DI-4V* 2,5 litru turbo dīzeļdzinējs ar jaudu 114kW.

Dīzeļdzinējs darbina 110kW elektrisko ģeneratoru, kas nodrošina elektrisko enerģiju katra riteņa rumbā iebūvētam elektromotoram. Rumbās iebūvēto elektromotoru jauda ir 50kW katram. Visus elektromotorus un ģeneratorus piegādā kompānija *Magnet Motors*. Rezerves jaudu nodrošina divas firmas SAFT litija-jonu akumulatori. Akumulatori ir aprēķināti 20 kW/h darbam ar maksimālo jaudu 80 kW pie "izrāvieniem". *Shadow* maksimālais pārvietošanās ātrums pa ceļu ir 112 km stundā. Ar ātrumu 50 km/h transporta līdzeklis, patērējot 95 litrus degvielas, var nobraukt 785 km, pie tam līdz pat 32 km tas var nobraukt tikai ar akumulatoros uzkrāto enerģiju.[2]



6. attēls. HEP transportlīdzekļu modulārās komponentes

### III. Specifiskas prasības militārajiem transportlīdzekļiem

No visām prasībām, kuras ir izvirzītas militārajiem transporta līdzekļiem, HEP transporta līdzekļi nodrošina būtiskas priekšrocības šādās jomās:

- uzlabotas komplektācijas iespējas;
- vietējā strāvas ražošana;
- degvielas ekonomija (25–30%);
- maskēšanās potenciāls (klusā kustība);
- uzlabota ātruma uzņemšana;
- samazināta nepieciešamība pēc apkopes un remonta;
- klusās novērošanas periods.[3]

#### Uzlabota komplektācijas iespējas

Elektriskās piedziņas sistēma sastāv no moduļiem, kas savienoti ar vadiem, tādējādi nodrošinot lielāku brīvību dažādu komplektējošo komponentu izvēlē, kā parādīts 6. attēlā.

HEP izmantošana dod iespēju izvairīties no mehāniskās piedziņas sistēmas ierobežojumiem, kuri nosaka, ka dzinēju ar riteņiem savieno pārnesumu kārba un vārpstas.

HEP transporta līdzekļos atsevišķas komponentes ir iespējams izvietot tā, lai optimāli izmantotu tā platību.

#### Vietējā strāvas ražošana

Militārajiem transportlīdzekļiem ir vairākas platformas, proti, vieglās bruņumašīnas (LAV), paaugstinātas caurgājamības daudznozūku riteņu mašīnas (HMMWV), vidējo taktisko transportlīdzekļu grupa (FMTV), vairāku veidu tanki, bez-apkalpes sauszemes transportlīdzekļi (UGV) un dažādi roboti.

Šādu transportlīdzekļu elektriskās sistēmas specifikācijas jau šobrīd nodrošina elektriskās jaudas:

- a) LAV – maiņstrāvas ģenerators, 28 voltu spriegums, līdzstrāva 245/280 A (~ 7.5 kW),
- b) HMMWV – maiņstrāvas ģenerators, 28 voltu spriegums, līdzstrāva ~100A (~ 2.8 kW),
- c) FMTV – maiņstrāvas ģenerators, 14/28 dubultā sprieguma līdzstrāva, parasti 100 A (noteiktā variantā 200 A; ~ 2.8 kW),
- d) tanks *Abrams* – 28 voltu spriegums, līdzstrāva 650 A (~ 18 kW),
- e) UGV – līdzīgi kā augšminētajiem, atkarībā no izvēlētajās platformas
- f) roboti – 30 līdz 1500 W pie 12 V vai 24 V sprieguma, strāva: 3 A līdz 100 A, atkarībā no sprieguma.[5]

Galveno jaudas pārvaldīšanas un sadales sistēmu iespējams ieprojektēt tādā veidā un izmēros, lai piemērotos visiem elektriskās strāvas patērētājiem transportlīdzekļiem. Tā ir liela priekšrocība, jo nākotnē vajadzība pēc elektriskās strāvas dažādām mašīnā izvietotām elektroiekārtām tikai pieaugs. Jaudas vadības un sadales sistēma var nodrošināt pastāvīgu elektroenerģijas padevi tādām slodzēm kā elektriskā piedziņa un gaisa kondicionēšanas iekārtas, nodrošināt strāvu citiem nelieliem elektriskās strāvas patērētājiem. Tāpat to var izmantot, lai nodrošinātu periodisku strāvas padevi impulsa jaudas sistēmām piedziņai/uzlādešanai elektriskajiem ieročiem un aizsardzības līdzekļiem: elektrotermoķīmiskajiem lielgabaliem (ETC gun), tiešās enerģijas ieročiem – (DEW), lāzēriem, EM (elektromagnētiskajai) aizsardzībai utt. Šāda tipa militārajiem ieročiem ir obligāti nepieciešams spēcīgs impulsu jaudas avots. Pie tam, ja transporta līdzekļi ir pieejams pietiekami spēcīgs elektriskās enerģijas avots, to var izmantot, lai samazinātu loģistisko slodzi elektriskās strāvas nodrošināšanai citiem patērētājiem lauka apstākļos.

#### Degvielas ekonomija

Militārā (kaujas) darbībā degviela ir viena no galvenajām budžeta pozīcijām. Degvielas ekonomija ir tieši atkarīga no dzinēja darbības režīma. HEP transporta līdzekļos iekšdedzes dzinējs var tikt ieprogrammēts darbībai optimālajā degvielas ekonomijas režīmā, kā parādīts 7. attēlā. Dotajā gadījumā tas ir iespējams tāpēc, ka dzinēja rotācijas ātrums nenosaka transporta līdzekļa braukšanas ātrumu. Dzinējs darbinā maiņstrāvas ģeneratoru gandrīz nemainīgā ātrumā, un elektroenerģija no

ģenerators tiek pievadīta riteņu vai kāpurķēžu piedziņas elektrodzinējiem caur barošanas blokiem. HEP gadījumā, ģenerators enerģiju papildina enerģijas uzkrāšanas iekārtas (akumulatori, spara rati, kondensatori, utt.), pastāv vēl kāds faktors degvielas ekonomijai, proti, ģenerators enerģija galvenokārt tiek patērēta vienmērīgas braukšanas laikā, kur mobilitātes vajadzībām tiek patērēts vismazāk degvielas.

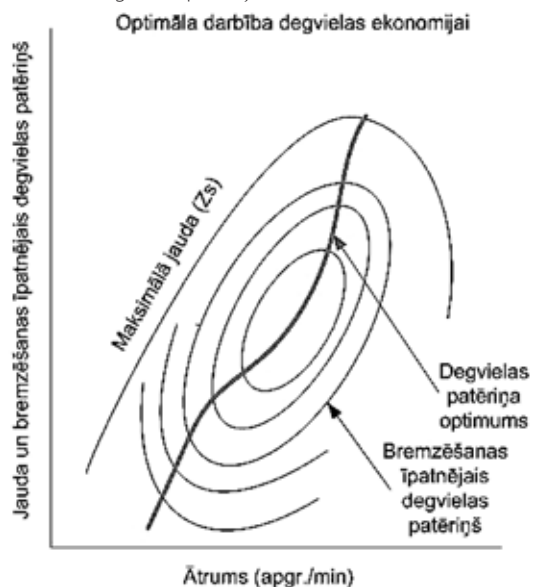
HEP dod lielāku efektivitāti *stop-and-go* darbības ciklos nekā ilgstošas nepārtrauktas darbības ciklos. Rekuperatīvā bremzēšana, kas reģenerē un uzkrāj bremzēšanas enerģiju kā elektrisko enerģiju, rada lielāku degvielas ekonomiju, un elektrodzinēji spēj ģenerēt papildus enerģiju labākai manevrēšanai šķēršļotā apvidū.

Papildus enerģiju, kura nepieciešama paaugstinātas slodzes apstākļos, nodrošina galvenokārt no enerģijas uzkrāšanas iekārtām, kuras tiek uzlādētas gan rekuperatīvās bremzēšanas rezultātā, gan no ģenerators. Šī iespēja nodrošina nozīmīgu degvielas ietaupījumu, kā arī samazina atgāžu izplūdi un termisko izstarojumu. ASV HMMWV programmas ietvaros veiktie pētījumi pierāda, ka degvielas patēriņu šādi ir iespējams samazināt par 20–30%

## Klusā novērošana un pārvietošanās

Transporta līdzekli uzstādīto enerģijas uzkrāšanas sistēmu ir iespējams izmantot klusās novērošanas uzdevumu izpildei, kura ilgums atkarīgs no novērošanas iekārtu enerģijas patēriņa. Atkarībā

7. attēls. Degvielas patēriņš



no klusās novērošanas pamatzdevuma HEP transportā tā izpildes laiku ir iespējams pagarināt par vairāk nekā divām stundām, salīdzinājumā ar pašreizējā autoparka klusās novērošanas iespējām. Tāpat ierobežotos attālumos ir iespējams veikt arī kļūsto pārvietošanos, kur transporta līdzeklis spēj iebraukt ienaidnieka kontrolētajā teritorijā un to pamest, nepakļaujot sevi paaugstinātam atklāšanas riskam.

## Uzlabota bojājumu prognozēšana un diagnostika

HEP transporta līdzekļos katru operāciju kontrolē mikroprocesori, kas ir piemērojami sistēmas stāvokļa diagnostikas vajadzībām (HUMS). Šī sistēma spēs identificēt daudzas iespējamās kļūmes, pirms tās notiks, un sniegt datus par bojājumiem, lai būtu iespējams realizēt savlaicīgu tehnisko apkopi un remontu. Tam būtu jāpalīdz samazināt ekspluatācijas un apkopes izmaksas transporta līdzekļa kalpošanas laikā, kā arī jāpalīdz kompensēt HPE transporta līdzekļu paaugstinātās izmaksas. Šobrīd izmaksas, kuras saistītas ar transporta līdzekļu pārveidošanu par HEP transporta līdzekļiem vēl pārsniedz mehāniskās sistēmas izmaksas tomēr tādu jauno tehnoloģijas, kā silīcija karbīda pusvadītāju un litija jonu akumulatoru pilnveidošana jau tuvākajos gados ievērojami uzlabos HEP sistēmu konkurētspēju.

HEP sistēmu kalpošanas laika un izmaksu pētījumi ir balstīti uz eksistējošu sistēmu modeļiem un nevar būt pilnīgi bez ekstensīvas testēšanas laika apstākļos. Tomēr, jau šobrīd pieejamie rezultāti rāda, ka izmaksas HEP izveidei pašlaik ir ievērojamas, tomēr, izmaksu lielāko daļu ilgākā laika posmā, iespējams, kompensēs degvielas un apkopes/remonta izdevumu ietaupījumu.

## VI. Tehniskā attīstība un problēmas

Šobrīd notiek daudzu svarīgu tehnisko problēmu izpēte, bet ir sagaidāms, ka daļa no tām tiks atrisināta jau pēc dažiem gadiem. Galvenās tehniskās problēmas ir šādas: zema ekspluatācijas temperatūra energoelektronikai; augsta enerģijas blīvuma uzkrāšanas ierīču trūkums; augsta griezes momenta un enerģijas blīvuma piedziņas elektromotori. [3]

## Transportlīdzekļu elektrosistēma

Elektromagnetiskās savietojamības prasībām militārajiem transportlīdzekļiem tiek piemērotas specifikācijas MIL-STD-461E un DEF-STAN 59-41. Militārie transportlīdzekļi pašlaik galvenokārt izmanto 28 V sprieguma sistēmas (24 V darba stāvokli) arhitektūru.

Pāreja uz 42 V līdzstrāvu zināmā mērā var samazināt elektroiekārtu gabarītus un svaru militārajos transporta līdzekļos. 42 V līdzstrāvas izmantošana rada arī vairākas problēmas, piemēram, elektriskā loka veidošanās, strāvas līmeņa krišanās un paaugstināta sprieguma saglabāšanās pēc atslēgšanas no maiņstrāvas ģenerators, aizdedzes sistēmas konstrukcija, akumulatori un ģenerators, un tām visām ir jāpievērš pienācīga uzmanība.

Kā iespējams secināt no pētījumu rezultātiem, [6] militārajos transporta līdzekļos izmantojot 42 V spriegumu, startera un ģenerators izmērs var samazināties par apmēram 8% un ietaupīt 24% no kopējiem vara materiāliem.

42 V sistēmas izmantošana civilajiem transporta līdzekļiem ir labi iztirzāta esošajos avotos. Pašlaik eksistē pietiekami labi attīstītas tehnoloģijas energoelektronikas jomā, kas ir piemērojamas arī militārajās 42 V līdzstrāvas sistēmās [7]. Energoelektronikai ir svarīga nozīme ģeneratoru sprieguma pārveidošanā, izmantojot maiņstrāvas un līdzstrāvas pārveidotājus. Pie tam, ir iespējams izmantot eksistējošo 42 V ģeneratora tehnoloģiju. Ir izveidotas vairākas 42 V arhitektūras automobiļu elektrosistēmām (militārās un nemilitārās). Viena no dubultsprieguma (28/42 V) elektrosistēmas blokshēmām ir parādīta 8. attēlā.

Elektriskajām sistēmām militārajos transporta līdzekļos parasti tiek izvirzītas stingras pārejas prasības. Saistošas šajā ziņā ir specifikācijas MIL-STD-1275B ASV un DEF-STAN 61-5 (Part 6)/Issue 5-se Apvienotajā Karalistē [8].

## Energoelektronika

Pašlaik pieejamajiem jaudas pusvadītājiem ir relatīvi zema darba temperatūra. Uz silīcija bāzes radītajam izolētās bāzes bipolārajam tranzistoram (IGBT), piemēram, maksimālā ekspluatācijas temperatūra ir 125 °C pārejas punktā. Lai uzturētu šo temperatūru, dzesētāja temperatūra tranzistora pamatnē ir jāuztur 65 °C līmenī, tādējādi, paliek ļoti neliela starpība ar apkārtējās vides temperatūru. Rezultātā, dzesēšanas sistēma un tās energopatēriņš ir pārāk liels integrēšanai transporta līdzeklī.

Uzlabotajiem IGBT tranzistoriem termiskās noturības robeža ir par 50% augstāka, paaugstinot dzesētāja temperatūru no 65 °C līdz 90 °C. Tomēr šis uzlabojums joprojām atrodas eksperimentālā stadijā, un tam ir nepieciešama turpmāka pilnveidošana un testēšana. Radikāls risinājums energoelektronikai ir silīcija karbīda pusvadītāju ierīces, kur ekspluatācijas temperatūra pārejas punktā var sasniegt 500°C un tāpēc dzesētāja temperatūru ir iespējams viegli uzturēt robežās no 200 līdz 250 °C. Šī veida ierīces ļautu dzesēšanas sistēmai būt daudz mazākai, ņemot vērā tās augstās ekspluatācijas temperatūras.

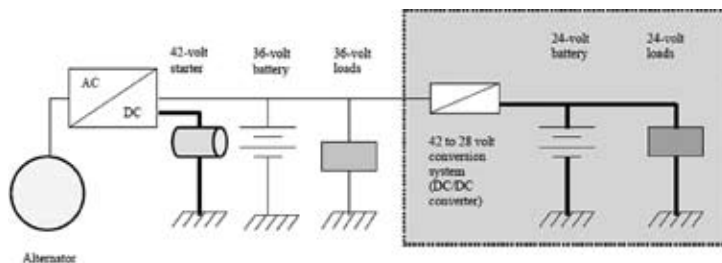
## Enerģijas uzkrāšana

Enerģijas uzkrāšana ir būtiska HEP izmantošanas daļa. Visizplatītākajiem svina-skābes akumulatoriem ir zems enerģijas blīvums, ierobežots darbības ciklu skaits, tos nav iespējams uzglabāt izlādētā stāvoklī, kā arī elementu spriegums nedrīkst nokristies zem 2,1 V robežas, tie ir smagi un kaitīgi apkārtējai videi, jo tajos ir toksisks elektrolīts, no kura jāatbrīvojas drošā veidā. Bez tam, ir nepieciešama akumulatoru termiskā režīma uzraudzība, jo akumulatori zaudē enerģiju pie zemām temperatūrām un tiem ir nepieciešama iepriekšēja "uzsildīšana", bet pie pārlietu augstas temperatūras tie sāk paātrināti nolietoties. Lai gan svina-skābes akumulatoriem to glabāšanas laikā nav nopietnu izlādēšanas problēmu salīdzinājumā ar NiMH akumulatoriem, to glabāšanas laiks tomēr ir ierobežots.

HEP transporta līdzekļu vajadzībām tiek aplūkotas iespējas izmantot citu veidu uzlabotus akumulatorus. Visnozīmīgākie kandidāti pašlaik ir šādi:

- litija-jonu (Li-Ion),
- niķeļa metāla ūdeņraža savienojumu (NiMH),
- nātrija niķeļa hlorīda (ZEBRATM),
- litija-metāla polimēra (LMP).

8. attēls. 42/28 V dubultsprieguma sistēmas blokshēma



Tabula Nr. 1. Akumulatoru salīdzinājums

Veidi	Elektrolīts	Īpatnējā enerģijaas ietilpība (Wh/kg)	Īpatnējā jauda (W/kg)	Pārlādes ciklu skaits (cikli)	Specifiskās izmaksas (Pb=1)
Svina–Skābes (Pb)	Ūdeni saturoša sērskābe	35–50	150–400	500–1000	<b>1–1,3</b>
Niķeļa Metāla Ūdeņraža savienojuma (NiMH)	Ūdeni saturošu sārmu hidroksīdi	65–85	200–300	750–1200	<b>4–8</b>
Litija–jonu (Li-Ion)	Litija sāļi organiskos šķīdinātājos	80–130	200–300	800–1200	<b>2–3</b>

Visiem šiem akumulatoriem ir augstāks enerģijas blīvums nekā svina-skābes akumulatoriem, bet tie visi atrodas izpētes stadijā un pašlaik tiek risinātas vairākas nopietnas tehniskas problēmas, pirms tie var tikt uzskatīti par piemērotiem militārai izmantošanai. Litija-jonu akumulatori ir ļoti jutīgi un var būt bīstami, ja tajos nav iestrādāta pretstrāvas un /vai isslēguma aizsardzība, kā arī termiskās aizsardzības sistēma.

ASV armijas Tanku un pašgājēju pētījumu attīstības inženieru pārvalde (TARDEC) ir izvēlējusies firmu SAFT, lai paaugstinātu militāro transporta līdzekļu operacionālo efektivitāti, konstruējot pasaules līmeņa progresīvu tehnoloģiju akumulatoru konstruēšanai un ražošanai. Noslēgtais \$1.2 miljonu vērtais kontrakts ir vērst uz lielaudas litija-jonu akumulatoru izveidi, pievēršot īpašu uzmanību vajadzībām, kas izvirzītas nākošās paaudzes HEP militārajiem transporta līdzekļiem. 2008. gada novembrī SAFT pabeidza pirmo posmu jauna, sevišķi augstas enerģijas ietilpības litija-jonu elementa izstrādē un ir piegādājis ASV Armijas TARDEC pirmos 5 VL-U elementu prototipus. Pasaules visjaudīgākais elektroķīmiskais elements – VL-U nodrošina īpatnējo enerģijas blīvumu 10 kW/kg nepārtrauktās un 30 kW/kg impulsizlādes darbības režīmā.

NiMH akumulatoriem ir pašizlādēšanās problēma, kā rezultātā šie akumulatori relatīvi īsā laikā izlādējas pat bez slodzes. Tomēr, šie akumulatori pašlaik tiek izmantoti vairākos sērijveida hibrīdelektriskajos transporta līdzekļos.

ZEBRATM akumulatoriem šobrīd ir zemāks īpatnējais enerģijas blīvums nekā citiem akumulatoriem, bet turpinās izpēti, lai šo rādītāju uzlabotu.

LMP akumulatori ir relatīvi jauni, bet domājams, ka tie varētu būt ideāli piemēroti militārai izmantošanai, ja izdotos realizēt to teorētiski iepriekš paredzēto enerģijas ietilpību. Visu šo

akumulatoru cena pašlaik ir augsta, jo tie joprojām atrodas izpētes stadijā un to ražošanas apjomi ir visai ierobežoti.

Akumulatori transportā tiek lietoti daudz plašākos apmēros nekā citi enerģijas uzkrāšanas veidi – sparrati un superkondensatori.

Superkondensatori spēj izturēt vairāk nekā 500 000 pārlādes ciklu un tādējādi ir ievērojami pārāki par akumulatoriem.

Superkondensatoru un bateriju savienojumi var būt pasīvi, kad superkondensatori ir slēgti paralēli akumulatoram; rezultātā akumulators netiks pakļauts augstfrekvences impulsiem, tādējādi paildzinot akumulatora kalpošanas laiku. Alternatīvi, superkondensatori var tikt savienoti ar baterijām caur līdzstrāvas (DC/DC) pārveidotāju. Šajā gadījumā enerģijas plūsmu uz superkondensatoriem ir iespējams kontrolēt. Tas nodrošina iespēju īstenot darbības režīmu, kas vērstas vai nu uz sistēmas efektivitāti vai uz vizuālākajām darba cikla izmaksām. DC/DC pārveidotāja ietveršana ievērojami paaugstina elektrosistēmas izmaksas un svaru.

## Piedzīņas dzinēji

Piedzīnai militārajos transporta līdzekļos parasti tiek izmantoti trīs veidu elektrodzinēji, kas spēj apmierināt izvirzītās prasības:

- pastāvīgo magnētu (PM) bezsuku dzinēji,
- indukcijas dzinēji,
- sinhronie komutējamie reaktīvie dzinēji.

Pirmajiem diviem elektrodzinēju tipiem pašlaik tiek pievērsta galvenā uzmanība, bet piedziņas motorus nedrīkst aplūkot atrauti no to integrēšanas veida transporta līdzekļa platformā.

Kāpurķēžu transporta līdzeklim pastāv izvēle starp “divlīniju” shēmu, kur katras kāpurķēdes darbināšanai tiek izmantots savs elektromotors, vai “vienlīnijas” shēmu, kur tiek izmantots viens

piedziņas elektromotors. Pirmā no iepriekšminētajām shēmām nodrošina maksimālu elastīgumu transporta līdzekļa konstrukcijā, jo ar piedziņas elektromotoriem saistītās kontroles sistēmas ļauj ievērojami samazināt gabarītus. Problēma rodas ar transporta līdzekļa vadīšanu lielā ātrumā, izmantojot elektrisko vadības sistēmu tā stūrēšanai. Ja tiek realizēta šī shēma, kopējai elektriskās piedziņas jaudai ir jābūt 2,5 reizes lielākai nekā katras kāpurķēde piedziņas motora jaudai (divliniju shēma). Griezies momenta nodošana no viena elektromotora uz abām kāpurķēdēm, izmantojot piedziņas vārpstas (vienlinijas shēma), nozīmē, ka elektrodzinēju ir nepieciešams salāgot ar galvenā dzinēja jaudu, bet šai gadījumā tiek zaudēta zināma uzbūves brīvība.

Riteņu transporta līdzekļiem galvenā izvēle ir starp elektromotoru uzstādīšanu uz šasijas vai elektromotoru uzstādīšanu tieši riteņu rumbās. Pirmajā gadījumā nepilnība ir tā, ka enerģijas padošanai uz riteņiem joprojām nepieciešamas piedziņas vārpstas un tādejādi tiek zaudēta konstruktīvā brīvība. Elektromotoru izvietošana tieši riteņu rumbās nodrošina daudz elastīgākas uzbūves iespējas, tomēr šai gadījumā ir sarežģīti saglabāt transporta līdzekļa masas centru pēc iespējas zemāk, ideālā gadījumā ne augstāku par parastā tipa transporta līdzekļa masas centru, lai nodrošinātu transporta līdzekļa stabilitāti pie liela ātruma, vai šķēršļotā apvidū. Šai gadījumā tiek piedāvāti divi risinājumi: vienpakāpes vai divpakāpju pārnēsma redukcijas sistēma, kur augsta griezes momenta/maza ātruma darbībām ir neliels darbības rādiuss. Pedējā pieeja dod iespēju samazināt dzinēja gabarītus, tādejādi samazinot kopējo masu. Vairumam no šobrīd pieejamajiem elektromotoriem pastāv dažādi konstruktīvi ierobežojumi, kurus pārvarot tiktu samazināts konstrukcijas svars un tās gabarīti, kā arī uzlabota tās komplektēšana. Šobrīd pieejamiem piedziņas elektromotoriem ir nepieciešama dzesēšana, un tie ir relatīvi dārgi. Tomēr jāatzīmē, ka, neskatoties uz iepriekšminētajām problēmām, jaunākie sasniegumi piedziņas elektromotoru jomā ir veiksmīgi integrēti un pārstāvēti elektriskajos transporta līdzekļos. Iepriekšminēto problēmu izklāsta mērķis ir norādīt uz tiem uzlabojumiem, kuri ir svarīgi HEP integrēšanai sauszemes militārajos transporta līdzekļos.

### Attīstības izmaksas

Degvielas ekonomija ir galvenais faktors, kas nodrošina zemākas izmaksas gan militārajos, gan komercravu pārvadājumos. HEP tehnoloģija atbilstoši tās pielietojumam militārajos transporta

līdzekļos šobrīd ir visprogresīvākā sistēma un pašlaik atrodas attīstības un pilnveidošanas stadijā. Pedējā laikā gandrīz katra sastāvdaļa tiek projektēta specifiskai izmantošanai ļoti ierobežotā diapazonā. Ir ļoti nedaudz piemēru, kur civilajai videi projektētas sistēmas var tikt tieši izmantotas militārām vajadzībām. Īpaši tas attiecas uz tehnoloģijām, kas nepieciešamas HEP attīstībai, kā moderni akumulatori, piedziņas elektromotori un energoelektronika. Paredzams, ka jauno elektriskās piedziņas sastāvdaļu cena kritīsies un tās kļūs plašāk pieejamas sērijveidā un pieaugot pieprasījumam pēc HEP vieglajiem un kravas automobiļiem.

Bezpakalpes sauszemes transporta līdzekļu (UGV) projekti paātrina elektriskās piedziņas tehnoloģijas ieviešanas procesu civilajā un īpaši militārajā jomā. UGV vadības process ir ļoti sarežģīts uzdevums, un elektriskās piedziņas izmantošana var atrisināt specifiskus dzinēja kontroles jautājumus.

## VII. Secinājumi

Runājot par ātruma, paātrinājuma un maskēšanās opcijām, HEP sauszemes transportlīdzekļu rādītāji ir labāki nekā attiecīgo mehāniskās piedziņas transportlīdzekļu rādītāji.

Hibrīdās piedziņas sistēmas priekšrocības tiek gūtas, kombineējot tā saucamajā hibrīdajā transportlīdzeklī divas dažādas sistēmas. Hibrīdās piedziņas sistēmās sērijveida iekšdedzes dzinējs darbina ģeneratoru, kamēr šādā veidā saražoto elektrisko enerģiju izmanto viens vai vairāki jaudīgi elektromotori, kas arī nodrošina transportlīdzekļa kustību. Elektriskās enerģijas pārpalikums, kā arī bremzēšanas laikā saražotā enerģija tiek uzkrāta enerģijas uzkrāšanas iekārtās (spara ratos, superkondensatoros un akumulatoros), tādejādi, tiek panākts, ka iekšdedzes dzinējs var darboties vienmērīgi, stabilā režīmā un daudz efektīvāk attiecībā uz degvielas patēriņu un izplūdes gāzu emisiju nekā parastajās sistēmās.

Paralēlajā hibrīdās darbības shēmā iekšdedzes dzinējs un elektromotori, saņemot enerģiju no akumulatoru baterijām, darbojas pilnīgi neatkarīgi viens no otra. Tomēr šādu transportlīdzekļu svars un ražošanas izmaksas ir ievērojami augstākas, bez tam akumulatora bateriju nepietiekami ilgais darbības laiks vēl joprojām rada šķēršļus plašai šādu transporta līdzekļu ražošanai, un sagaidāma tālāka šo tehnoloģiju pilnveidošana.

Lai definētu konceptuālu HEP transportlīdzekļu tehnoloģijas prasības, vispirms ir jāformulē, kādam



mērķim šie transportlīdzekļi tiks izmantoti. Katrs atsevišķs pielietojums neapšaubāmi rada jaunus izaicinājumus elektriskās tehnoloģijas ieviešanai.

HEP sistēmu pielietošanas galvenās priekšrocības militārajā jomā ir:

- a) loģistikā – samazinās loģistikai nepieciešamais laiks un izmaksas;
- b) takstiskajā darbībā – klusā pārvietošanās, klusā novērošana;
- c) tehniskās iespējas – plašāks darbības rādiuss un iespēja “eksportēt” saražoto elektroenerģiju.

HEP transportlīdzekļu elektrosistēma un enerģijas uzkrāšanas spēja var nodrošināt klusās novērošanas operācijas, kā arī nepieciešamo enerģiju tādiem elektriskajiem ierociem kā ETC lielgabali, tiešās enerģijas ieroči un EM aizsardzības līdzekļi. Smagie HEP transportlīdzekļi var ražot “eksportējamu” elektroenerģiju citu iekārtu darbināšanai.

Diemžēl HEP elektrosistēmai šobrīd pastāv nopietni ierobežojumi attiecībā uz darbības temperatūru un lietošanas laiku, kas ierobežo šādu transportlīdzekļu izmantošanu.

#### ATSAUCES

1. Rolls-Royce Military Vehicle Electric Drive Systems. [www.army-technology.com](http://www.army-technology.com)
2. Shadow-Reconnaissance, Surveillance and Targeting Vehicle (RST-V); <http://defense-update.com/products/s/Shadow-afv.htm>
3. TR-AVT-047 All Electric Combat Vehicles (AECV) for Future Applications 2004 234 p. [www.rta.nato.int](http://www.rta.nato.int)
4. Johnny Kegglar, Gylty as Charged! *Armada International* 1/2009, p. 58. [www.armada.ch](http://www.armada.ch)
5. [www.electric-fuel.com/military.html](http://www.electric-fuel.com/military.html)
6. G. William and M. J. Holt, “Vehicle Electrical Power Supply Systems and Their Impact on System Design”, *Proc. I. Mech. Engr (UK)*, Vol. 206, pp. 149-159, 1992.
7. P. Nicastrì and H. Huang, “42 V Power Net: Providing the Vehicle Electrical Power for the 21 st Century”, SAE 2000 paper # 2000-01-3050.
8. A. Jordan, Meeting transient specifications For electrical systems in military vehicles, 2004 APPNOTE Mil VTS, p.8; [www.vicor-power.com](http://www.vicor-power.com)
9. Energy Storage for Hybrid Military Vehicles [www.defensetechbriefs.com/content/view/1141/36/](http://www.defensetechbriefs.com/content/view/1141/36/)
10. [www.rasertech.com/uptospeed/](http://www.rasertech.com/uptospeed/)
11. S. Shah, A. Walker, M. U., Lampérth, “Hybrid Technology for Heavy Commercial Vehicles”, Britain’s Younger Engineers Exhibition, London UK, 2002, [www.imperial.ac.uk/mehybridpower/papers.html](http://www.imperial.ac.uk/mehybridpower/papers.html)
12. [www.spacewar.com/Military\\_Technology](http://www.spacewar.com/Military_Technology)

---

*Juris Ķiploks, Riga Technical University, Ivars Raņķis, Riga Technical University*

#### Hybrid Electrical Drive for Military Vehicles

The article deals with the use of hybrid electrical drive in military vehicles. The hybrid electric drive system consists of two power sources, the engine generator and energy storage system and provides energy storage in high density batteries to supply the systems of the vehicle and support the main engine at operational peak. To start with, a historical overview has been given to get an insight into the history of the electric drive development and to show the contemporary developments. The article lists and explains the specific requirements for military vehicles and electric drive benefits and advantages for the military. The issues related to the electric drive development are discussed in the context of possible technical solutions. Technical problems encountered in practice are emphasized. The conclusions deal with the advantages and disadvantages of the electric drive in military vehicles. The main drawbacks hampering a widespread application of the electrical drive are the expensiveness of electrical elements, the large dimensions of the energy storage equipment, as well as their weight. Nevertheless, we can expect rapid development of this kind of drive due to the gains of energy saving and building an autonomous moving platform. The future development of autonomous machines will be of great importance and the electric drive has got a number of significant advantages – reaction speed, accuracy and direct flow of information providing. Hybrid electric drive systems provide better fuel economy than their mechanical counterparts and may recover energy during braking. This system can support silent watch operations. Hybrid trucks can also generate “exportable” power to run other equipment.