

Návrh a konštrukčné riešenie BLDC motora s axiálnym magnetickým tokom pre pohon invalidného vozíka

Design and construction of BLDC motor with axial magnetic flux for wheelchair drive

Ján Kaňuch

jan.kanuch@tuke.sk

Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská Republika

Abstrakt — Článok v prvej časti sa zaoberá návrhom koncepcie pohonu invalidného vozíka s trojfázovým dvoj-diskovým BLDC motorom. V článku sú uvedené a popísané výsledky konštrukčného a elektromagnetického návrhu diskového bezkefového motora s centrálnym drážkovaným statorom a dvojitém vonkajším rotorom vhodným pre umiestnenie v 24“ zadnom kolese invalidného vozíka.

Kľúčové slová — BLDC motor, invalidný vozík, bezkefový motor, diskový elektromotor.

Abstract — This In its first part, the article deals with suggested concept of the wheelchair drive using a three-phase double-disc BLCD motor. Presented and described in the article are results of electromagnetic design and construction of the disc brushless motor with central slotted stator and double outer rotor with permanent magnets that has been found to be suitable for its positioning within 24” rear wheel of a wheelchair.

Keywords — BLCD motor, . wheelchair, brushless motor, disc electric motor

I. ÚVOD

Jednosmerné motory s budením permanentnými magnetmi (PM), vnútorným rotorom a mechanickým komutátorom sú dnes priemyselným štandardom čo sa týka elektrického pohonu invalidných vozíkov. Výsledná účinnosť takéhoto pohonu (menič, motor a prevodovka) bez záťaže sa pohybuje na úrovni 80%, v prípade so záťažou klesá celková účinnosť pohonu až na úroveň 50%. Celkovú účinnosť pohonu veľmi ovplyvňujú aj výkonnostné parametre batérie, ako sú kapacita, životnosť, špičkový prúd a doba výdrže medzi nabitím batérie. Rýchlosť a dojazd elektrického invalidného vozíka závisí práve na kondícii napájacej batérie. Konštrukcia elektrického pohonu vozíka, typ motora, hmotnosť a typ pohonnej batérie ovplyvňujú výsledné parametre vozíka, ako je jeho dojazd, maximálna rýchlosť, nosnosť, celková hmotnosť, šírka a výška. Konštrukčné prvky, ako sú prevodovka a iné prevodové prvky, napríklad pohonné remene a ložiská sú častým zdrojom hluku a vytvárajú odpor pre elektrický pohon, čím znižujú jeho účinnosť. Použitie jednosmerných motorov s mechanickým komutátorom vyžaduje pravidelnú údržbu, prípadne výmenu a tiež spôsobuje hluk.

Elektrické invalidné vozíky sú zvyčajne oveľa ťažšie ako vozíky s manuálnym pohonom, pretože rám musí byť silnejší a

robustnejší s cieľom odolať hmotnosti užívateľa, batérie a elektrických motorov. Miera prepracovanosti elektrických invalidných vozíkov sa veľmi líši v závislosti od výrobcu a určenia vozíka od štandardnej konštrukcie s batériami, motormi a ovládačom smeru a rýchlosti až ku konštrukciám riadených pomocou mikroprocesora s gyroskopickým obvodom, ktorý umožňuje vozíku stáť len na dvoch kolesách.

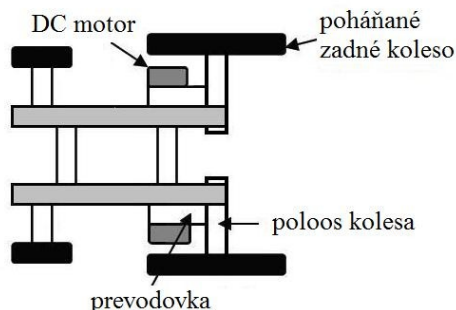
Koncepcie pohonu elektrických invalidných vozíkov sa líšia. Dnešné elektrické invalidné vozíky majú štyri až šesť koles, väčšinou majú neskladaciu konštrukciu, ale existujú aj vozíky s čiastočne skladacou konštrukciou. Tieto rôzne koncepcie pohonu dávajú rôzne vlastnosti daným invalidným vozíkom. Štyri základné koncepcie pohonu elektrických vozíkov sú [1]:

- Vozíky s poháňanými zadnými kolesami – je to najbežnejšia koncepcia pohonu s ktorou invalidný vozík dokáže dosahovať najvyššie rýchlosti zo všetkých popísaných koncepcií. Nevýhodou je zhoršená obratnosť najmä v malých priestoroch v porovnaní s predným a stredným náhonom [2].
- Vozíky s poháňanými prednými kolesami - táto koncepcia pohonu pre motorizovaný invalidný vozík dosahuje nižšie rýchlosti ako koncepcia so zadným pohonom. Výhodou sú však lepšia obratnosť pri prejazde ostrejších zákrut, ale ovládateľnosť v stiesnených priestoroch nie je lepšia [2].
- Vozíky šesťkolesové s poháňanými strednými kolesami - najväčšou výhodou tejto koncepcie pohonu je najlepšia obratnosť s možnosťou otáčania sa a najlepšie vyhovuje pre použitie v stiesnených vnútorných priestoroch. Nevýhodou je, že vozík môže byť čiastočne nestabilný pri zastavovaní a aj rozbehu a je vhodný len pre rovné povrchy. Vozík má dve hnacie kolesá, ktoré sú v strede vozíka a štyri pomocné kolesá [2].
- Vozíky s poháňanými všetkými kolesami a iné špeciálne koncepcie: K tejto skupine pohonu patria konštrukcie so všetkými štyrmi alebo šiestimi poháňanými kolesami, určené pre pohyb v náročnom a klzkom teréne akým je štrk, piesok alebo blato. Ďalej sú to rôzne špeciálne a experimentálne konštrukcie elektrických invalidných vozíkov určené pre neštandardné použitie. Tým je prekonávanie prekážok ako napríklad obrubníkov a schodov, pohony s pásmi namiesto kolies pre pohyb na snehu, konštrukcie s iným počtom a rozložením kolies ako je bežné [3,4].

Rôzne druhy pohonov elektrických invalidných vozíkov a ich vlastnosti sú zobrazené a popísané v literatúre [5-8].

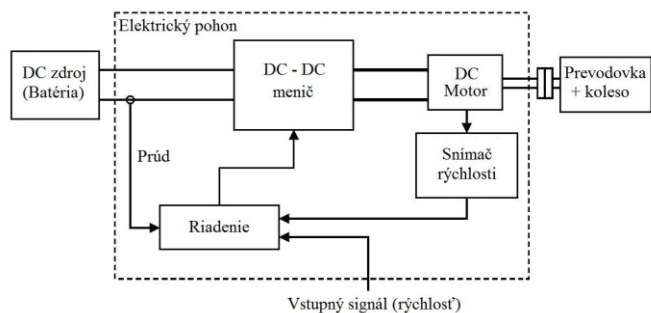
II. SÚČASNÁ NAJBEŽNEJŠIA KONCEPCIA POHONU INVALIDNÉHO VOZÍKA

Ako už bolo spomenuté v úvode a po preštudovaní dostupných materiálov, tak väčšina v súčasnosti predávaných elektrických invalidných vozíkov a skútrov využíva pre pohon klasické jednosmerné motory s budením feritovými permanentnými magnetmi (a mechanickým komutátorom) spojených prevodovkou s kolesom, čiže je to nepriamy pohon vozíka (Obr. 1).



Obr. 1. Najrozšírenejšia koncepcia pohonu elektrického invalidného vozíka

Napájacie napätie zdroja sa reguluje pomocou DC-DC meniča, ktorým sa napájajú jednotlivé motory. DC-DC menič je riadený mikroprocesorovou riadiacou jednotkou (Obr. 2)



Obr. 2. Bloková schéma elektrického pohonu invalidného vozíka

V meničoch sa používa šírko-impulzová modulácia s vysokou frekvenciou, pomocou ktorej sa s vysokou rýchlosťou zapínajú a vypínajú tieto motory podľa požiadavky na určitú rýchlosť vozíka. Rovnakým spôsobom sa vykonáva aj reverzácia motorov pri potrebe zmeny smeru, len s opačnou polaritou napájacieho napätia a je realizovaná pomocou relé. Takéto motory s prevodovkou má zvyčajne dva. Málo využívané je použitie jedného motora s mechanickým diferenciálom [9].

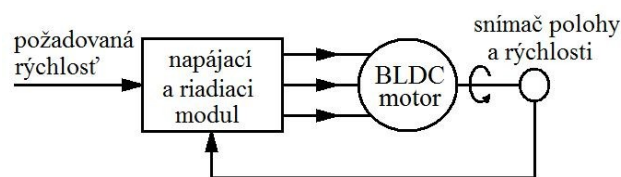
III. KONCEPCIA POHONU INVALIDNÉHO VOZÍKA S DISKOVÝM BLDC MOTOROM

Pre pohon invalidného vozíka je zvolený priamy pohon (bez prevodovky) s poháňanými zadnými kolesami so štandardnou veľkosťou 24". Túto konštrukcia je zvolená aj kvôli jej jednoduchosti. V každom zadnom kolese bude umiestnený jeden diskový BLDC motor. Pohon zadných kolies je najbežnejšia konštrukcia pohonu pre motorizovaný invalidný vozík, s ktorou vozík dokáže dosahovať najvyššie rýchlosti, má dobrú stabilitu a pomerne dobré manévrovacie schopnosti vo vnútorných aj vonkajších priestoroch. Pri návrhu sa počíta s prestav-

bou nemotorizovaného vozíka na motorizovaný výmenou zadných kolies za kolesá s integrovaným diskovým BLDC motorom, pridaním batérie a meniča s ovládaním (joystick) a potrebnými mechanickými úpravami. Výhody priameho pohonu oproti nepriamemu pohonu sú napríklad:

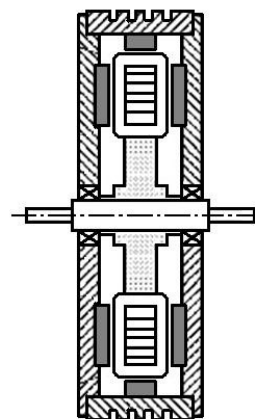
- eliminácia prevodovky, reťaze, remeňov alebo iných prevodových prvkov,
- pohon bez prevodov je tichší,
- zlepšenie spoľahlivosti a výkonu takéhoto systému,
- zníženie nákladov inštalácie, počtu potrebných komponentov,
- systém eliminuje pretáčanie jedného kolesa,
- zvýši sa účinnosť, čo znamená väčší dojazd na jedno nabitie batérie a zníženie nákladov na prevádzku.

Základnými prvkami pohonu s jednosmerným bezkefovým motorom sú: BLDC motor, napájací modul, snímač polohy rotora (enkóder, resolver, Hallové snímače), generátor signálu pre spínače, prúdový snímač a riadiaci modul (napríklad mikroprocesor alebo počítač s digitálnym signálovým procesorom). Zjednodušená bloková schéma je zobrazená na obr.3 [14,15].



Obr. 3. Bloková schéma elektrického pohonu s BLDC motorom

V súčasnosti sa pomerne často používa disková obojstranná konštrukcia BLDC motora s centrálnym statorom bez drážok. Motor má viacfázové toroidné statorové vinutie navinuté na statorovom feromagnetickom jadre a nie v drážkach. Statorové jadro je buď vyrobené lamináciou oceľovej pásky ako pri jednostrannej konštrukcii alebo kompaktné, vyrobené práškovou metalurgiou (spekaním). Celková vzduchová medzera je ale rovná hrúbke statorového vinutia, mechanickej vôle a hrúbke PM v axiálnom smere. Ináč sa tento motor nazýva aj ako dvojrotorový BLDC s PM na oboch stranách statora a je zobrazený na obr.4 [14].



Obr. 4. Diskový obojstranný BLDC motor s centrálnym statorom bez drážok

Vzhľadom k pomerne veľkej vzduchovej medzere maximálna magnetická indukcia v motore neprevyšuje 0,65 T. Magnetický obvod je nenasýtený. Pre vyššie hodnoty indukcie je potrebný veľký objem permanentných magnetov.

IV. ELEKTROMAGNETICKÝ NÁVRH A KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE BLDC MOTORA S AXIÁLNYM TOKOM

Vzhľadom na pomerne veľkú vzduchovú medzeru pri diskovom obojstrannom BLDC motore s centrálnym statorom bez drážok bol urobený návrh motora s drážkovaným statorom. Pre návrh diskového trojfázového BLDC motora s dvojitým vonkajším rotorom a centrálnym drážkovaným statorom bolo potrebné definovať základné parametre pohonu a požadované výkonnostné parametre invalidného vozíka. Výpočet všetkých parametrov, koeficientov a rozmerov bol urobený pomocou programu Matlab 2013a, v ktorom je vytvorený m-file. Tento skript obsahuje všetky počítačové požadované výkonnostné parametre vozíka a všetky rovnice potrebné k výpočtu finálnych rozmerov a parametrov diskového BLDC motora s dvojitým vonkajším rotorom a centrálnym drážkovaným statorom. Základné parametre potrebné pre návrh motora sú uvedené v Tabuľke 1.

TABUĽKA I ZÁKLADNÉ PARAMETRE POTREBNÉ PRE NÁVRH MOTORA

Parameter	Hodnota
Nominálne napájacie napätie zdroja	24 V
Maximálna hmotnosť vozíka	130 kg
Požadovaná rýchlosť vozíka pri nominálnom momente	10 km/hod.
Požadované zrýchlenie vozíka	1 m.s ⁻²
Požadované maximálne stúpanie do kopca	5 %
Polomer kola (pri použití štandardného 24" kola)	0,3048 m
Obvod 24" kola	1,9151 m
Uhlová rýchlosť 24" kola pri požadovanej nominálnej rýchlosti	9,02 rad
Koeficient valivého odporu pneumatiky	0,0212

Na výpočet požadovaných parametrov, pokiaľ ide o výkon a krútiaci moment dvoch diskových BLDC motorov s axiálnym tokom v statore, ktoré sú umiestnené v 24" kolesách, bol použitý zjednodušený model dynamiky vozíka. Vypočítané hodnoty síl, momentu motora a otáčok motora sú uvedené v Tabuľke 2.

TABUĽKA II ZÁKLADNÉ PARAMETRE POTREBNÉ PRE NÁVRH MOTORA

Parameter	Hodnota
Valivý odpor	27,04 N
Odpor pri maximálnom stúpaní	63,41 N
Ťažná sila na dosiahnutie požadovaného zrýchlenia	220,45 N
Celkový odpor pre jeden motor	110,22 N
Požadovaný krútiaci moment motora	34 Nm
Požadovaný výkon motora	307 W
Nominálne otáčky motora za sekundu	1,44 ot./s
Nominálne otáčky motora za minútu	86 ot./min.

Výpočet rozmerov rotorového disku závisí hlavne od dosiahnuteľnej magnetickej indukcie na povrchu permanentných magnetov a maximálnej magnetickej indukcie v jarmе vonkajšieho rotora. Preto bol zvolený materiál permanentných magnetov NdFeB triedy N38 [13] a urobený výpočet hrúbky permanentných magnetov od ich plochy a od potrebného objemu permanentných magnetov pre daný výkon motora.

Jednotlivé výpočty rozmerov a parametrov pohonného BLDC motora boli realizované tiež pomocou skriptu v m-file programu Matlab 2013a. Tento skript je možné použiť pri ďalšom návrhu jednoduchou zmenou požadovaných vlastností a parametrov. Výsledné parametre navrhnutého motora sú zobrazené v Tabuľke 3.

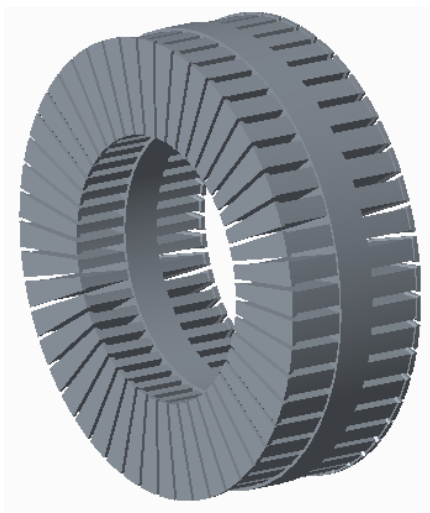
TABUĽKA III VÝSLEDNÉ PARAMETRE NAVRHNUTÉHO DISKOVÉHO TROJFÁZOVÉHO BLDC MOTORA

Parameter	Hodnota
Vstupná frekvencia	23 Hz
Vstupné napätie zdroja	24.0 V
Nominálny prúd motora	14.213 A
Výkon motora	307.0 W
Počet fáz	3
Zapojenie vinutia	Y
Nominálny moment motora	34.0 Nm
Nominálne otáčky motora	86 ot/min
Počet pólov motora	32
Vnútorný priemer statora	130.0 mm
Vonkajší priemer statora	224.0 mm
Vzduchová medzera	0.5 mm
Efektívna dĺžka statorového jadra	47.0 mm
Celková dĺžka motora	106.5 mm
Cievkový rozstup v počte cievok	1
Počet závitov na fazu	130
Počet paralelných vodičov vinutia	1
Počet statorových drážok na jednej strane motora	48
Priemer vodiča statorového vinutia	1.8 mm
Šírka otvorenia statorovej drážky	2.0 mm
Materiál permanentných magnetov	NdFeB N38
Výška permanentných magnetov	47.0 mm
Uhol permanentných magnetov	7.5 °
Šírka permanentných magnetov	14.65 (8.5) mm
Dĺžka permanentných magnetov	3.0 mm
Remanentná magnetická indukcia magnetov	1.22 T
Intenzita magnetickeho poľa magnetov	955.0 kA/m

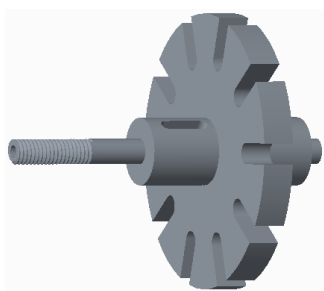
Na základe výpočtov parametrov motora boli vytvorené 3D modely jednotlivých častí motora v programe PTC Creo Parametric 3.0 M060.

Model magnetickeho obvodu statora (3D) je zobrazený na obr. 5 a 3D model hriadeľa, na ktorý bude navarený magnetickeý obvod statora je zobrazený na obr. 6.

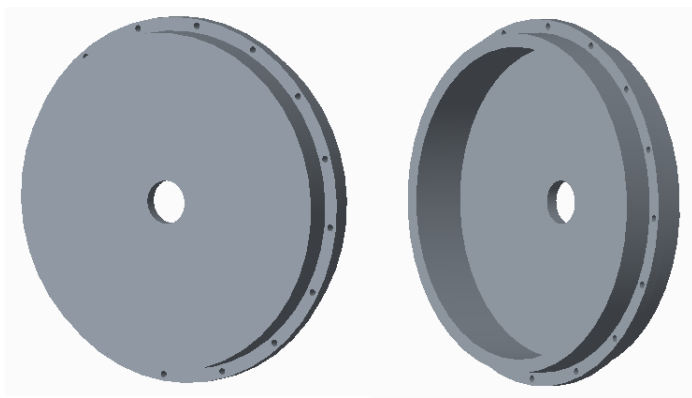
Na obrázku 7 je zobrazený 3D model obidvoch rotorových diskov, na ktoré z vnútornej strany budú vhodným lepidlom prilepené permanentné magnety (striedavo s opačnou magnetickeou polaritou „Sever - Juh“, ako je to zobrazené na obrázku 8) požadovaného tvaru (kruhový výsek s presne určeným uhlom) a vypočítaných rozmerov. Hrúbka permanentných magnetov sa vypočíta na základe ich plochy a potrebného objemu pre daný výkon motora. Na obrázku 8 je zobrazený 3D model navrhnutého motora v rozloženom pohľade.



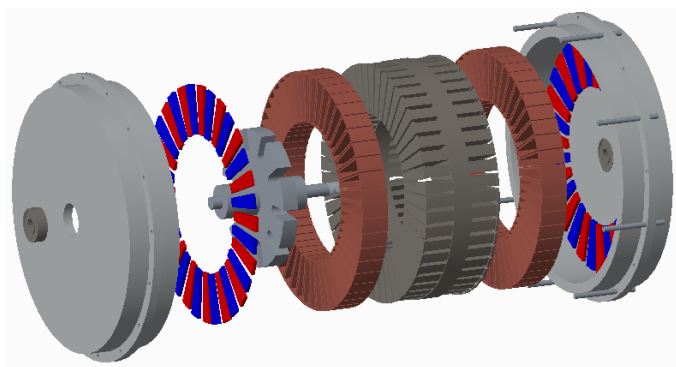
Obr. 5. Model magnetického obvodu statora



Obr. 6. Model hriadeľa motora

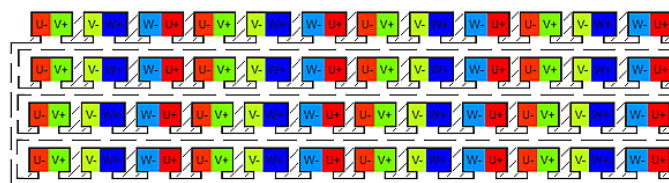


Obr. 7. Model rotorových diskov



Obr. 8. Model motora v rozloženom pohľade

Motor má trojfázové 32 pólové dvojvrstvové vinutie umiestnené v obojstranne drážkovanom statore, ktorého jednotlivé fázy sú spolu zapojené do hviezdy (Y).



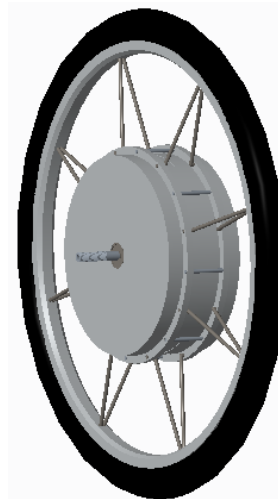
Obr. 9. Rozloženie dvojvrstvového vinutia v drážkach statora

Toto zapojenie je oproti zapojeniu do trojuholníka (D) vhodnejšie pre pohon napájaný z batérie, pretože má nižšie Jouleové straty pri rovnakých rozmeroch motora. Výsledné umiestnenie jednotlivých cievok trojfázového dvojvrstvového statorového vinutia v drážkach stroja je schematicky zobrazené na obrázku 9.

Drážkovaný stator a navinutie jeho cievok sú síce zložitejšie a nákladnejšie na výrobu oproti hladkému statoru a toroidnému vinutiu, ale pri tejto konštrukcii je potrebná len polovica objemu PM a tieto magnety sú najdrahšími prvkami v konštrukcii motora. Tento typ motora má oproti radiálnemu motoru oveľa menšiu hrúbku a vyšší výkon pri rovnakom objeme.

V. VÝSLEDNÝ NÁVRH KONCEPCIE ELEKTRICKÉHO POHONU INVALIDNÉHO VOZÍKA

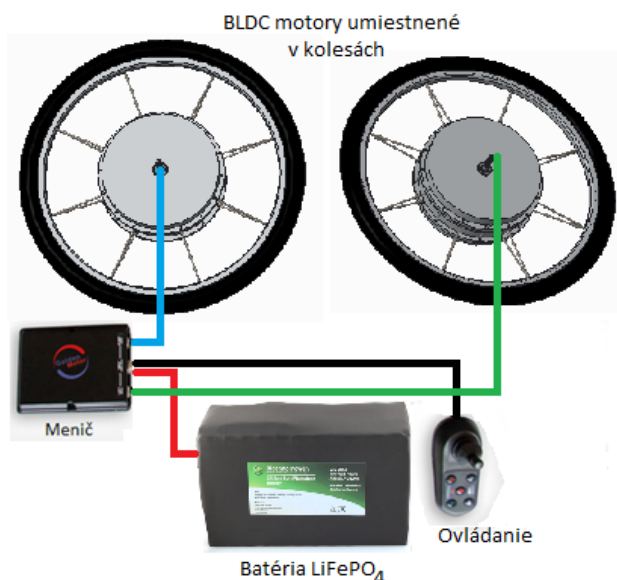
Model (3D) navrhovaného diskového trojfázového BLDC motora s dvojitým vonkajším rotorom umiestneného priamo v kolede invalidného vozíka je zobrazený Obr. 10.



Obr. 10. Umiestnenie BLDC motora v kolese - 3D model

Výsledný návrh koncepcie elektrického pohonu invalidného vozíka, zložený z dvoch diskových BLDC motorov umiestnených v zadných kolesách invalidného vozíka, riadiaceho modulu s meničom pre obidva BLDC motory, ovládania a batérie, je zobrazený na Obr. 11.

Riadiaci modul s meničom pre obidva BLDC motory spolu s ovládaním pomocou joystiku je zvolený od firmy Golden Motor Technology Co Ltd. typ IM-50B, ktorý je priamo určený pre elektrický pohon invalidného vozíka. Je určený pre batériu s napájacím napätím 24 V a môže dodávať trvalo prúd s hodnotou 40 A pre oba motory, má päť stupňov rýchlosti a umožňuje rekuperačné brzdenie.



Obr. 11. Koncept elektrického pohonu invalidného vozíka

Keďže akumulátor je jeden z najdrahších a najťažších prvkov celej sústavy, je treba dbať zvýšenú pozornosť nielen na definovanie jednotlivých parametrov akumulátora, ale tiež na výber samotného typu. Nevhodný výber akumulátora môže značne zvýšiť hmotnosť vozíka, prípadne akumulátor nebude mať dostatočnú kapacitu na pokrytie požadovaného odberaného výkonu alebo nedokáže dodať dostatočný prúd motorom napríklad pri zvýšenom zaťažení. Vhodný typom akumulátorov sú LiFePO₄, kde je cena dvojnásobná oproti oloveným akumulátorom, ale životnosť je minimálne trojnásobne vyššia a majú ďalšie veľmi výhodné parametre [11].

Pre pohon vozíka bol zvolený teda LiFePO₄ akumulátor od firmy Bioenno Power BLF-2420W s nominálnym napätím 24 V a kapacitou 20 Ah (Obr. 12) [12].

Obr. 12. Akumulátor Bioenno Power BLF-2420W LiFePO₄

Akumulátor je možné v prípade zvýšených požiadaviek zameniť za iný s vyššou kapacitou, ale na každých 5 kg hmotnosti akumulátora pripadá kapacita približne 20 Ah.

VI. ZÁVER

V článku sú uvedené výsledky návrhu elektrického pohonu invalidného vozíka s využitím diskových bezkefových jednosmerných motorov ako pohonných motorov. Sú tu stručne popísané aj súčasné konvenčné konštrukcie elektrického pohonu invalidných vozíkov s využitím motorov. Poznatky z literatúry boli využité pri návrhu koncepcie elektrického pohonu invalidného vozíka. V ďalšej časti je uvedený výber typu konštrukcie pohonu invalidného vozíka, konštrukčný a elektromagnetický návrh trojfázového diskového BLDC motora s vonkajším rotorom s permanentnými magnetmi (PM), výber

typu riadenia a ovládania elektrického pohonu vozíka, ako aj výber akumulátora.

Hlavným prínosom je podrobný elektromagnetický návrh diskového jednosmerného bezkefového motora s PM. Jednotlivé výpočty rozmerov a parametrov motora boli realizované pomocou skriptu v m- file programu Matlab 2013a. Tento skript je možné použiť pri ďalšom návrhu elektrického pohonu invalidného vozíka alebo aj iného malého vozidla jednoduchou zmenou požadovaných vlastností a parametrov. Pre každý konštrukčný prvok motora bola vytvorená 3D vizualizácia v programe PTC Creo Parametric 3.0 M060.

S využitím programu Matlab je možné v budúcnosti urobiť optimalizáciu vypočítaných rozmerov a parametrov diskového BLDC motora s centrálnym drážkovaným statorom a dvojitém rotorom pomocou elektromagnetickej simulácie v programoch typu FEA/FEM (simulácia s konečným počtom prvkov). Taktiež na základe konštrukčného a elektromagnetického návrhu trojfázového diskového BLDC motora je možné vyrobiť aj funkčnú vzorku motora a následne vykonať reálne meranie na tomto motore pre overenie jeho parametrov.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená projektom vedeckej grantovej agentúry podľa zmluvy č.: VEGA 1/0121/15.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] A Guide to Electric Wheelchairs [Online]. [cit. 2017-03-06]. Dostupné na internete: <http://www.apparelyzed.com/wheelchair/electric-wheelchairs.html>
- [2] MDA Quest Magazine: Front, Middle or Rear? [Online]. [cit. 2017-03-13]. Dostupné na internete: <http://quest.mda.org/article/front-middle-or-rear-finding-power-chair-drive-system-thats-right-you>
- [3] Power4: P4 Country [Online]. [cit. 2017-03-13]. Dostupné na internete: <http://www.fourpowerfour.com/presentation-4x4-electric-wheelchair.asp>
- [4] DEKA Research and Development: Technologies and Applications - iBOT [Online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné na internete: <http://www.dekaresearch.com/ibot.shtml>
- [5] Zadný pohon [Online]. [cit. 2016-04-03]. Dostupné na internete: http://www.steeringdevelopments.co.uk/_assets/img/products/sdmotiondrive/01_sdmotiondrive.jpg
- [6] Stredný pohon [Online]. [cit. 2017-04-03]. Dostupné na internete: http://quest.mda.org/files/images/Quest2/18.4/permobil_m300.jpg
- [7] Predný pohon [Online]. [cit. 2017-04-03]. Dostupné na internete: <http://www.caring-for-aging-parents.com/images/motorized-wheelchair9.jpg>
- [8] IBOT [Online]. [cit. 2017-04-03]. Dostupné na internete: <http://www.aidn.com/wp-content/uploads/2014/02/ibot.jpg>
- [9] Stakeholder Forum on Wheeled Mobility [Online]. [cit. 2016-03-13]. Dostupné na internete: <http://t2recr.buffalo.edu/pubs/forums/mobility/mobility.pdf>
- [10] Golden Motor Technology Co Ltd.: Technologický list pre riadiaci modul IM-50B, Dostupné na internete: <http://www.goldenmotor.com/>
- [11] M. Straka, "Využití fotovoltaiických systému v off-grid aplikacích", diplomová práca, Vysoké učení technické v Brně, Brno, Česká republika, 2012.
- [12] Bioenno Power BLF-2420W [Online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné na internete: <https://www.bioennopower.com/pages/24v-20ah-lifepo4-battery>
- [13] Grades of Neodymium [Online]. [cit. 2016-04-19]. Dostupné na internete: http://www.ndfeb-info.com/neodymium_grades.aspx
- [14] J. F. Gieras, M. Wing, *Permanent magnet motor technology*. Marcel Dekker Inc., New York, 2002.
- [15] J. F. Gieras, R. J. Wang, M. J. Kamper, *Axial flux permanent magnet brushless machines*. Kluwer Academic Publishers, USA 2004.

J. Kaňuch - je absolvent Vysokej školy technickej v Košiciach, Elektrotechnická fakulta, Katedra elektrických pohonov v odbore Silnoprúdová elektrotechnika so zameraním na elektrické stroje a prístroje (Ing. 1986). Odvtedy pracuje na danej katedre (v súčasnosti Katedra elektrotechniky a mechatroniky na Fakulte elektrotechniky a informatiky Technickej Univerzi-

ty v Košiciach) ako odborný asistent. V roku 2006 získal titul PhD. v odbore Silnoprúdová elektrotechnika.

Oblasti profesijného a odborného záujmu: Elektrické stroje a prístroje, Grafické CAD systémy, Elektrické pohony, Automobilová elektrotechnika a mechatronika, EMC, Priemyselná elektronika a Technická dokumentácia.