

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



**Použití akumulátorů jako zdroje elektrické energie
pro pohon zemědělských strojů**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. František Kumhála

Autor práce: František Falta

Praha 2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

František Falta

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Použití akumulátorů jako zdroje elektrické energie pro pohon zemědělských strojů.

Název anglicky

Use of batteries as a source of electricity to power agricultural machinery.

Cíle práce

Na základě literární rešerše budou vyhodnoceny aktuální směry vývoje použití akumulátorů jako zdroje elektrické energie pro pohon zemědělských strojů. Následně budou zhodnoceny současné výhody a nevýhody použití akumulátorů.

Metodika

Student se seznámí s literaturou zaměřenou na pohony a zdroje energie u zemědělských strojů a dále na elektrické pohony a akumulátory jako zdroje elektrické energie. Na základě získaných poznatků posoudí možnosti využití akumulátorů pro pohon zemědělské techniky.

Práce by měla mít následující strukturu:

1. Úvod.
2. Literární rešerše zaměřené na zdroje energie a pohony zemědělské techniky.
3. Literární rešerše zaměřená na elektrické akumulátory jako zdroje energie.
4. Možnosti využití elektrických akumulátorů pro pohon zemědělské techniky.
5. Závěr.

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran

Klíčová slova

zemědělské stroje, elektrická energie, elektrické pohony

Doporučené zdroje informací

Cenek, M., Jindra, J., Jon, M., Kazelle, J., Kozumplík, J., Vrba, J.: Akumulátory-od principu k praxi. FCC Public, 2003, 300 s., ISBN 80-86534-03-0

Kumhála, F., Heřmánek, P., Mašek, J., Kvíz, Z., Honzík, I.: Zemědělská technika-stroje a technologie pro rostlinnou výrobu. Praha: ČZU Praha v nakladatelství powerprint s.r.o., 2007, 426 s. ISBN 978-80-213-1701-7

Sborníky z konferencí Landtechnik-Agricultural Engineering, vědecké časopisy Biosystems Engineering, Computers and Electronics in Agriculture, firemní literatura, odborné časopisy (Farmář, Mechanizace zemědělství).

Srivastava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, R. P.: Engineering Principles of Agricultural Machines, ASAE Textbook No. 6, ASAE 2950 Niles Road, St Joseph, Michigan 49085-9659, Pamela DeVore-Hansen-Editor, Books and Journals, USA, 1993, ISBN 0-929355-33-4

Stout, B. A., Cheze, B: CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Volume III – Plant Production Engineering. ASAE 2950 Niles Road, St Joseph, Michigan 49085-9659, USA, 1999, ISBN 1-892769-02-6

Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 1. 2. 2021

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 07. 10. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Použití akumulátorů jako zdroje elektrické energie pro pohon zemědělských strojů" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18. března 2022

Poděkování

Velmi rád bych poděkoval prof. Dr. Ing. Františku Kumhálovi za čas strávený konzultacemi, trpělivou pozornost, kterou věnoval této bakalářské práci a cenné myšlenkové podněty. Také bych rád poděkoval Ing. Františku Vimrovi ze spol. STROM PRAHA a.s. za čas věnovaný společné konzultaci. V neposlední řadě děkuji za trpělivost, podporu a shovívavost rodině a přátelům.

Použití akumulátorů jako zdroje elektrické energie pro pohon zemědělských strojů

Abstrakt

Práce mapuje aktuální stav vývoje použití akumulátorů v zemědělské technice. V první části jsou sepsány hlavní zdroje energie na naší planetě, na které navazuje rešerše hlavních druhů pohonů zemědělské techniky. V druhé části práce mapuje nejčastěji používané elektrické akumulátory. V poslední části se nachází přehled směrů vývoje zemědělské techniky na elektrický pohon a přehled významných prototypů a projektů. Na konci práce je uvedeno zhodnocení, zdali a za jakých podmínek dává smysl v dnešní době vývojový směr použití akumulátorů v zemědělské technice. Součástí je základní ekonomické zhodnocení této problematiky.

Klíčová slova: zemědělská technika, akumulátory, baterie, pohony, elektrický pohon

Use of batteries as a source of electricity to power agricultural machinery

Abstract

The thesis maps the current state of the development of the use of batteries in agricultural technology. In the first part, the main sources of energy on our planet are listed, followed by a survey of the main types of drives for agricultural machinery. The second part of the thesis describes the most commonly used electric batteries. The last part gives an overview of the development directions of electrically powered agricultural equipment and a review of important prototypes and projects. At the end of the thesis, an evaluation is given as to whether and under what conditions the development direction of using batteries in agricultural technology makes sense today. A basic economic assessment of the issue is included.

Keywords: agricultural equipment, accumulators, batteries, drives, electric drive

Obsah

1 Úvod.....	9
2 Cíl práce a metodika	10
3 Literární rešerše zaměřená na zdroje energie a pohony zemědělské techniky ..	11
3.1 Zdroje energie	11
3.1.1 Fosilní paliva.....	12
3.1.2 Současná biopaliva (dřevo, methanol, ethanol)	12
3.1.3 Jaderná energie	13
3.1.4 Vodík	14
3.2 Pohony.....	14
3.2.1 Parní stroj.....	14
3.2.2 Pohon spalovacím motorem.....	15
3.2.3 Elektrický pohon.....	15
3.2.4 Hybridní pohon	17
4 Literární rešerše zaměřená na elektrické akumulátory jako zdroje energie	20
4.1 Ukládání energie	20
4.2 Galvanický článek.....	20
4.2.1 Olověný akumulátor	21
4.3 Lithium-iontové akumulátory	22
4.3.1 Princip.....	23
4.3.2 Varianty lithiových akumulátorů	23
5 Možnosti využití elektrických akumulátorů pro pohon zemědělské techniky ...	26
5.1 Monarch Tractor.....	26
5.1.1 Případová studie na Wente Vineyards	27
5.2 Pohled z praxe – konzultace ve spol. STROM PRAHA a.s.....	28
5.3 Hybridní traktory.....	30
5.4 Porovnání a myšlenkové směry, ekonomické zhodnocení	31
5.4.1 Srovnání elektrického a naftového traktoru.....	31
6 Závěr.....	34
7 Bibliografie	35

1 Úvod

Jsme svědky převratných technologických změn, které se dotýkají snad všech odvětví lidské činnosti včetně zemědělství. Jsou zaváděny nové principy založené na sběru velkého množství dat a jejich vyhodnocování vedoucí k neustálému zvyšování efektivity a produkce. Ve jménu ochrany přírody jsou vymyšlena nejrůznější řešení spalovacích motorů vedoucí ke snižování emisí, a to takovým způsobem, který začíná pomalu narážet na fyzikální limity. Hledá se alternativa, která by ambiciózní cíle snižování emisí, vytyčené Evropskou unií, vyřešila jednou provždy.

Jedním z takových řešení se nabízí elektrifikace vozidel a jejich pohon na baterie. V automobilovém průmyslu už můžeme pozorovat sériovou výrobu několika modelů osobních automobilů, které jsou poháněné pouze elektřinou. Přesto se jich na českém trhu prodalo v roce 2021 jen 1,4 % (1).

Čeká podobný osud elektrifikace také zemědělskou techniku? V této práci uvádím přehled novodobého trendu elektrifikace zemědělské techniky a použití akumulátorů pro její pohon. Hlavním tématem je otázka, jestli přechod na akumulátorové stroje dává v dnešní době smysl, nebo je ještě příliš brzy.

2 Cíl práce a metodika

Cílem této práce je zjistit na základě dostupných informací současný stav vývoje a využití akumulátorů pro pohon zemědělské techniky. Součástí práce by mělo být zhodnocení, zda je tento trend v současném pohledu smysluplný a životaschopný.

Pro vypracování práce jsem použil dostupné publikace a informace, především z internetových zdrojů, často také v cizím jazyce. Celková povaha zkoumaného tématu a jeho rychlá proměnlivost přímo vybízí k využití internetových zdrojů, které předchází ty tištěné. Kromě toho jsem čerpal také z dostupných katalogů prodejců zemědělské techniky.

3 Literární rešerše zaměřená na zdroje energie a pohony zemědělské techniky

3.1 Zdroje energie

Každé těleso v sobě obsahuje energii podle Einsteinovy teorie relativity. V současné době je tato energie pouze teoretickou hodnotou, neboť ji z tělesa neumíme celou získat. Abychom energii z tělesa získali, musíme ji efektivním způsobem přeměnit (2).

Autoři webu (3) vyjadřují určitou pochybnost při členění zdrojů energie podle obnovitelnosti nebo podle čistoty (či znečišťování). Dělí proto zdroje energie podle jejich původu tímto způsobem:

- A. Solární energie primární (sluneční teplo, fotovoltaické články)
- B. Solární energie odvozená:
 - a) biopaliva
 - fosilní (ropa, uhlí, zemní plyn, roponosné horniny)
 - subrecentní (hydráty metanu, rašelina)
 - současná (dřevo, metanol, ethanol, biologicky rozložitelné odpady, rostlinná hmota apod.)
 - b) větrná energie
 - c) oceánské zdroje (vlnění, podmořské proudy, teplo mořské vody)
 - d) energie slapových sil Slunce a Měsíce (přílivová energie)
- C. Energetické zdroje pozemské:
 - a) Jaderná energie (energie jaderného rozpadu, termojaderná fúze)
 - b) Gravitační energie (energie vodních toků)
 - c) Tepelná energie (geotermální, suché teplo hornin, teplo magmatu)
 - d) Rotační energie (převážně diferenciační – nevyužívaná)

D. Syntetické zdroje

- a) syntéza uhlovodíků
- b) vodík, jako nositel energií

3.1.1 Fosilní paliva

Fosilní paliva se utvářela miliony let z odumřelých organismů. Jejich využití známe od pravěku, ale ve velké míře došlo k využívání fosilních paliv počátkem průmyslové revoluce. Bohužel zdroje fosilních paliv nejsou neomezené a lidstvo do budoucna bude muset vymyslet způsob, jak tyto zdroje energie nahradí (3).

Ertelt ve své práci rozděluje fosilní paliva na pevná, kapalná a plynná a přímo jmenuje jejich zástupce: do pevných řadí antracit, černé uhlí, hnědé uhlí, lignit a rašelinu. Mezi kapalnými jmenuje ropu a jako plynné fosilní palivo uvádí zemní plyn (4).

Energii z fosilních paliv získáváme spalováním. Spalováním fosilních paliv se uvolňuje tepelná energie, kterou je možné následně transformovat na mechanickou a elektrickou energii (2).

Ropa je v dnešní době klíčovou surovinou. Z převážné části je spotřebována k zajištění dopravy (57,2 %), její další využití je jako energetická surovina (20 %) a přibližně 23 % je využito jako chemická surovina. Autoři uvádějí, že při současném tempu těžby ropy dojde k vyčerpání ložisek zhruba za 40 let, ovšem dávají naději v nalezení nových ložisek ropy, která tento konec těžby oddálí.

Uhlí je dalším velmi podstatným fosilním zdrojem. Černé a hnědé uhlí se využívá pro spalování v tepelných a parních elektrárnách, kde je tepelná energie přeměněna na elektrickou. Černé uhlí se těží v České republice už jen v moravskoslezské pánvi. Hnědé uhlí, které je hlavním zdrojem energie v ČR, je těženo v chomutovsko-mostecké, sokolovské a chebské pánvi pomocí povrchových dolů. Bohužel těžba uhlí (ať už povrchová nebo podpovrchová) má negativní vliv na okolní krajinu.

3.1.2 Současná biopaliva (dřevo, methanol, ethanol)

Topné dřevo bylo dříve používáno jako hlavní zdroj tepelné energie, než bylo nahrazeno uhlím a ropou. Topné dřevo se dnes používá hlavně v domácnostech nebo k výrobě ethanolu a methanolu (3).

V současné době roste produkce energetických plodin, jako je například kukuřice, cukrová třtina, řepka olejka, nebo třeba palmy, z kterých se získává buď rostlinný olej nebo ethanol. Růst produkce energetických plodin má za negativní následek potřebu zemědělské plochy na úkor potravinové produkce. Úbytek zemědělské půdy na úkor energetického využití způsobuje zvýšení ceny potravin.

V zahraničí jsou důsledky například v kácení tropických deštných pralesů, které ustupují výsadbě palmových polí. Druhotným důsledkem je likvidace přírodních úložišť CO₂, které se pak dostává do atmosféry.

Biopaliva bývají rozdělena do čtyř kategorií, jak píše ve svém článku Kakkar (5). Pro tuto klasifikaci neexistuje striktní technická definice, ovšem hlavní rozdíl mezi jednotlivými generacemi biopaliv je použitá surovina a související použitá metoda konverze.

První generace zahrnuje biopaliva vyráběná konvenčními způsoby. Tato biopaliva se obvykle vyrábí z cukrů, zrn nebo semen, tj. využívají pouze určitou část nadzemní produkované biomasy. Nejznámější biopalivo první generace je ethanol vyráběný fermentací cukrů získaných z plodin jako je cukrová třtina, cukrová řepa nebo kukuřice.

Druhá generace biopaliv se vyrábí z lignocelulózové biomasy. Ta zahrnuje nejdle zbytky z produkce potravinářských plodin nebo nejedlou biomasu celých rostlin.

Třetí generace biopaliv využívá neoranou půdu a je založená na integrovaných technologiích, které produkují jak vstupní surovinu, tak palivo a vyžadují zničení biomasy. Jsou podobná palivům druhé generace, ale vyžadují mnohem méně zdrojů. Nejslibnějším kandidátem na vstupní surovinu této kategorie jsou řasy. Tato generace biopaliv je předmětem rozsáhlého výzkumu.

Čtvrtá generace zahrnuje biopaliva, která lze vyrábět s využitím neorané půdy a nevyžaduje zničení biomasy za účelem přeměny na palivo. Cílem je přímá přeměna sluneční energie na palivo s využitím nevyčerpatelných, levných a široce dostupných zdrojů. Tato biopaliva, označovaná jako fotobiologická solární paliva a elektropaliva, jsou v současné době předmětem výzkumu (5).

3.1.3 Jaderná energie

Jaderná energie se získává několika způsoby:

- A. jako energie jaderného rozpadu radioaktivních látek
- B. jako vedlejší produkt při výrobě plutonia pro vojenské účely
- C. termojaderná fúze v tzv. tokamaku

Matyášek a Suk (3) uvádějí jako jeden z největších problémů současných jaderných technologií bezpečné ukládání odpadu z jaderných elektráren. Dříve běžné ukládání jaderného odpadu v betonových obalech do moře je mezinárodními konvencemi zakázáno a vyhledávání podzemních úložišť je provázáno protesty. Autoři ovšem také uvádějí, že recyklace jaderného odpadu je vyřešena tak, že je možné jeho znovuvyužití jako zdroj energie, při němž pak vznikají produkty s velmi krátkým poločasem rozpadu, které jsou během několika let zcela neškodné. Zároveň také uvádějí, že perspektivně představuje jaderná energie nejvhodnější zdroj energie v příštích desetiletích vzhledem k nízkým vlivům na životní prostředí a planetu Zemi při běžném provozu.

3.1.4 Vodík

Vodík se uplatňuje v široké škále činností naší společnosti. Používá se v chemickém průmyslu, ale samozřejmě také jako zdroj energie. V současné době se spotřebuje na světě asi 50 milionů tun vodíku ročně a toto číslo by mělo do budoucna stoupat. Dle tvrzení Petříka (6) se do budoucna jeví vodík jako palivo v autodopravě.

V měsíčníku AT&P Journal (7) uvádí Petráš a Brestovič informace k palivovým článkům. Ty jsou dle nich čistou technologií výroby elektrické energie z vodíku s vysokou účinností. Palivové články představují alternativu k použití fosilních paliv. V případě získání z obnovitelných zdrojů by se mohl vodík stát alternativním palivem v automobilovém a leteckém průmyslu. Hlavním problémem při použití palivových článků je jejich cena, jelikož se při výrobě používají drahé kovy jako platina.

3.2 Pohony

3.2.1 Parní stroj

V dnešní době se parní stroj pro pohon zemědělských strojů už prakticky nepoužívá. Zásadní nevýhodou, která vyřadila parní stroje ze zemědělské výroby, jsou vysoké provozní náklady a naprosto minimální účinnost.

V zemědělství se parní stroj dříve využíval jako součást stroje zvaného lokomobila. Ta byla nejčastěji v páru dovezena k navzájem protilehlým krajům pole, jak uvádí Widholm (8). Následně pomocí lana nataženého mezi lokomobilami bylo dosaženo převodu síly z lokomobily na zemědělské stroje, které se, upevněné na nataženém laně, pohybovaly na poli.

3.2.2 Pohon spalovacím motorem

Spalovací motory se nejčastěji v literatuře rozdělují podle způsobu spalování palivové směsi. Palivová směs je do něj přiváděna, uvnitř spalována a spaliny odváděny spojitým způsobem. Takové motory jsou například proudové nebo turbínové. Druhou kategorií jsou pístové spalovací motory, které spalují palivovou směs v cyklech nespojitě (9).

Nejčastěji se setkáváme na denní bázi s motory v automobilové dopravě, které rozdělujeme podle způsobu zapalování palivové směsi na zážehové a vznětové. Kromě samotného způsobu práce takového motoru je zásadní rozdíl v použití paliva pro jeho pohon (8).

Pístové spalovací motory mohou spalovat paliva různého skupenství. Důležitou podmínkou je, aby se vzduchem dokázala tvořit dobrou zápalnou směs. Běžně se setkáváme s kapalnými palivy, jako je benzín nebo nafta. To jsou paliva na bázi ropných derivátů. Jejich významnou nevýhodou z hlediska budoucnosti a dlouhodobého použití je vyčerpatelnost jejich zdrojů (9). Existuje však šance na objevení nových ložisek fosilních paliv a datum jejich vyčerpání bude možné odložit na pozdější dobu.

V pístových spalovacích motorech je ovšem možné spalovat i plynná paliva. Nejvíce rozšířeným zástupcem je LPG (Liquified Petroleum Gas).

3.2.3 Elektrický pohon

Elektromobil je stejně jako automobil se spalovacím motorem tvořený hnacím ústrojím, které převádí energii z pohonného ústrojí (elektromotoru) nejčastěji na dopředný pohyb. Na první pohled se příliš neliší od konvenčního automobilu (8).

Historie elektromobilu sahá až do 19. století. Článek (10) uvádí, že už v roce 1835 sestavili společně nizozemský profesor Sibrandus Stratingh a jeho asistent Christopher Becker první elektromobil, který se tehdy pohybovaly maximální rychlostí 30 km/h a jejich dojezd byl až 60 km. Průlom nastal v roce 1859 objevem olovnaté baterie, kterou bylo možné dobíjet.

Elektromobily se v počátcích automobilismu zasadily o průlomové rychlostní rekord – stokilometrová hranice byla překonána už v roce 1899, automobily se spalovacím motorem v té době takových rychlostí vůbec nedosahovaly. Zájem o elektromobily začal klesat s představením automobilu Ford Model T, který Fordova automobilka díky pásové výrobě dokázala vyrobit za třetinovou cenu elektromobilu.

Se současným nástupem elektromobilů souvisí snaha o zlepšení životního prostředí. Automobilky pracují za pomoci nejmodernějších technologií na vývoji elektromobilů, které se vyrovnají svými vlastnostmi automobilům se spalovacím motorem (8).

Z hlediska výkonu rozlišujeme dlouhodobý a krátkodobý výkon elektromobilu, potažmo elektromotoru. Rozdíly a omezení mezi těmito dvěma hodnotami jsou ve schopnostech baterie dodávat požadovaný výkon. Vcelku podstatným faktorem je v tomto případě teplota baterie, kterou je třeba zahřát na provozní teplotu pro její optimální fungování. Tyto hodnoty je potřeba nepřetržitě monitorovat, aby nedošlo k jejímu poškození. Obvykle se jako dlouhodobý výkon udává tzv. půlhodinový. Poměr mezi dlouhodobým maximálním a krátkodobým maximálním výkonem je udáván přibližně 1:3.

Vozidla s elektrickým pohonem dělí Widohlm do dvou kategorií: vozidla pro silniční provoz a vozidla pro vnitropodnikový provoz. Vozidlům pro silniční provoz je věnována většina této kapitoly, autor ovšem dodává informaci k vnitropodnikovým vozidlům. Ta jsou používána už několik dekad a jejich použití je implikováno hlavně nulovými lokálními emisemi a nízkou hlučností. Dojezd nehraje takovou roli, tato vozidla se průběžně dobíjí během doby stání.

Konstrukce elektromotoru klade nároky na co nejvyšší točivý moment v co nejširším spektru otáček. Zároveň je potřeba dodržet co nejnižší hmotnost, kompaktnost, nízkou hlučnost a spolehlivost.

Překotný technologický vývoj v oblasti elektromobility předbíhá naši schopnost vnímat změny v tomto odvětví. Ještě před několika lety platila pro elektromobily nepříliš lichotivá pravidla, která se postupně stávají překonanými mýty. Několik let zpět jsme mohli číst o nedostatečném dojezdu, zdlouhavém nabíjení a nízké kapacitě přenosové sítě. V prvních dvou případech to jistě byla pravda, elektromobily měly nízký dojezd ve srovnání s konvenčním automobilem se spalovacím motorem. Díky opravdu rychlému technologickému vývoji se již dojezd elektromobilů zvýšil na úroveň konvenčních automobilů, jak uvádí článek (11).

Podobně se v tom stejném článku dočteme, že i kapacita nabíjecí sítě nehraje roli vzhledem k tomu, že drtivá většina (článek uvádí až 80 %) elektromobilů je nabíjena nízkým proudem v garáži nebo domě majitele. Tento fakt se zakládá na předpokladu, že elektromobily vlastní v tuto chvíli (kvůli pořizovací ceně) hlavně majetnější lidé.

Jánský (11) zmiňuje, že v současné době je největším úskalím překotný technologický vývoj ve světě elektromobility. Ten způsobuje, že nedávno uvedené technologické novinky jsou v krátké době překonány opět novými objevy. Díky tomu ještě nedávno průlomové elektromobilové technologie jsou za krátkou chvíli považovány jako morálně zastaralé. Tento fakt tlačí rapidně dolů zůstatkové ceny elektromobilů. Jánský tvrdí, že technologický vývoj elektromobilů bude sledovat podobou křivku jako například vývoj mobilních telefonů, které se v minulých letech vyvíjely rychlým tempem, ale v poslední době jejich vývoj zpomalil a výrobcům dochází nové přelomové nápady. Na základě těchto faktů autor předpokládá, že kolem roku 2030 už budou technologie elektromobility na takové úrovni, že technologický vývoj zpomalí. Takový elektromobil pak svému majiteli přinese užitek i po více než jen pár let do vydání nového modelu a nebude tlačen do jeho výměny.

3.2.4 Hybridní pohon

Hybridní pohon vozu je možným řešením nevýhod konvenčního nebo elektrického vozu. Řešení spočívá ve vhodné kombinaci obou pohonů pro zvolený způsob pracovního režimu. Jako nejvhodnější uvádí Maršálek kombinaci spalovacího a elektrického pohonu (12).

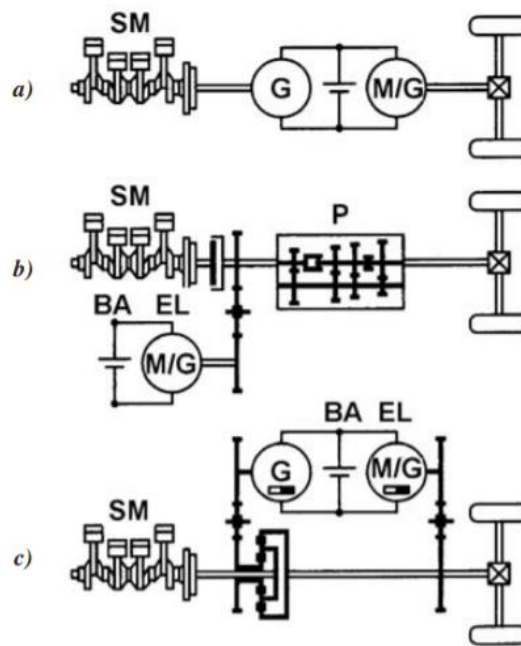
Výhoda hybridního vozu spočívá v nižší spotřebě a tím i nižší produkci oxidu CO₂. Dle slov Bergmanna (13) mohou majitelé těchto vozů čerpat výhody nebo žádat o odpouštění některých poplatků.

Za další výhodu hybridního pohonu vozidla, především oproti vozidlům poháněným čistě elektricky, je možné považovat fakt, že se uživatel nemusí obávat vybití baterie, protože s vozidlem dokáže dojet na konvenční pohon spalovacím motorem. U některých hybridních vozů není ani potřeba baterie nabíjet, elektrickou energii si vyrábí regenerací například při brzdění nebo prostřednictvím konvenčního spalovacího motoru.

O pořízení hybridního vozidla má smysl uvažovat ve chvíli, kdy se jeho uživatel pohybuje uvnitř města. Zde dokáže naplno využít potenciál pohonu na baterie například při rozjíždění na křižovatkách. Oproti tomu v případě delších cest po dálnicích se pořízení hybridního vozidla

spíše nevyplatí, protože vozidlo pracuje většinu času v režimu pohonu spalovacím motorem a baterie zůstává nevyužita.

Hybridní pohony se dělí také z hlediska uspořádání pohonných jednotek. Vlk (14) uvádí následující dělení dle uspořádání: sériové, paralelní a smíšené. Vše názorně zobrazuje Obrázek 1 převzatý z odborného časopisu Soudní inženýrství.



Obrázek 1 Uspořádání hybridních pohonů (Bosh) převzaté z periodika (14); a) sériové uspořádání; b) paralelní uspořádání; c) smíšené uspořádání; SM – spalovací motor; EL – elektromotor; G – generátor; M/G – elektromotor pracující jako motor nebo generátor; P – převodovka; BA – akumulátor (14)

Vlk (14) dále popisuje jednotlivé typy uspořádání hybridních pohonů. V případě sériově uspořádaného hybridního pohonu (Obrázek 1, označení „a“) jsou jednotlivé komponenty uspořádány za sebou. Spalovací motor může být využit při téměř konstantních otáčkách. Ty je možné zvolit v nejvíce efektivní poloze vzhledem k emisím z výfuku, efektivitě spalování nebo především pro co nejvýhodnější využití výkonu. Díky takovému režimu provozu spalovacího motoru je možné se vyhnout nevhodným režimům, jako je například volnoběh nebo provoz v nízkých otáčkách. V těchto spektrech výkon motoru mohou převzít instalované akumulátory a spalovací motor je možné úplně vypnout pro maximální hospodárnost provozu. Autor článku vidí zásadní nevýhodu tohoto systému především v nízké mechanické účinnosti mezi hnanou nápravou a spalovacím motorem, která vzhledem k účinnosti nabití akumulátoru dosahuje maximálně 55 %.

V případě paralelního uspořádání (Obrázek 1b) není žádné omezení v případě režimu jízdy na spalovací motor, který je standardně připojen převodovkou a mechanickým připojovacím prostředkem. Stejně je to i u elektromotoru, který je taktéž připojen přes klasickou převodovku. Celkový pohon pak řídí řídicí jednotka, která mění otáčky spalovacího motoru a elektromotoru a jejich zátěž v závislosti na emisích a zatížení takovým způsobem, aby bylo stále dosaženo maximální efektivity provozu. Maximální otáčky elektromotoru a spalovacího motoru jsou totožné.

Vlk následně uvádí příklady jízdních režimů a nastiňuje výhody paralelního zapojení hybridního pohonu. V případě běhu v nízkých otáčkách lze zapojením obou typů pohonu zvýšit tahovou sílu. V kombinovaném provozu běží především spalovací motor a elektromotor vypomáhá v případě velkého zrychlení a dokáže krátkodobě dodávat zvýšený výkon. Díky této výkonové rezervě dokáže hybridní pohon nahradit jízdní dynamiku velkoobsahových spalovacích motorů. Platí to i naopak. V městském provozu naopak jako primární pohon může sloužit elektromotor a v případě potřeby vyššího výkonu se připojí i spalovací motor.

V případě použití sériového zapojení je jeho výhodou zvýšení hodnoty klasického elektromobilu. To dokládá nedávný pokus automobilky BMW o instalaci přídavného spalovacího motoru do klasického elektromobilu i3 pojmenovaný Range Extender, tedy něco jako komponenta zajišťující prodloužení dojezdu. Jedná se o malý dvouválcový motor o objemu 0,62 l, který se podle potřeby může zapnout a dobíjet baterii elektromobilu, čímž prodlouží jeho dojezd (15).

Nevýhodou paralelního zapojení hybridního pohonu je stále vysoká hmotnost baterií. Kromě toho je to i složitost celého systému, náchylnost k poruchám a omezená životnost. Dle autora kvůli nevýhodám sériového i paralelního zapojení hybridního pohonu vznikla koncepce smíšeného hybridního pohonu. Schéma smíšeného pohonu ukazuje Obrázek 1c (14).

Smíšený hybridní pohon disponuje konvenčním spalovacím motorem, elektromotorem s akumulátory, soustavou spojek a převodovek a dalšího vybavení. Tato koncepce umožňuje například větvení výkonu na jednotlivé nápravy nebo jednotlivá kola. Autor jako příklad uvádí automobil Toyota Prius.

4 Literární rešerše zaměřená na elektrické akumulátory jako zdroje energie

4.1 Ukládání energie

Jsou situace, kdy se vyplatí nadbytečnou energii uchovat pro pozdější využití. Je možné díky tomu šetřit náklady nebo využívat uchovanou energii ve chvílích, kdy běžně používaný zdroj nemůže energii dodávat.

K uchování energie se nejčastěji využívají prostředky založené na chemické nebo fyzikální podstatě. Nejčastějšími prostředky uchování energie s využitím fyzikálních procesů jsou setrvačníky, akumulátory založené na principu stlačeného vzduchu a přečerpávací elektrárny využívající potenciální a kinetické energie (16).

Mezi technologie uchování energie pomocí chemických procesů řadí Pulkrábková látky, které exotermní reakcí uvolňují teplo, jako je například benzín. Avšak za nejvýznamnější způsoby uchování energie pomocí chemických technologií považuje akumulátory, baterie, kondenzátory a palivové a galvanické články.

4.2 Galvanický článek

Dle Výkladového slovníku ČEZ (17) je galvanický článek složen ze dvou elektrod, které jsou ponořené v elektrolytu. Jako elektrolyt se používá kyselina sírová, která je ředěna vodou. Kladná elektroda (neboli anoda) je vyrobena z mědi, záporná elektroda (katoda) je vyrobena ze zinku. Obě elektrody s elektrolytem jsou odděleny membránou. V případě zapojení galvanického článku do obvodu se poruší jeho vnitřní rovnováha a obvodem začnou proudit elektrony ze zinkové elektrody na měděnou elektrodu. Tím vzniká elektrický proud.

Nejčastěji používanými tvary jsou, jak uvádí Pulkrábková (16), pravoúhlý hranol a válcový tvar. Příklad takového galvanického článku ukazuje Obrázek 2.



Obrázek 2 Olověný akumulátor VRLA Green Cell 12V 17Ah (18)

4.2.1 Olověný akumulátor

Dle článku Battery University (19) byla olověná akumulátorová baterie objevena fyzikem Gastonem Planté v roce 1859. I přesto, že je objev olověného akumulátoru více než 150 let starý, jsou olověné akumulátory stále velmi populární, především díky své nízké ceně na jeden watt.

Elektrody olověných akumulátorů jsou vyrobeny ze slitin olova a dalších kovů a jsou ve tvaru mřížek. Samotné olovo není dobře mechanicky odolné, a proto je nutné vytvořit odolnější slitinu. Kromě mechanické odolnosti je také žádoucí zlepšení elektrických vlastností. Nejběžnějšími kovy přidávanými do slitin s olovem jsou dle článku Battery University antimon, vápník, cín nebo selen.

Charakteristickým znakem olověných akumulátorů je jejich vysoká hmotnost. Není žádoucí tyto akumulátory hluboce vybíjet, čímž se výrazně snižuje jejich životnost. Trakční akumulátory tohoto typu mají průměrnou životnost 200 až 300 nabíjecích cyklů.

Při nabíjení olověných akumulátorů je nutné dodržovat správné mezní hodnoty nabíjecího napětí. Článek Battery University uvádí, že při nízkém limitu nabíjecího napětí sice chráníme akumulátor, ale nežádoucím vedlejším efektem je postupné snížení výkonnosti akumulátoru a sulfatace na záporné elektrodě. Oproti tomu při vysokém limitu nabíjecího napětí se zlepšuje výkonnost akumulátoru, nicméně nežádoucím efektem je podpora koroze kladné elektrody. Článek dále uvádí, že zatímco sulfataci je možné odstranit zvláštním nabíjecím režimem, koroze elektrody je trvalá.

Olověné akumulátory se používají jako trakční a jako startovací baterie. Startovací baterie jsou navrženy takovým způsobem, aby dodávaly během krátké doby velký proud. U startovacích baterií není zásadní kapacita, jako spíše velikost proudu a doba po kterou je baterie schopna proud dodávat. Startovací baterie není uzpůsobena k opakovanému hlubokému vybíjení a nabíjení.

Oproti tomu trakční baterie jsou konstruovány se záměrem dodávání elektrické energie po delší časový úsek, zpravidla jednu směnu. Tomu odpovídá konstrukce elektrod, které jsou silnější než u startovacích baterií. Trakční baterie jsou navrženy pro opakované nabíjení s rozumným počtem nabíjecích cyklů.

V každém případě je potřeba důsledně akumulátory dobíjet ihned po vybití, aby se zabránilo sulfataci. V případě sulfatace dochází ke snížení výkonu akumulátoru.

Výhody olověných akumulátorů jsou hlavně jejich nízká pořizovací cena vztažená na jeden watt, pomalé samovybíjení a dobrá schopnost dodávat vysoké vybíjecí proudy. Akumulátory si také zachovávají dobré vlastnosti nezávisle na vysokých či nízkých provozních teplotách.

Nevýhodou olověných akumulátorů je jejich zdoluhavé nabíjení, které může trvat i šestnáct hodin. Akumulátor musí být skladován v nabitěm stavu, aby se předcházelo sulfataci (a tím snížení výkonu). Obsah olova může představovat potenciální riziko pro životní prostředí. Olovo z akumulátorů se ale recykluje, čímž je riziko pro životní prostředí výrazně snižováno.

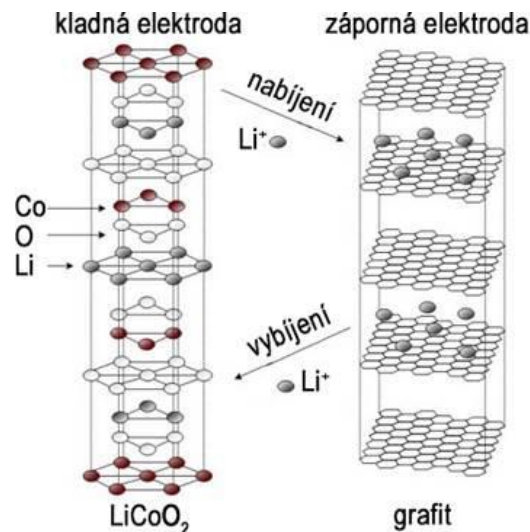
4.3 Lithium-iontové akumulátory

První komerčně dostupné lithium-iontové akumulátory se objevily počátkem 70. let 20. století, které byly nenabíjecí. Následovaly pokusy o vývoj dobíjecích akumulátorů. Ty však selhaly kvůli nestabilitě kovového lithia používaného jako materiál anody (Li-ion baterie používá jako anodu grafit a aktivní materiály na katodě) (20).

Li-ion baterie není náročná na údržbu, což je její výhodou oproti jiným řešením. Dále také nemá paměť a nevyžaduje pravidelné záměrné vybíjení pro udržení své kondice. Jmenovitě napětí článků 3,60 V je dostatečné pro napájení mobilních telefonů a dalších elektronických přístrojů, což zjednodušuje konstrukci baterie oproti jiným vícečlánkovým řešením. Nevýhodou Li-ion baterie je nutnost implementace ochranných obvodů a její vysoká cena.

4.3.1 Princip

Lithiové akumulátory využívají bezvodý elektrolyt. Kladná elektroda se vyrábí v různých variantách materiálu. Článek (21) uvádí například lithium-kobalt oxid (LiCoO_2), lithium-mangan oxid ($\text{Li}_x\text{Mn}_2\text{O}_4$), lithium-nikl dioxid (LiNiO_2) a další. Jako elektrolyt je nejčastěji použitý hexafluorofosfát LiPF_6 . Záporná elektroda je vyrobena z uhlíkového materiálu. Při nabíjení dochází k přesunu iontů lithia z kladné elektrody na zápornou. Ionty lithia pouze interkalují do struktury záporné elektrody (interkalovat – vmístit se do mřížky materiálu bez chemické reakce se samotným materiálem). Neprobíhá tak chemická reakce a životnost takového akumulátoru je podstatně delší bez výrazných změn ve výkonu. Nabíjení a vybíjení ukazuje názorně Obrázek 3. Vybíjecí křivka napětí je poměrně plochá. To představuje výhodu pro napájené zařízení, které má po většinu provozu téměř konstantní napětí. Díky takové vlastnosti je obtížnější stanovit úroveň nabití akumulátoru z hodnoty napětí.

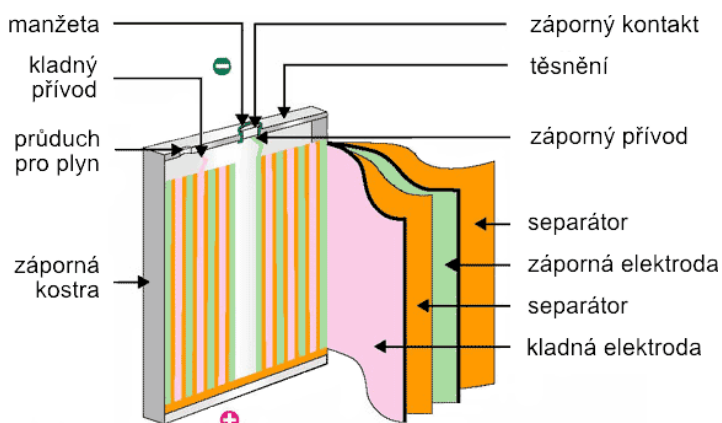


Obrázek 3 Princip funkce lithiového akumulátoru (22)

4.3.2 Varianty lithiových akumulátorů

Lithiové akumulátory jsou vyráběné v různých tvarových variantách. Jedna z velmi běžných variant představuje akumulátor navinutý do válcového tvaru (viz Obrázek 4). Takový článek má elektrody svinuté po obvodu článku. Tichý (21) píše, že nabíjecí napětí je 4,2 V a jmenovité napětí je 3,6 V. Například jsou komerčně dostupné a známé akumulátory s označením 18650, číselné označení představuje průměr akumulátoru 18 mm a délku 65 mm. Akumulátor je vybaven tlakovou pojistkou v případě úniku plynů. Plášť je vyroben z kovu, a proto jsou tyto akumulátory mechanicky dobře odolné a bezpečné. Tichý dále píše, že se tyto články využívají v praxi v bateriích notebooků, ale také pro výkonově náročné aplikace, jako

jsou například baterie elektromobilů. Také je uvedeno, že energetická hustota takového článku se pohybuje v rozmezí 150 až 200 Wh/kg.



Obrázek 4 Struktura lithiového akumulátoru (21)

Z dalších rozšířených typů lithiových článků jmenuje Tichý lithium-polymerové články (Li-Pol). Namísto kapalného elektrolytu je využito polymerní sloučeniny, která je iontově vodivá. Na rozdíl od lithium-iontového akumulátoru, tyto lithium-polymerové akumulátory nejsou svinovány, ale jednotlivé elektrody jsou na sebe pokládány a mohou mít různý tvar. Toho využívají výrobci k šetření místa a efektivnímu vyplnění prostoru. Článek uvádí jmenovité napětí Li-Pol akumulátoru 3,6 až 3,7 V a nabíjecí napětí 4,2 V.

Li-Pol akumulátory jsou také velmi oblíbené a hojně využívané mezi RC modeláři, kteří těží z výhod tohoto typu akumulátoru při provozu jejich dálkově řízených modelů. Tím je hlavně příznivá energetická hustota a možnost libovolného tvaru akumulátoru. Nevýhodou těchto akumulátorů je jejich vysoká cena vzhledem k technologické náročnosti výroby (23).



Obrázek 5 Různé velikosti Li-Pol akumulátorů pro modelářské použití (23)

O vhodnosti použití Li-Pol akumulátorů pro dálkově řízené bezpilotní prostředky hovoří prostý fakt, že přední výrobce bezpilotních strojů, společnost DJI, přešla z původně používaných Li-ion akumulátorů na Li-Pol akumulátory (24).

Jako náhrada olověných akumulátorů se používají články typu lithium-železo-fosfát, označované zkratkou LiFe nebo chemickým vzorcem LiFePO_4 .

5 Možnosti využití elektrických akumulátorů pro pohon zemědělské techniky

5.1 Monarch Tractor

Společnost Monarch Tractor pochází z Kalifornie, USA. Tato společnost vyvinula a nyní nabízí traktor poháněný čistě na elektrický pohon. Traktor disponuje mnoha dalšími technickými vymoženostmi, jako například plně autonomní provoz nebo široký sběr dat z osazených senzorů.

Traktor je vybaven baterií, jejíž kapacitu výrobce neuvádí, ale namísto toho uvádí dobu provozu až 10 hodin. Nabíjení by pak mělo trvat 4 až 5 hodin. Volitelně je možné objednat navíc výměnnou baterii. Její výměna za plně nabitou baterii trvá přibližně 10 minut. Jedná se o malý traktor pro použití v drobném zemědělství, na vinicích nebo pro pomocné práce. Jeho výkon je 30 kW, přičemž krátkodobě dokáže poskytnout výkon 55 kW. Díky elektrickému pohonu má traktor dvojnásobný točivý moment ve srovnání s konvenčními traktory stejné kategorie.

Elektrický traktor je možné objednat z webových stránek společnosti Monarch, ovšem v době psaní této práce jsou objednávky možné pouze pro americké klienty. Základní cena je 58 000 amerických dolarů (25), výměnná baterie vyjde na dalších 15 000 dolarů. V budoucnu je plánováno zavedení dalších platform v nižších i vyšších výkonových kategoriích a pásová verze pro zdolání strmých kopců vinic (26-28).



Obrázek 6 Traktor výrobce Monarch v autonomním provozu bez řidiče (26)

5.1.1 Případová studie na Wente Vineyards

Wente Vineyards je nejstarší nepřetržitě provozované rodinné vinařství v Kalifornii. Jejich vína jsou pěstovaná v oblastech Livemore Valley, San Francisco Bay a Arroyo Seco v Monterey. Vinařství se zajímá o nové technologie, které napomůžou cílům udržitelnosti a dokáží zefektivnit pěstování vína na vinicích, což znamená například snižování emisí nebo použití automatizace (27).

Tato studie ve spolupráci společnosti Monarch a vinařství Wente Vineyards si dává za cíl zjistit, kolik může farma ušetřit používáním strojů čistě na elektrický pohon. Pro srovnání byl použitý naftový traktor výrobce John Deere. Oba traktory vykonávaly sečení žacíím strojem ve stejném čase vedle sebe a měly za cíl posekat stejný díl pole. Doba sečení trvala 7,25 hod. a nabití traktoru Monarch bylo 24 %.

Výsledkem bylo porovnání spotřebované elektrické energie traktorem Monarch a spotřeba nafty traktorem John Deere. Cílem bylo vyčíslit, kolik paliva a emisí lze ušetřit pro ročním provozu 1000 hod.

Během stanoveného testu byly dle studie Monarch Tractor ušetřeny následující hodnoty paliva (převáděno na cenu paliva) a emisí, následně vztažené na roční nájezd 1000 hod. provozu. Cena za kWh elektřiny a galon paliva byla použita ze zdrojů v daném místě uskutečnění studie (Livemore, Kalifornie, USA).

- Ušetřeno palivo: 18,59 dolarů (413 Kč)
- Redukce emisí CO₂: 242,14 liber (14,2 kg)
- Odhadovaná roční úspora paliva: 2 655,71 dolarů (59 050 Kč)
- Odhadovaná úspora emisí CO₂: 34 592,42 liber (15 691 Kg)

Vstupní hodnoty ceny za kWh a galon paliva:

- Elektrická energie: 0,1559 dolarů / kWh (3,47 Kč za kWh)
- Palivo (nafta): 2,975 dolarů / galon (17,48 Kč za litr)

Pro porovnání uvádím aktuální ceny elektřiny a nafty v České republice. Průměrná cena elektrické energie za 1 kWh se dle webu Ušetřeno.cz (28) pohybuje okolo 5 Kč.

Jako průměrnou cenu nafty pro rok 2022 jsem vzal hodnotu, kterou stanovuje ministerstvo financí pro cestovní náhrady za pracovní cestu osobním automobilem. Pro rok 2022 činí cena nafty za 1 litr 36,10 Kč (29).

Z tohoto srovnání vyplývá, že je cena nafty v České republice více než dvojnásobná oproti ceně nafty v USA, přičemž průměrná cena elektřiny je nižší než dvojnásobná v porovnání s USA. Pokud by tedy dle studie bylo ušetřeno v USA provozem elektrického traktoru Monarch 59 050 Kč, vlastním výpočtem (viz níže) jsem stanovil, že v České republice by to bylo 84 884 Kč.

Poměr ceny nafty v USA a v ČR:

$$\text{Poměr ceny nafty} = \frac{\text{Cena nafty v ČR}}{\text{Cena nafty v USA}} = \frac{36,10}{17,48} = 2,07 \quad (1)$$

Poměr ceny elektřiny v USA a v ČR

$$\text{Poměr ceny el. en.} = \frac{\text{Cena el. en. v ČR}}{\text{Cena el. en. v USA}} = \frac{5}{3,47} = 1,44 \quad (2)$$

Potenciální finanční úspora provozu traktoru v ČR:

$$\text{Úspora v ČR} = \frac{\text{Poměr ceny nafty}}{\text{Poměr ceny el. en.}} \cdot \text{Úspora v USA} = \frac{2,07}{1,44} \cdot 59\,050 = 84\,884 \text{ Kč} \quad (3)$$

5.2 Pohled z praxe – konzultace ve spol. STROM PRAHA a.s.

Společnost STROM PRAHA a.s. je výhradní dovozce zemědělské techniky značky John Deere do České republiky. Na českém trhu působí od roku 1991 a od té doby si dokázala vybudovat síť prodejních a servisních míst po celé republice (30).

Koncem roku 2021 jsem požádal o krátké setkání v sídle společnosti. Mým přáním bylo setkání s lidmi z praxe, kteří se zemědělskou technikou zabývají a mají ponětí o aktuální situaci mezi výrobcí a o přáních jejich zákazníků.

Návrh na společné setkání byl společností přijat kladně, a tak jsem se mohl v prosinci 2021 setkat s panem Ing. Františkem Vimrem. Jeho zařazení v rámci společnosti STROM PRAHA a.s. je v oddělení servisu traktorů německého výrobce John Deere. Pan Vimr byl velmi laskav a věnoval mi necelou hodinu z jeho nabitého harmonogramu. Během našeho setkání, které probíhalo ve velmi přátelské atmosféře, jsme diskutovali nad jeho vlastním pohledem a pohledem společnosti v oblasti elektrifikace pohonů zemědělské techniky. Z našeho setkání jsem si udělal bohaté poznámky, ze kterých jsem poté sepsal text nacházející se na následujících stránkách.

Už v počátku našeho setkání bylo jasným tématem, že použití čistě elektrického pohonu, který by odebíral elektrickou energii z akumulátorů, je pro stroje vykonávající polní práce v tuto chvíli nevyhovující. Na polní práce, obzvláště orbu apod., je potřeba velké množství energie. Nahrazení spalovacího motoru akumulátorem by znamenalo jistě zvýšení hmotnosti stroje, která už nyní dosahuje poměrně vysokých hodnot. To by mělo za následek další nežádoucí zhutnění půdy. Zároveň však energetická hustota akumulátoru nedosahuje takových hodnot, aby se nemusel stroj pravidelně nabíjet nebo baterie složitě měnit. Dle názoru Ing. Vimra je zkrátka v dnešní době stále snazší do stroje dotankovat naftu a během několika okamžiků opět pokračovat v práci.

Naopak je možné, že by elektrifikace zemědělské techniky měla smysl v živočišné výrobě. Stroje zde vykonají práci v rozsahu klidně i 3000 až 4000 hod. provozu za rok. Zde odpadá faktor nežádoucího zvýšení hmotnosti. Smysl takového řešení by spočíval v užívání stroje přes den a jeho dobíjení během noci. Díky jednoduššímu převodovému ústrojí by takové řešení mohlo přinést snížení servisních nákladů.

Přesto se v minulosti vyskytlo řešení elektrického traktoru. Nejednalo se o traktor osazený akumulátory, nýbrž dieslovým motorem s elektrickým generátorem. Na něj byly napojeny ostatní komponenty, vzduchový kompresor, klimatizace, ventilátor, vodní čerpadlo atd. Traktor disponoval také silovými vývody. Původní myšlenka takového řešení spočívala v dopravení traktoru na pracovní místo, kde není možné dovést elektrickou přípojku. K traktoru se pak dalo zapojit nejrůznější vybavení pracující ze zásuvky na elektrickou energii. Toto řešení se ale v praxi příliš neprosadilo a John Deere s jeho výrobou skončil.

Z výše uvedeného mi vyplývá, že zájem zákazníků o čistě elektrické traktory je naprosto minimální a zcela převažují výhody dieslového pohonu. Pokud by se vývoj pohonů

zemědělské techniky měl ubírat směrem elektrifikace, bude záležet podstatným způsobem na budoucím vývoji technologií akumulátorů, jejich energetické hustoty a také ceny.

Během tvorby této podkapitoly jsem narazil na článek (31) prezentující prototyp elektrického traktoru značky John Deere s názvem Joker. Ten byl představen na veletrhu Agritechnica 2019. Článek k traktoru neuvádí příliš, pouze stručné informace o výkonu, který má být 500 kW a jeho hmotnost může být variabilní od 5 do 15 t v závislosti na různé osazení akumulátory. Zároveň je zmiňováno, že problémem zůstává vysoká spotřeba elektřiny. Problém s bateriemi a jejich nabíjením tedy stále není vyřešen.

5.3 Hybridní traktory

V médiích jsou více než čistě elektrické traktory zmiňovaná hybridní řešení pohonu traktorů. Výrobci k takovému řešení přistupují z různých směrů.

Společnost Steyr představila koncept hybridního traktoru s názvem Steyr Konzept. Jejich řešením jen plug-in hybridní pohon, který kombinuje pohon pomocí spalovacího motoru a elektromotoru využívající elektřiny z baterií. Ty by se dobíjely rekuperací nebo ze zásuvky. Umístění elektromotorů v kolech umožňuje zmenšení motorového prostoru, čím se zlepší výhled a komfort posádky. Zároveň díky částečně elektrickému pohonu by mělo dojít ke snížení hluku v kabině (32).

V důsledku použití dvojího pohonu by mělo docházet k menšímu opotřebením spalovacího motoru a tím ušetření servisních nákladů v čase. Trendem je údajně také používání menších traktorů v důsledku narůstajícího utužení půdy. Ruku v ruce s autonomizací provozu by nezáleželo na pracovním čase traktoristy a traktor, byť menší, by obdělával pole delší dobu. Náklady na provoz díky snížení nákladů na lidskou práci by takový provoz snadno umožnily (33, 34).

Zajímavým řešením hybridního pohonu je traktor společnosti AUGA s označením AUGA M1, který je poháněn elektřinou a biometanem. Z hlediska emisí je tento způsob pohonu velmi čistý. Tento stroj v provozu využívá spalovací motor, který je poháněn biometanem a vyrábí elektrickou energii, která je přenášena do elektromotorů. Při běžném provozu, kdy není vyžadováno mnoho energie, ukládá traktor vyrobenou energii do baterií. Díky tomu není plýtváno energií při nízkém zatížení, motor stačí malý, ale účinný. Dle článku (35) umožňuje takové řešení provoz traktoru až 12 hodin. Společnost tvrdí, že vyřešila hlavní problém bránící

komercializaci, kterým je plnění vozidla palivem a udržení provozu traktoru po celý pracovní den. Konstrukce traktoru umožňuje osazení většími lahvemi na biometan. Souvisejícím problémem je chybějící infrastruktura čerpacích stanic na biometan. Jedlička (35) uvádí, že i tento problém společnost AUGA vyřešila, a to tím, že nabízí rychlou a pohodlnou výměnu plynových kartuší.

5.4 Porovnání a myšlenkové směry, ekonomické zhodnocení

Na trhu je více společností nabízející čistě elektrické traktory. Pro příklad jsem v kapitole 5.1 (strana 26) zmínil projekt elektrického traktoru Monarch. Jejich společným prvkem je nízký výkon do 50 kW limitující jejich použití. Takové stroje se hodí do malovýroby, drobné živočišné výroby a tam, kde není zapotřebí těžké zemědělské techniky. Porovnání současných projektů elektrických traktorů nabízí Peter Miles (34).

Tyto malé traktory mají však své uplatnění a výhody. Díky nulovým emisím je možný jejich provoz ve vnitřních prostorech (živočišná výroba), nebo pro údržbu ve městech a městských parcích (neobtěžují hlukem a zápachem). Aby se taková investice do traktoru na akumulátory vyplatila, přidávají do nich výrobci řadu inteligentních funkcí, končící až autonomním provozem a sběrem podrobných dat, jejichž interpretace šetří zemědělci další náklady (31, 33, 34).

5.4.1 Srovnání elektrického a naftového traktoru

Pro následující porovnání (Tabulka 1) jsem si vybral elektrický traktor Monarch (kapitola 5.1, str. 26) a naftový traktor New Holland řady Boomer. Data o traktoru Monarch jsem čerpal z firemního webu výrobce (26) a data o traktoru New Holland jsem čerpal taktéž z firemního webu daného výrobce (36).

Tabulka 1 Porovnání vlastností naftového a elektrického traktoru

	New Holland Boomer 45 CAB	Monarch Tractor MK-V
Orientační základní cena	651 733 Kč	58 000 \$ (1 273 000 Kč)
Max. výkon	47 hp (35 kW)	40 hp, krátkodobě 70hp (30 kW, krátkodobě 52 kW)
Spotřeba paliva	6,6 l/h (37)	

Objem palivové nádrže	47 l	
Výdrž na jedno natankování / nabití	7,1 hodin	10 hodin
Zvedací kapacita TBZ	1250 kg	1000 kg
Max. povolená hmotnost	3008 kg	neuveďeno
Schopnost automatizace	Bez automatizace	Připojení přes datovou síť, sběr a analýza dat, sensorová výbava, schopnost jízdy bez řidiče, 360° kamera,
Kabina	Uzavřená, moderní ovládací prvky	Otevřená, moderní dotyková obrazovka
Přídavné zařízení	Nakladač, max. 500 kg	neuveďeno
Využití	Zahradnictví, produkce ovoce a zeleniny, komunální služby, údržba sportovišť, jezdeckví, statky, péče o pozemky,	Zahradnictví, produkce ovoce a zeleniny, vinařství, živočišná výroba

Ze srovnání v tabulce výše vyplývá několik zajímavých skutečností. Byly porovnány traktory srovnatelné výkonové třídy. Cena elektrického je dvojnásobná oproti ceně naftového. Cena samotná ovšem bez dalšího kontextu nemá větší vypovídající hodnotu. Naftový traktor má oproti elektrickému výhodu široké možnosti jeho využití nejen v zelinářském a ovocnářském provozu, ale také například pro údržbu veřejných prostranství nebo sportovišť. Disponuje také uzavřenou kabinou, která izoluje operátora od vnějších vlivů, chladu, větru, deště nebo škodlivých emisí. Traktor je také možné osadit předním nakladačem.

Oproti tomu elektrický traktor má široké možnosti automatizace, sběru dat a provozu bez operátora. Jeho použití není všestranné, hodí se nejlépe do ovocného nebo zelinářského provozu nebo pro obdělávání vinic. Díky jeho autonomním funkcím může na zemědělském pozemku pracovat bez obsluhy. Operátor může řídit traktor vzdáleně přes tablet, nebo přes centrálu připojit další traktory a ovládat skupinu strojů současně z centrálního pracoviště. Tuto vlastnost

vnímám jako velmi podstatnou v případě volby tohoto traktoru. Z toho důvodu se tyto traktory uplatní především v oblastech, kde legislativa umožňuje autonomní provoz zemědělské techniky na zemědělském pozemku. Senzorová výbava sbírá pro zemědělce cenná data, ze kterých je možné vyhodnotit důsledky a optimalizovat tak údržbu pozemku. To může zemědělci přinést úsporu nákladů. Stejná úspora nákladů může nastat díky použití akumulátorů namísto naftového motoru. Srovnání v kapitole 5.1.1 ukazuje, že je to možné dosáhnout. Otázkou zůstává návratnost takové investice, vezmeme-li v úvahu omezenou životnost akumulátorů, které bude potřeba po nějaké době vyměnit a do stroje tak investovat další nemalou částku, jejíž výši dnes neznáme. Jako protiargument je možné namítnout, že díky absenci spalovacího motoru a složitějšího převodního ústrojí budou náklady na údržbu a opravy nižší.

Ze srovnání vyplývá, že bude záležet do velké míry na individuálním rozhodnutí zemědělce, kterou z variant by si vybral. Podstatnou roli bude hrát povaha zemědělského podniku a jeho celková struktura. V případě více různorodé výroby a vysoké závislosti na lidské práci bych volil naftový traktor pro svoji jednoduchost a všestranné použití.

V případě podniku orientovaného na jednu nebo několik málo plodin, které jsou pěstovány v jednom celku na jednom pozemku, kde je dobrý přístup k elektrické síti, bych zvolil elektrický traktor.

6 Závěr

Klíčovým cílem této bakalářské práce bylo zmapovat současný stav vývoje využití akumulátorů pro pohon zemědělské techniky a zhodnotit, jestli je tento trend v kontextu dnešní doby smysluplný a životaschopný.

Kromě literární rešerše jsem měl možnost se potkat se zástupcem českého distributora značky John Deere.

Z poznatků sesbíraných v rámci této bakalářské práce je patrné, že v oblasti elektrifikace zemědělské techniky je vývoj teprve v počátcích. Smysluplnost použití akumulátorů v zemědělských strojích je soustředěna zatím na drobné stroje s výkonem do 50 kW. Tomu i odpovídá reakce ze strany výrobců, kteří k věci přistupují s opatrností. V posledních letech jsme mohli být svědky představení několika prototypů větších zemědělských traktorů, ale jejich sériová výroba zatím zahájena nebyla.

Vše je limitováno parametry akumulátorů. Ty v posledních letech zaznamenaly překotný vývoj, který ovšem byl pouze drobným zlepšením původního stavu. Bez přelomového vynálezu akumulátoru s minimálně dvojnásobnou kapacitou a rychlým dobíjením nevidím široké zavedení akumulátorů do zemědělské techniky jako reálné.

V poslední části této práce je zmíněn ambiciózní projekt plně elektrického traktoru Monarch Tractor, který již funguje v praxi. Cílí na drobné zákazníky v oblasti vinařství nebo ovocnářské výroby, kterým stačí traktor do 50 kW. Od jiných výrobců se liší použitím inteligentních technologií a možností autonomního provozu. Porovnáním s konvenčním naftovým traktorem jsem zjistil, že je možné volbou elektrického traktoru dosáhnout určitých finančních úspor.

Dle zjištění v této práci se v současné době jeví použití akumulátorů jako příliš ambiciózní a pro většinu zemědělských aplikací jako nevyhovující. Je však možné, že v následujících letech uvidíme vývoj technologií, který stávající stav dokáže změnit.

7 Bibliografie

- (1) PECÁK, Radek. Elektromobily v lednu jen paběrkovaly. Škoda téměř dostižena. *České noviny* [online]. [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/elektromobily-v-lednu-jen-paberkovaly-skoda-temer-dostizena/2155558>
- (2) KUMHÁLA, František, Petr HEŘMÁNEK, Jiří MAŠEK, Zdeněk KVÍZ a Ivo HONZÍK. *Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 9788021317017.
- (3) MATYÁŠEK, Jiří a Miloslav SUK. 3. 1 Zdroje energie. *Antropogeneze v geologii* [online]. [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/1499/el/estud/pdf/js10/antropog/web/pages/3-1-zdroje-energie.html>
- (4) ERTELT, Tomáš. *Fosilní paliva v ČR*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- (5) KAKKAR, Gaurav. Understanding Biofuel Classification. *Sustainable Innovation Management* [online]. [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <https://sim.sbio.vt.edu/?p=2341>
- (6) PETŘÍK, Robert. *Vodík jako alternativní zdroj energie pro pohon automobilů: současný stav a perspektivy*. Ostrava, 2013. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- (7) PETRÁŠ, Branislav a Tomáš BRESTOVIČ. Palivový článok – zdroj energie. *AT&P journal* [online]. Technická univerzita Košice [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <https://www.atjournal.sk/buxus/docs/online61.pdf>
- (8) WIDHOLM, Tomáš. *Klasické a alternativní pohony motorových vozidel*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně.
- (9) CHROMÝ, Martin. *Výzkumné spalovací motory*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- (10) BERGMANN, Petr. Historie elektromobilů může být až překvapivě zajímavá! Znáte skutečnou pravdu?. *Elektrickévozy.cz* [online]. [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/historie-elektromobilu-od-prvniho-elektromotoru-po-soucasnost>
- (11) JÁNSKÝ, Martin. Blog: Elektromobily mají jeden zásadní problém. *Garáž.cz* [online]. [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/elektromobily-maji-jeden-zasadni-problem-21006123>

- (12) MARŠÁLEK, Ondřej. *Současný stav přechodu z klasických spalovacích motorů na jejich alternativy*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- (13) BERGMANN, Petr. Co je to hybridní vůz, jak funguje a jaké jsou největší výhody?. *Elektrickévozy.cz* [online]. [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://elektrickévozy.cz/clanky/co-je-to-hybrid-jak-funguje-nejvetsi-vyhody>
- (14) VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. *Soudní inženýrství*. 2004, **15**(4). ISSN 1211-443X. Dostupné také z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-04-212-224.pdf>
- (15) MAJURNÍK, Jan. Test ojetiny: BMW i3 REX – Jistota dojezdu, či drahý špás?. *Garáž.cz* [online]. [cit. 2021-11-24]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/test-ojetiny-bmw-i3-rex-21004483>
- (16) PULKRÁBKOVÁ, Lenka. *Elektrochemické systémy pro ukládání energie*. Pardubice, 2018. Dostupné také z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/71759/PulkrabkovaL_ElektrochemickeSyste my_HD_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická.
- (17) SIMOPT, S.R.O. *GALVANICKÝ ČLÁNEK* [online]. [cit. 2022-01-31]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/galvan_cl.html
- (18) *AGM baterie Olověný akumulátor VRLA Green Cell 12V 17Ah pro motor boats a electric vehicles* [online]. In: . [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: https://adaptery-baterie.cz/797499-thickbox_default/agm-baterie-oloveny-akumulator-vrla-green-cell-12v-17ah-pro-motor-boats-a-electric-vehicles.jpg
- (19) BATTERY UNIVERSITY. *Jak funguje olověný akumulátor?* [online]. Překlad Petra ŠRUBAŘOVÁ. [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16090-jak-funguje-oloveny-akumulator>
- (20) BU-204: How do Lithium Batteries Work?. *Battery University* [online]. [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-204-how-do-lithium-batteries-work>
- (21) TICHÝ, Jiří. *Lithiové akumulátory: Přehled základních typů a jejich vlastností* [online]. [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory>
- (22) REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Lithiové akumulátory. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/index.php/main.article/view/1708-lithiove-akumulatory>
- (23) *RC Baterie (Li-Pol)* [online]. [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://www.bighobby.cz/rc-baterie/>

- (24) *DJI MINI 2 Inteligentní akumulátor 2250 mAh* [online]. [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/cs/prislusenstvi-dji-mini-2/10135-dji-mini-2-inteligentni-akumulator-2250-mah-6941565906496.html>
- (25) *MK-V. Monarch Tractor* [online]. [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://www.monarchtractor.com/mkv.html>
- (26) *Monarch Tractor* [online]. 2021 [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://www.monarchtractor.com/>
- (27) *Wente-Energy-Case-Study: Annual savings estimated over \$2,600+ and 34K+ lbs of CO2e per tractor* [online]. [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: https://www.monarchtractor.com/experiences-video.html?exp_list=64916310567
- (28) *Cena elektřiny za 1 kWh v roce 2022. Ušetřeno.cz* [online]. [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://www.usetreno.cz/energie-elektrina/cena-za-1-kwh/>
- (29) *Cestovní náhrady - průměrné ceny pohonných hmot 2022. Finance.cz* [online]. [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/dane-a-mzda/mzda/cestovni-nahrady/prumerne-ceny-phm/>
- (30) *STROM PRAHA a.s.: Kdo jsme?* [online]. [cit. 2022-01-06]. Dostupné z: <https://www.strompraha.cz/o-nas>
- (31) *Elektrifikace, umělá inteligence a autonomie. Budoucnost zemědělské techniky podle John Deere. Agroportal24h.cz* [online]. [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/elektrifikace-umela-inteligence-a-autonomie-budoucnost-zemedelske-techniky-podle-john-deere>
- (32) *BUREŠ, David. Budoucnost traktorů je také v hybridech. Naznačuje to Steyr zajímavým konceptem. Auto.cz* [online]. [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/budoucnost-traktoru-je-take-v-hybridech-naznacuje-to-steyr-zajimavym-konceptem-134532>
- (33) *JEDLIČKA, Milan. Tesla mezi traktory, na trh přichází první elektrický traktor s autonomním řízením* [online]. [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/tesla-mezi-traktory-na-trh-prichazi-prvni-elektricky-traktor-s-autonomnim-rizenim>
- (34) *MILES, Peter. Electric Tractors are here, shall we call them ETs?. Medium* [online]. [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://medium.com/codex/electric-tractors-are-here-shall-we-call-them-ets-94baca0d0207>
- (35) *JEDLIČKA, Milan. Litevci vyvinuli unikátní hybridní traktor, řeší hlavní problém těch dnešních. Využívá biometan a elektřinu. Agroportal24.cz* [online]. [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/litevci-vyvinuli-unikatni-hybridni-traktor-resi-hlavni-problem-tech-dnesnich-vyuziva-biometan-a-elektrinu>

- (36) KOMUNÁLNÍ TRAKTORY BOOMER. *AGROTEC a.s.* [online]. [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://www.eagrotec.cz/produkty/traktory/komunalni-traktory-boomer>
- (37) Ekonomické normativy strojů. *Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i.* [online]. [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <http://vuzt.cesnet.cz/vuzt0/start99.php?dircmd=normstro&modulcmd=normstro&labelcmd=tiskzvol0>