

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Moderní elektromobilita pro inteligentní město

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš TOMEK**
Osobní číslo: **E15B0094P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Moderní elektromobilita pro inteligentní město**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte obecný přehled současného stavu elektromobility a používané infrastruktury.
2. Popište detailněji fungování moderní elektromobility v inteligentním městě v součinnosti s inteligentní energetickou sítí.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.


Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vojtěch Blahník, Ph.D.

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 10. října 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 7. června 2018


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se zabývá elektromobilitou, její infrastrukturou a hlavními částmi elektrických vozidel. Dále se zaměřuje na chytré sítě a spolupráci elektromobility s chytrými sítěmi v inteligentních městech. Představuje možné dopady elektromobility na zatížení sítě navrhuje motivaci pro uživatele k regulovanému nabíjení elektrických vozidel. V poslední části popisuje zavedení elektrických autobusů do městské hromadné dopravy a způsoby nabíjení těchto vozidel.

Klíčová slova

Elektromobilita, chytrá síť, elektrické vozidlo, inteligentní město, elektromobil, nabíjení, akumulace energie, elektrický pohon, elektrický autobus, komunikace, elektrická energie.

Abstract

The presented bachelor thesis deals with electromobility, its infrastructure and the main parts of electric vehicles. It also focuses on smart grids and cooperation in the field of electromobility with smart grids in smart cities. It presents possible impacts of electromobility on load and suggests motivation for users to regulate charging of electric vehicles. The last part introduces the introduction of electric buses into urban public transport and the ways of their charging.

Key words

Electromobility, smart grid, electric vehicle, intelligent city, electric car, charging, energy accumulation, electric traction, electric bus, communications, electric power.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 7.6.2018

Tomáš Tomek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Vojtěchu Blahníkovi Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	10
Úvod	11
1 Elektromobilita	12
2 Elektromobily	13
2.1 Nissan Leaf.....	13
2.2 Model X	14
2.3 Hybrid BMW i8	15
3 Elektrické autobusy.....	16
3.1 Elektrobús s rychlým dobíjením.....	16
3.2 Elektrobús se standartním dobíjením	17
3.3 ZeEUS.....	17
3.4 Projekt ZeEUS v městě Plzeň.....	18
4 Nabíjecí stanice.....	19
4.1 Veřejné dobíjecí stanice ČEZ.....	19
4.1.1 Běžné dobíjení	19
4.1.2 Rychlé dobíjení	19
4.2 Rozdělení nabíjecích stanic	20
4.2.1 Rozdělení podle typu napětí nabíjecí stanice	20
4.2.2 Podle zdroje energie pro nabíjecí stanici.....	21
4.2.3 Podle způsobu přenosu energie z nabíjecí stanice do elektrického vozidla	21
5 Akumulátory pro elektrická vozidla	23
5.1 Lithium-iontový akumulátor (Li-Ion).....	23
5.2 Lithium-železo-fosfátový akumulátor (LiFePO4).....	24
5.3 Vysokokapacitní kondenzátory	24
5.4 BMS (Battery management system).....	24
6 Pohon elektrických vozidel.....	26
6.1 Střídavé motory.....	26
6.1.1 Asynchronní motor	26
6.1.2 Synchronní motory.....	27
7 Co si dnes představujeme pod pojmem chytrá síť (smart grid)	29
8 Nový způsob přenosu energie	31
9 Inteligentní město (smart city)	33
10 Inteligentní město ve spolupráci s chytrou sítí a elektromobilitou	34
10.1 Přetoky energie do míst potřeby.....	34
10.2 Alokace energie.....	35
11 Dopad elektromobility na zatížení distribuční sítě	37
12 Nutnost využití chytré sítě pro přenos energie v souvislosti s DDZ.....	38
12.1 Zavedení tarifů pro distribuční síť jako motivace pro nabíjení EV v ideální čas	39
12.2 Kompenzace přebytku nebo nedostatku energie v síti pomocí EV.	40
13 Chytré město a elektrické autobusy	41

13.1	Nabíjení elektrického autobusu ve spolupráci s chytrou sítí v inteligentním městě.....	41
13.1.1	Noční nabíjení	42
13.1.2	Nabíjení na konečných zastávkách.....	43
13.1.3	Nabíjení na zastávkách linky	44
	Závěr.....	45
	Seznam obrázků.....	47
	Seznam literatury a informačních zdrojů	48

Seznam symbolů a zkratek

BMS.....	Battery management systém
DDZ.....	Denní diagram zatížení
EMS.....	Energy management system
EV.....	Elektrické vozidlo
GPS.....	Global positioning system
HDO.....	Hlavní domovní ovládání
HVDC.....	Vysokonapěťový stejnosměrný přenos elektrické energie
HVAC.....	Vysokonapěťový střídavý přenos elektrické energie
ICT.....	Informační a komunikační technologie
ID.....	Identifikační
RT-SLM.....	Real-time smart load management
RUL.....	Remaining useful life
SOC.....	State of charge
SOH.....	State of health

Úvod

Lidstvo si začalo uvědomovat, že přírodní bohatství Země není nevyčerpatelné a mělo by si ho více vážit. Proto se dnes rozvíjí mnoho opatření a nových technologií, aby se aktuální situace zlepšila. Elektrickou energii lidstvo používá už desítky let a nastal čas, aby se naučil používat elektřinu i v jiných oblastech než doposud. Jelikož je elektrická energie nejčistší forma energie, měla by být lépe využívána, zvláště v oblastech, kde vzniká hodně ekologicky škodlivých látek kde se spotřebovávají vyčerpatelné zdroje, a právě touto oblastí je doprava.

Použitím elektrické energie v dopravě vzniklo dnes tak velmi diskutované téma elektromobility. Tato práce se bude zabývat elektromobilitou, představí elektrická vozidla, která jsou dnes na začátku svého vývoje, tedy elektromobily a elektrické autobusy. Už dnes existují konkurenceschopné vozy, které se dají reálně použít v praxi, a množství elektrických vozidel bude pravděpodobně v budoucnu přibývat. Práce bude pojednávat o nabíjecích stanicích, které jsou nedílnou součástí infrastruktury pro elektrická vozidla. V návaznosti na nabíjecí stanice bude popisován jeden ze dvou hlavních komponentů elektrických vozidel, akumulátor, a následně i druhý elektrický pohon. V dalších kapitolách budou představeny chytré sítě, jejich možné využití a jaké nové technologie mohou přinést, jako například nové způsoby přenosu energie. Dále bude představeno téma inteligentních měst, a následně možné využití elektromobility ve spojení s chytrými sítěmi v inteligentních městech, které může dopomoci k lepší regulaci sítě vlivem komunikace na straně místa výroby do místa potřeby spotřeby energie nebo pro alokaci energie. Také bude popsán dopad elektromobility na zatížení sítě a navrženo, jak motivovat uživatele elektrických vozidel, aby svá vozidla nabíjeli a aby nedocházelo k přetížení sítě. Na závěr se práce zaměří na začlenění elektrických autobusů do městské hromadné dopravy a způsoby jejich nabíjení.

1 Elektromobilita

Za posledních několik desítek let bylo lidstvo zvyklé používat pro svou dopravu vozidla závislá na pohonných hmotách. Spalování fosilních paliv s sebou ovšem přináší rizika jako například narušení klimatické rovnováhy. Pro tento a další závažné problémy se lidstvo začalo snažit využívat v dopravě šetrnější zdroje energie k životnímu prostředí, nejčistším zdrojem energie je dnes elektrická energie. Od doby, kdy se elektřina začala používat, se vývoj elektřiny nesmírně posunul. Lidé se naučili elektřinu transportovat na velké vzdálenosti, zefektivnili její výrobu nebo ji také začali vyrábět z více čistých zdrojů, které produkují menší nebo žádné množství škodlivých látek. Použití elektrické energie v dopravě s sebou přináší dnes tak aktuální téma elektromobility.

Pod pojmem elektromobilita si lze představit všechny dopravní prostředky či vozidla, které jsou poháněny elektrickou energií. Myslíme tím automobily, elektrické autobusy, ale do této skupiny lze zahrnout také tramvaje či metra. Pod pojem elektromobilita lze dále zahrnout oblast hybridních pohonů, kdy minimálně jeden ze dvou různých pohonů je elektrický a druhý je obvykle spalovací motor. Elektrická energie může být dodávána nepřetržitě, což je typické pro tramvaje či metra. Tomuto typu příjmu energie se říká závislá trakce. Druhým typem dodávky elektrické energie je nezávislá trakce, tzn. že elektrická energie je dodávána po dobu nabíjení akumulátorů umístěných uvnitř dopravního prostředku.

Jedním z hlavních důvodů, proč je téma elektromobility tak rozšířené a proč je dnes častým předmětem diskuze, jsou nulové lokální emise, které se nejvíce projevují ve městech. Použití elektrických vozidel, jako jsou elektrické autobusy, elektromobily a další dopravní prostředky poháněné elektrickou energií, by vedlo k vyčištění městských zón. Používání elektrických vozidel by mělo také za následek snížení spotřeby ropy jakožto strategické suroviny. Ropa, není používána pouze jako pohonná hmota, ale je používána i v mnoha dalších odvětvích. Je to velice důležitá surovina, která jednou dojde a která se v následujících letech stane stále více nedostatkovým zbožím. Další výhodou je například nulový hluk a fakt, že elektromobily mají také nižší provozní náklady. Jejich pořizovací cena je mnohdy znatelně vyšší než ekvivalentní vozidlo se spalovacím motorem. Další nevýhodou je omezený dojezd a dlouhá doba nabíjení (i několik hodin) oproti natankování benzínu či nafty do vozidla se spalovacím motorem. [1] [2]

2 Elektromobily

Většina z nás si svět bez automobilů neumí představit. Používají ho miliony lidí každý den pro svou dopravu, přepravu různých věcí a k mnoha dalším účelům. Zavedení elektromobilů na naše cesty ovlivní velkou část populace. Elektromobily zažívají v posledních několika letech velký rozmach a výrobci i spotřebitelé v nich vidí velký potenciál. Dnes má snad každý velký výrobce aut své elektrické auto nebo koncept, kterým by se chtěl v budoucích letech ubírat. V této kapitole bude popsáno několik zajímavých elektromobilů a hybridní automobil, které ukazují, kam se budoucí elektromobily a celá automobilová produkce budou ubírat a že již dnes je možné si elektromobil pořídit.

Elektromobil je automobil, který je poháněn elektrickou energií. Pro svůj pohon používá elektromotory, které berou elektrickou energii z baterií uložených uvnitř vozu, nebo také palivové články, kde probíhají chemické reakce. Další kapitoly navážou na hlavní části elektrických vozidel, jejich akumulátory a pohony, které budou podrobněji představeny.

2.1 Nissan Leaf

Jedním z nejmenších a nejkompaktnějších elektromobilů je Nissan Leaf. Vozidlo pohání synchronní stroj s vyniklými póly, který spotřebovává energii z akumulátorů uložených v podvozku. Leaf dosahuje výkonu 80 kW, což je na malé auto, používané hlavně ve městech, optimální pro většinu uživatel. Zrychlení z 0 na 100 km/h za 11,9 sekundy a jeho dojezd 160 km jsou pro běžné každodenní přepravování většiny populace dostatečné. Baterie se stačí dobít na 80% své kapacity za 30 minut pomocí rychlonabíjecí veřejné stanice. Baterie jsou typu Li-Ion a nabývají kapacity 30kWh nebo 24 kWh podle toho, jakou velikost si zákazník vybere. Nissan Leaf je jedním z nejprodávanějších elektromobilů na světě, a proto byl do této práce vybrán jako první. Je ukázkou toho, že i kratší dojezd většiny populace stačí na každodenní dopravu, a vyhovující jsou i malé rozměry vozu. [3] [4]



Obr. 1 Nissan Leaf [31]

2.2 Model X

Tesla Model X je v současné době jedním z nejmodernějších elektromobilů kalifornské společnosti Tesla Inc. Tato firma v posledních letech výrazně zasahuje do odvětví elektromobilů, a zároveň je to jeden z největších inovátorů tohoto odvětví. Model X je SUV s dojezdem přes 400 km. Vnitřek vozu ukrývá sedm míst a je ideální jako velké rodinné auto. Na palubní desce je usazen velký 17ti palcový displej, který je typický pro tuto automobilovou společnost. Jedna z odlišností, oproti mnoha ostatním automobilům, je, že Model X disponuje zavazadlovým prostorem jak vzadu, tak i vpředu vozu. Tesla Model X se vyrábí ve dvou variantách. První je slabší verze 90D a druhá silnější P90D. Obě verze mají poháněny všechny čtyři kola a obě mají shodný výkon předního motoru 190 kW. Rozdíl je u výkonu zadního motoru, kdy silnější verze P90D, má zadní motor výkonnější o 190 kW než slabší verze 90D. Akumulátory o kapacitě 90 kWh jsou uloženy v podvozku vozu. Silnější verze dokáže zrychlit z 0 na 100 km/h za 3,2 sekundy, což je na automobil vážící 2,5 tuny hodnota, která se vidí jen u velice výkonných a drahých aut se spalovacím motorem. [5]



Obr. 2 Tesla Model X [32]

2.3 Hybrid BMW i8

Firma BMW přišla s nápadem na výrobu automobilu, který bude sportovní a zároveň ekologický vůz s nízkou spotřebou. Výsledkem jejich snahy vznikl výjimečný hybridní vůz BMW i8. Vůz pohání jak benzínový motor, tak i elektrický. Oba motory dokáží dohromady vyprodukovat výkon 266 kW, z nichž elektrický motor vyprodukuje 98 kW. Druhý motor je benzínový o obsahu 1,5 l, který spolupracuje se šestistupňovou automatickou převodovkou, která pohání zadní kola, a vyprodukuje zbylých 168 kW. Akumulátor je typu Li-Ion a dodává energii na ujetí 35 km na jedno nabití. Elektromobil je možno nabít z obyčejné zásuvky za 3 hodiny. Spotřeba se zastavila na hodnotě 2,5 l/km, ovšem této hodnoty se dá dosáhnout pouze v laboratorních podmínkách a v praxi je spotřeba vyšší. Vůz s maximální rychlostí omezenou na 250 km/h zrychlí z 0 na 100 km/h za necelých 5 vteřin, což je hodnota, která se vyrovná dnešním výkonným sportovním vozům, které ovšem nejsou tak ekologické a s tak nízkou spotřebou, a proto je tento vůz tak výjimečný a lze očekávat, že v dalších letech takovéto typy sportovních vozů budou přibývat. [6] [7]



Obr. 3 Tesla Model X [33]

3 Elektrické autobusy

Klasické naftové autobusy, stejně jako automobily se spalovacím motorem, jsou nedílnou součástí dopravy, kterou miliony lidí používají každý den a bez které by se dnes už neobešly. Autobusy tvoří mnoho hlavních dopravních sítí, hlavně v menších městech, a ve větších městech zajišťují dopravu do okrajových částí měst. Nahrazení naftového motoru motorem elektrickým dalo za vznik elektrickým autobusům.

3.1 Elektrobus s rychlým dobíjením

Škoda Perun HP (High Power) je rychlonabíjecí dvanáctimetrový elektrický autobus. Pro svou baterii využívá nejmodernější poznatky nanotechnologie. S pomocí plně automatické nabíjecí infrastruktury ŠKODA (Ultra Fast Charger) je schopen nabít svou kapacitu baterií za 5-8 minut a na tuto nakumulovanou energii je schopen ujet na jedno nabití až 30 km. Tento typ elektrobusu je tedy vhodný pro nasazení do častých linek, kde se může dobíjet v průběžných stanicích během své cesty nebo na konečné zastávce, kde zpravidla setrvává delší dobu. Perun HP je vybaven spoustou chytrých řešení. Například odpadní teplo, které vzniká při procesu chlazení akumulátorů vozidla, lze využít pro vytápění vnitřního prostoru elektrobusu pro cestující. Škoda Perun HP je schopen pojmout 27 pasažérů pro sezení a 58 pasažérů pro stání. Škoda Perun HP spolu s plně automatizovanou nabíjecí infrastrukturou je pohled do budoucna, jak by mohla fungovat městská hromadná doprava. [8]



Obr. 4 Škoda Perun HP [8]

3.2 Elektrobus se standartním dobíjením

Škoda Perun HE (High Energy) je také dvanáctimetrový elektrický autobus, avšak je osazen Li-Pol (lithium-polymerovými) bateriemi pro dosažení vysokého počtu ujetých kilometrů na jedno nabití. Na jedno plné nabití je elektrobus schopný ujet 150–200 km. Je tedy vhodný pro použití na linkách s dlouhým dojezdem například mezi městy, kde se vzdálenosti pohybují kolem desítek kilometrů a kde není možné zřídit rychlonabíjecí infrastrukturu pro rychlé nabíjení. Vozidlo se nabije do plné kapacity za 6–8 hodin nebo 70 minut za pomoci výkonné rychlonabíjecí stanice. Je tedy vhodné nabíjet tyto elektrické autobusy během noční odstávky. Kapacita ŠKODY Perun HE činí 55 stojících cestujících a 27 sedících cestujících. [9]



Obr. 5 Škoda Perun HE [9]

3.3 ZeEUS

Projekt ZeEUS (Zero Emission Urban Bus System) je významným projektem Evropské unie se zaměřením na rozšíření plně elektrických městských autobusů. Projekt spadá do konceptu Evropské komise s cílem vytvořit konkurenceschopný a udržitelný dopravní systém za použití alternativních paliv a elektrické energie. ZeEUS si dává za cíl snížit emise dopravy, zlepšit kvalitu ovzduší a snížit hladinu hluku v městských oblastech. Za účelem dosažení svého cíle bude ZeEUS testovat širokou škálu různých inovativních technologií elektrických autobusů a nabízet infrastrukturní řešení v devíti evropských zemích, aby vývojáři ověřili ekonomickou, environmentální a sociální životaschopnost tohoto projektu. ZeEUS tvoří celé spektrum zúčastněných stran, které zastupuje všechny klíčové subjekty a kategorie rozhodovacích orgánů, které usnadní proces rozšíření elektrického řešení na síť městských autobusů. 40 partnerů představuje

orgány veřejné dopravy, provozovatele veřejné dopravy, výrobce vozidel, poskytovatele energie, univerzity a výzkumná centra, strojírenské firmy, poradenské společnosti a další sdružení. Projekt ZeEUS navíc usiluje o to, aby se stal vlajkovou lodí elektrického autobusu, který bude také pozorně sledovat vývoj elektrických sběrníkových systémů po celém světě. [10]

3.4 Projekt ZeEUS v městě Plzeň

V projektu ZeEUS ve městě Plzeň šlo o nasazení dvou elektrických autobusů značky Škoda s rychlonabíjecí infrastrukturou, která měla ukázat možnost nahrazení dosavadních naftových autobusů. Autobusy Škoda Perun HP, jak je popsáno výše, jsou dvanáctimetrové nízkopodlažní městská vozidla s pokročilým systémem rychlého nabíjení, který lze nabíjet na konečných zastávkách nebo mezistanicích. Způsob nabíjení elektrických autobusů pomocí rychlého nabíjení byl vybrán s ohledem na čas nabíjení, vzdálenosti autobusové linky nebo požadované parametry vozidla. Elektrobuses testovaly také možnost rekuperace brzděné energie pro dobití akumulátorů. Zahájení provozu čistě elektrických autobusů v Plzni je zastřešeno projektem Zelené město. [11]

4 Nabíjecí stanice

Nedílnou součástí pro fungování většiny elektromobilů, elektrických autobusů a dalších elektrických vozidel jsou bezpochyby nabíjecí stanice. Jejich rozšíření se každým rokem zvyšuje a je kladen důraz na stále větší rozšíření nabíjecích stanic. Pro elektrobusesy jsou nabíjecí stanice předem dány, jelikož elektrobusesy mají pevně stanovené trasy. Nabíjecí stanice pro elektromobily jsou umístěny hlavně na místech s největší koncentrací automobilů, například na velkých parkovištích (NC Plaza), u hlavních dálnic či míst, kde je vytvoření této stanice výhodné. Nabíjecí stanice lze dělit podle typu napětí, zdroje energie, nebo podle způsobu přenosu energie. Jedním z hlavních a největších hráčů na poli nabíjecích stanic v České republice je Skupina ČEZ.

4.1 Veřejné dobíjecí stanice ČEZ

Firma ČEZ je, jak sami píší, největším energetickým uskupením působícím na trzích jihovýchodní a střední Evropy. ČEZ provozuje nejrozsáhlejší síť veřejných nabíjecích stanic v České republice a elektromobilitě se věnuje od roku 2009. [12]

4.1.1 Běžné dobíjení

Stanice pro běžné dobíjení je vybavena dvěma zásuvkami se standardem Mennekes. Základní vlastností je ochrana uživatelů před úrazem směrem od stanice, ale i ochrana samotné stanice před vandaly. Stanice je osazena standardní jednofázovou zásuvkou 16 A a také třífázovou zásuvkou 32 A. Před začátkem nabíjení se uživatel identifikuje pomocí ID karty, která je propojením mezi zákazníkem a poskytovatelem. Maximální dobíjecí výkon činí 26 kW. [12]

4.1.2 Rychlé dobíjení

Stanice s rychlým dobíjením jsou vybaveny DC konektory s nabíjecími standardy CHAdeMO a CCS, které umožňují nabíjet s výkonem až 50 kW. Stanice jsou dále vybaveny střídavým dobíjením se standardem Mennekes pro výkon dobíjení až 22 kW. Pomocí DC nabíjení je stanice schopna nabít za 20 až 30 minut běžné elektrické vozidlo na 80 % jeho kapacity baterie. Za pomoci střídavého dobíjení je doba znatelně vyšší a to 1–3 hodiny. Výstavba těchto 108 rychlých dobíjecích stanic firmy ČEZ byla podpořena z dotačního programu financovaného Evropskou komisí. [12]



Obr. 6 Mapa dobíjecích stanic skupiny ČEZ (oranžová – rychlodobíjecí stanice, šedá – běžné dobíjecí stanice) [34]

4.2 Rozdělení nabíjecích stanic

V této kapitole jsou rozděleny nabíjecí stanice podle jejich vlastností. Nabíjecí stanice lze rozdělit podle typu napětí, zdroje energie nebo způsobu přenosu energie z nabíjecí stanice do akumulátoru.

4.2.1 Rozdělení podle typu napětí nabíjecí stanice

Prvním rozdělením je rozdělení podle typu napětí. Nabíjecí stanice používají stejnosměrné a střídavé napětí.

- ***Stejnoseměrné nabíjecí stanice***

Při nabíjení elektromobilu stejnosměrným nabíjením je elektromobil přímo připojen ke stejnosměrnému napětí. Toto napětí je v nabíjecí stanici usměrněno pomocí usměrňovače z napětí, které dodává síť. Výhodou těchto nabíjecích stanic je fakt, že přenášejí velký výkon oproti palubním nabíječkám, které jsou u střídavých nabíjecích stanic. Díky velkému přenášenému výkonu říkáme tomuto nabíjení rychlonabíjení. [13]

- ***Střídavé nabíjecí stanice***

U střídavých nabíjecích stanic přeměna střídavého napětí na stejnosměrné neprobíhá v samotné nabíjecí stanici, ale až v elektromobilu. U většiny případů přivádí střídavá nabíjecí stanice do elektromobilu síťové napětí a slouží tedy spíše k monitorování nabíjení. Jelikož je nabíjení omezeno hlavně palubní nabíječkou, která je omezena z důvodu rozměrů a hmotnosti na nižší výkony, je přenášený výkon zpravidla menší, než

je tomu u stejnosměrných nabíjecích stanic. Jedním ze způsobů, jak nabíjení urychlit, je použití vinutí motoru a pohonný měnič, které jsou dimenzovány na vyšší výkony, a zvýší se tím znatelně i rychlost nabíjení. Nevýhodou tohoto způsobu nabíjení je složitější pohonná jednotka. [13]

4.2.2 Podle zdroje energie pro nabíjecí stanici

Dalším rozdělením je rozdělení podle zdroje energie. Nabíjecí stanice používají energii pro nabíjení ze sítě nebo velkokapacitních akumulátorů.

- ***Ze sítě***

Nejčastějším zdrojem elektrické energie pro nabíjecí stanice je distribuční síť. Nejrozšířenější je pro své malé počáteční náklady a jednoduchost. Firma ČEZ představuje na svých internetových stránkách stanice pro domácí nabíjecí stanice, které čerpají energii ze sítě, a proto je tento způsob dobíjení tím nejrozšířenějším. Je pravděpodobné, že se vzhledem k tak snadnému způsobu pořízení bude množství nabíjecích stanic zvyšovat i v domácnostech. Nevýhodou těchto stanic je především velká zatížitelnost sítě, která je nepříznivá pro kvalitu a vyváženost elektrické energie v síti. [12] [13]

- ***Z velkokapacitních akumulátorů***

U tohoto způsobu napájení z nabíjecí stanice se využívá vysokokapacitních akumulátorů, které jsou umístěny blízko nabíjecí stanice. Akumulátory se převážně nabíjejí pomocí obnovitelných zdrojů energie (fotovoltaické panely), jelikož regulace výroby těchto zdrojů je špatná. Také lze akumulátory nabíjet při přebytcích elektrické energie v síti, kdy dochází ke stabilizaci přebytků elektrické energie. Další výhodou těchto velkokapacitních akumulátorů je fakt, že se dají použít jako záložní zdroje energie, například při výpadku elektrické energie ze sítě. Nevýhodou těchto stanic jsou vysoké pořizovací náklady, které jsou zapříčiněny vysokou cenou velkokapacitních akumulátorů, a proto je tento způsob méně používaný. [13]

4.2.3 Podle způsobu přenosu energie z nabíjecí stanice do elektrického vozidla

V neposlední řadě lze nabíjecí stanice rozdělit podle způsobu přenosu energie. Energie z nabíjecí stanice se transportuje do akumulátoru pomocí kabelu, bezdrátově nebo lze vyměnit celou baterii.

- ***Drátové***

Tento druh nabíjení využívá kabelu, který mechanicky propojí elektrické vozidlo

s nabíjecí stanicí. Pro propojení se používají třífázové či jednofázové zásuvky nebo nabíjecí konektory. Takovýto způsob nabíjení lze ještě rozdělit na plně automatické nabíjení nebo na nabíjení s obsluhou. [13]

- ***Bezdrátové***

Při bezdrátovém nabíjení se energie přenáší vzduchem pomocí cívek a elektromagnetických vln. Proto má bezdrátové nabíjení tu výhodu, že se vozidlo nemusí připojovat kabelem k nabíjecí stanici, ale stačí pouze zaparkovat nad induktorem. Díky této výhodě lze bezdrátové nabíjení použít například na zastávkách autobusů, kde elektrobus stihne dobít část energie než proběhne výstup a nástup pasažérů, nebo jej lze použít na veřejných parkovištích, kdy stačí pouze zaparkovat auto na předem dané místo. Oproti svým výhodám má bezdrátové nabíjení také své nevýhody. Tou největší je vyzařování a rušení okolí. [13]

- ***Výměna baterií***

Princip spočívá ve vyjmutí celé vybité baterie a nahrazení plně nabitou baterií, kterou nabíla nabíjecí stanice. Vybitá baterie se poté pomocí nabíjecí stanice nabije a vloží do dalšího auta s vybitou baterií. Výměna baterií je velmi rychlá, a tedy časově neomezuje řidiče jako je tomu například při klasickém dobíjení ze zásuvky, kdy musí řidič čekat i několik hodin do plného nabití. Tyto stanice s výměnou baterií jsou ale velmi nákladné, a proto se často nevyskytují. [13]

5 Akumulátory pro elektrická vozidla

Elektrická vozidla mají oproti běžným vozidlům se spalovacím motorem dva hlavní konstrukční rozdíly. Prvním je elektrický pohon (elektrické motory), o kterém se dále také zmíní kapitola 6, a druhým jsou akumulátory. Akumulátory svými parametry nejvíce ovlivňují parametry elektrických vozidel. Nejdůležitější z parametrů akumulátorů jsou měrný výkon a měrná kapacita. Měrná kapacita vyjadřuje množství energie uložené v jednom kilogramu a udává se v [Wh/kg]. Tento údaj významně ovlivňuje dojezd, jelikož čím vyšší je množství energie, tím je dojezd vyšší, avšak zvýší se i hmotnost vozidla, a tím se naopak dojezd snižuje. Dalším z důležitých parametrů je měrný výkon, který udává maximální výkon akumulátoru, který můžeme odebírat nebo dodávat v přepočtu na jeden kilogram [W/kg]. Tento parametr tedy ovlivňuje rychlost nabíjení, maximální rychlost vozidla nebo zrychlení. V elektrických vozidlech se hlavně používají akumulátory nebo vysokokapacitní kondenzátory neboli superkondenzátory. Superkondenzátory se dají nabíjet velice rychle, mají ovšem malou měrnou kapacitu. Druhů akumulátorů existuje celá řada a na nových typech a technologiích se usilovně pracuje. Názvy akumulátorů, jako například Li-Ion nebo LiFePO₄, udávají, z jakých prvků nebo látek je baterie zhotovena, a toto složení jí udává její vlastnosti. Elektromobily si většinou vezou svojí akumulátorovou výzbroj upevněnou na podvozku vozidla. Naopak elektrické autobusy často uchovávají své akumulátory také v podvozku, ale i na střeše vozidla, což způsobuje značné konstrukční obtíže a zhoršuje jízdní vlastnosti, jelikož hmotnost akumulátorů se pohybuje v řádu tun. Nejpoužívanějšími akumulátory jsou Li-Ion, LiFePO₄ (Lithium-železo-fosfát), NiCd (Nikl-kadmium), olověný akumulátor, NiMH (Nikl-metal hydrid). [16]

5.1 Lithium-iontový akumulátor (Li-Ion)

Lithium-iontové akumulátory se vyznačují hlavně vysokou měrnou kapacitou. Jsou tedy vhodné pro přenosná zařízení, a proto se dnes používají i v běžné spotřební elektronice. V tomto akumulátoru se lithiové ionty pohybují při nabíjení mezi katodou a anodou. Akumulátor lze nabít na 80 % během hodiny, avšak dobít zbývajících 20 % trvá ještě déle. Toto je způsobeno nestálým nabíjecím proudem, který postupně klesá. Li-Ion akumulátory se vyznačují pomalým samovybíjením, žádným paměťovým efektem, velmi vysokou měrnou kapacitou nebo nezávadností k životnímu prostředí. Jejich špatné vlastnosti jsou rychlé stárnutí (ztrácí svou maximální kapacitu), vysoký vnitřní odpor,

maximální nabíjecí a vybíjecí proud a vysoká cena, která s postupem inovace klesá. [14] [15] [16]

5.2 Lithium-železo-fosfátový akumulátor (LiFePO₄)

Lithium-železo-fosfátový akumulátor je jedním z mnoha verzí lithium-iontových akumulátorů. Tento název si akumulátor získal díky své katodě, která je z tohoto materiálu vyrobena, zatímco anoda je jako u Li-Ion akumulátoru z uhlíku. Ve srovnání s Li-Ion akumulátory při extrémních podmínkách neexplodují a mají schopnost dodat vyšší proud. Mezi další přednosti patří absence samovolného vybíjení, odolání vysokým teplotám, vysoká životnost, vysoký počet nabíjecích cyklů, a vysoká hustota energie. [14] [15] [16]

5.3 Vysokokapacitní kondenzátory

Vysokokapacitní kondenzátory nebo také superkondenzátory či ultrakondenzátory jsou schopné v krátkém čase akumulovat a následně i odevzdat velké množství energie. Jsou tedy vhodné pro rychlonabíjecí elektrobusy, které by se nabíjely po krátký čas na zastávkách a ujely by krátké vzdálenosti, tudíž nejlépe v městské hromadné dopravě. Vysokokapacitní kondenzátory dosahují měrné kapacity až 10 Wh/kg. Kapacitu kondenzátoru lze zvětšit zmenšením vzdálenosti elektrod kondenzátoru, zvětšením plochy elektrod nebo použitím dielektrika s větší poměrnou permitivitou dielektrika. Nejlepší možností u vysokokapacitních kondenzátorů se nakonec stalo zvětšení plochy elektrod. Superkondenzátory Maxwell dosáhly vysoké kapacity nanesením práškového uhlíku na hliníkovou fólii. Tento způsob výroby zajistí plochu až 200 m² / 1 g prášku. Velice malá vzdálenost elektrod a jejich velká plocha dávají za výsledek kapacitu až několik tisíc Faradů. Superkondenzátory lze rychle nabíjet a vybíjet díky malému vnitřnímu odporu. Moderní superkondenzátory dosahují více než jednoho milionu cyklů nabití a vybití. [14] [15] [16]

5.4 BMS (Battery management system)

S rychle se rozvíjejícími technologiemi inteligentních sítí a elektrických vozidel se baterie stávají nejvýznamnějším zařízením pro uchování energie, které přitahuje významnou pozornost. Dále také tlak na zelenou energii a solární a větrnou výrobu elektrické energie přináší potřeby uchování energie. Je známá skutečnost, že skladování

energie je významným prvkem pro integraci obnovitelné energie do sítě zejména pro jejich nepravidelnou a stochastickou výrobu energie. Technologie baterií se velmi rychle rozvíjí. Zlepšování baterií s ohledem na vyšší výkon a hustotu energie s sebou přináší zvýšení důrazu na BMS (battery management systém), v překladu systém řízení baterie. BMS zlepšuje bezpečnost baterií, spolehlivost a hospodárnost. Specifické vlastnosti a potřeby chytrých sítí a elektrických vozidel jako jsou ochrany při nabíjení a vybíjení baterií, přesný stav nabití - state of charge (SOC) nebo stav zdraví baterie – state of health (SOH) dávají BMS vysokou prioritu. BMS by měl obsahovat přesné algoritmy pro měření a odhad funkčního stavu baterie a současně být vybaven nejmodernějšími technologiemi pro ochranu baterií před nebezpečnými a neefektivními provozními podmínkami.

Pokrok v oblasti technologií a samotných materiálů baterií nemůže zaručit překonání všech obav z implementace a provozu baterií. Toto zahrnuje například životnost baterií, počet vybíjecích cyklů, životnost baterií, měření míry nabití a vybití baterie, zbývající kapacita, provozní teplota a další parametry. BMS nejen aktivně řídí funkce baterie k maximalizaci životnosti, účinnosti a bezpečnosti, ale také poskytuje informace o stavu baterie pro energy management system (EMS) jednotku. EMS jednotka v chytrých sítích a také v elektrických vozidlech minimalizuje náklady spojené s výrobou energie, skladováním, distribucí a naopak maximalizuje životnost, spolehlivost a bezpečnost. Výkonnost a efektivita EMS je pouze tak spolehlivá, jako poskytnuté údaje z BMS o bateriích jako SOC nebo zbývající životnost – remaining useful life (RUL). [17] [18]



Obr. 7 Uložení akumulátorů na podvozku elektromobilu [35]

6 Pohon elektrických vozidel

Jak už bylo v práci zmíněno, jednou ze dvou hlavních rozdílů elektrických vozidel oproti vozidlům se spalovacím motorem je elektrický pohon. Elektrický pohon má jednu velkou výhodu oproti spalovacímu motoru, a to účinnost. Elektrický motor dokáže přeměnit až 90 % energie na energii mechanickou zatímco spalovací motor pouze kolem 30 %. Další významnou vlastností a výhodou je fakt, že elektrický motor dokáže fungovat jako motor, ale také jako generátor, který přeměňuje kinetickou energii pomocí brždění zpět na elektrickou. Této přeměně kinetické energie na elektrickou se říká rekuperace. Další výhodou může být politická nezávislost na jiných zemích, které dodávají fosilní paliva, jelikož Česká republika je velkým exportérem elektřiny. Podle zprávy o provozu energetické soustavy za rok 2016 Česká republika exportovala 11,0 TWh elektřiny. [20] Pro představu podle výročního plánu Dopravního podniku hlavního města Prahy, který je v současné době největším městským odběratelem energie, byla v roce 2016 celková spotřeba elektrické energie 0,37 TWh. [21] Tudíž by množství elektrické energie exportované z České republiky mohlo zásobovat ještě 30 takto obrovských dopravních podniků.

Elektrická vozidla používají pro svůj pohon střídavé i stejnosměrné motory. U střídavých motorů to jsou synchronní motor s permanentními magnety a asynchronní motor. Mezi elektromobily si také své místo našly i stejnosměrné motory, hlavně s cizím buzením. Tato kapitola popíše na příkladu asynchronního motoru a synchronního motoru s permanentními magnety, jak se z elektrické energie stane energie mechanická, jež pohání elektrická vozidla. [15]

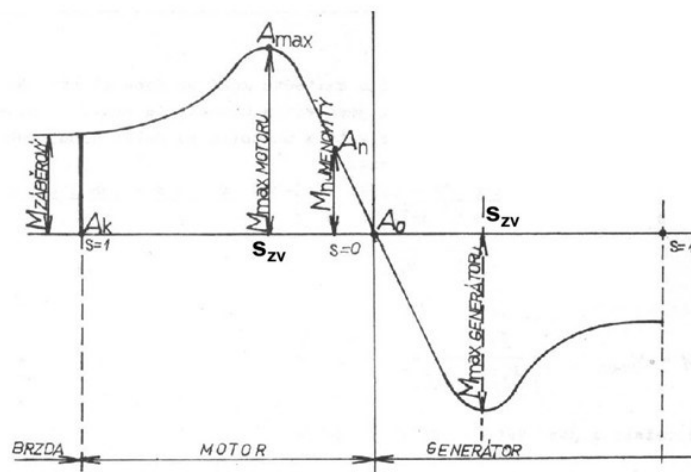
6.1 Střídavé motory

Střídavé motory potřebují pro svou funkci střídavé napětí a proud. Mezi střídavé motory patří asynchronní a synchronní motory. Oba tyto motory jsou používány v elektrických vozidlech. [15]

6.1.1 Asynchronní motor

Asynchronní motory jsou nejběžnější a nepoužívanější druh elektrických motorů. Mezi jejich přednosti se řadí jednoduchá konstrukce, vysoká spolehlivost, přetížitelnost a málo častá údržba. Oproti synchronnímu motoru je asynchronní motor menší a lehčí. Asynchronní motor pracuje na principu vzájemného působení elektromagnetického točivého pole statoru a naindukovaných proudů ve vinutí rotoru. V rotorových i

statorových drážkách je uloženo vinutí. Statorové vinutí je nejčastěji třífázové a pro vznik točivého elektromagnetického pole musí splňovat dvě podmínky. Musí být fázově a polohově vzájemně posunuté. V drážkách rotoru je také uloženo vinutí, jemuž se říká kotva. Kotvy se dělí na dva případy. První je kotva nakrátko, kde jsou v drážkách rotoru neizolované měděné či nejčastěji hliníkové kruhy nakrátko. Druhým případem je klecová kotva, kde se vinutí odlévá spolu s větracími lopatkami z hliníku. Pokud asynchronní motor zatížíme, rotor nemůže mít stejné otáčky jako magnetické pole statoru, jelikož při synchronních otáčkách by se rotor nepohyboval vůči magnetickému poli statoru a nevzniklo by naindukované napětí, které způsobuje moment. Asynchronní stroj, lze provozovat i jako generátor, kdy je naopak mechanická energie přeměněna na elektrickou. Podmínkou je, aby otáčky rotoru byly větší než otáčky magnetického pole statoru. Tomuto způsobu přeměny energie říkáme rekuperace. Nejznámějším výrobcem, který používá asynchronní motory, je firma Tesla. [19] [15]

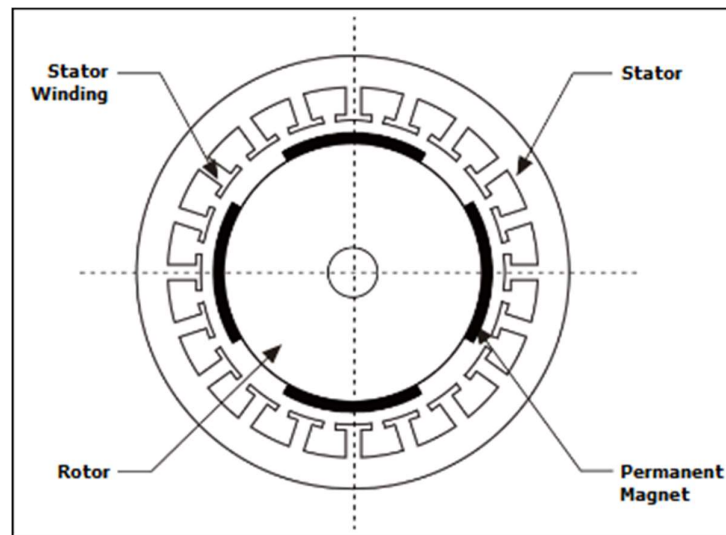


Obr. 8 Momentová charakteristika asynchronního motoru [36]

6.1.2 Synchronní motory

Druhým nejčastějším typem motoru pro elektrická vozidla jsou synchronní motory s permanentními magnety. Tyto motory mají podobnou konstrukci jako asynchronní motory. Na statoru je uloženo vinutí, které zapříčiní vznik točivého magnetického pole. Rozdílem je, že rotor je tvořen permanentními magnety, které jsou umístěny na povrchu rotoru. Aby nebyl rotor zbytečně těžký, často se odlehčuje dutinami, jelikož magnetický tok se uzavírá přes povrch rotoru. Permanentní magnety jsou tvořeny ze slitin jako například Nd-Fe-B, Sa-Co, Sm-Co. Funkce synchronního motoru spočívá v tom, že se rotor otáčí kolem statoru a má většinou stejný počet pólů. Vinutí statoru

protékaného proudem vytvoří kolem sebe točivé magnetické pole. Toto pole je hlavně ovlivněno počtem pólů a frekvencí proudu. Rychlost otáčení magnetického pole statoru a rychlost otáčení rotoru je stejná (synchronní) a nedochází ke skluzu jako u asynchronního stroje. Synchronní motory s permanentními magnety nepotřebují pro svůj rozběh cizí rozběhový systém. Vzájemným působením točivého pole statoru a stacionárního pole rotoru vzniká moment. Synchronní motory používají například firmy BMW, Toyota a další. [19] [15]



Obr. 9 Synchronní motor s permanentními magnety [37]

7 Co si dnes představujeme pod pojmem chytrá síť (smart grid)

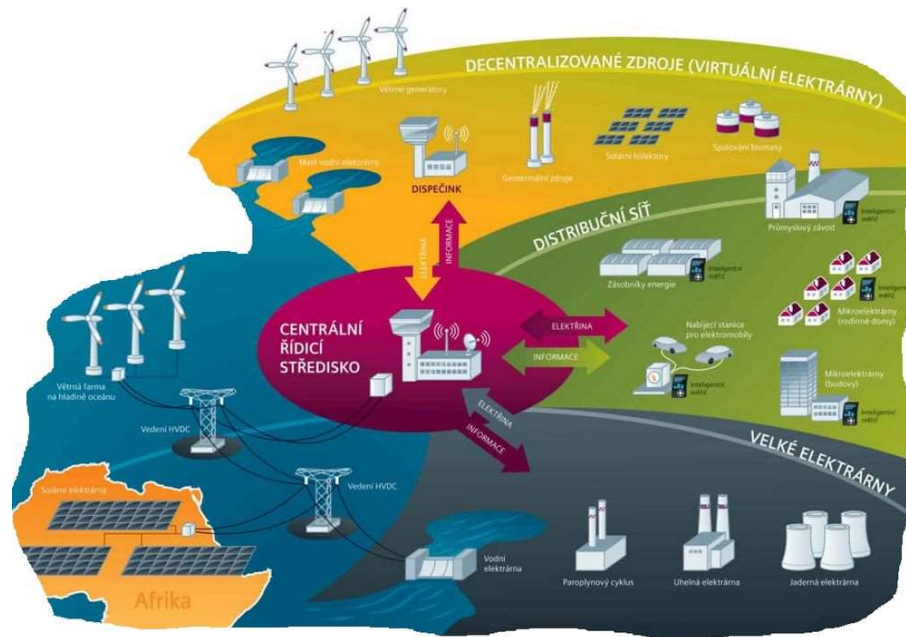
Pod pojmem smart grid, v českém překladu chytrá síť, si lze představit komunikaci skrz síť, kdy je výroba a spotřeba elektrické energie regulována v reálném čase. Tato síť zahrnuje inteligentní měřidla, chytré spotřebiče, obnovitelné zdroje energie a také efektivní zdroje energie. Hlavní ideou je obousměrná komunikace mezi stranou výroby elektrické energie a spotřebitelem elektrické energie, kdy má spotřebitel možnost vyrábět elektrickou energii, ale i ji spotřebovat. I zde ale mnoho bezpečnostních odborníků varuje před možným zneužitím této technologie.

Smart grid má několik základních znaků. Prvním z nich je integrace zákazníků. To znamená, že spotřebitelé budou vybaveni digitálními měřidly (chytrými elektroměry), které umožňují obousměrný tok informací v reálném čase a s nimiž bude možné vytvořit cenové tarify pro situaci v síti v aktuálním čase. Chytré elektroměry zlepšují efektivitu řízení spotřeby domácnosti, například ohřev vody, topení, dobíjení elektromobilu či velkokapacitních akumulátorů.

Dalším znakem je automatizace. Pod tímto pojmem si lze představit zapojení systému jak řídicího, tak kontrolního spolu se senzory, které monitorují síť. Díky automatizaci jsou předkládány aktuální informace ohledně výroby, spotřeby, zatížení sítě, kvality dodávané elektřiny, poruchy a dalších.

V neposlední řadě je velice důležité přizpůsobení pro různé výroby energie. Mezi různé výroby energie patří zejména solární panely, větrné elektrárny či plynové mikroturbíny a mnoho jiných decentralizovaných zdrojů výroby energie. Energií z těchto zdrojů může vyrábět samotný spotřebitel a posílat ji do sítě. Pokud chce spotřebitel vyrábět a dodávat do sítě energii, musí být zajištěna komunikace mezi výrobou a spotřebou energie. Komunikace probíhá pomocí datových sítí, kde je kladen důraz na formáty přenášených dat, standardizaci a v neposlední řadě na bezpečnost těchto dat, které musí být chráněny před poruchami či neoprávněným zásahem do datových sítí.

Díky této vzájemné komunikaci, která umí velmi rychle zkoordinovat jak výrobu energie, tak její spotřebu, jsou smart grid základním kamenem pro výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů, jelikož je u obnovitelných zdrojů velmi nepravidelná a neregulovatelná výroba a velmi vážně ovlivňují rovnováhu v síti, kdy se v reálném čase musí spotřebovat stejná energie, jako se vyrobí, jelikož se dá obtížně uchovat. Z tohoto důvodu jsou smart grids jedním z hlavních nástrojů EU pro své ekologické cíle do roku 2020, kdy mezi hlavní priority patří snížení skleníkových plynů a CO₂, zvýšení efektivity při výrobě energií a využití obnovitelných zdrojů energie. Další benefit, který chytré sítě přináší, je zefektivnění výroby a spotřeby z pohledu nákladů. Díky správné komunikaci umožní například zapnutí spotřebičů, které mohou být zapnuty kdykoli přes den, v ten nejpriznivější čas, například kdy je cena elektřiny nejnižší a spotřebitel tak může ušetřit. [22] [23].



Obr. 10 Smart grid - obousměrná komunikace mezi výrobou a spotřebou energie [37]

8 Nový způsob přenosu energie

Smart grid (chytré sítě) jsou mnohem víc než IT a inteligentní měřiče. Smart grid je elektrická síť, která dokáže komunikovat s výrobcí energie, spotřebiteli a těmi, kteří generují energii a spotřebovávají ji za účelem doručení bezpečné, ekonomické a efektivní elektrické energie. Za poslední desítky let se pro přenos elektřiny používal HVAC (vysokonapěťový střídavý přenos elektrické energie), dnes ovšem přichází možnost transportovat elektrickou energii za pomoci HVDC (vysokonapěťový stejnosměrný přenos energie), které má své výhody ale i nevýhody. Přenos pomocí HVAC se používal za posledních více než sto let hlavně z důvodu transformace velikosti napětí pomocí transformátoru. Nemožnost efektivní a jednoduché změny napětí u stejnosměrného přenosu vedlo k tomu, že musely dříve stroje pracovat na napětí generátoru. Dále vznikl problém přenosu elektřiny na vzdálenosti větší než několik kilometrů, jelikož se při větších vzdálenostech projevil pokles napětí na vedení, a tím vznikly vysoké ztráty. Od té doby výkonová elektronika velmi pokročila a dnes již známe výkonové měniče, které nám umožňují pracovat s přenosem HVDC. Tento problém s transformací energie byl tedy vyřešen a HVDC nám může poskytnout své nesporné výhody oproti HVAC, které jsou:

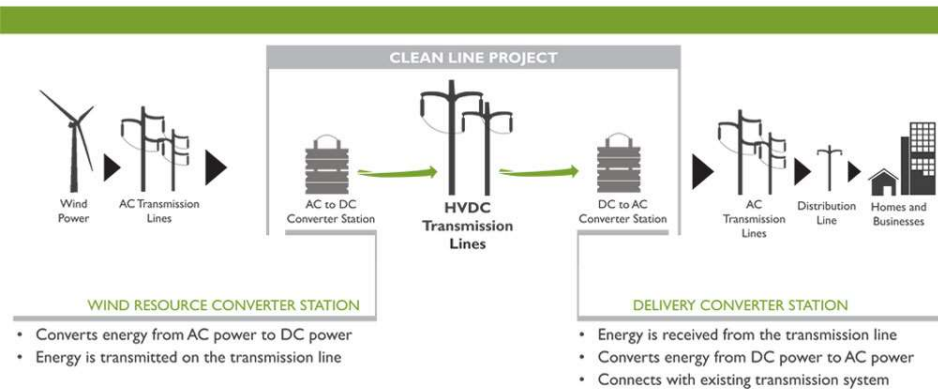
- Značně nižší ztráty při přenosu ve srovnání s HVAC na dlouhé vzdálenosti. Na 1000 km vedení HVDC přenosu jsou ztráty přibližně 3 %.
- HVDC postrádá parametry frekvence a fáze, je tedy snazší na řízení.
- Umožňuje použití podmořských kabelů na dlouhé vzdálenosti a pro přenos velkého množství elektrické energie.
- Umožňuje použití podzemních kabelů pro velké vzdálenosti a pro přenos vysokých výkonů.
 - Zlepšení stability přenosové soustavy.
 - Magnetická pole, která vznikají z HVDC jsou zanedbatelná oproti HVAC.
 - Při překročení určité vzdálenosti jsou pro přenos HVDC výhodnější v rámci nákladů než HVAC.
- Menší izolační vzdálenosti než u HVAC při stejně efektivní hodnotě proudu.
- Schopnost kontrolovat hodnotu a směr přenášeného výkonu.

Nevýhodou HVDC je tedy složitá změna napětí. U HVAC umožňuje změnu napětí transformátor, který je snadnější a ekonomicky dnes výhodnější než náklady na polovodičové součástky a realizaci měničů. Další nevýhodou je fakt, že HVDC je

výhodné použít pouze u přímých spojení dvou míst. Pro další odbočky by bylo potřeba vybudovat další měnirny, a tím by se rapidně zvyšovaly náklady na výstavbu.

Z výše uvedených důvodů bude HVDC hrát nejspíše významnou roli v rozvoji přenosové soustavy. Existuje několik důležitých aplikací, kde se ukázalo HVDC jako nejlepší alternativa pro přenos energie. Jedním z použití je hromadný přenos z velice vzdálených a koncentrovaných zdrojů energie jako jsou například velké vodní elektrárny, větrné elektrárny na moři. Také lze přenos HVDC použít například pro napájení těžebních pološin na moři, které těží plyn či ropu. [24] [25]

DELIVERING RENEWABLE ENERGY WITH HVDC



Obr. 11 Přenos elektrické energie pomocí HVDC [38]

9 Inteligentní město (smart city)

Spolu s vývojem chytrých sítí a jejich následným zavedením do praxe vznikají inteligentní města. Inteligentní města používají technologie pro komunikace a IT pro zlepšení života ve městech. Hledají nové zdroje energie, zlepšují a zefektivňují již stávající zdroje energie, zaměřují se na snížení spotřeby, snaží se zlepšit kvalitu ovzduší a celkově kvalitu životního prostředí, snaží se tedy celkově zlepšit život obyvatel měst. Smart city je koncept, který se skládá z jednotlivých prvků, které navzájem vytvářejí ucelený systém. Mezi tyto prvky se řadí například chytrí lidé (Smart people), jsou základním kamenem celého konceptu smart city, protože bez jejich nápadů a inovativních řešení by inteligentní města nemohla fungovat. Tito lidé se vyznačují kreativitou, přizpůsobivostí nebo vysokou mírou osobního rozvoje. Dalším prvkem smart city je chytrá ekonomika (Smart economy), která se nebojí vytvářet inovace a dále s nimi pracovat. Je také přizpůsobivá na měnící se požadavky. Neméně důležitým prvkem je životní prostředí (Smart Environment). Zaměřuje se hlavně na výrobu energie z obnovitelných zdrojů jako jsou voda, vítr a sluneční záření. Také dbá na kontrolu a monitorování znečištění vody nebo ovzduší či monitorování svozu odpadu a jeho množství. Dbá na snížení emisních látek a klade důraz na zachování a navýšení zelených ploch jako jsou parky, nábřeží a další. [26] [27]

10 Inteligentní město ve spolupráci s chytrou sítí a elektromobilitou

Tím nejpodstatnějším prvkem z charakteristiky chytrého města pro tuto práci je chytrá doprava, která je úzce spjata s elektromobilitou. Kvůli zvyšování počtu obyvatel ve městech vznikají zácpy, zvýšená hluchnost nebo znečištění, a právě chytrá města se snaží o odstranění těchto problémů a vytváří tak příjemné prostředí pro své obyvatele. Doprava a celková mobilita obyvatel je stěžejní součástí městské infrastruktury. Pohyb po městě by měl být pohodlný a ekologický. Hlavně co se týká ekologičnosti, hraje elektromobilita hlavní roli, jelikož elektrická energie je nejčistší formou energie, která napomáhá k vyčištění městských oblastí od hluku a škodlivých látek, které dnes produkuje spalování fosilních paliv. Do oblasti chytré dopravy lze zařadit inteligentní světelná signalizace, systémy sledování dopravy, sdílení kol (bike sharing) nebo také sdílení osobních vozů. [27]

10.1 Přetoky energie do míst potřeby

V souvislosti s chytrou dopravou se také objeví možnost ICT, které budou sloužit pro inteligentní řízení dopravy. Pod těmito informačními a komunikačními technologiemi si můžeme představit právě chytrou energetickou síť (smart grid). Chytrá síť zde bude pracovat jako páteřní síť pro provázanou komunikaci mezi všemi elektrickými vozidly městské dopravy, mezi nabíjecími infrastrukturami a ostatními důležitými prvky, které utvářejí dopravu v inteligentním městě. Chytrá síť zde může korigovat přetoky energie z místa výroby do místa, kde je energie potřebná v reálném čase. Například pokud bude některé z elektrických vozidel rekuperovat (brzdit za vzniku elektrické energie), chytrá síť se postará o to, aby se energie dostala k vozidlu, kde je energie právě potřeba. Pokud nastane situace, že všechna vozidla mají energie dost, chytrá síť může elektrickou energii poslat do vysokokapacitních akumulátorů a tuto energii využít v době, kdy bude opět potřeba. Dalším příkladem využití chytré sítě může být situace, kdy některý ze zdrojů energie (solární elektrárna, větrná elektrárna atd.) vyrábí množství energie, které nemá kdo spotřebovat. Chytrá síť tuto situaci může vyhodnotit a poslat tuto energii také do vysokokapacitních akumulátorů. Nebo například pokud by v depu vozového parku města stála elektrická vozidla připojená na nabíjecí infrastrukturu s akumulátory, pro příklad elektrické autobusy, tato přebytečná energie by mohla nabít tyto akumulátory právě v ideální čas, kdy je v síti přebytek energie. Podmínkou ovšem je, aby tento přesun

energie měl smysl. Je žádoucí, aby zmiňovaných elektrických autobusů byl co možná největší počet a jejich baterie měly společně co nejvyšší kapacitu a měla tak co možná největší vliv pojmout co největší množství energie. Dá se tedy možná s nadsázkou říci, že síť může být tak chytrá, jako bude co největší počet elektrických vozidel zapojený do smart grid.

Jak je znázorněno na *Obr. 10* chytrá síť zajišťuje komunikaci mezi stranou spotřeby a stranou výroby a v oblasti elektromobility bude mít v budoucnu vysoké uplatnění. Mohl by to být velice sofistikovaný systém, který bude komunikovat s velice rozsáhlou městskou infrastrukturou, s elektrickými vozidly, s nabíjecími stanicemi, s vysokokapacitními akumulátory a starat se o rychlé přetoky elektrické energie z místa přebytku do místa spotřeby. S dnešními technologiemi na poli výkonových měničů a vědomostí z elektrické trakce bude rozvoj elektromobility v inteligentních městech ve spolupráci s chytrou energetickou sítí možný. Tento systém by zefektivnil celou městskou dopravu. Díky chytrým technologiím jako rekuperace a následnému využití energie z rekuperace by se snížila celková spotřeba elektrických vozidel, což by mělo příznivý dopad na ekonomickou i environmentální stránku celé věci.

10.2 Alokace energie

Pro distributory elektrické energie je vysoký odběr energie z jednoho místa důvodem k vzniku problematické situace. Pokud by se elektrická vozidla náhodně nabíjela, nastal by přesně tento problém. Například pokud by se elektrobus, který je osazen superkondenzátory, nabíjel na zastávkách stanic linky po krátký čas a zákonitě by musel nárazově odebrat z jednoho místa vysoké množství energie. Tento problém by se mohl vyřešit pomocí předem naměřených dat a vytvoření algoritmů pro regulované a předem stanovené nabíjení a ukládání energie. Pokud by tedy byl dán předem daný čas a místo, kde bude znám vysoký odběr energie, je možné tuto energii zaalokovat (zamluvit) a distributor bude s těmito odběry počítat. Alokaci energie by tedy bylo možné uskutečnit na základě statistických modelů, ale také by bylo třeba vyhodnotit aktuální stav například při nepředvídatelných situacích, a o toto vyhodnocení s rychlou komunikací by se postarala právě chytrá síť. Alokace v reálném čase by byla možná například při použití GPS modelů v elektrických vozidlech. Bylo by tedy zřejmé, kde se elektrické vozidlo nachází, a za jak dlouho se bude potřebovat nabít. Zavedení alokace energie a její co možná nejlepší efektivita by vedla ke snížení potřeby akumulace energie. Je tedy pro nás

výhodnější elektrickou energii ihned spotřebovat, než ji nejdříve uchovat v některém z akumulátorů či superkondenzátorů a následně ji spotřebovat. Celý systém výroby a spotřeby by alokace zefektivnila. Tato alokace energie by se dala aplikovat na všechna elektrická vozidla, proto by tento systém alokace energie vytvořil velice rozšířenou komplexní síť.

11 Dopad elektromobility na zatížení distribuční sítě

Elektrická vozidla (EV) jsou radikálním posunem nejen v tom, jak jsou vozidla zkonstruována, ale také, jak jsou integrována do infrastruktury. Očekává se, že EV budou důležitou součástí inteligentní sítě. Rychlé rozšíření EV bude mít za následek znatelné zvýšení zatížení sítě, které bude pramenit z nabíjení a vybíjení EV. Tento velký zásah do sítě může přinést výhody, ale také ještě významnější nevýhody, pokud se nabíjení elektromobilů nebude správně a efektivně regulovat. Pokud se EV budou náhodně a nekoordinovaně nabíjet, může dojít ke zvýšené ztrátě výkonu, přetížení, výkyvům velikosti napětí. Proto je důležité se zaměřit na komunikaci v reálném čase RT-SLM (real-time smart load management) pro správnou koordinaci zatížení sítě. Jedním z největších obecných témat celé energetiky je téma výroby a spotřeby elektrické energie. V ideálním případě by byla situace taková, že elektrická energie, která se vyrobí, se také celá spotřebuje. Jelikož ideální případ skoro nikdy nenastává, je tento problém jeden z hlavních zájmů celé energetiky. V tomto případě mohou nastat dva problémy. Zaprvé se elektrické energie vyrobí více, než je její spotřeba, nebo naopak se elektrické energie vyrobí méně, než využije spotřebitel. Oba tyto stavy jsou nežádoucí a na řešení obou problémů jsou vynakládány veliké finance a velké množství opatření. Důvod, proč se o tomto problému práce zmiňuje je ten, že EV jsou schopna oba tyto problémy kompenzovat a pomoci k jejich řešení. Pokud se EV budou nabíjet například když je v síti přebytek elektrické energie, budou EV sloužit jako kompenzace přebytků elektrické energie viz kapitola 10.1. Pokud by byl v síti nedostatek elektrické energie, EV by mohla svou elektrickou energii do sítě dodat. Aby toto počínání mělo nějaký globální dopad ve větším měřítku, musí být také i značné množství EV, které budou v pravidelném provozu a tedy i pravidelně nabíjeny. [28]

12 Nutnost využití chytré sítě pro přenos energie v souvislosti s DDZ

DDZ, neboli denní diagram zatížení, je graf závislosti spotřeby (výroby) elektrické energie na čase. Jak lze z grafu pozorovat, spotřeba elektrické energie není po celý den konstantní, ale v různých časech klesá či narůstá v závislosti na tom, jak má většina uživatelů nastavený svůj každodenní režim. Z grafu je patrné, že v hodinách cca od pěti ráno spotřeba vzroste až do osmi hodin. Tento vyšší odběr je způsobený spotřebiteli, kteří ráno vstanou, zapnou si spotřebiče a jdou do práce, kde také používají celou řadu elektrických zařízení. Po osmé hodině přichází pokles a od tří hodin dopoledne začíná spotřeba opět narůstat. Až do jedenácté hodiny večer se spotřeba drží vysoko a jsou zde viditelné dvě odběrové špičky ve čtyři a v osm hodin, které jsou způsobené příchodem lidí z práce nebo škol domů, kde zapnou své elektrické spotřebiče. Večerní špička v osm hodin je způsobena například začátkem televizních novin, které sleduje podstatná část obyvatel. Přes noc od jedenácti do pěti ráno je naopak spotřeba velmi nízká. Denní diagram zatížení je tedy ovlivněn tím, jak si lidé nastavili svou rutinu a způsob života.

K pokrytí denního diagramu zatížení se používají zdroje s ohledem na jejich regulovatelnost a ekonomickou náročnost. Prioritou je použít špatně regulovatelné zdroje a ekonomicky méně náročné (jaderné) až po dobře regulovatelné ale ekonomicky dražší (vodní přečerpávací, akumulární elektrárny).

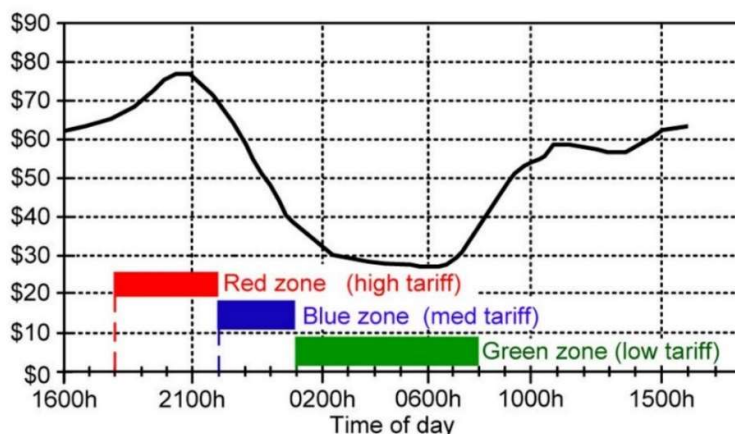
Region západ: Poslední data z 15. hodiny dne 01.06.2018



Obr. 12 Denní diagram zatížení [39]

12.1 Zavedení tarifů pro distribuční síť jako motivace pro nabíjení EV v ideální čas

EV nabývají na popularitě jako účinnější alternativa pro konvenční automobily se spalovacími motory. Nevyhnutelné vyčerpání fosilních paliv, rostoucí náklady na pohonné hmoty nebo vládní nařízení pro výrobu energie z obnovitelných zdrojů přispívají k vývoji elektrických vozidel. Provoz EV v distribučním systému bude znamenat náročnější řízení na straně poptávky, protože nabíjecí stanice baterií pro elektrická vozidla představují velké zatížení. Předpokládaný scénář je takový, že spousta majitelů EV přijede domů z práce, zasune kabel od svého elektrického vozidla do zásuvky v čase, kdy je vysoká poptávka a tedy odběr, a začne nabíjet. Toto nekoordinované nabíjení a náhodné zpoplatnění elektrické energie by mohlo přinést problém se zatížením sítě, kolísáním napětí, zhoršením efektivity a hospodárnosti nebo také zvýšení pravděpodobnosti výpadků v důsledku přetížení sítě. Naštěstí vývoj inteligentních komunikačních sítí bude dobrá příležitost zvládnout tento problém s koordinováním nabíjení elektrických vozidel. Technologie inteligentních sítí se v současné době rozvíjí, avšak to celou problematiku neřeší. Pro koordinované nabíjení bude potřeba motivovat majitele a uživatele EV, aby nabíjeli svá elektrická vozidla v předem stanovený ideální čas, který vzejde z trvalejšího monitorování zatížení pomocí chytrých sítí. Motivací ke koordinovanému nabíjení by mohlo být zřízení tarifů pro spotřebu energie v různé časové intervaly přes den. Tak jako dnes funguje nízký a vysoký tarif v našich domácnostech (HDO), mohlo by toto řešení výrazně pomoci ke koordinovanému nabíjení elektrických vozů. Pokud má domácnost vyšší odběr elektřiny, například používá elektřinu pro ohřev vody nebo vytápění, je výhodné si zajistit HDO – hlavní domovní ovládání, které zapne spotřebiče, které mají velký odběr, nebo jim nezáleží na čase jejich sepnutí v době, kdy je nízký tarif, tedy nižší cena za energii, a tím šetří peníze. Obdobný model by se tedy dal aplikovat i na nabíjení elektrických vozidel. Cenově vyšší tarif by se nastavil na časové období přes den, kdy je spotřeba energie vysoká a nechceme, aby se spotřeba elektrické energie vlivem nabíjení EV dále zvyšovala. Naopak nižší tarif by byl nastaven v čase, kdy je spotřeba nízko a síť tedy není tolik zatížená a je zde prostor pro její další zatížení. Tato motivace uživatelů, která se dotkne jejich peněz, bude určitě v budoucnu zapotřebí, až se zvýší počet EV a zvýšené zatížení sítě bude nezanedbatelné, což je v brzké době pravděpodobné. [29]



Obr. 13 Stanovení tarifů pro nabíjení elektrických vozidel v závislosti na DDZ [29]

12.2 Kompenzace přebytku nebo nedostatku energie v síti pomocí EV.

Jak je tedy z denního diagramu zatížení patrné, v síti jsou přes den místa, kde spotřeba místy po krátký čas naroste, či se sníží. Toto působí v síti problém, jelikož výroba má konstantnější charakter a v síti je energie, kterou nikdo nespotřebává a která nikde nezmizí, tudíž je jen jediný způsob, a to ji někde uchovat. Jak uchovat elektrickou energii s co nejvyšší účinností a v co největším množství je jednou z největších otázek lidstva, jelikož realizace je velice nákladná, náročná a mnohdy zatím nereálná. Dodnes není vynalezeno jednoznačné optimální řešení, jak elektrickou energii uchovat. Jedním z dnes používaných způsobů, jak uchovat elektrickou energii, jsou přečerpávací vodní elektrárny. Smysl uchování energie spočívá v tom, že při přebytku elektrické energie v síti se voda pomocí čerpadel přesune z vodní nádrže s nižší nadmořskou výškou do nádrže s vyšší. Použitá elektrická energie tedy slouží k tomu, aby voda změnila svou potenciální energii. Naopak při nedostatku energie v síti se voda pomocí gravitace přesouvá do nádrže s nižší nadmořskou výškou přes generátory s turbínami, které vyrábějí elektrickou energii a dodávají ji do sítě. Výstavba takovýchto vodních děl je velmi nákladná a prostorově náročná.

S tímto problémem, jak uchovat elektrickou energii, by mohla elektrická vozidla výrazně pomoci za pomoci komunikace prostřednictvím chytré sítě. Velmi důležitou podmínkou je, že jich bude zapotřebí velké množství, aby kapacita baterií měla nějaký zásadnější význam ve větším měřítku a znatelně ovlivnila možnost akumulace většího množství energie, jak bylo uvedeno v kapitole 10.1.

13 Chytré město a elektrické autobusy

Moderní elektrické autobusy s sebou přináší velké změny z hlediska konstrukce, ale i začlenění do infrastruktury městské dopravy. Výhody elektrického pohonu, které již byly zmíněny, nahrávají použití této formy trakce. Už v současnosti používá hromadná doprava elektrickou energii pro svůj pohon. Již dnes jezdí městy autobusy přepravující každý den masy lidí, avšak musejí být připojeny po celou dobu jízdy k síti, jedná se o trolejbusy. Jejich největší nevýhodou je právě zmíněné stálé připojení k síti, tudíž se musela zrealizovat rozsáhlá infrastruktura napříč městem, kde trolejbusy jezdí. Tato infrastruktura s sebou přináší například nevzhledné až chaotické uspořádání vodičů na velkých křižovatkách, nemluvě o faktu, že jsou vodiče připevňovány na fasády okolních domů, což nevypadá dobře po estetické stránce. I přesto se infrastruktura v mnoha městech vystavěla, avšak je zde jedno velké omezení, a to předem dané trasy, kudy mohou trolejbusy jezdit. Tento problém řeší autobusy, které dopravují lidi bez ohledu na předem dané trasy. Dále se vyskytují na místech s nižší dopravní poptávkou nebo na místech, kde není možné vybudovat infrastrukturu pro trolejbusy. Ovšem i autobusy mají své zápory, a těmi jsou hlavně vytváření lokálních emisí v centrech města z výfukových plynů, které produkuje spalovací motor, nebo vysoký hluk. S rozvojem technologií a vývojem pohonů či energetiky se dnes stále více mluví o zavedení elektrických autobusů s bateriemi nebo superkondenzátory, které s sebou přináší výhody elektrické trakce a nezávislost na předem určených trasách pohybu.

Největší komplikace s elektrickými autobusy přicházejí s jejich bateriemi. V závislosti na jejich kapacitě nejvíce ovlivňují dojezd, což je dnes nejvíce zmiňovaná nevýhoda při použití elektrobuses. Dále ovlivňují váhu vozidla a do značné míry jeho cenu. Nutno však říci, že i přes veškeré tyto neduhy, je už dnes možno použít elektrické autobusy v městské hromadné dopravě. Elektrické autobusy jsou ovšem drahé, těžké a musí být dobře nevržena infrastruktura jejich nabíjení, jinak by daleko nedojely. [30] [14]

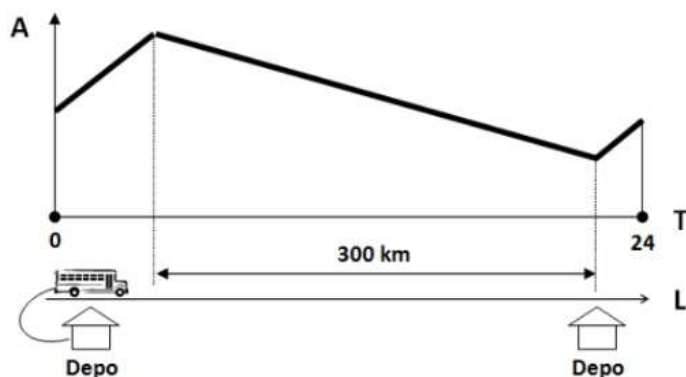
13.1 Nabíjení elektrického autobusu ve spolupráci s chytrou sítí v inteligentním městě

Jak bylo zmíněno, způsob nabíjení u elektrobuses je velmi důležitý. Je několik možností, jak elektrický autobus nabíjet. Jelikož bychom v ideálním případě chtěli nabít elektrobuses do plné kapacity za co nejmenší čas, jsou vysoké nároky na dodaný výkon, kterým nabíjíme baterie či vysokokapacitní kondenzátory. Ovšem přivést vysoký výkon

od některého z distributorů na jedno nabíjecí místo není snadný úkol. V zásadě je problém nárazově odebírat ze sítě vysoký výkon. Přesně v tuto dobu by bylo třeba použít chytré sítě k regulovanému vysokému odběru výkonu se sítě. Podle předem vypočítaných a změřených dat si dobíjecí infrastruktura alokuje na daný čas množství energie, které bude třeba na nabití baterie elektrického vozidla, a distributor s tímto odběrem může počítat a soustavu tak může tomuto odběru přizpůsobit. Toto je blíže popsáno v *kapitolách 10.1 a 10.2*. Zde je komunikace nabídky a poptávky klíčová a smart grid je tím důležitým prostředníkem, který komunikaci zajišťuje. Další možností by mohla být domluva distributora a zákazníka, že pokud bude v síti přebytek energie, distributor tuto energii přislíbí zákazníkovi, pro nabití elektrických vozidel (například více elektrických autobusů v depu vozového parku městské hromadné dopravy). Toto by mohlo mít za následek regulaci nadbytku energie v síti a zákazník by tak mohl dostat levnější elektřinu, jelikož distributor mu ji rád poskytne. Opět by intervaly, které jsou vypočítány z dlouhotrvajících měření a ve kterých je přebytek energie v síti, se zahrnuly do domluvy mezi distributorem a zákazníkem a mohly by se stanovit tarify pro nabíjení. Tato skutečnost by mohla vést ke zlevnění elektřiny pro zákazníka a na straně distributora by byla situace také výhodná, jelikož by se mohl zbavit přebytečné energie v síti. [30] [14]

13.1.1 Noční nabíjení

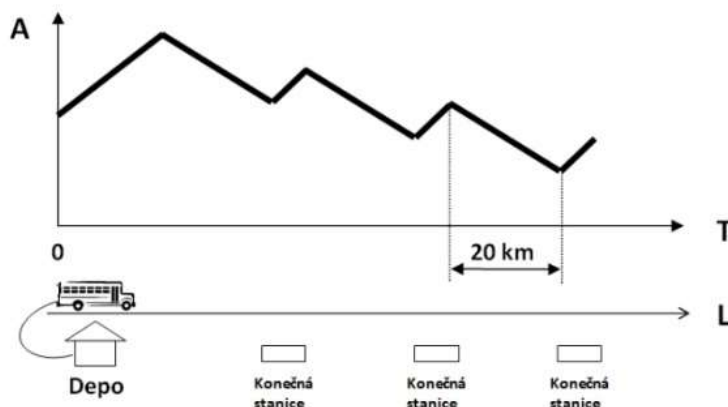
První možností nabíjení elektrického autobusu pro městskou hromadnou dopravu, je nabíjet vozidlo přes noc. Situace by byla obdobná jako u dnešních diesellových autobusů, které se na noc zaparkují v depu, natankuje se plná nádrž a další den autobus jezdí po celý den. U elektrických autobusů v tento moment ale přichází jejich zmiňovaná nevýhoda, a to krátký dojezd. Delšího dojezdu by se dalo docílit zvětšením kapacity uložené energie ve vozidle, a to přidáním dalších baterií. Toto by ovšem vedlo k razantnímu navýšení hmotnosti elektrobuse a v extrémním případě by mohl elektrobuse vlastně jen vozit baterie, které by mu zajišťovaly pohyb pro co nejdelší dojezd. Nabíjení přes noc by tedy bylo vhodné na linkách, kde elektrobuse ujedou za den od 200 - 300 km, jelikož takový dojezd mají dnešní elektrobuse, jako například již zmíněný elektrobuse značky Škoda Perun HE. Rozvoj technologií v oblasti baterií nám dávají naději, že se v budoucnu zvýší měrná kapacita baterií, tím se zvýší dojezd elektrických vozidel, a tím i jejich použitelnost. [30] [14]



Obr. 14 Noční nabíjení [14]

13.1.2 Nabíjení na konečných zastávkách

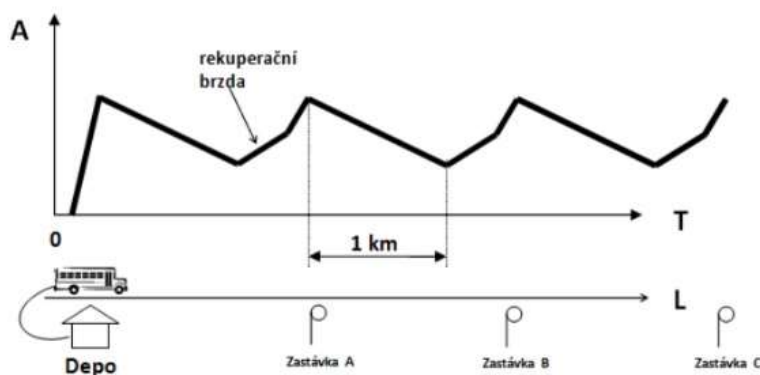
Pokud není dojezd elektrobuseů na jedno nabití přes noc dostačující, je možné použít další možnost nabíjení, a to nabíjení na konečných zastávkách linky. Na konečných zastávkách po projetí celého úseku linky se autobusy zastaví na 10, případně 15 minut. Tyto pauzy jsou nutné pro krátký odpočinek řidiče pro dorovnání případného zpoždění či naopak, pokud byl autobus na některých ze zastávek byl dříve, než by měl. Deset ani patnáct minut na dobití elektrobuse s dlouhým dojezdem zajisté nestačí, ovšem mohl by tento čas stačit k doplnění energie, kterou bude elektrobuse potřebovat na ujetí dalšího jednoho oběhu linky nebo alespoň většinou část energie, aby mu energie v bateriích vystačila na zbytek dne až do večera, kdy elektrobuse dojede do svého depa a nabije se na svou plnou kapacitu. [30] [14]



Obr. 15 Nabíjení na konečných zastávkách [14]

13.1.3 Nabíjení na zastávkách linky

Tato možnost nabíjení je vhodná pouze pro určitý druh zásobníků energie, který je schopen akumulovat energii za krátký čas. Elektrobuses by se v tomto případě nabil na začátku své trasy, na konečných stanicích, ale také hlavně na zastávkách linky, kdy se autobusy zde zastaví v řádu několika sekund. I tento čas by měl být dostačující pro dobití takovýchto akumulátorů energie, nebo také již zmíněných vysokokapacitních kondenzátorů. Akumulátor může být tedy malý, na druhou stranu ale velmi výkonný. V tomto případě také nastává problém s nabíječkou, jelikož je potřeba velmi vysokého výkonu po velmi krátký čas. Tyto nabíječky by tedy musely používat nabíjecí proud v řádu stovek ampér, což jsou vysoké proudy. Dále nastává problém s již zmiňovaným vysokým odběrem výkonu ze sítě po krátký čas. Tento způsob nabíjení je náročný na sladění všech zapojených zařízení, které se podílí na přenosu energie z distribuční sítě až to elektrobuse, blíže popsáno v kapitolách 20.1 a 20.2. [30] [14]



Obr. 16 Nabíjení na zastávkách linky [14]

Závěr

Tato práce je zaměřena na elektromobilitu, její infrastrukturu, a přínos, který může poskytnout. Dále se zaměřuje na spojení elektromobility a chytrých sítí v inteligentních městech a jisté pohledy a přínosy, které toto spojení může do budoucna přinést.

Z pohledu ekologie a spotřeby fosilních paliv hraje dnes doprava významnou roli. Proto je předmětem diskuze elektromobilita, tedy veškeré dopravní prostředky, které se pohybují pomocí elektrické energie. V první části tato práce vysvětluje samotný pojem elektromobilita, proč je tak diskutovaný a jaké benefity může elektromobilita přinést. Další kapitola se věnuje tématu samotných elektromobilů, tedy automobilů, které možná již brzy bude vlastnit většina obyvatel. Práce ukazuje, že je reálné si takovýto automobil pořídit již v dnešní době, jelikož parametry těchto elektromobilů jsou konkurenceschopné, avšak bude nutné, aby se uživatelé přizpůsobili používání těchto elektromobilů, hlavně s ohledem na jejich nabíjení. Většina výrobců již dnes nabízí svá elektrická řešení automobilů a zákazník si může vybrat velice úsporný vůz, nebo také nějakou sportovní variantu. Zaleží na požadavcích zákazníka. V návaznosti na elektromobily se práce věnuje i větším elektrickým vozidlům, elektrickým autobusům, které mohou každý den přepravovat spoustu lidí. Popsány byly hlavní dva typy elektrických autobusů, a to elektrobuses s rychlým nabíjením a elektrobuses se standardním nabíjením s dlouhým dojezdem. Vzhledem ke specifikům a parametrům těchto dvou typů nabíjení, je i specifické jejich použití v praxi. Dále se práce zmiňuje o projektu ZeEUS, který zaštiťuje Evropská unie a který má napomoci k rozvoji a vývoji elektrických autobusů. Do projektu ZeEUS bylo zapojeno i město Plzeň. Dalším velkým tématem na poli elektromobility je téma nabíjecích stanic. Zde jsou popsány dva typy, které dnes fungují v síti ČEZ, která je jedním z hlavních propagátorů elektromobility v České republice. Následně jsou analyzována rozdělení podle typů nabíjecích stanic a popsány jejich specifika. V návaznosti na téma nabíjecích stanic a samotných elektrických vozidel se práce dostává k tématu akumulátorů pro elektrická vozidla, jelikož jsou jednou ze dvou hlavních částí elektrobuses a elektromobilů. Téma akumulátorů je velice důležité, jelikož nejvíce ovlivňují specifikace elektrických vozidel, jako například jejich dojezd. S tématem akumulátorů také přichází téma BMS, tedy systém řízení baterie, který je dnes nedílnou součástí při použití akumulátorů v elektrických vozidlech.

V následujících kapitolách se práce zaměřuje na téma inteligentních měst, chytrých sítí a následně možnost součinnosti chytrých sítí s elektromobilitou v chytrých městech. Nejdříve je vysvětlen samotný pojem smart grid, tedy chytrá síť. V dnešním světě, kdy je kladen velký důraz na výrobu energie z obnovitelných zdrojů a také na elektromobilitu, je chytrá síť nástrojem pro zkoordinování dvou navzájem provázaných stran, a to strany výroby energie a strany její spotřeby. Dále také hraje velkou roli i přenos samotné energie. V této oblasti dnes nastává vývoj a inovace, které daly za vznik HVDC, tedy vysokonapětovému přenosu energie. Se stále větší výrobou z obnovitelných zdrojů je pravděpodobné, že se s tímto způsobem přenosu elektrické energie budou lidé setkávat stále častěji. Dále je vysvětleno, jak by mohla chytrá síť ovlivnit fungování samotné elektromobility, jako například pro rychlé přetoky energie z míst výroby do místa potřeby spotřeby nebo pro alokaci energie. Je zde hlavní problém energetiky, a to výroba a spotřeba elektrické energie. Za pomoci chytrých sítí by elektromobilita mohla alespoň zčásti pomoci v této zásadní problematice dnešní doby. Pokud bude regulace nabíjení elektrických vozidel správná, mohlo by to vést ke zlepšení. Používání je tedy závislé na uživateli. Pokud značně vzroste podíl elektrických vozidel v dopravě, bude to mít za následek zvýšení spotřeby elektrické energie. Je tedy třeba motivovat uživatele, aby svá elektrická vozidla nabíjeli ve správný čas, aby ještě více nezatěžovali síť a aby přednostně nabíjeli ve chvílích, kdy je v síti energie dostatek, nejlépe přebytek. V poslední kapitole jsou popsána zavedení elektrických autobusů do městské hromadné dopravy a možnosti, jak tyto elektrické autobusy nabíjet za pomoci chytré sítě.

Dle autorova názoru bude téma elektromobility a chytrých sítí v inteligentních městech stále diskutovanějším tématem. Bakalářská práce má ukázat, že tato témata jsou již dnes aktuální a problémy s nimi spojené se již řeší. Vzrůstající elektromobilita a s ní spojené zvýšené namáhání stávajících přenosových sítí budou v budoucnu představovat palčivý problém, jehož řešení nebude snadné ani rychlé.

Seznam obrázků

Obr. 1 Nissan Leaf [31]	14
Obr. 2 Tesla Model X [32].....	14
Obr. 3 Tesla Model X [33].....	15
Obr. 4 Škoda Perun HP [8].....	16
Obr. 5 Škoda Perun HE [9].....	17
Obr. 6 Mapa dobíjecích stanic skupiny ČEZ (oranžová – rychlodobíjecí stanice, šedá – běžné dobíjecí stanice) [34]	19
Obr. 7 Uložení akumulátorů na podvozku elektromobilu [35]	25
Obr. 8 Momentová charakteristika asynchronního motoru [36]	27
Obr. 9 Synchronní motor s permanentními magnety [37]	28
Obr. 10 Smart grid - obousměrná komunikace mezi výrovou a spotřebou energie [37]	30
Obr. 11 Přenos elektrické energie pomocí HVDC [38]	32
Obr. 12 Denní diagram zatížení [39]	38
Obr. 13 Stanovení tarifů pro nabíjení elektrických vozidel v závislosti na DDZ [29].....	40
Obr. 14 Noční nabíjení [14].....	43
Obr. 15 Nabíjení na konečných zastávkách [14]	43
Obr. 16 Nabíjení na zastávkách linky [14]	44

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] G. A. Putrus, P. Suwanapingkarl, D. Johnston, E. C. Bentley and M. Narayana, "Impact of electric vehicles on power distribution networks," 2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Dearborn, MI, 2009, pp. 827-831.. Dostupné z: <http://www.ieeeexplore.ieee.org>
- [2] Co je elektromobilita [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.smartev.cz/cz/co-je-elektromobilita/>
- [3] Nissan Leaf: Kompletní technická data. Auto.cz [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/nissan-leaf-kompletni-technicka-data-52821>
- [4] Nissan Leaf: cena, dojezd, specifikace. Hybrid.cz [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nissan-leaf-cena-dojezd-specifikace>
- [5] Tesla-model-x [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.smartev.cz/elektroauta/tesla-model-x/>
- [6] BMW i8: oficiální specifikace. Hybrid.cz [online]. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/bmw-i8-oficialni-specifikace>
- [7] BMW i8: cena, dojezd, specifikace [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/bmw-i8-cena-dojezd-specifikace>
- [8] Elektrobus s rychlodobíjením [online]. [cit. 2018-04-3]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/reference/elektrobus-s-rychlodobijenim/?from=prod>
- [9] Elektrobus se standardním dobíjením [online]. [cit. 2018-04-3]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/reference/elektrobus-se-standardnim-dobijenim/?from=prod>
- [10] About ZeEUS [online]. [cit. 2018-04-3]. Dostupné z: <http://zeeus.eu/>
- [11] ZeEUS Publications - ZeEUS Demo Plzen - flyer [online]. [cit. 2018-04-3]. Dostupné z: <http://zeeus.eu/publications>
- [12] Veřejné dobíjecí stanice ČEZ [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.elektromobilita.cz/cs/dobijeni-na-cestach.html>
- [13] Filip RÁČEK, *Bakalářská práce – Přehled nabíjecích stanic pro elektrická vozidla*, FEL ZČU v Plzni 2016/2017
- [14] Šimon SYCHRA, *Diplomová práce – Systémová analýza elektrobusu pro MHD*, FEL ČVUT v Praze 2016
- [15] Jan Mašek, *Bakalářská práce – Konstrukční řešení elektromobilů a hybridních automobilů*, FEL ZČU v Plzni 2017
- [16] Baterie v elektromobilech [online]. [cit. 2018-04-3]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech>

- [17] F. Zhu, G. Liu, C. Tao, K. Wang and K. Jiang, "Battery management system for Li-ion battery," in *The Journal of Engineering*, vol. 2017, no. 13, pp. 1437-1440, 2017. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8311334&isnumber=8311003>
- [18] Zong-You Hou, Pang-Yen Lou and C. C. Wang, "State of charge, state of health, and state of function monitoring for EV BMS," *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV, 2017*, pp. 310-311. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7889332&isnumber=7889198>
- [19] BARTOŠ, V., ČERVENÝ, J., HRUŠKA, J., KOTLANOVÁ, A., SKALA, B. *Elektrické stroje. Plzeň : Západočeská univerzita , 2006, 139 s. ISBN: 80-7043-444-9*
- [20] Roční zprávy o provozu [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality/rocnizpravy-o-provozu>
- [21] Výroční zprávy [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.dpp.cz/vyrocnizpravy/>
- [22] Víte, co to je a jak funguje smart grid? [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/22.php>
- [22] BERGER, Lars Torsten. a Krzysztof INIEWSKI. *Smart grid: applications, communications, and security*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2012. ISBN 978-1-118-00439-5.
- [23] Víte, co to je a jak funguje smart grid? [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/22.php>
- [24] O. Saksvik, "HVDC technology and Smart Grid.," *9th IET International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management (APSCOM 2012), Hong Kong, 2012*, pp. 1-6. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6615079&isnumber=6615023>
- [25] VDC – stejnosměrný přenos elektrické energie [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/hvdc-stejnosmerny-prenos-elektricke-energie/>
- [26] *Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives* [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10630732.2014.942092>
- [27] Silvie Bártová, *Diplomová práce – Koncept SMART cities v České republice: východiska, dosavadní zkušenosti a aplikace, EF JU v Českých Budějovicích 2018*
- [28] G. A. Putrus, P. Suwanapingkarl, D. Johnston, E. C. Bentley and M. Narayana, "Impact of electric vehicles on power distribution networks," *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Dearborn, MI, 2009*, pp. 827-831. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5289760&isnumber=5289440>
- [29] S. Deilami, A. S. Masoum, P. S. Moses and M. A. S. Masoum, "Real-Time Coordination of Plug-In Electric Vehicle Charging in Smart Grids to Minimize Power Losses and Improve Voltage Profile," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 2, no. 3, pp. 456-467, Sept. 2011. Dostupné z:

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5986769&isnumber=5993785>

[30] *ELEKTRICKÉ AUTOBUSY* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/produkty/elektricke-a-hybridni-autobusy/>

[31] *2016 NISSAN Leaf 30kWh Acenta* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.weflex.co.uk/product/london/2016-nissan-leaf-30kwh/>

[32] *2017 Tesla Model X* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.autoblog.com/buy/2017-Tesla-Model+X/?guccounter=1>

[33] *2016 BMW i8* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/BMW-2016-i8/dp/B01CEB70FU>

[34] *ČEZ otevřel první ultrarychlou dobijecí stanici v Česku. Elektromobil dobije za dvacet minut, mobilnímu telefonu by stačilo pár vteřin* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/3952.html>

[35] *VW predicts lithium-ion battery shortage by 2025* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.thetorquereport.com/volkswagen/vw-predicts-lithium-ion-battery-shortage-2025/>

[36] *Asynchronní stroje* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/1966864/#>

[37] *Co je Smart Grid?* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/12544-co-je-smart-grid>

[38] *How HVDC Works* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.cleanlineenergy.com/technology/hvdc/how>

[39] *Diagramonline cez distribuce, region západ* [online]. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://diagramonline.cezdistribuce.cz/Viewer/region.zul?id>