

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra informačních technologií**



**Bakalářská práce**

**Baterie a technologie nabíjení mobilních telefonů**

**Aleš Durdil**

© 2022 ČZU v Praze

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Aleš Durdil

Informatika

Název práce

**Baterie a technologie nabíjení mobilních telefonů**

Název anglicky

**Mobile phone batteries and charging technology**

---

### Cíle práce

Hlavním cílem práce je zhodnotit způsoby a technologie využívané pro nabíjení mobilních telefonů.

Díličí cíle:

- zpracování teoretických východisek relevantních k řešené problematice
- návrh postupu měření a výběr sledovaných metrik
- provedení měření a sběr dat o nabíjení sloužících k následnému vyhodnocení
- analýza výsledků měření a formulace závěrů

### Metodika

Metodika řešení teoretické části bakalářské práce bude založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů. Na základě znalostí získaných v teoretické části práce budou v praktické části navržena a provedena vlastní měření, která budou sloužit k praktickému porovnání jednotlivých technologií, ale i příslušenství, které se pro nabíjení využívá. Data získaná během experimentálního měření budou následně pomocí vhodných nástrojů vyhodnocena. Na základě syntézy poznatků teoretické části a vyhodnocení výsledků praktické části budou formulovány závěry práce.

## Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

## Klíčová slova

baterie, nabíjení, mobilní telefon, standardy rychlého nabíjení, bezdrátové nabíjení

---

## Doporučené zdroje informací

BARSUKOV, Yevgen a Jinrong QIAN. Battery Power Management for Portable Devices. Artech House, 2013, 259 s. ISBN 9781608074914.

Computer: Žijte digitálním světem. Czech News Center, 1994-. ISSN 1210-8790.

LU, Xiao, Ping WANG, Dusit NIYATO, Dong In KIM a Zhu HAN. Wireless Charging Technologies: Fundamentals, Standards, and Network Applications. IEEE Communications Surveys and Tutorials [online]. IEEE, 2016, 18(2), 1413 – 1452 [cit. 2021-6-23]. ISSN 1553877X. Dostupné z: doi:10.1109/COMST.2015.2499783

SHENOUDA DAWOUD, Dawoud a Peter DAWOUD. Serial Communication Protocols and Standards: RS232/485, UART/USART, SPI, USB, INSTEON, Wi-Fi and WiMAX EDICE. River Publishers, 2020. ISBN 9788770221542.

---

## Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – PEF

## Vedoucí práce

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 30. 6. 2021

**doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 10. 2021

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 13. 03. 2022

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Baterie a technologie nabíjení mobilních telefonů" 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 15. 3. 2022

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení po celou dobu zpracování bakalářské práce. Dále poděkování směřuji rodině a svým blízkým za neustálou podporu během studia.

# Baterie a technologie nabíjení mobilních telefonů

## Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku nabíjení mobilních telefonů. Jejím cílem je vzájemné porovnání konkrétního příslušenství stejně jako jednotlivých standardů a dvou základních způsobů, kterými může samotný proces probíhat. V přehledu řešené problematiky jsou detailně popsány základní principy fungování, rozdíly mezi dostupnými technologiemi a také historický vývoj včetně možného výhledu do budoucna.

V praktické části jsou nejprve pomocí výpočtů objasněny důležité vlastnosti kabelů a následně jsou provedena vlastní měření a stanovena kritéria pro výběr ideálních variant. Každý z testů je v závěru doplněn o tabulku s výsledky a krátký komentář, který v případě nabíječek vysvětluje důvody jejich umístění a u technologií rychlého nabíjení poukazuje na kladné a záporné rysy. Hodnocení jsou navíc obohacena o rady a doporučení, jež najdou své uplatnění v každodenním životě.

**Klíčová slova:** baterie, nabíjení, mobilní telefon, standardy rychlého nabíjení, bezdrátové nabíjení

# **Mobile phone batteries and charging technology**

## **Abstract**

The bachelor thesis is focused on the issue of charging mobile phones. It aims to compare specific accessories as well as individual standards and the two basic ways in which the process can be carried out. The theoretical part describes in detail the basic principles of operation, the differences between the available technologies as well as the historical development including a possible future outlook.

In the practical part, the important properties of the cables are first clarified by means of calculations and then the actual measurements are made and criteria for the selection of ideal variants are determined. Each of the tests is concluded with a table of results and a short commentary that explains the reasons for their ranking in the case of chargers and highlights the positive and negative features of fast charging technologies. In addition, the ratings are enriched with advice and recommendations that find their application in everyday life.

**Keywords:** batteries, charging, mobile phone, fast charging standards, wireless charging

## Obsah

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Úvod.....  | 12 |
| 2     | Cíl práce a metodika .....                                 | 13 |
| 2.1   | Cíl práce .....  | 13 |
| 2.2   | Metodika .....   | 13 |
| 3     | Přehled řešené problematiky .....                          | 14 |
| 3.1   | Akumulátory mobilních telefonů .....                       | 14 |
| 3.1.1 | Stavba a princip fungování akumulátoru .....               | 14 |
| 3.1.2 | Důležité parametry akumulátorů .....                       | 15 |
| 3.1.3 | Typy akumulátorů.....                                      | 16 |
| 3.1.4 | Budoucnost akumulátorů .....                               | 19 |
| 3.1.5 | Péče o akumulátor.....                                     | 20 |
| 3.2   | Drátové nabíjení .....                                     | 22 |
| 3.2.1 | Standardy rychlého nabíjení .....                          | 23 |
| 3.3   | Bezdrátové nabíjení.....                                   | 32 |
| 3.3.1 | Typy bezdrátového nabíjení.....                            | 33 |
| 4     | Vlastní práce .....  | 38 |
| 4.1   | Vliv kabelů na nabíjení .....                              | 38 |
| 4.1.1 | Výpočet reálného úbytku napětí a průřezu vodiče.....       | 40 |
| 4.2   | Metodika sběru a zpracování dat.....                       | 43 |
| 4.3   | Drátové nabíjení telefonu Samsung Galaxy S21 FE 5G.....    | 46 |
| 4.4   | Bezdrátové nabíjení telefonu Samsung Galaxy S21 FE 5G..... | 48 |
| 4.5   | Standardy rychlého drátového nabíjení.....                 | 48 |
| 5     | Výsledky a diskuse .....                                   | 51 |
| 5.1   | Drátové nabíjení telefonu Samsung Galaxy S21 FE 5G.....    | 52 |
| 5.2   | Bezdrátové nabíjení telefonu Samsung Galaxy S21 FE 5G..... | 54 |
| 5.3   | Standardy rychlého drátového nabíjení.....                 | 56 |



|   |                              |    |
|---|------------------------------|----|
| 6 | Závěr .....                  | 59 |
| 7 | Seznam použitých zdrojů..... | 61 |

## **Seznam obrázků**

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 1: Stavba chemického zdroje elektrického napětí .....           | 14 |
| Obrázek 2: Schéma zapojení USB testeru .....                            | 43 |
| Obrázek 3: Aplikace CPU-Z pro zjišťování aktuální teploty baterie ..... | 44 |
| Obrázek 4: Always On displej .....                                      | 47 |

## **Seznam tabulek**

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 1: Naměřené úbytky napětí pro testované kabely .....          | 41 |
| Tabulka 2: Příklad zaznamenávání naměřených hodnot do tabulky .....   | 44 |
| Tabulka 3: Příklad souhrnné tabulky naměřených výsledků .....         | 45 |
| Tabulka 4: Příklad bodového vyhodnocení .....                         | 46 |
| Tabulka 5: Výsledky testu drátového nabíjení .....                    | 52 |
| Tabulka 6: Výsledky testu bezdrátového nabíjení .....                 | 54 |
| Tabulka 7: Výsledky testu standardů rychlého drátového nabíjení ..... | 57 |

# 1 Úvod

V roce 2007 byl představen mobilní telefon Apple iPhone, jenž znamenal pro celé odvětví zásadní historický milník. S nástupem podobných zařízení, pro která se začal užívat přívlastek chytrá, si uživatelé museli zvyknout na kratší výdrž baterie. Důvodem byla kromě velkého displeje a vysokého výkonu také implementace pokročilých technologií, jakými jsou například GPS, Wi-Fi nebo moderní datové služby. Všechny tyto aspekty představovaly pro baterii dodatečnou zátěž.

Logickým řešením proto bylo navýšení kapacity akumulátoru na násobky dřívějších hodnot. Tímto krokem ale vyvstala otázka, jak docílit toho, aby nabíjení nebylo absurdně zdlouhavé. Řada světových výrobců se proto rozhodla investovat do výzkumu a zjistit, jakým způsobem by bylo možné požadovaného cíle dosáhnout. Výsledkem se stalo několik standardů, které různým způsobem dělají nabíjení rychlejší a tím pádem pro uživatele příjemnější.

V dalších letech se na trhu začaly objevovat také první mobilní telefony s možností bezdrátového nabíjení, které měly předznamenat možnou revoluci. K jejich většímu rozšíření ale ani v současné době stále nedošlo a jedná se o funkci, která je vyhrazena primárně vlajkovým modelům. Opravdový průlom by do budoucna mohlo znamenat nabíjení na větší vzdálenosti.

Od počátku svého vzniku si technologie pro rychlé drátové a bezdrátové nabíjení prošly obrovskými změnami. Novinky jsou ohlašovány téměř každou chvílí a někteří výrobci svými rychlostmi naprosto boří zažité hranice. To je také důvodem, proč je nutné dbát zvýšené pozornosti při výběru vhodného příslušenství, které celý proces může velmi významně ovlivnit. Pro dokonalý přenos energie je totiž nutná podpora ze strany mobilního telefonu, zvolené nabíječky i kabelu. Cílem této bakalářské práce je zmíněné standardy a způsoby nabíjení vzájemně porovnat v několika oblastech a formulovat obecně platné závěry a doporučení, jež najdou své uplatnění v každodenním životě.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku nabíjení mobilních telefonů. Jejím hlavním cílem je zhodnotit způsoby a technologie, které se pro nabíjení využívají, a to především z hlediska rychlosti a šetrnosti k použitému akumulátoru. Dílčím cílem je kromě zpracování teoretických východisek také návrh a provedení měření včetně následné analýzy výsledků.

### **2.2 Metodika**

Metodika řešení teoretické části bakalářské práce bude založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů relevantních k dané problematice. Zejména se jedná o vymezení principů fungování a historického vývoje technologií, které budou v dalším průběhu detailně zkoumány. Na základě znalostí získaných v teoretické části práce budou ve vlastní části navržena a provedena měření, která budou sloužit k praktickému porovnání jednotlivých standardů, ale i příslušenství a způsobů, jež se k nabíjení využívají. Data získaná během experimentálního měření budou následně vyhodnocena za pomoci metody vícekritériální analýzy variant. Na základě syntézy poznatků teoretické části a vyhodnocení výsledků praktické části budou formulovány závěry práce včetně rad a doporučení.

## 3 Přehled řešené problematiky

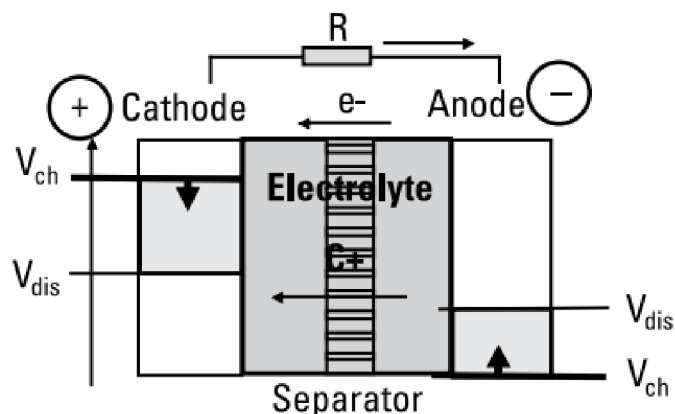
### 3.1 Akumulátory mobilních telefonů

Akumulátory jsou významnou součástí veškeré přenosné elektroniky, se kterou se setkáváme každý den. Poskytují nám možnost po určitý čas využívat naše zařízení bez přístupu k elektrické síti. Od doby sestrojení prvních galvanických článků prošlo celé odvětví dlouhým vývojem, který umožnil postupné snížení velikosti a hmotnosti akumulátorů při současném navýšení jejich kapacity. Těmito kroky se povedlo zajistit uspokojivou výdrž na jedno nabití při zachování kompaktních rozměrů. Prodloužení životnosti společně se zkrácením nabíjecích časů pak přispívá jejich bezproblémovému a pohodlnému užívání v celé řadě spotřební elektroniky.

#### 3.1.1 Stavba a princip fungování akumulátoru

Jak už název napovídá, tak akumulátor je zařízení sloužící k uchování elektrické energie. Jde o chemický zdroj elektrického napětí, který je tvořen dvěma elektrodami, jež nazýváme anoda (záporná elektroda) a katoda (kladná elektroda). Ty jsou ponořeny do elektrolytu, což je prostředí s roztokem vedoucím elektrický proud, které je v současné době nejčastěji zastoupeno ve formě gelu. Za účelem zabránění elektrického kontaktu při současném umožnění proudění iontů se mezi elektrodami nachází porézní separátor, který by měl mimo jiné zamezit samovybíjení při delším uložení (Obrázek 1). Pokud by se oxidační a redukční činidla dostala do přímého kontaktu, došlo by k jejich vzájemné reakci a uvolnění energie ve formě tepla. To pochopitelně není u akumulátorů žádoucí a v extrémních případech by mohlo dojít dokonce k požáru nebo výbuchu. (Barsukov, 2013, s. 2–3)

Obrázek 1: Stavba chemického zdroje elektrického napětí



Zdroj: Barsukov, 2013, s. 3

Elektrické napětí je dáno rozdílem elektrických potenciálů na elektrodách. Elektrický potenciál na elektrodách vzniká chemickou reakcí mezi elektrodou a elektrolytem. Ze své podstaty jsou galvanické články zdrojem stejnosměrného napětí. Po jejich zapojení do elektrického obvodu probíhají uvnitř chemické reakce, kterými se postupně snižuje množství uložené elektrické energie a článek se tak vybíjí. V případě, že jsou tyto reakce nevratné, mluvíme o tzv. primárních článcích. (Proelektrotechniky.cz, 2013)

Pokud lze článek opětovně nabít, tak se jedná o tzv. sekundární články neboli akumulátory. U nich je reakce do jisté míry obousměrná, tedy že se při dodání elektrického proudu chemické vazby rozbijí a vrátí se do původního stavu. Zapojení několika primárních článků, nebo akumulátorů do jednoho funkčního celku říkáme baterie. Jednotlivé články v nich bývají nejčastěji propojeny sériově (za sebou) kvůli sčítání napětí. Typickým příkladem jsou autobaterie. (Michlovský, 2021, s. 52)

### **3.1.2 Důležité parametry akumulátorů**

Z uživatelského hlediska je nejdůležitějším parametrem u akumulátorů v mobilních telefonech jednoznačně jejich kapacita. Ta je nejčastěji udávána v miliampérhodinách (mAh), přičemž platí, že  $1000 \text{ mAh} = 1 \text{ Ah}$ . Jedna ampérhodina je poté definována jako náboj, který akumulátor dodá do obvodu při konstantním proudu 1 ampér za dobu 1 hodiny. Jedná se ale o teoretickou hodnotu, které prakticky není možné dosáhnout. Skutečná výdrž telefonu závisí nejen na celkové kapacitě akumulátoru, ale také na způsobu jeho využití, tedy na úrovni vybíjecího proudu. Z akumulátoru totiž odebírá energii celá řada komponent. Jedná se například o operační paměť, ve které běží spuštěné aplikace, procesor, který může běžet na několika frekvencích a umí podle potřeby zapínat a vypínat výpočetní jádra, interní úložiště, ze kterého se načítají aplikace a jejich data, GPS, Wi-Fi a především displej. Obecně však platí, že pokud do stejného zařízení nainstalujeme akumulátor s vyšší kapacitou, vydrží při stejném způsobu používání déle. Hodnotit ale výdrž zařízení jen na základě kapacity akumulátoru je velmi nepřesné. Proud je totiž na základě Ohmova zákona závislý na napětí, a tak je pro srovnání kapacity akumulátorů o různém napětí nutné použít hodnotu ve watthodinách (Wh), která se určí vynásobením kapacity v ampérhodinách jmenovitým napětím. Proto se například liší hodnota u Ni-MH článku s kapacitou 2400 mAh a napětím 1,2 V (2,88 Wh) od Li-Ion článku se stejnou kapacitou a napětím 3,6 V (8,64 Wh). (Kilián, 2017)

Dalším důležitým parametrem je bez pochyby počet nabíjecích cyklů. Toto číslo udává, kolikrát je možné akumulátor vybit a nabít, než zcela doslouží, nebo než dojde k jeho výraznějšímu znehodnocení. Je ale důležité zmínit, že se jedná o úplné vybití a nabití. V případě poklesu z 90 % do 70 % se tak nezapočítává celý nabíjecí cyklus, ale jen jeho 20 %. Pro započtení celého cyklu by pak logicky bylo nutné tento proces opakovat celkem pětkrát. U většiny akumulátorů v mobilních telefonech dnes výrobci uvádějí životnost okolo 500 nabíjecích cyklů, než začne docházet ke zjevnému snižování výdrže. Číslo je však pouze orientační a v reálu se může i výrazně lišit v závislosti na způsobu používání baterie. (Altman, 2019)

Mezi ostatními parametry můžeme uvést například maximální nabíjecí proud a s ním související dobu nutnou k plnému doplnění energie akumulátoru. Právě rychlost nabíjení je jeden z parametrů, ve kterém se výrobci v posledních letech často předhánějí a leckdy se jedná o důležitý marketingový tahák.

Je zcela zřejmé, že výše uvedené vlastnosti nejsou jediné. Navíc lze zmínit například zátěž na životní prostředí, hmotnost, rozměry, vnitřní odpor akumulátoru jakožto velikost odporu článku při průchodu elektrického proudu nebo hustotu energie, což je podíl kapacity uložené energie a objemu článku. Spolu s dalšími však nejsou pro koncové uživatele příliš podstatné, a proto nejsou výrobci uváděny. (Proelektrotechniky.cz, 2013)

### **3.1.3 Typy akumulátorů**

Je zcela zřejmé, že tak jako si vývojem prošlo celé odvětví mobilních telefonů, tak si obdobným procesem prošly i akumulátory samotné jako jedna z velmi důležitých součástí. V současné době se používá několik typů článků, které se od sebe liší jak stavbou, tak především cenou, která rozhoduje o jejich finálním užití.

#### **3.1.3.1 Ni-Cd**

Nikl-kadmiový akumulátor je po olověném akumulátoru nejstarším typem článku, který lze opakovaně nabíjet. Kladná elektroda je na bázi niklu. Při vybíjení se mění z oxidu-hydroxidu niklitého na hydroxid nikelnatý. Záporná elektroda je tvořena kadmíem, které při vybíjení přechází z kadmia na hydroxid kademnatý. Elektrolyt je zásaditý, zpravidla se jedná o vodný roztok KOH. Jmenovité napětí těchto článků činí 1,2 V. (Špina, 2021)



Mezi jejich hlavní výhody patří zejména vysoká mechanická odolnost, spolehlivost a životnost, která se bez větších problémů může pohybovat nad hranicí 1000 nabíjecích cyklů. Bonusem je pak možnost odběru velmi vysokých proudů nebo schopnost pracovat za velmi nízkých teplot. Ani tyto vlastnosti však nestačily k tomu, aby se tento typ akumulátorů začal výrazněji využívat v přenosné elektronice. Nevýhodami jsou totiž vysoké náklady na výrobu, menší hustota energie nebo vyšší rychlost samovybíjení, což se nehodí u zařízení, která musí být neustále v provozu. Po delším skladování je navíc nutné několikrát článek nabít a vybit. Pravým důvodem, proč se již v dnešní době tento typ akumulátoru prakticky nepoužívá je ale klasifikace kadmia jakožto toxické látky, která je nebezpečná pro životní prostředí, z čehož pramení i nutnost sběru a následné likvidace opotřebovaných článků. (Battex.info, 2021)

Z uvedených charakteristik těchto akumulátorů je zřejmé, že spíše než v mobilních telefonech a přenosné elektronice našly své uplatnění například u armády nebo v elektrickém nářadí.

### 3.1.3.2 Ni-MH

Nikl-metal hydridové akumulátory jsou vývojovými následníky Ni-Cd článků, u kterých se kladl důraz především na náhradu kadmia vhodnějším materiálem. Elektrolytem je stejně jako v případě nikl-kadmiových článků vodný roztok KOH. Kladná elektroda bývá vyrobena z oxid-hydroxidu niklitého a záporná elektroda je tvořena niklem, kobaltem, manganem či hliníkem. Navíc obsahuje i některý ze vzácných kovů: lanthan, cer, neodym, praseodym. Jmenovité napětí je shodné s předchůdcem a dosahuje hodnoty 1,2 V. (Battex.info, 2021)

Výhodou Ni-MH článků je především již zmiňovaná menší zátěž na životní prostředí. Mezi další můžeme zařadit nižší výrobní náklady nebo větší kapacitu získanou z akumulátoru shodných rozměrů jako v případě Ni-Cd. Nevýhodou je naopak menší rozsah klimatických a mechanických odolností, nižší počet nabíjecích cyklů nebo samovybíjení, které může být v tomto případě ještě větší. (Battex.info, 2021)

Technologie Ni-MH se dříve používala i u mobilních telefonů, kde se typicky tři články spojily za sebe, aby získaly nominální napětí 3,6 V. Z pohledu současné elektroniky už ale nejsou tyto akumulátory tak zajímavé, protože je obtížné je vyrobit ve tvaru, který by seděl do moderních telefonů, kde musí být velmi tenké, nemají pravidelné tvary atd. Hojně se však

využívají například v dobíjecích AAA nebo AA bateriích a nezdá se, že by měly být v tomto segmentu v dohledné době nahrazeny. (Michlovský, 2021, s. 53)

### 3.1.3.3 Li-Ion

Lithium-iontový akumulátor není nejmodernějším, přesto je však aktuálně nejpoužívanějším typem sekundárního článku. Vývoj probíhal již od šedesátých let minulého století, ale první verze pro komerční užití představila až v roce 1991 japonská společnost Sony. K uvedení na trh došlo záhy. (Battex.info, 2021)

Chemické složení není úplně jednoznačné, jednak se může lišit dle výrobce a jednak mohou být odlišnosti dány také potřebnou specifikací pro dané využití. Anoda bývá zpravidla uhlíková, katoda zase obvykle sází na lithium-kobalt oxid, lithium-mangan oxid, lithium-nikl dioxid, lithium-vanad oxid atd. Elektrolytem je pak vodivá lithiová sůl v organickém rozpouštědle. Články mají jmenovité napětí 3,6 V. (Michlovský, 2021, s. 53)

Stejně jako Ni-MH neobsahují olovo, rtuť nebo kadmium, z čehož plyne menší zátěž pro životní prostředí. Výhodou je naopak opětovný nárůst počtu nabíjecích cyklů. Mezi další výhody můžeme zařadit zvýšení kapacity vzhledem ke hmotnosti a rozměrům článku nebo velmi malé samovybíjení, které je asi o  $\frac{3}{4}$  menší než u předchozích typů. Cena byla z počátku vyšší než u Ni-MH akumulátorů, ale rok od roku klesá, a tudíž se se starší technologií v mobilních telefonech již nesetkáváme. Nevýhodou je naopak degradace, která probíhá samovolně, ať už je článek využíván či nikoliv. Tento jev je navíc urychlován jak běžným používáním, tak i vybíjením vysokým proudem nebo dlouhodobým držetím plného nabití. Stejně jako v případě nikl-metal hydridových akumulátorů je patrný menší rozsah klimatických a mechanických odolností oproti nikl-kadmiovým. (Battex.info, 2021)

Lithiové články jsou navíc velice náchylné na přebíjení a podvybíjení, proto většina baterií musí obsahovat řídicí elektronické obvody. Při vybíjení se napětí akumulátoru postupně snižuje, dokud nedosáhne minimální přijatelné hodnoty. Pokračující vybíjení by způsobilo trvalé poškození. (Barsukov, 2013, s. 8)

Jedním z nejběžnějších zástupců Li-Ion článků je formát 18650. Velkou výhodou je pak možnost vyrobit akumulátor téměř jakéhokoliv tvaru, čehož se hojně využívá právě zejména u mobilních telefonů, notebooků a další přenosné elektroniky. (Michlovský, 2021, s. 53)

#### 3.1.3.4 Li-Pol

Lithium-polymerové akumulátory jsou novější částečně vylepšenou verzí lithium-iontových. Mají podobné chemické složení stran anody a katody, ale nepoužívají kapalný elektrolyt. Ten je zde ve formě polymerového gelu, takže není potřeba využívat separátor. Jmenovité napětí je stejně jako v případě Li-Ion 3.6 V. Výhodou oproti lithium-iontovým akumulátorům je nižší hmotnost při zachování stejné kapacity. Články mohou být velmi tenké, částečně pružné a jsou o něco odolnější vůči stárnutí. (Michlovský, 2021, s. 53)

Díky absenci kapalného elektrolytu se považují za obecně bezpečnější alternativu k Li-Ion. Na druhou stranu jsou lithium-polymerové akumulátory náchylnější na mechanické poškození. Kvůli chybějícímu separátoru totiž dochází v případě proražení pláště k přímému zkratu. Další nevýhodou jsou poté zejména vysoké výrobní náklady. (Triggs, 2021a)

Vzhledem k uvedeným vlastnostem je jasné, že v segmentu levnějších mobilních telefonů i nadále dominují lithium-iontové články, v jejichž prospěch hrají zejména nižší výrobní náklady, které se promítnou do konečné ceny produktu. Výrobce je v takovém případě schopen zákazníkovi nabídnout zařízení s větší kapacitou akumulátoru za nižší cenu, která ospravedlní například vyšší hmotnost. Naopak v kategorii střední a vyšší třídy pomalu, ale jistě nahrazují lithium-polymerové akumulátory starší lithium-iontové. Bodují především větší mírou bezpečnosti nebo nižší hmotností. (Triggs, 2021a)

#### 3.1.4 Budoucnost akumulátorů

Ačkoliv akumulátory využívané v telefonech momentálně svými vlastnostmi dostačují, tak pochopitelně probíhá vývoj nových typů, které by nejen toto odvětví, ale například i elektromobilitu mohly posunout zase o kus dál.

Jedním z příslibů do budoucna by mohly být například grafenové baterie, které jsou v současné době limitovány především svou velmi vysokou cenou. Grafen je nejtenčí forma uhlíku strukturou podobná grafitu a jedná se o jeden z nejpevnějších známých materiálů na světě, který je tvořen pouze jedinou vrstvou atomů uhlíku uspořádaných do šestiúhelníků. Při výrobě dochází ke kombinaci známé technologie právě s grafenem, který se míchá dohromady s lithiem, a navíc je na baterii nanášena speciální kompozitní vrstva. Výsledkem je bezpečnější akumulátor, jenž se při provozu ani nabíjení tolik nezahřívá, což se podepsalo zejména na zvýšení životnosti, která by měla dosahovat až 1500 nabíjecích cyklů, aniž by došlo k úbytku kapacity. Zároveň by bylo možné produkovat tenčí články nebo zkrátit

nabíjecí časy. Problémem je ale již zmiňovaná cena, protože ačkoliv je grafenu potřeba jen velmi malé množství, tak by přesto výsledné náklady na výrobu stouply zhruba o 30 %. (Boxall, 2020)

Momentálně se na trhu nevyskytují prakticky žádná zařízení, která by tímto typem akumulátoru disponovala. Výjimkou je například v srpnu 2021 představený špičkový mobilní telefon Xiaomi Mi Mix 4. Ten díky užití grafenu slibuje vyšší životnost nebo 120 W dobíjení, které baterii o kapacitě 4500 mAh nabije do plného stavu za rekordních 15 minut, čehož bylo možné dosáhnout užitím speciálního systému pro odvod tepla. (Miksa, 2021)

Jako další nadějná technologie se jeví také Li-S neboli lithium-sírové akumulátory. Při jejich výrobě došlo k úpravě standardních Li-Ion a Li-Pol článků přepracováním konstrukce katod, které nyní využívají síru, což by mělo vést k lepšímu zvládnutí většího zatížení bez ztráty stability. Klíčovou výhodou představuje mnohem vyšší hustota energie, jež by měla zabezpečit, že obdobně velký akumulátor zvládne pohánět mobilní telefon v průměru i pět dní v kuse. Zároveň by měla být výroba levnější a výsledný produkt šetrnější k životnímu prostředí. (Fingas, 2020)

Problémem bohužel zůstává rychlejší degradace, která vede ke kratší životnosti, což je pochopitelně zádrhel, který aktuálně brání zahájení masové výroby. Nadále však probíhá výzkum nových materiálů, které by měly degradaci zpomalit. Otázkou je, jaký dopad budou mít budoucí vylepšení na výslednou cenu. (Barsukov, 2013, s. 43)

Zajímavou možností by mohly představovat také superkondenzátory. Ty na rozdíl od současných akumulátorů, fungujících na chemické bázi, uchovávají svou energii pomocí indukovaného elektrického náboje. Právě tato vlastnost umožňuje nabití superkondenzátoru v rámci několika málo sekund. Mezi další nesporné výhody patří neporovnatelně větší životnost nebo schopnost pracovat za velmi nízkých i vysokých teplot. Naopak mezi slabé stránky lze zařadit rychlejší samovybíjení, cenu či velmi malou hustotu energie, tudíž by pro dosažení obdobné kapacity bylo potřeba mnohem více prostoru. Z tohoto důvodu přichází v úvahu hybridní řešení, které by kombinovalo rychlost superkondenzátorů se schopností akumulátorů ukládat energii. (Dedezade, 2021)

### **3.1.5 Péče o akumulátor**

Pro dosažení co nejlepší životnosti je nutné se o akumulátory patřičně starat. U starších mobilních telefonů bylo například nutné po prvním vybalení z krabičky zařízení několikrát

zcela nabít a vybit, než jej mohl zákazník začít používat. Moderní technologie jako Li-Ion a Li-Pol už naštěstí obdobný iniciační proces nevyžadují. (Dlouhý, 2018)

V průběhu používání je potřeba dát si pozor především na vystavování akumulátoru příliš nízkým nebo naopak vysokým teplotám. V chladu totiž poklesne napětí článku, ale telefon se dožaduje stále stejného přísunu energie. A protože výkon se rovná napětí krát proud, tak to znamená, že při poklesu napětí se z akumulátoru odebírá větší proud, což ho pochopitelně opotřebovává. V extrémních případech se pak telefon v zimě jednoduše sám vypne. Obdobný problém nastává i při vysokých teplotách nad 60 °C, které akumulátor nenávratně poškozuje. (Michlovský, 2021, s. 53–54)

Akumulátoru zpravidla nevádí, když se výjimečně vybit do stavu, kdy telefon hlásí 0 %, jelikož má navíc ještě malou bezpečnostní rezervu. V případě poklesu napětí až pod tuto mez ale dochází k nenávratnému poškození. Pokud je tedy zařízení dobíto během několika hodin po vybití, tak se nic závažného neděje, protože napětí nestihne spadnout do nebezpečných hodnot. V momentě skladování po delší časový úsek je ale nesmírně důležité akumulátor předem nabít na zhruba 80 % kapacity, aby se vlivem samovybití neponičil. (Michlovský, 2021, s. 53–54)

Při denním používání by se pak akumulátor měl udržovat nabitý v rozmezí 20 % - 80 %. Vybití směrem k nule, nebo naopak nabíjení pokaždé až do 100 % jej zbytečně namáhá. Moderní Li-Ion a Li-Pol články je navíc možné z nabíječky kdykoliv odpojit nebo připojit, aniž by docházelo k jakékoliv degradaci. (Jary, 2021)

V posledních letech výrobci sami přicházejí s funkcemi, kterými se snaží životnost akumulátorů co nejvíce prodloužit. Často se tak můžeme setkat s možností zapnutí speciálního módu pro optimalizaci nabíjení, který zapříčiní, že telefon nezůstává velkou část noci zbytečně nabitý na 99 % - 100 %, což jsou hodnoty, při kterých dochází k rychlejšímu opotřebení článků. Pověštinou dojde k doplnění energie pouze do 80 % a zbývajících kritických 20 % je dobíto až těsně předtím, než danému uživateli zazvoní budík, případně v čase, kdy se standardně probouzí. Mobilní telefony Samsung disponují například ještě možností natvrdo omezit nabití na nejvýše 85 % maximální kapacity, což by mělo přispět k dalšímu prodloužení životnosti akumulátoru. (Jary, 2021)

Velmi populární vychytávkou u moderních telefonů je také rychlé nabíjení o výkonu až několika desítek wattů. Zde je klíčové, aby se výrobci podařilo udržet správný poměr mezi

rychlostí nabíjení a vlivem na životnost akumulátoru. Největším nepřítelem totiž paradoxně není ona rychlost nabíjení, ale teplo, které při procesu vzniká. Ačkoliv jsou dnešní technologie dobře vyladěné a čipy v nabíječkách či přímo v zařízeních nejen teplotu průběžně kontrolují, tak je pro akumulátor logicky nejlepší pomalejší nabíjení, při kterém nadměrné množství odpadního tepla nemá vůbec šanci vzniknout.

Obecně se doporučuje používat pro nabíjení pouze originální, nebo certifikované příslušenství. Vyšší výkon nabíječky zpravidla nevede, jelikož si akumulátor vždy vezme jen tolik, kolik je maximálně schopen zvládnout. Uživatelé by si naopak měli dát pozor na podezřele levné příslušenství z čínských internetových obchodů, které často nemusí mít ochranné mechanismy např. proti zkratu nebo přehřátí, což může ve výsledku způsobit nemalé problémy a v extrémních případech dokonce i vzplanutí. (Jary, 2021)

Pokud je akumulátor na konci své životnosti, určitě by neměl být vyhozen do běžného odpadu, ale odevzdán v obchodě s elektronikou, ve sběrném dvoře nebo vhozen do speciálních červených kontejnerů, které jsou určeny ke zpětnému odběru elektrozařízení. (Asekol.cz, 2021)

### **3.2 Drátové nabíjení**

S nástupem chytrých mobilních telefonů se ze zařízení pro volání a posílání SMS staly plnohodnotné kapesní počítače. To s sebou přineslo nejen velké displeje a výkonné procesory, ale také integraci technologií jako je GPS nebo Wi-Fi. S tím, jak rostly možnosti použití mobilních telefonů, stoupal také čas, který na nich v průměru uživatelé každý den stráví. Bylo proto nutné zajistit obstojnou výdrž pro zařízení, jejichž energetický odběr byl mnohem vyšší než doposud.

Nejjednodušším řešením nastalého problému bylo navýšení kapacity akumulátoru. A proto zatímco legendární Nokii 3310 stačilo k zajištění několikadenní výdrže užití baterie s kapacitou 900 mAh, tak u novější Nokie E52 s operačním systémem Symbian z roku 2009 to bylo již 1500 mAh. Z dnešního pohledu jsou však obě tato čísla naprosto podprůměrnou hodnotou. Běžně se totiž setkáváme s akumulátory o kapacitě od tří do pěti tisíc miliampérhodin. Větší kapacita ale logicky vybízela k zajištění způsobu, jak násobně velký akumulátor nabít v co nejkratším možném čase. V případě užití do té doby standardních nabíječek by totiž doplnění energie dnešních chytrých telefonů zabralo klidně i více než pět hodin. To byl důvod, proč se světoví výrobci začali zajímat o rychlé nabíjení.

### 3.2.1 Standardy rychlého nabíjení

Při nabíjení nás zajímají zpravidla dvě související informace. Jedná se o čas, který je k nabití potřebný a také výstupní elektrický výkon, který určuje, jaké množství energie je nabíječka zařízení schopna dodávat. Ten bývá vyjádřen ve wattech (W) a v obvodech stejnosměrného proudu se spočítá jako výstupní napětí (značka  $U$ , jednotka Volt) krát výstupní proud (značka  $I$ , jednotka Ampér). Užití tohoto vztahu je omezeno výhradně na zmíněné obvody stejnosměrného proudu a napětí, kde jsou tyto veličiny konstantní, a tedy i výstupní elektrický výkon zůstává stále stejný. A jelikož výkon je dále obecně definován jako množství práce vykonané za jednotku času, tak z logiky věci vyplývá, že čím větší je nabíjecí výkon, tím rychleji bude vykonána potřebná práce, a proto čas nutný k nabití telefonu přímo úměrně klesá. (Nečásek, 1972, s. 11–12)

Starší mobilní telefony využívaly k doplnění energie nejčastěji nabíječky o výstupním elektrickém výkonu 2,5 W (5 V, 0,5 A) nebo 5 W (5 V, 1 A). Právě výkon 5 W se stal i na počátku éry chytrých telefonů jakýmsi normálem a k některým modelům se nabíječky s tímto výkonem přibalovaly ještě pár let zpátky. Příkladem za všechny budiž Apple iPhone 11 z roku 2019, který sice zvládal i rychlejší 18W nabíjení, ale v základním balení uživatelé přesto našli pouze 5W síťový adaptér.

Základní problém s pomalým nabíjením spočívá v nízkém napětí 5 V, které znamená, že pro nabíjení výkonem například 15 W je potřeba proud o velikosti 3 A, jenž může být problém přes dlouhé či méně kvalitní kabely dostat, aniž by se napětí nesnížilo pod kritickou mez. Z tohoto důvodu je nutné využít technologie, které tento neduh alespoň částečně eliminují. (Trčálek, 2019, s. 22)

Veškeré technologie rychlého nabíjení fungují na podobném principu – nabíječka a koncové zařízení se po připojení kabelu společně domluví a změní se tak nabíjecí napětí z původních 5 V na vyšší, aby nemusel být nabíjecí proud tak vysoký. Existují ale i případy, kdy se mohou domluvit na standardním 5V napětí a třeba proudu 4 A, když je použit kvalitní (ideálně originální) kabel. V momentě, kdy je zvýšeno napětí například na 9 V, zvýší se při proudu 2 A nabíjecí výkon z 10 W na 18 W, a tím se nabíjení čistě teoreticky zrychlí až o 80 %. (Trčálek, 2019, s. 22)

I technologie pro rychlé nabíjení však mají svá úskalí. Tím největším je fakt, že je musí podporovat jak samotný telefon, tak nabíječka/powerbanka, jinak je nabíjení pouze klasické.

Tuto podmínku lze ještě rozšířit na použití kvalitního kabelu. I samotný princip zvyšování napětí pak má své problémy, jelikož napětí musí být nakonec opět sníženo pomocí DC-DC měniče na nabíjecí napětí baterie (přibližně 4,1 – 4,3 V), což je doprovázeno energetickou ztrátou přímo úměrnou velikosti rozdílu napětí i velikosti protékajícího proudu. Při použití powerbanky je zmíněný problém ještě více znatelný, jelikož musí být při nabíjení napětí nejprve zvýšeno z napětí baterie na například 9 V, což je ještě více ztrátové, než napětí snižovat. Výsledkem je, že z powerbanky získáme méně energie, než kdybychom zařízení nabíjeli pomaleji. (Trčálek, 2019, s. 22)

Technologie rychlého nabíjení lze obecně rozdělit do tří skupin. Buď se můžeme setkat se standardizovanými, jako je Qualcomm Quick Charge či USB Power Delivery, nebo z nich vycházejícími a do jisté míry kompatibilními, jako Samsung Adaptive Fast Charge a Apple Fast Charge, anebo zcela proprietárními, jako je Huawei SuperCharge a OPPO VOOC. (Trčálek, 2019, s. 22)

#### 3.2.1.1 Qualcomm Quick Charge

Qualcomm Quick Charge patří jednoznačně mezi nejznámější a nejrozšířenější standardy rychlého nabíjení. Podpora na straně zařízení je vždy podmíněna použitím procesoru Qualcomm Snapdragon. První verze známá pod označením Quick Charge 1.0 byla americkým výrobcem představena již v roce 2013 společně s procesorem Snapdragon 600. Garantovala maximální nabíjecí výkon 10 W při napětí 5 V a proudu o velikosti 2 A. (Trčálek, 2018, s. 15)

K uvedení novější verze Quick Charge 2.0 došlo během roku 2015 a užití tohoto standardu bylo nově umožněno napříč celou rodinou procesorů Qualcomm Snapdragon. Nabíjecí výkon se vyšplhal až na 18 W a podstatné změny se udály také v možnosti volby napětí a proudu. Hodnoty totiž nebyly pevně dané jako v případě Quick Charge 1.0, ale nabíječka je mohla po dohodě se zařízením volit dle potřeby. Napětí tak mohlo nabývat velikosti 5 V, 9 V nebo až 12 V, čemuž sekundoval proud 3 A, 2 A nebo 1,5 A. (Trčálek, 2019, s. 23)

Maximální nabíjecí výkon 18 W byl zachován i u novější generace s označením Quick Charge 3.0 z roku 2016. Posun ale opět nastal ve větší flexibilitě, co se hodnot napětí a proudu týče. Z tohoto důvodu se napětí může pohybovat v rozmezí od 3,6 V až do 20 V s přírůstkem po 200 mV a proud poté mezi 2,5 A a 4,6 A. Právě Quick Charge 3.0 je



dnes pravděpodobně nejrozšířenějším standardem nejen u telefonů, ale zejména u nabíječek a powerbanek. (Hill, Revilla, Chandler, 2021)

O rok později představil Qualcomm již čtvrtou generaci této technologie, která navýšila výstupní nabíjecí výkon až na 27 W. Následně byla ještě ten samý rok uvedena vylepšená verze s označením Quick Charge 4+, která má mimo jiné zajistit o 30 % vyšší efektivitu. Největším přínosem je ale zejména kompatibilita s USB Power Delivery. Rozmezí hodnot napětí a proudu zůstalo v případě klasického Quick Charge nabíjení stejné jako u třetí generace. V momentě připojení zařízení s podporou USB Power Delivery pak může napětí nabývat hodnot 5 V, 9 V nebo 3 V až 11 V po 20mV přírůstcích přes USB Power Delivery PPS (programovatelný zdroj). Proud poté dosahuje velikosti až 3 A. (Trčálek, 2018, s. 15)

Quick Charge 5.0 z roku 2020 je zatím poslední generací nabíjecího standardu od Qualcommu. Navazuje na verzi 4+, která umožňovala nabití akumulátoru o kapacitě 4500 mAh na zhruba 50 % za 15 minut. Nově by stejný proces měl zabrat pouze třetinu času. Napětí se může pohybovat v rozmezí od 3,3 V až do 20 V ale v některých případech může být dokonce ještě vyšší, zatímco proud může nabývat hodnot 3 A nebo 5 A, ale stejně jako u napětí je možné se operativně pohybovat i nad touto hranicí. Samozřejmostí je opětovná podpora USB Power Delivery, včetně funkce PPS, kdy přesná regulace napětí probíhá na straně nabíječky, a nikoliv v napájecích obvodech telefonu, což by mělo zmírnit jeho zahřívání při nabíjení. K obrovskému vylepšení došlo u maximálního nabíjecího výkonu, který se nyní teoreticky může vyšplhat až na 100 W při využití telefonu s baterií rozdělenou na dva sériově zapojené články. Toto řešení ale nemusí být zdaleka vždy ideální, protože jeden článek zabírá méně místa a rozdělením na dvě části výrobce uživatele připraví o část kapacity, nehledě na složitost celého systému a také vyšší náklady. V případě klasických jednočlánkových akumulátorů by měl nabíjecí výkon u Quick Charge 5.0 dosahovat velikosti okolo 45 W. (Olšan, 2020)

V průběhu celého dosavadního vývoje technologie Qualcomm Quick Charge docházelo nejen ke zvyšování nabíjecího výkonu, ale také ke zlepšování efektivitu celého nabíjecího procesu. Ruku v ruce s účinností jde snaha o co možná nejmenší vliv rychlého nabíjení na životnost baterie, kterou se Quick Charge snaží zajistit nevystavováním akumulátoru vysokým teplotám. Toho je dosaženo díky možnosti plynule měnit hodnoty napětí a proudu a ovlivňovat tím nabíjecí výkon na základě aktuálních podmínek. Nejnovější verze dokonce

disponují například i funkcí pro automatickou detekci kvality kabelu což nadále přispívá k zajištění rychlého, ale zároveň efektivního a bezpečného nabíjení. (Trčálek, 2018, s. 15)

### 3.2.1.2 USB Power Delivery

Standard USB Power Delivery vytvořila přímo organizace USB-IF, která stojí za tvorbou, propagací a podporou rozhraní USB. První specifikace USB-PD přišla na trh už v roce 2012 a přinesla rovnou možnost nabíjení výkonem až 100 W v pěti profilech, na kterých se mohla nabíječka s koncovým zařízením domluvit. První byl 5 V/2 A (10 W), druhý 12 V/1,5 A (18 W), třetí 12 V/3 A (36 W), čtvrtý 20 V/3 A (60 W) a pátý 20 V/5 A (100 W), případně 12 V/5 A (50 W). (Trčálek, 2019, s. 23)

Druhá specifikace pod označením USB Power Delivery 2.0 pak byla vydána v roce 2014 společně s příchodem rozhraní USB 3.1 a portu USB-C. Má napájecí pravidla odstupňovaná podle výkonu a podporovaných napětí zdroje. Pro výkon 15 W až 27 W stačí napětí 5 V a 9 V, pro 27 W až 45 W je potřeba i napětí 15 V a nad 45 W už se přidá i podpora napětí 20 V. (Trčálek, 2019, s. 23)

Na začátku roku 2018 byla představena třetí a momentálně nejpoužívanější revize USB Power Delivery 3.0. K hlavním změnám došlo na poli bezpečnosti. Nově totiž dochází k přenosu většího množství informací mezi nabíječkou a zařízením, tak aby se předešlo přehřívání nebo poruchám. Napájecí pravidla zůstala pro většinu zařízení stejná jako v případě předchozí generace. Novinkou bylo zavedení protokolu Programmable Power Supply (PPS), jenž je mnohem flexibilnější a umožňuje konfigurovat úroveň napětí po velmi malých 20mV přírůstcích, a to dokonce i během nabíjení. Celý proces se tak rázem může stát efektivnějším s menší zátěží na akumulátor. Protože se jedná o novější část standardu, je podpora USB-PD PPS v roce 2021 omezena pouze na několik zařízení. Příkladem může být řada vlajkových telefonů Samsung Galaxy S21 při použití originálního 25W adaptéru. (Triggs, 2021b)

Za absolutní novinku na trhu lze považovat revizi USB Power Delivery 3.1., jež byla představena organizací USB-IF v květnu 2021. Ačkoliv implementace nového standardu je ze strany výrobců zatím relativně pozvolná, tak se dozajista jedná o velký pokrok především z hlediska výstupního nabíjecího výkonu, který se může vyšplhat až na závratných 240 W. Cílovou skupinou zařízení v tomto případě pochopitelně nejsou mobilní telefony, ale především výkonnější notebooky, kterým by USB-PD 3.1 mělo umožnit přechod od

klasických velkých nabíječek a proprietárních konektorů na kompaktnější modely s USB-C. Mimo dříve využívaných hodnot napětí 5 V, 9 V, 15 V a 20 V známých z předchozích generací se nově přidává také podpora dalších tříd a to konkrétně 28 V (nabíjecí výkon nad 100 W), 36 V (nabíjecí výkon nad 140 W) a 48 V pro nabíjecí výkon nad 180 W. Velikost proudu je neměnná, což znamená maximum 5 A, které dohromady s napětím 48 V tvoří zmiňovaný výstupní nabíjecí výkon až 240 W. (Saunders, Balich, 2021)

S ohledem na nutnost použití kvalitního a nejlépe certifikovaného kabelu přišlo konsorcium USB-IF na podzim roku 2021 s novým způsobem jejich značení pomocí jednoduchých piktogramů. Systém je založen právě na Power Delivery 3.1., dále pak také na novém standardu USB4 a konektoru USB-C. Ve výsledku by měl zákazníkům pomoci se lépe orientovat v aktuální nabídce na trhu. Loga budou ve dvou verzích. Jedno pro označení přenosové rychlosti dat a druhé pro maximální výkon při napájení. Zároveň se ukázala i sdružená verze, která vyniká svou kompaktností. Jejich umístění bude buď přímo na konektoru nebo kabelu. (Kejduš, 2021)

Díky možnosti nabíjení výkonem až 240 W představuje standard USB Power Delivery skvělou volbu nejen pro nabíjení mobilních telefonů, ale také například notebooků, kde prozatím konkurenční technologie jako Qualcomm Quick Charge nenašly uplatnění. Právě v segmentu přenosných počítačů se může naplno uplatnit maximální nabíjecí výkon. Kromě již zmíněných zařízení disponuje USB Power Delivery i podporou pro nabíjení menšího příslušenství jako jsou sluchátka nebo chytré hodinky. V takovém případě se jedná o nabíjení při napětí 5 V a proudu v rozmezí 0,1 A až 3 A, což dohromady dává výkon od 0,5 W do 15 W, jenž je pro tyto účely naprosto dostatečný. (Triggs, 2021b)

Mezi hlavní nevýhody USB Power Delivery oproti konkurenčním standardům lze zařadit například nižší efektivitu nabíjení, která je na druhé straně vykoupena širší paletou podporovaných zařízení. Právě tato vlastnost je dozajista největší výhodou, jelikož se správnou nabíječkou zaručuje uživateli podporu celé škály zařízení od malého příslušenství až po notebooky. Jedinou podmínkou je v takovém případě užití USB-C kabelu, jakožto rozhraní, na které je standard USB Power Delivery striktně navázán. (Trčálek, 2019, s. 23)

### 3.2.1.3 Odvozené standardy rychlého nabíjení

Qualcomm Quick Charge a USB Power Delivery jsou v současnosti nejrozšířenější technologie rychlého nabíjení, a proto není divu, že je do svých zařízení implementuje řada

výrobců, přičemž k zásadním úpravám dochází jen zřídka. Pro pojmenování však často používají vlastní názvy, které je lépe odliší od konkurence.

Na Qualcomm Quick Charge 2.0 a 3.0 jsou založeny například standardy Samsung Adaptive Fast Charge, Motorola Turbo Charge nebo Asus BoostMaster, což znamená, že jsou kompatibilní s QC tak i navzájem mezi sebou. Na druhé straně pak stojí například Apple Fast Charge, MediaTek Pump Express nebo novější verze standardů od Samsungu a Motoroly, které jsou známé pod názvy Samsung Super Fast Charge a Motorola TurboPower. (Trčálek, 2019, s. 23)

Výrobci využívají technologie QC a USB-PD buď 1:1 a jen si je přejmenovali, anebo je vylepšili třeba pro podporu větších proudů při zachování kompatibility s příslušnými nabíječkami. Samozřejmě ale existují i tací, kteří žádných speciálních názvů nevyužívají. Nejznámějším z nich je pravděpodobně Xiaomi, které u svých telefonů dosud často pracovalo s nezměněnou podobou Qualcomm Quick Charge. (Trčálek, 2019, s. 23)

Ačkoliv se zákazníkům na první pohled může zdát, že se na trhu vyskytuje řada mezi sebou nespolupracujících technologií, opak je pravdou. V posledních letech se navíc situace ještě zlepšila díky vzájemné kompatibilitě dvou největších hráčů na trhu, a to konkrétně od doby uvedení Quick Charge 4+, které přineslo podporu USB Power Delivery.

#### 3.2.1.4 Oppo VOOC

Čínská společnost Oppo je jednou z těch, které šly při vývoji technologie rychlého nabíjení zcela vlastní cestou. Výsledkem se stal standard známý pod zkratkou VOOC (Voltage Open Loop Multi-step Constant-Current Charging). Rozdíl spočívá v navyšování hodnot proudu namísto napětí. Při napětí 5 V se tak běžně můžeme setkat s proudem o velikosti 4 A nebo 5 A, což ve výsledku znamená dosažení obdobných nabíjecích výkonů jako v případě třetí či čtvrté generace Qualcomm Quick Charge. Nevýhodou standardu VOOC je fakt, že vysoké proudy vyžadují nejen speciální síťový adaptér, ale také kabel. Odměnou pro uživatele je poté především menší zahřívání telefonu, protože nedochází k tak masivní DC-DC konverzi. (Trčálek, 2019, s. 23)

První verze VOOC Flash Charge byla představena v roce 2014 společně s vlajkovou lodí OPPO Find 7. Začátky se tedy datují do podobného časového období jako u konkurenčního Quick Charge od firmy Qualcomm nebo USB Power Delivery od organizace USB-IF. Na svou dobu přitom ve světě mobilních telefonů přineslo OPPO dosud nevídaný maximální

výstupní nabíjecí výkon 20 W, jehož se dosahuje při standardním napětí 5 V v kombinaci s proudem o velikosti 4 A. (Artashyan, 2020)

Ještě tentýž rok přišla na trh novinka v podobě VOOC Flash Charge 2.0. Vylepšení ale byla spíše kosmetická a netýkala se rychlosti nabíjení jako takové. Byl značně zmenšen nabíjecí adaptér, který se zároveň na rozdíl od první verze oddělil od kabelu, což je řešení, které výrobci běžně využívají dodnes. (Oppo.com, 2020)

Další generace pod názvem VOOC Flash Charge 3.0 spatřila světlo světa až v roce 2019. Paradoxně stále nedošlo k navýšení nabíjecího výkonu, který i nadále stagnoval na hodnotě 20 W. OPPO se namísto toho zaměřilo na vylepšení účinnosti. Zásadně byl zdokonalen VFC algoritmus, který řídí celý nabíjecí proces. Tento krok společně s vývojem nových baterií přispěl k tomu, že se rychlost nabíjení oproti předchůdci zvýšila o více než 20 %. Svou roli hrál dozajista také fakt, že se podařilo zásadně zkrátit čas nutný k dobití posledních 10 % akumulátoru, což je obecně nejvíce kritická a zdlouhavá část. (Artashyan, 2020)

Zatím poslední upgrade technologie VOOC Flash Charge na verzi s označením 4.0 proběhl koncem roku 2019 a znamenal po dlouhé době průlom i v nabíjecím výkonu. Nově je možné dosáhnout až na 30 W při napětí 5 V a proudu 6 A, čímž jen OPPO všechny utvrdilo ve svém nastaveném trendu. (Akolawala, 2019)

Mohlo by se zdát, že s nabíjecím výkonem 30 W se OPPO aktuálně pohybuje na chvostu mezi konkurenčními technologiemi. VOOC Flash Charge ovšem není jediným standardem rychlého nabíjení, kterým tato čínská společnost disponuje. V roce 2016 byl na veletrhu MWC v Barceloně poprvé představen koncept OPPO SuperVOOC, který firma prezentuje jako celkovou modernizaci projektu VOOC. Prvním mobilním telefonem, který novou funkci implementoval se stal model OPPO Find X Lamborghini Edition z roku 2018. Nejzajímavějším technickým aspektem je rozdělení akumulátoru na dvě spolupracující poloviny, kdy je každá z nich nabíjena výstupním nabíjecím výkonem 25 W (5 V/ 5 A). Jelikož je možné tyto hodnoty následně sčítat, tak je celkový nabíjecí výkon roven až 50 W při napětí 10 V a proudu 5 A. (Artashyan, 2020)

Zásadní výhodou tohoto řešení je zdvojnásobení nabíjecího výkonu, jehož nárůstem však zbytečně netrpí akumulátor, jelikož zátěž na jednotlivé články zůstává stále stejná a výsledné rychlosti je dosaženo jinak, než zvyšováním hodnot proudu či napětí. Důmyslně je vyřešeno také vybíjení neboli stav, kdy je zařízení odpojeno od nabíječky. V takovém případě jsou

energetické nároky na provoz telefonu opět rozděleny mezi oba články a každý kryje polovinu z nich, což znamená, že může fungovat při polovičním napětí. Za účelem správného fungování muselo OPPO mimo jiné vyvinout speciální čip, který celý obvod řídí. Právě tato skutečnost společně s vyšší spotřebou součástek, kterých je ke dvěma článkům nutno využít úměrně více, představuje hlavní nevýhodu, kterou jsou vyšší finanční nároky. Dalším negativem může být menší kapacita akumulátoru, protože se do těla telefonu musí vměstnat všechny potřebné komponenty, a navíc je každý ze článků uložen ve svém vlastním ochranném pouzdře. (Artashyan, 2020)

Současná verze technologie SuperVOOC s označením 2.0 pochází obdobně jako VOOC Flash Charge 4.0 z podzimu roku 2019, kdy byla prvně užitá v telefonu OPPO Reno Ace. Zachována byla samozřejmě dvoučlávková konstrukce a došlo k řadě zdokonalení. Se sesterským standardem pojí SuperVOOC 2.0 kromě data uvedení také vlastní inovovaný VFC algoritmus, který zásadně zkracuje čas nutný k dobití posledních 10 % akumulátoru. Vylepšena tak byla nejen účinnost, ale i bezpečnost pomocí oddělení nabíjecího a vybíjecího obvodu, což mimo jiné vedlo ke snížení vnitřního odporu celé baterie. Na poli výstupního nabíjecího výkonu došlo k solidnímu posunu z 50 W na 65 W při napětí 10 V a proudu 6,5 A. (Artashyan, 2020)

Bezesporu pozoruhodné je, že nedošlo ke zvětšení objemu samotné nabíječky, ba naopak. Významnou roli zde sehrál nový polovodičový materiál třetí generace označovaný jako GaN (Gallium Nitride), který nahrazuje křemík a přináší mnoho výhod. Vyjma větší účinnosti umožňuje zmenšit velikosti jednotlivých komponent a z důvodu menšího zahřívání je umístit blíž k sobě, což se kladně projeví na výsledných rozměrech. (Oppo.com, 2020)

Absolutní novinkou pro rok 2020 je nově představený standard OPPO 125 W Flash Charge, jehož obrovská rychlost je patrná již ze samotného názvu a lze jí dosáhnout při napětí 20 V a proudu 6,25 A. Technologie je kompatibilní nejen se stájovými předchůdci VOOC Flash Charge a SuperVOOC, ale také s USB PD až do 65 W nebo 125 W v případě USB PD PPS. Zachována byla opět dvoučlávková konstrukce, vylepšeny ochranné mechanismy a přidána další teplotní čidla pro dokonalou kontrolu. Komerčního užití v jakémkoliv mobilním telefonu jsme se zatím bohužel nedočkali a premiéra je očekávána až v roce 2022. (Oppo.com, 2021)

Je patrné, že značka OPPO je jedním z hlavních lídrů v oblasti nabíjení mobilních telefonů. Ačkoliv se na první pohled může zdát, že jsou technologie jako VOOC Flash Charge nebo SuperVOOC pouze proprietární a okruh podporovaných zařízení relativně malý, opak je pravdou. Nejedná se sice o tak masivní rozšíření jako v případě hlavních konkurentů v podobě USB Power Delivery a Qualcomm Quick Charge, ale přesto zmíněné protokoly rychlého nabíjení využívá hned několik výrobců. OPPO totiž spadá do čínského konglomerátu BBK Electronics Corporation a to společně se značkami jako Vivo, OnePlus nebo Realme, kterým VOOC interně licencuje. Zákazníci tak mohou narazit na standardy s názvy OnePlus Dash Charge, OnePlus Warp Charge, Realme Dart Charge nebo Realme SuperDart, které jsou vzájemně kompatibilní. Stále však přetrvává problém spojený s příslušenstvím, jelikož kabely a nabíječky jsou velice specifické, hůře dostupné a dražší než u konkurence, a to i z důvodu prakticky neexistujících alternativ od výrobců třetích stran.

#### 3.2.1.5 Huawei SuperCharge

I společnost Huawei se při vývoji technologie rychlého nabíjení vydala vlastním směrem. Za prvotinu lze považovat protokol Huawei FCP, který byl představen již v roce 2015 a nabízel výkon 18 W (9 V/2 A). Výsledkem dalšího výzkumu byl standard známý jako Huawei SuperCharge, který si vzal od každého něco. Podporuje jak vyšší napětí okolo 10 V, tak i proud o hodnotách 4 A a více. (Trčálek, 2019, s. 23)

První verze nabídla na dnešní dobu stále solidní výstupní nabíjecí výkon 22,5 W, kterého dosahuje při napětí 4,5 V/5 V a proudu 5 A/4,5 A. Později výrobce přišel s další generací, která zásadně zvedla nabíjecí výkon až na 40 W (10 V/4 A). Dosud nejnovější revize pak hranice posunula ještě dál a svým nabíjecím výkonem 66 W (11 V/6 A) se plně vyrovná konkurenci. (Hill, Revilla, Chandler, 2021)

Sám výrobce udává, že Huawei FCP i Huawei SuperCharge jsou kompatibilní s Qualcomm Quick Charge 2.0, takže rychlost nebude nijak tragická ani v případě užití neoriginálního adaptéru a kabelu. Právě proprietární příslušenství je však stále největším trnem v oku stejně jako v případě OPPO VOOC. Pro tuzemské zákazníky se ale SuperCharge stává nezajímavým z jiného důvodu. Tím je americké embargo, jež ve zdejších končinách prakticky zlikvidovalo celou mobilní divizi Huawei, která tak byla nucena vyklidit přední pozice v prodejnosti.

### 3.3 Bezdrátové nabíjení

Zatímco bezdrátovou komunikaci již lidstvo využívá zcela běžně, tak u bezdrátového přenosu energie je dosaženým poznáním stále o několik kroků pozadu, ačkoliv se jím zabývá už od první poloviny 19. století. Právě v tomto období se o první důležité krůčky zasloužila jména jako André-Marie Ampère, Michael Faraday nebo James Clerk Maxwell. Byly formulovány elementární fyzikální vztahy a objevena velmi úzká souvislost mezi elektřinou a magnetismem, což vedlo k vytvoření moderních teoretických základů elektromagnetismu. Roku 1888 Heinrich Hertz potvrdil existenci elektromagnetického záření tím, že sestrojil funkční bezdrátový vysílač i přijímač elektromagnetických vln. (Lu a kol., 2016, s. 3)

Dalším významným průkopníkem se stal vynálezce srbského původu Nikola Tesla, kterému se roku 1899 podařilo přenést na vzdálenost 25 mil energii potřebnou k rozsvícení 200 žárovek a pohonu elektromotoru. Použitá technologie však nemohla být dále komerčně použita z důvodu neblahých účinků na osoby a elektrická zařízení v jejím okolí. Později ve 20. a 30. letech 20. století byly vyrobeny první magnetrony, jež umožňovaly přeměnu elektřiny na mikrovlny a jejich následný přenos. Neexistovala však žádná metoda, jak na druhém konci provést s mikrovlnami opačný proces, a proto bylo od dalšího vývoje opět upuštěno. (Lu a kol., 2016, s. 3)

Tento stav trval až do roku 1964, kdy americký inženýr William C. Brown vynalezl rekténu, což je speciální typ přijímací antény, který realizuje přeměnu elektromagnetických vln na stejnosměrný proud. Svůj objev demonstroval na modelu vrtulníku, který veškerou energii k letu získával bezdrátově. V průběhu následujících let nedošlo k žádnému zásadnímu pokroku ani implementaci dosavadních poznatků na poli informačních technologií. Mnohem větší přínos měly objevy třeba ve zdravotnictví, kde dopomohly například ke vzniku zobrazovací metody známé jako magnetická rezonance. (Lu a kol., 2016, s. 3)

V 90. letech 20. století podnítil zájem o bezdrátové nabíjení především celkový rozmach trhu s přenosnými elektronickými zařízeními. Postupným vývojem si začaly procházet technologie založené na přenosu energie na menší i větší vzdálenosti, což se stalo předpokladem pro komercializaci bezdrátového nabíjení mobilních telefonů v následujících dekádách. Byla založena sdružení a konsorcia, která měla za úkol vytvořit univerzální standardy, se kterými se již v dnešní době běžně můžeme setkat a bezdrátové



nabíjení se tak postupem času stalo nedílnou součástí zejména dražších přenosných zařízení. (Lu a kol., 2016, s. 3–4)

### **3.3.1 Typy bezdrátového nabíjení**

V současné době se můžeme setkat s několika druhy bezdrátového nabíjení, ačkoliv se povětšinou jedná o přenos energie výhradně na malé vzdálenosti. Ve světě mobilních telefonů a přenosné elektroniky se nejvíce uchytily tři základní způsoby přenosu elektrické energie. Jedná se o elektromagnetickou indukci, rezonanční induktivní vazbu a radiofrekvenční signály, přičemž nejrozšířenější je aktuálně první jmenovaná varianta. (Trčálek, 2019, s. 24)

#### **3.3.1.1 Elektromagnetická indukce**

Indukční nabíjení využívá pro přenos energie elektromagnetickou indukci, podobně jako klasický elektrický transformátor. Oproti těsně spojeným cívkám v transformátoru, kde je přenášena energie s účinností 98–99 %, dochází k přenosu o efektivitě maximálně 80 %. Do elektrického vodiče s feritovým jádrem neboli cívky v nabíječce je přiveden střídavý proud o určité frekvenci. Pohybující se elektrony vytváří nestacionární magnetické pole, jehož síla kolísá z důvodu měnící se amplitudy elektrického proudu. Jakmile se k napájené cívce přiblíží jiná, tak se na ní vlivem zmíněného magnetického pole začne indukovat střídavý proud. Ten je následně usměrněn na proud stejnosměrný, který je nutný k nabíjení akumulátoru mobilního telefonu. (Trčálek, 2019, s. 24)

Nejrozšířenějším standardem indukčního nabíjení je v současnosti Qi, za nímž stojí Wireless Power Consortium, které bylo založeno v roce 2008. Během vývoje byly stanoveny tři přístupy, které popisují možnosti vzájemné polohy cívek v nabíječce a mobilním telefonu vůči sobě. (Lu a kol., 2016, s. 13)

V prvním případě je pozice obou cívek fixní a pro zahájení nabíjení je nutné zařízení umístit na předem určené místo na podložce. Zarovnání lze usnadnit přidáním magnetu, čehož využívá například Apple u své technologie MagSafe, jejímž základem je právě Qi. Největší výhodou tohoto řešení je především jednoduchost a s tím spojené nízké finanční náklady. (Niyato a kol., 2016, s. 24)

Druhou možností je libovolné umístění nabíjeného telefonu na podložku díky pohyblivé primární cívce, která mění svou polohu podle potřeby. Oproti variantě s fixními cívkami

musí být nabíječka logicky složitější, což samozřejmě zvedá její cenu. Obzvláště komplikovaný je pak tento způsob při nabíjení více zařízení. Ze zmíněných důvodů bohužel kromě lepšího uživatelského komfortu plyne také vyšší poruchovost systému pro automatické zarovnání cívkou. (Lu a kol., 2016, s. 13)

Poslední variantou je osazení indukční nabíječky nejčastěji třívrstevným polem nepohyblivých cívek, které svými dosahem pokryjí celou plochu podložky. Zůstává tak zachováno největší pozitivum modelu s pohyblivou primární cívkou tedy možnost libovolného umístění nabíjeného zařízení za cenu dalšího navýšení výrobních nákladů. Na druhou stranu je toto řešení z delšího časového pohledu spolehlivější, jelikož neobsahuje žádné pohyblivé části. (Niyato a kol., 2016, s. 24)

První verze Qi s názvem 1.0 byla představena v červenci 2010 a umožňovala nabíjení výkonem až 5 W při využití jakéhokoliv ze tří možných druhů vzájemného umístění cívek. Nezapomnělo se ani na bezpečnost a již zde se vyskytla detekce cizích objektů (FOD), která zabraňuje zahřívání kovových věcí vyskytujících se v okolí právě aktivní nabíječky. (Wirelesspowerconsortium.com, 2021)

Nástupce v podobě Qi 1.1 spatřil světlo světa o dva roky později a mezi hlavní vylepšení se zařadila například možnost napájení nabíjecí podložky pomocí USB. Nadále byla vylepšena senzitivita detekce cizích objektů. (Wirelesspowerconsortium.com, 2021)

V roce 2015 byla představena revize Qi 1.2, jejímž největším tahákem bylo navýšení výstupního nabíjecího výkonu až na 15 W. Opět se zvýšila citlivost detekce cizích objektů a pokroku doznala také termoregulace. Aktuální generace Qi 1.3 pochází z roku 2021 a dle slov WPC by se mělo jednat o další evoluční skok. Uvedení na trh se očekává během následujícího roku. (Wirelesspowerconsortium.com, 2021)

Prvním telefonem se zabudovaným Qi bezdrátovým nabíjením se stala Nokia Lumia 920 z roku 2012. Od té doby si možnost bezdrátového přenosu energie zákazníci velmi oblíbili a výrobci rozšířili podporu na další zařízení, jako je například nositelná elektronika. Stále se však jedná o výhradu vyšších a dražších řad produktů z nabídky. (Filipowicz, 2019)

Mezi hlavní výhody bezdrátového nabíjení Qi patří z pohledu zákazníka především větší pohodlnost, jelikož nemusí hledat a zapojovat žádný kabel, čímž se port šetří a zároveň zůstává dostupný pro jiné příslušenství. Důležitá je také kompatibilita, která je na rozdíl od drátového nabíjení s velkým množstvím standardů prakticky zaručena, protože Qi je zdaleka

nejrozšířenější technologii na trhu. Výrobce naopak potěší nízká produkční cena nabíječky i přijímače a také fakt, že jejich plochy nemusí být nijak zvlášť velké. (Březinová, 2019)

Jako každá věc není ani nabíjení pomocí Qi dokonalé a nese s sebou kromě zmíněných kladů také řadu nevýhod. V první řadě je důležité si uvědomit, že dosah indukčního přenosu energie je maximálně zhruba centimetr a současně je zapotřebí položit nabíjené zařízení na přesně definované místo. Mezi cívkami se navíc nesmí nacházet nic kovového, co by indukci odstínilo, proto mají telefony s bezdrátovým nabíjením plastová či skleněná záda. Z těchto důvodů je patrné, že během nabíjení prakticky není možné s telefonem jakkoliv manipulovat. Qi nadále nevyniká ani v rychlosti, kdy téměř každé dnešní zařízení zvládá drátové nabíjení i násobně svižnější, a navíc s vyšší efektivitou a tím pádem menšími ztrátami během přenosu. Nemělo by se zapomínat ani na lehce vyšší teploty v momentě užívání, jež jsou z dlouhodobého hlediska hlavním nepřítelem dnešních akumulátorů. (Trčálek, 2019, s. 24), (Březinová, 2019)

#### 3.3.1.2 Rezonanční induktivní vazba

Nabíjení za využití rezonanční induktivní vazby se může na první pohled zdát velmi podobné předcházejícímu řešení, jelikož jsou zde ke správnému fungování taktéž potřeba dvě cívky. Rozdíl spočívá ve způsobu, kterým je energie mezi nabíječkou a koncovým zařízením přenášena. Cívky jsou v tomto případě spřaženy tím, že jsou přesně naladěny na stejné frekvenci. Oscilující proud tekoucí do cívky vytváří oscilující magnetické pole a jelikož je cívka vysoce rezonanční, jakákoliv energie, která v ní vznikne, dozívá relativně pomalu v průběhu mnoha cyklů. Pokud se ale v blízkosti vyskytne druhá cívka, tak může vyzvednout většinu energie dříve, než dojde k její ztrátě, a to i v případě, že je ve větší vzdálenosti. (Trčálek, 2019, s. 24)

Oproti indukčnímu nabíjení není nutné striktně dodržovat velmi malou vzdálenost mezi cívkami ani tolik dbát na jejich vzájemnou orientaci. Přesto však účinnost i výkon tohoto přenosu energie s rostoucí vzdáleností značně klesá. V roce 2007 navrhli vědci z univerzity MIT technologii pro přenos energie na střední vzdálenosti založenou na rezonanční induktivní vazbě, jenž se později stala známou pod názvem Witricity. Během pokusů se podařilo rozsvítit 60W žárovku na vzdálenost více než dva metry s účinností přenosu zhruba 40 %. Ta se následně zvedla až na 90 % při vzdálenosti 1 m. Je tak zcela jasné, že při

obdobných podmínkách bude nabíjení za pomoci rezonanční induktivní vazby značně účinnější než v případě elektromagnetické indukce. (Lu a kol., 2016, s. 6–7)

Nově vzniklá společnost Witricity uzavřela partnerství s několika automobilkami a začala se ubírat především směrem elektromobility, ačkoliv se v minulosti vyskytly také notebooky, které tuto technologii podporovaly. Hlavním problémem, který aktuálně brzdí větší rozšíření do světa mobilních telefonů je velikost samotné nabíječky, kterou se prozatím nedaří zásadním způsobem zmenšit, a navíc je v porovnání s indukční nabíječkou velmi drahá. (Trčálek, 2019, s. 24)

Mezi další zajímavé projekty patří také Pi Charging. Jejich kuželovitá nabíječka slibuje nabíjení všech zařízení v okolí přibližně 30 cm výkonem až 10 W. Eliminoval by se tak problém indukčního nabíjení, během kterého prakticky nelze zařízení používat. K uvedení na trh bohužel stále nedošlo, takže se v dohledné době implementace ze strany výrobců a většího rozšíření pravděpodobně nedočkáme. (Trčálek, 2019, s. 24–25)

### 3.3.1.3 Radiofrekvenční signály

Skutečně bezdrátové nabíjení, bez nutnosti být v blízkosti nabíjecí podložky, slibují technologie založené na sběru radiofrekvenční energie. Střídavý proud je v tomto případě ve vysílači převáděn na stejnosměrný a dále pak na rádiové frekvence pomocí magnetronu. Energie v této formě je následně přenášena do blízkých zařízení vybavených odpovídajícím přijímačem, kde je zpět transformována na stejnosměrný proud. (Lu a kol., 2016, s. 7)

Jedním z předních hráčů tohoto odvětví by do budoucna mohl být standard WhattUp od společnosti Energous pracující na frekvencích okolo 5,8 GHz. Ten se již dříve prezentoval dosahem až 4,5 m a nabíjecím výkonem až 4 W, kterého bylo ovšem dosaženo při vzdálenosti do 1,5 m. Realita v případě komerčního užití je zatím bohužel poněkud odlišná. Pro získání certifikace o zdravotní nezávadnosti, kterou WhattUp obdržel v roce 2018, bylo nutné omezit dosah na přibližně jeden metr. Výhodou zůstává fakt, že se jedná o otevřený standard podporující specifikace Wireless Charging 2.0, který tím pádem bude přístupný všem výrobcům. Ačkoliv nebude nabíjení zrovna rychlé, tak se spoléhá na to, že se uživatelé budou v okruhu nabíječky zdržovat dlouho a svá zařízení mohou v průběhu nabíjení normálně používat. (Trčálek, 2019, s. 25)

Do budoucna se uvažuje o dvou možných způsobech implementace radiofrekvenčního nabíjení. Prvním z nich je využití stávajícího komunikačního systému pro přenos informací

i energie zároveň. Amplituda a fáze mikrovln by sloužila k modulaci informace, zatímco jejich záření a vibrace k přenosu energie. Druhou alternativou je výstavba nových speciálních vysílačů, překrytých stávajícím komunikačním systémem. Vzhledem k obavám o zdravotní účinky na populaci by však musel být výkon vysílačů omezen a jejich hustota rozmístění pro správné fungování vysoká. (Lu a kol., 2016, s. 7)

## 4 Vlastní práce

Jako hlavní cíl práce bylo vymezeno zhodnocení způsobů a technologií, které se využívají pro nabíjení mobilních telefonů. Na základě poznatků získaných z předchozích kapitol byly navrženy komplexní testy a následně provedena praktická měření včetně sběru dat, která byla posléze vyhodnocena pomocí vhodných analytických metod. Veškeré experimenty byly rozděleny do dvou hlavních skupin podle toho, zda se týkaly drátového nebo v současné době čím dál tím populárnějšího bezdrátového nabíjení. S ohledem na naplnění vytyčených cílů došlo v konečném důsledku i na jejich vzájemné srovnání. Mezi hlavními sledovanými údaji se nacházela především doba nabíjení (rychlost) v poměru k dlouhodobému vlivu na životnost akumulátoru.

### 4.1 Vliv kabelů na nabíjení

Před samotným návrhem a provedením pokusů je nutné osvětlit několik teoretických aspektů, které svým způsobem přímo vstupují do povahy měření. Není možné očekávat, že získané hodnoty nabíjecího výkonu budou přesně odpovídat informacím, jež na nabíječe nebo zařízení uvádí výrobce. Klíčový je v tomto ohledu kromě okolní teploty či aktuální úrovně nabití také úbytek napětí na vodiči a svým způsobem také následná DC-DC konverze.

Protéká-li elektrický proud vodičem, atomy jeho krystalické mřížky tvoří překážky pohybu elektronů, které do nich naráží a zpomalují svůj pohyb. Vodič tedy klade průchodu elektrického proudu odpor a práce vynaložená na jeho překonání se projeví tím, že mezi konci vodiče vznikne úbytek napětí. Různé materiály mají různé atomové struktury a kladou tedy elektrickému proudu různě velký odpor. Tuto vlastnost popisuje materiálová konstanta rezistivity neboli měrný elektrický odpor materiálu. Čím větší odpor vodič klade, tím víc práce neboli větší napětí je zapotřebí k přenesení stejného náboje. Z tohoto důvodu je nutné pro efektivní přenos energie zvolit správný materiál vodiče s co možná nejmenší rezistivitou. V případě nabíjecích kabelů pro mobilní telefony se nejčastěji jedná o měď, jejíž tabulková hodnota měrného elektrického odporu (rezistivity) je  $0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$  (při teplotě  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ). (Nečásek, 1972, s. 22–23)

V klasickém USB kabelu se nejčastěji nachází pět vodičů, z čehož jeden je zemní a zbylé dvě dvojice se zabývají přenosem dat a energie. Odpor vodiče lze vypočítat podle vzorce  $R = \rho \cdot l/S$ , kde  $\rho$  je rezistivita daného materiálu,  $l$  délka vodiče v metrech a  $S$  plocha průřezu

vodiče v  $\text{mm}^2$ . Ze vztahu vyplývá, že odpor vodiče je kromě rezistivity materiálu závislý také na jeho délce a ploše průřezu. Zkrácení délky vodiče na polovinu vede také ke snížení odporu na polovinu, zatímco zdvojnásobení jeho tloušťky se projeví snížením odporu až na jednu čtvrtinu původní hodnoty. (Trčálek, 2018, s. 14)

Proto je u delších kabelů mimořádně důležité dbát na jejich kvalitu, která spočívá především v tloušťce použitých vodičů pro napájení. Ta se kromě mm udává také v jednotce AWG (American Wire Gauge). Vodiče pro přenos dat dosahují nejčastěji hodnoty 28 AWG, která odpovídá průměru 0,3211 mm a průřezu 0,081  $\text{mm}^2$ . Pro napájení by měly být použity vodiče silnější, což zhruba představují hodnoty mezi 24 a 20 AWG (průměr 0,5106 mm až 0,8118 mm). Z pohledu zákazníka se však nejedná o parametr, podle kterého se lze bezhlavě řídit. Do kabelů bohužel není bez možnosti jejich znehodnocení nahlédnout a prodejci ani výrobci v naprosté většině případů tyto údaje neuvádí. Při přímém porovnání dvou kabelů je někdy jejich rozdílná tloušťka patrná, ale svou roli hraje také mohutnost ochranného opletení, které může situaci zkreslovat. Obecným doporučením pro dosažení co nejlepších výsledků je ze zmíněných důvodů použití co nejkratšího kabelu. Není totiž pravděpodobné, že by výrobci při jeho zkrácení obdobně zmenšili také průřez vodičů pro napájení.

Na základě získaných znalostí je možné spočítat úbytek napětí na vodiči a z toho plynoucí ztrátový výkon pro konkrétní sadu nabíječky a kabelu. Pro jednoduchost výpočtu byl uvažován dnes již opomíjený síťový adaptér o výstupním nabíjecím výkonu 5 W při napětí 5 V a proudu 1 A. Důležité je, že dodávaný výkon je po celou dobu nabíjení víceméně konstantní, a tudíž i ztráty budou v čase jen minimálně kolísat. Chytré technologie pro rychlé nabíjení dokážou hodnoty proudu a napětí v průběhu měnit, a proto by bylo složitější se dostat k relevantnímu výsledku. Pro spojení nabíječky s telefonem bude použitý obyčejný USB kabel z měděných vodičů o průměru 0,4 mm, jelikož nepředpokládáme, že by výrobce pro danou délku a zamýšlenou proudovou zátěž zbytečně dodával kvalitnější produkt, než je ve skutečnosti potřeba.

Z průměru vodiče lze vzorcem pro obsah kruhu vypočítat plochu jeho průřezu, která činí zhruba 0,126  $\text{mm}^2$ . Výsledný odpor v Ohmech bude získán dosazením do již zmiňovaného vztahu  $R = \rho \cdot l/S$ . Pro zjištěný průřez, délku 1 m a rezistivitu mědi 0,0178  $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$  dostaneme po zaokrouhlení na dvě desetinná místa odpor vodiče 0,14  $\Omega$ . Dle Ohmova zákona  $U = R \cdot I$  tak vznikne mezi konci vodiče, kterým protéká proud o velikosti 1 A úbytek

napětí 0,14 V. Z původních 5 V se tím pádem stane 4,86 V. Ztrátový výkon pak bude dle vzorce  $P = U \cdot I$  (kde  $U$  představuje zjištěný úbytek napětí) roven 0,14 W.

Ztrátový výkon je možné vyčíslit i v rámci jednoho výpočtu spojením obou vzorců jakožto  $U = (R \cdot I) \cdot I$  neboli  $U = R \cdot I^2$ , z čehož je patrné, že ztráty narůstají s druhou mocninou proudu. Pokud by byl úbytek napětí tak velký, že by napětí kleslo až pod tolerovanou mez, kterou je 4,75 V (pro původních 5 V), pak by nabíjecí obvody byly nuceny odebíraný proud snížit na takovou hodnotu, kdy napětí setrvá v tolerovaném rozmezí. S těmito vědomostmi pracovali výrobci, když vyvíjeli technologie rychlého nabíjení, a proto se většina z nich vydala cestou zvyšování napětí, který s sebou navíc nese i vyšší dovolenou odchylku. Úbytek napětí mezi konci vodiče tak může pro 12 V být až 0,6 V, zatímco u 5 V se jednalo jen o 0,25 V. Je také zřejmé, že společnosti jako OPPO musí využívat obzvlášť kvalitní kabely o velkém průměru, jelikož kromě napětí zásadně navyšují i proud.

Konečnou překážku na cestě mezi nabíječkou a akumulátorem mobilního telefonu představuje měnič stejnosměrného napětí (DC-DC měnič). Ten musí vyšší napětí, které bylo využito pro přenos energie kabelem, konvertovat zpět na nižší nabíjecí napětí akumulátoru, což se neobejde bez dalších ztrát v řádu jednotek procent. V případě, kdy je zvyšován společně s napětím i proud, tak není finální konverze z důvodu lepší výchozí pozice tak masivní.

#### **4.1.1 Výpočet reálného úbytku napětí a průřezu vodiče**

Nejllepší způsob, jak získat představu o kvalitě kabelu, která nebude založena jen na vizuálním dojmu, je provedení měření úbytku napětí. Čím je úbytek napětí nižší, tím lepších výsledků bude kabel při nabíjení dosahovat. Pro porovnání byl sledován úbytek napětí na třech různých 1m kabelech (Huawei CP-51, Ugreen 60121, Realme DL133) při proudu 1 A a 1,5 A. K dosažení relevantních výsledků se nehodí pro tyto účely použít mobilní telefon, jenž si každou sekundu může hodnoty proudu a napětí měnit, čímž měření velmi znesnadňuje. Konstantní energetický odběr se nejlépe zajistí nahrazením telefonu regulovatelnou odporovou USB zátěží, která v průběhu času udržuje proud a napětí na stejných hodnotách.

Pro testování při proudu 1 A byla vybrána nabíječka Huawei HW-050100E2W, pro kterou se zároveň jedná při napětí 5 V o výkonostní strop (5 W). V druhém měření při proudu 1,5 A byla proto nahrazena nabíječkou AlzaPower Q100.



Prvním krokem bylo určení napětí, jež do kabelu na začátku vstupuje. Do síťového adaptéru byl tak zapojen multifunkční USB tester ATORCH J7-C následován samotným kabelem. Na konci celého obvodu se nacházela regulovatelná odporová USB zátěž s integrovaným potenciometrem. Ten byl nastaven do takové polohy, při které USB tester na začátku obvodu vykazoval proud 1 A a příslušná hodnota napětí pro tento stav byla zaznamenána do tabulky.

V druhé polovině měření došlo k přeskupení součástek v rámci obvodu. Kabel byl v tu chvíli zapojen přímo do nabíječky a USB tester následovaný regulovatelnou zátěží se nacházel až na samotném konci. Tím pádem bylo možné zjistit napětí po jeho průchodu vodičem. Zátěž nebyla od první části pokusu nijak přenastavena a stále zajišťovala konstantní proudový odběr 1 A.

Stejný postup byl uplatněn i pro testování s vyšším proudem a z výsledků byl rozdílem napětí na vstupu a výstupu zjištěn úbytek napětí mezi konci vodiče.

*Tabulka 1: Naměřené úbytky napětí pro testované kabely*

| Kabel                  | Huawei CP51 | Ugreen 60121 | Realme DL133 |
|------------------------|-------------|--------------|--------------|
| <b>Proud</b>           | 1 A         |              |              |
| <b>Vstupní napětí</b>  | 5,05 A      | 5,05 A       | 5,05 A       |
| <b>Výstupní napětí</b> | 4,90 A      | 4,96 A       | 5,01 A       |
| <b>Úbytek napětí</b>   | 0,15 A      | 0,09 A       | 0,04 A       |
| <b>Proud</b>           | 1,5 A       |              |              |
| <b>Vstupní napětí</b>  | 5,19 A      | 5,23 A       | 5,24 A       |
| <b>Výstupní napětí</b> | 4,95 A      | 5,09 A       | 5,17 A       |
| <b>Úbytek napětí</b>   | 0,24 A      | 0,14 A       | 0,07 A       |

*Zdroj: Vlastní zpracování, 2022*

Z tabulky (Tabulka 1) je již jasně patrné, že mezi jednotlivými kabely panují značné rozdíly a lze s jistotou určit, který z nich je kvalitnější a lépe snese větší proudovou zátěž. Pomocí dříve uvedených vzorců je nadále možné orientačně vypočítat obsah průřezu vodičů a jejich průměr. Malý úbytek napětí pravděpodobně způsobuje i samotný USB tester, ale tuto hypotézu ale nebylo možné v praxi nijak ověřit, a proto následné výpočty pro zjednodušení tento fakt zcela opomíjí. Odlišnosti jsou totiž i přesto zcela zjevné.

Pro úbytek napětí 0,15 V mezi konci kabelu Huawei CP51 zatíženého proudem 1 A lze podle Ohmova zákona určit odpor vodiče, který je v tomto případě roven 0,15  $\Omega$ . Ze vzorce  $R = \rho \cdot l/S$  se následně vyjádří neznámá  $S$  a dosazením vypočítaného odporu, rezistivity mědi 0,0178  $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$  a délky kabelu 1 m bylo zjištěno, že obsah průřezu vodiče činí 0,1186  $\text{mm}^2$ . Na základě znalosti vztahu pro obsah kruhu již následně nebyl problém určit jeho poloměr, jehož dvojnásobkem je průměr, který v tomto případě činí 0,3888 mm. Stejný postup byl opakován i pro druhé měření provedeného za vyššího proudu. V tomto případě se průměr vodiče rovnal hodnotě 0,3764 mm. Rozdíl mezi oběma čísly je zhruba 3 %, což je pro daný pokus naprosto přijatelná hodnota. Vypočítané průměry vodičů pro nabíjení pak odpovídají asi 26 AWG až 27 AWG.

Stejným způsobem bylo postupováno i u zbylých kabelů. V případě modelu Ugreen 60121 dokonce vzájemná odchylka vypočítaných průměrů vodiče pro 1 A a 1,5 A činila jen o něco více než 1 % (0,502 mm vs. 0,4927 mm). Síla vodiče je v tomto případě rovna orientačně asi 24 AWG.

U posledního kabelu již byla odchylka průměrů vodiče poněkud větší a blížila se 10 % (0,7527 mm vs. 0,6969 mm). Tento nepoměr lze však celkem snadno vysvětlit. Hodnoty napětí během zaznamenávání do tabulky prakticky vždy kolísaly o  $\pm 0,01$  V a zapsané údaje by měly odpovídat jejich průměru. V případech, kdy je zjištěný úbytek napětí pro proud 1 A roven 0,15 V a pro proud 1,5 A 0,24, nevypadá chyba 0,01 V jako závažná. Pokud se ale bavíme pro stejné proudy o úbytku napětí 0,04 V a 0,07 V, tak je logické, že každá setina Voltu bude mít o dost větší dopad na finální výsledek, a proto vypočítané průměry vodiče trpí větší procentuální odlišností než ty předchozí. Síla posledního kabelu pak odpovídá přibližně 21 AWG.

Výpočty potvrdily, že mezi jednotlivými kabely panují značné rozdíly, které je mohou v některých situacích limitovat. Příkladem může být 30W nabíjení Realme Dart Charge operující při 5 V a 6 A. Minimální tolerovaná mez pro napětí je v tomto případě stanovena na zhruba 4,75 V a pokud by byl úbytek napětí ještě větší, tak musí dojít ke snížení nabíjecího výkonu tak, aby se podařilo napětí udržet ve vymezeném intervalu 5 V – 4,75 V. Pokud vezmeme v potaz lepší ze dvou vypočítaných hodnot pro obsah průřezu vodiče v Realme DL133, tak jejím dosazením do vzorce  $R = \rho \cdot l/S$  získáme pro již známé hodnoty rezistivity mědi a délky kabelu odpor 0,04  $\Omega$ . Jelikož známe velikost proudu, která činí 6 A,

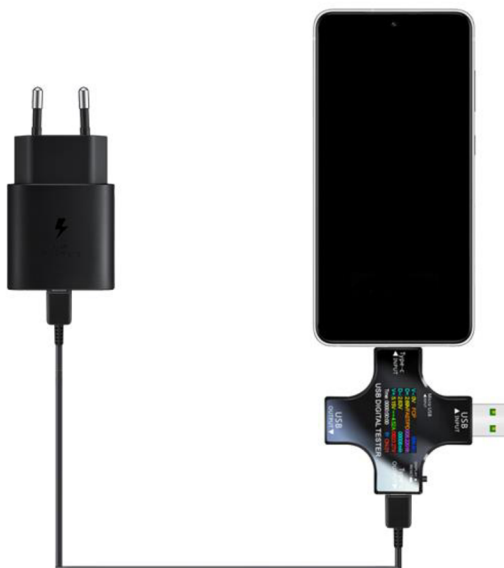
tak není problém na základě Ohmova zákona vyčíslit úbytek napětí 0,24 V, tedy těsně nad hranicí, kdy bude nabíjení stále fungovat dle výrobcem daných pravidel.

Pomocí obdobného výpočtu byly zjištěny úbytky napětí i u zbývajících dvou kabelů. Pro Ugreen 60121 se jedná o 0,54 V a v případě Huawei CP51 dokonce o 0,9 V. Je tedy zřejmé, že ani jeden z těchto kabelů není na rozdíl od prvně uvedeného pro rychlé nabíjení Dart Charge vhodný. Za zajímavé zjištění se pak dá považovat fakt, že síťové adaptéry často uměle navyšují výstupní napětí, což vede ke zvětšení tolerance jeho úbytku a dovoluje tak použít i méně kvalitní kabely.

## 4.2 Metodika sběru a zpracování dat

Způsob sběru a zpracování dat v zásadě vždy podléhal stejným pravidlům. Případné drobné odlišnosti pro jednotlivé testy jsou uvedeny v příslušných kapitolách. Ke sledování času a aktuálních hodnot proudu a napětí byl použit multifunkční USB tester ATORCH J7-C, který byl zapojen mezi kabelem a telefonem tak, aby šlo co nejpřesněji vyčíslit, jakým výkonem je zařízení ve skutečnosti nabíjeno (Obrázek 2). Toto umístění totiž pracuje s hodnotami poníženými o ztráty ve vedení. Ke zjišťování aktuální teploty baterie sloužila mobilní aplikace CPU-Z.

*Obrázek 2: Schéma zapojení USB testeru*

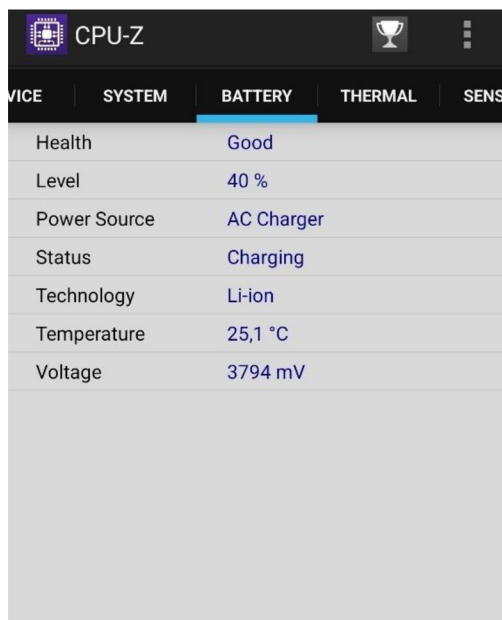


*Zdroj: Vlastní zpracování, 2022*

Veškerá měření byla prováděna za pokojové teploty v rozmezí 19 °C – 22 °C. Testy se zabývaly monitorováním nabíjení od 10 % do 100 % kapacity baterie. Před zahájením

pokusu došlo vždy k ukončení veškerých aplikací vyjma CPU-Z (Obrázek 3) a zařízení nebylo minimálně 10 minut používáno, aby se ustálila teplota baterie.

Obrázek 3: Aplikace CPU-Z pro zjišťování aktuální teploty baterie



Zdroj: Vlastní zpracování, 2022

Zároveň byl telefon vyjmut z obalu či krytu a uveden do režimu letadlo, ve kterém setrval i po celou dobu nabíjení. Sledovaná data byla odečítána každých 10 % a ukládána do předem připravené tabulky (Tabulka 2).

Tabulka 2: Příklad zaznamenávání naměřených hodnot do tabulky

| Úroveň nabití v % | Celkový čas | Čas od posledního záznamu | Teplota bat. (°C) | Aktuální napětí (V) | Aktuální proud (A) | Aktuální výkon (W) |
|-------------------|-------------|---------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 20                | 0:05:48     | 0:05:48                   | 31,8              | 9,05                | 2,35               | 21,27              |
| 30                | 0:11:19     | 0:05:31                   | 33,6              | 8,96                | 2,12               | 19,00              |
| 40                | 0:17:53     | 0:06:34                   | 34,9              | 8,95                | 2,03               | 18,17              |
| 50                | 0:24:11     | 0:06:18                   | 36,2              | 9,03                | 2,02               | 18,24              |
| 60                | 0:30:00     | 0:05:49                   | 37,2              | 9,14                | 2,02               | 18,46              |
| 70                | 0:36:18     | 0:06:18                   | 37,4              | 9,34                | 1,97               | 18,40              |
| 80                | 0:44:20     | 0:08:02                   | 35,5              | 9,28                | 1,58               | 14,66              |
| 90                | 0:52:39     | 0:08:19                   | 34,2              | 9,34                | 1,25               | 11,68              |
| 100               | 1:09:50     | 0:17:11                   | 29,2              | 9,03                | 0,42               | 3,79               |

Zdroj: Vlastní zpracování, 2022

Na základě získaných údajů poté došlo pro každý test k vytvoření souhrnného dokumentu v programu Microsoft Excel, kde byly evidovány nejdůležitější finální, průměrné či maximální hodnoty, na jejichž základě bylo provedeno rozhodování o výběru optimálních možností pomocí vícekritériální analýzy variant (Tabulka 3).

*Tabulka 3: Příklad souhrnné tabulky naměřených výsledků*

| Název nabíječky               | Celkový čas (h:min:s) | Průměrný výkon (W) | Průměrná teplota (°C) | Maximální teplota (°C) |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>Samsung EP-TA800NBEGEU</b> | 1:09:50               | 15,96              | 34,44                 | 37,4                   |
| <b>Baseus CCSUP-B01</b>       | 1:13:26               | 15,24              | 33,87                 | 37,2                   |
| <b>AlzaPower Q100</b>         | 1:21:41               | 12,83              | 35,39                 | 37,5                   |
| <b>Apple MU7V2ZM/A</b>        | 1:26:27               | 12,65              | 34,62                 | 37,7                   |
| <b>Samsung EP-TA200</b>       | 1:26:11               | 12,68              | 32,14                 | 35,1                   |
| <b>Baseus CCFS-R02</b>        | 2:26:19               | 6,69               | 25,26                 | 26,5                   |
| <b>Huawei HW-050100E2W</b>    | 3:26:52               | 4,74               | 25,73                 | 26,3                   |

*Zdroj: Vlastní zpracování, 2022*

Hlavními kritérii při posuzování výhodnosti daného řešení byly kromě celkového času nabíjení také průměrná a maximální teploty baterie během měření. Váhy jednotlivých kritérií i následné vyhodnocování testů bylo prováděno bodovací metodou. Variantě s nejlepší hodnotou dané vlastnosti bylo pokaždé přiděleno 100 bodů. Ostatní skóre pak byla na základě poměru vůči prvně stanovené hodnotě dopočítána (Tabulka 4). Stupnice 1–100 bodů byla vybrána záměrně, protože je velice senzitivní vůči naměřeným rozdílům, které jsou občas opravdu malé. V opačném případě by odlišnosti nebyly zcela patrné nebo by nebylo věrně vyobrazeno, do jaké míry se hodnoty mezi sebou liší. Konkrétní váhy pro daný test byly vždy detailněji rozepsány v příslušné části práce. Výsledné bodové hodnocení bylo pro každou variantu stanoveno jako skalární součin příslušných hodnot a předem určených vah.

Tabulka 4: Příklad bodového vyhodnocení

| Název nabíječky        | Celkový čas (min) | Průměrná teplota (°C) | Maximální teplota (°C) |
|------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Samsung EP-TA800NBEGEU | 100               | 74                    | 70                     |
| Baseus CCSUP-B01       | 95                | 75                    | 71                     |
| AlzaPower Q100         | 85                | 71                    | 70                     |
| Apple MU7V2ZM/A        | 81                | 73                    | 70                     |
| Samsung EP-TA200       | 81                | 80                    | 75                     |
| Baseus CCFS-R02        | 48                | 100                   | 99                     |
| Huawei HW-050100E2W    | 34                | 98                    | 100                    |
| Charakter kritéria     | MIN               | MIN                   | MIN                    |
| Váha kritéria          | 0,54              | 0,31                  | 0,15                   |

Zdroj: Vlastní zpracování, 2022

### 4.3 Drátové nabíjení telefonu Samsung Galaxy S21 FE 5G

První z testů měl za úkol porovnat rychlost nabíjení mobilního telefonu Samsung Galaxy S21 FE 5G za využití různých napájecích adaptérů s výstupním nabíjecím výkonem od 5 W do 25 W. Cílem pokusu bylo najít nabíječku, která poskytuje přijatelné nabíjecí časy, ale zároveň je z dlouhodobého hlediska šetrná k akumulátoru tím, že jej nevystavuje zbytečně vysokým teplotám. Bodové rozložení vah kritérií bylo následující: celkový čas – 7 bodů, průměrná teplota – 4 body, maximální teplota – 2 body.

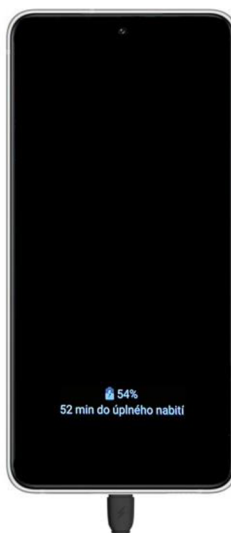
Na poli podporovaných technologií rychlého nabíjení se u telefonu Samsung Galaxy S21 FE 5G jedná především o Samsung Super Fast Charging, což by měl být pouze přeznačený standard USB Power Delivery 3.0. Kompatibilní by měly být i nabíječky disponující Qualcomm Quick Charge verze 4+ a novější, jelikož ty v sobě již nativně obsahují podporu právě pro USB Power Delivery. Maximální nabíjecí výkon činí pro zmiňované zařízení 25 W.

Pro testování bylo nutné použít dva kabely s rozdílnými konektory. Prvním byl Samsung EP-DN975BWE s USB-C konektory na obou koncích, který byl určen výhradně pro nabíječky podporující standard USB PD, jenž takový kabel striktně vyžadují. Pro veškeré ostatní a zpravidla méně výkonné síťové adaptéry byl využit kabel Huawei CP51

s koncovkami USB-A a USB-C. Jejich délka činila shodně 1 m z důvodu snahy o co nejmenší možné ovlivňování výsledků.

Displej telefonu zůstal po dobu měření v režimu Always On (Obrázek 4) a poskytoval pouze informace o aktuální úrovni nabití. Zapínán byl výhradně jen na dobu nutnou k zaznamenání aktuální teploty baterie z aplikace CPU-Z. Always On je speciální mód pro panely typu OLED, kdy na rozdíl od LCD slouží k vykreslení černé barvy pixely bez jakéhokoliv podsvícení, což má za následek takřka nulovou energetickou náročnost. V případě LCD je displej stále mírně podsvícen a nejedná se tak o „skutečnou“ černou. Proto je možné zobrazovat důležité informace i na v podstatě vypnutém displeji, aniž by byla zásadním způsobem ovlivněna výdrž baterie. Jedná se o moderní náhradu notifikační diody, kterou využívaly především starší typy chytrých mobilních telefonů.

*Obrázek 4: Always On displej*



*Zdroj: Vlastní zpracování, 2022*

Pro důkladné porovnání byly vybrány síťové adaptéry, jež se lišily nejen po stránce výkonu, ale také v podpoře různých standardů rychlého nabíjení. Některé základní modely pak tuto vlastnost zcela postrádaly. Kompletní seznam testovaných nabíječek byl následující:

1. 5W Huawei HW-050100E2W s USB-A výstupem
2. 10W Baseus CCFS-R02 s USB-A výstupem
3. 15W Samsung EP-TA200 s USB-A výstupem a podporou Samsung Adaptive Fast Charging
4. 18W Apple MU7V2ZM/A s USB-C výstupem a podporou USB Power Delivery 3.0
5. 18W AlzaPower Q100 s USB-A výstupem a podporou Qualcomm Quick Charge 3.0

6. 20W Baseus CCSUP-B01 s USB-C výstupem a podporou USB Power Delivery 3.0
7. 25W Samsung EP-TA800NBEGEU s USB-C výstupem a podporou Samsung Super Fast Charging

#### **4.4 Bezdrátové nabíjení telefonu Samsung Galaxy S21 FE 5G**

Úkolem tohoto testu bylo porovnat rychlost nabíjení mobilního telefonu Samsung Galaxy S21 FE 5G za využití různých bezdrátových nabíječek s výstupním nabíjecím výkonem od 5 W do 15 W. Hlavním cílem bylo určit, zda je bezdrátové nabíjení konkurenceschopné vůči klasickému drátovému nabíjení, v jakém rozmezí se při stejném výkonu pohybují teploty baterie a případně pak navrhnout scénáře, ve kterých dává bezdrátový přenos energie smysl. Z těchto důvodů zůstalo bodové ohodnocení vah kritérií stejné jako v předchozím případě.

Zařízení podporuje bezdrátové nabíjení o výkonu až 15 W, přičemž se jedná o klasický standard Qi. Zmíněné rychlosti je možné dosáhnout u specifikace Qi 1.2 nebo novější. Pro marketingové účely používá výrobce název Samsung Fast Wireless Charging 2.0.

Prívod elektrické energie do všech bezdrátových nabíječek obstaral kabel Huawei CP51 s koncovkami USB-A a USB-C o délce 1 m. Spojení s elektrickou sítí pak zajišťovaly adaptéry AlzaPower Q100 a Baseus CCALL-BX02, který byl dle doporučení výrobce použit jen u vrcholného 15W modelu. Obě varianty disponovaly podporou Qualcomm Quick Charge 3.0 a lišily se zejména maximálním výstupním nabíjecím výkonem 18 W vs. 24 W. Stejně jako v případě testu drátového nabíjení zůstával displej po celou dobu měření v režimu Always On a zapínán byl jedině v momentě nutnosti zaznamenání aktuální teploty baterie.

Kompletní seznam testovaných bezdrátových nabíječek byl následující:

1. 5W Ikea Livboj E1815
2. 5W Baseus WXIX-01
3. 10W AlzaPower WC200
4. 15W Baseus BS-W501

#### **4.5 Standardy rychlého drátového nabíjení**

Cílem posledního pokusu bylo vzájemné porovnání konkurenčních technologií, které se využívají pro rychlé drátové nabíjení. Jelikož testování probíhalo na několika mobilních



telefonech s rozdílnou kapacitou akumulátoru, bylo zapotřebí specificky upravit podmínky pro konečné hodnocení. Z tohoto důvodu nebyl při finální komparaci kladen důraz na celkový čas nabíjení jako takový, jenž je vhodným kritériem zejména při práci s jedním zařízením. Nominální kapacita akumulátoru uváděná v mAh byla v tomto případě celkovým časem vydělena a výsledek reprezentoval průměrný počet mAh získaných za jednu minutu nabíjení, což je parametr, který vytváří mnohem lepší představu o schopnostech daného standardu a automaticky nezvýhodňuje telefony s menší baterií. Zcela novým hodnotícím aspektem pak byla rychlost nabíjení z 10 % do 50 %, jenž může být často v krizových situacích klíčová. Bodové rozložení vah kritérií bylo následující: mAh/min – 4 body, čas nabíjení z 10 % na 50 % – 3 body, průměrná teplota – 4 body, maximální teplota – 2 body.

Pro dosažení co možná největší objektivitivy nebyly použity žádné síťové adaptéry třetích stran. Výrobce telefonu byl vždy zároveň i výrobcem nabíječky. Navíc tak byla všechna zařízení testována na svůj nejvyšší možný uváděný nabíjecí výkon, jehož rozsah činil 15 W až 30 W dle modelu.

U kabelů byla patrná snaha o maximální eliminaci vstupu jejich kvality do povahy měření, která se projevila sjednocením délky na 1 m. Další parametry už se ale lišily kus od kusu. Tato velká rozmanitost byla způsobena především potřebou několika různých konektorů nebo rozdílnou proudovou zátěží, který byly kabely v průběhu testování vystaveny. Některé technologie totiž pracují i s proudem okolo 5 A, což nutně vyžaduje užití speciálního příslušenství, jež je na podobné hodnoty stavěno.

Pokud telefon disponoval podporou režimu Always On, tak v něm setrval po celou dobu pokusu vyjma času nutného pro zaznamenání teploty baterie. Na ostatních zařízeních byla úroveň nabití kontrolována občasným zapnutím obrazovky, jehož intenzita byla vyšší s blížícím se očekávaným stavem nutným k zanesení do předem vytvořené tabulky.

Kompletní seznam testovaných mobilních telefonů (verze OS), standardů rychlého nabíjení, síťových adaptérů a kabelů (typ konektoru) byl následující:

1. Realme 8 (Android 11), Realme Dart Charge 30 W, Realme VC56HBEH, Realme DL133 (USB-A/USB-C)
2. Samsung Galaxy S21 FE 5G (Android 12), Samsung Super Fast Charging 25 W, Samsung EP-TA800NBEGE, Samsung EP-DN975BWE (USB-C/USB-C)

3. Apple iPhone 13 Pro (iOS 15.3), Apple Fast Charge 18 W, Apple MU7V2ZM/A, Apple MX0K2ZM/A (USB-C/Lightning)
4. Samsung Galaxy A41 (Android 10), Samsung Adaptive Fast Charging 15 W, Samsung EP-TA200, Samsung EP-DW700CWE (USB-A/USB-C)

## 5 Výsledky a diskuse

Nejdůležitějším zjištěním byl vyjma získání výsledků jednotlivých měření fakt, že se v naprosté většině nepodařilo dosáhnout výrobcem avizovaných výkonů, a to ani pokud by se započítaly úbytky napětí a tím pádem určil výkon přímo na výstupu z nabíječky. Nemusí se nutně jednat o chybu nebo podvod, jelikož po celou dobu testování setrvaly mobilní telefony v klidu, kterému ještě napomáhal aktivovaný režim letadlo. Energetický odběr zařízení byl tudíž prakticky minimální možný, přičemž do naplnění uváděných parametrů zpravidla zbývaly jednotky Wattů. Pokud by se při mírné zátěži měla zachovat stejná rychlost nabíjení, pak by naměřené údaje po započítání úbytků napětí mohly odpovídat těm udávaným.

Na druhou stranu je nutné podotknout, že zmiňované hodnoty jsou opravdu jen maximální možné a nikdy jich není dosahováno po celou dobu nabíjení. S plynoucím časem výkon klesá nebo stagnuje, ale vrcholu nejčastěji dosahuje na začátku, a to jen po krátkou dobu. Zatímco u klasického drátového nabíjení se tak průměrný výkon nejčastěji pohybuje na úrovni 65 % až 80 % toho maximálního, tak ani u bezdrátového není situace o moc lepší. Ačkoliv byl do podložky přiveden proud a napětí o hodnotách, jež odpovídaly či dokonce převyšovaly údaje od výrobce, tak průměrný výkon sráží na podobnou či ještě nižší úroveň současná technologie bezdrátového přenosu energie. Například Alza se u svého modelu WC200 chlubí efektivitou nabíjení až 72 %, což znamená, že se nemalá část dodané energie přemění na odpadní teplo a reálný průměrný výkon tak bude v poměru k maximálnímu zhruba stejný jako u nabíjení drátového. Nižší účinnost se pak projeví hlavně vyššími teplotami baterie.

V průběhu měření bylo v několika případech možné pozorovat mírně se zvyšující napětí s blížícím se koncem nabíjení. Na vině je závislost odporu vodiče na teplotě, kdy se kabel průchodem proudu lehce zahřívá. V případě kovů se s rostoucí teplotou zvyšuje také odpor materiálu. Většinou tímto způsobem dochází k ovlivnění v řádu setin či nižších desetin Voltů. Důsledek tohoto jevu ale není nijak zásadní, jelikož moderní nabíječky dokážou dodávaný výkon plynule měnit, a navíc teplotní rozdíly nedosahují desítek stupňů Celsia, při kterých by již byl dopad na finální výsledky znatelný.

## 5.1 Drátové nabíjení telefonu Samsung Galaxy S21 FE 5G

Vzhledem k předešlému nastavení vah, kde hrála klíčovou roli především rychlost nabíjení reprezentovaná celkovým časem, byly papírově nejhorší dvě nabíječky již od začátku v nevýhodě, protože se jejich naměřené údaje výrazně lišily od zbytku spektra. Přesto se nedá říct, že kratší doba nabíjení automaticky znamenala lepší umístění. Právě modely Huawei HW-050100E2W a Baseus CCFS-R02 naopak body navíc získaly za nejnižší teploty, čímž se ve finálním hodnocení přiblížily konkurentům více, než kdyby se pořadí sestavovalo čistě na základě časových údajů. Ani to však v konečném důsledku nestačilo na lepší umístění a zmiňované síťové adaptéry tak obsadily poslední dvě místa (Tabulka 5).

Tabulka 5: Výsledky testu drátového nabíjení

| Název nabíječky        | Celkový čas (min) | Průměrná teplota (°C) | Maximální teplota (°C) | Celkové body |
|------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|--------------|
| Samsung EP-TA800NBEGEU | 100               | 74                    | 70                     | 87           |
| Baseus CCSUP-B01       | 95                | 75                    | 71                     | 85           |
| AlzaPower Q100         | 85                | 71                    | 70                     | 78           |
| Apple MU7V2ZM/A        | 81                | 73                    | 70                     | 77           |
| Samsung EP-TA200       | 81                | 80                    | 75                     | 80           |
| Baseus CCFS-R02        | 48                | 100                   | 99                     | 72           |
| Huawei HW-050100E2W    | 34                | 98                    | 100                    | 64           |
| Charakter kritéria     | MIN               | MIN                   | MIN                    | X            |
| Váha kritéria          | 0,54              | 0,31                  | 0,15                   |              |

Zdroj: Vlastní zpracování, 2022

Stejným bodovým rozdílem jako poslední dvojice se od středu tabulky odpoutala také dvojice první. Absolutním vítězem se stala nabíječka Samsung EP-TA800NBEGEU a to zejména díky nejvyššímu naměřenému průměrnému výkonu a také teplotám, které nijak negativně nevyčnívaly nad ostatními. Potvrdilo se tak, že si originální příslušenství s telefonem opravdu dobře rozumí a teplotní management je na dobré úrovni. Jelikož je standard Samsung Super Fast Charging postaven na USB Power Delivery 3.0, není překvapením, že se na druhém místě umístila nabíječka značky Baseus s kódovým označením CCSUP-B01, jež disponuje právě podporou USB PD.

Na druhou stranu podporou USB Power Delivery 3.0 se pyšní i nabíječka společnosti Apple, která se ovšem umístila až na pátém místě, ačkoliv je nutné přiznat, že rozestupy mezi jednotlivými variantami byly v této části tabulky opravdu velmi malé. Oproti druhému účastníkovi z portfolia společnosti Samsung (EP-TA200) ztratila především na poli teplot, kdy maximální naměřená teplota pro tento kus odpovídá zároveň té vůbec nejvyšší hodnotě za celou dobu testu. Výrobek tuzemského e-shopu Alza.cz si naopak rozhodující náskok vytvořil o 5 minut lepším časem.

Je obecně známou věcí, že si americký gigant vyvíjí software a vyrábí hardware přímo na míru. To může být důvodem, proč Apple MU7V2ZM/A i přes slibné parametry zcela nenaplnuje svůj potenciál při spojení s Android telefonem. Například 15W bezdrátová nabíječka Apple MagSafe funguje nejlépe právě ve spojení s tímto adaptérem, i když na jejich výběr obecně nejsou kladeny žádné neobyčejné nároky. O vyložený propadák se ani nyní každopádně nejednalo.

Opětovným důkazem dobrého propojení mezi telefonem a nabíječkou stejného výrobce je Samsung EP-TA200. Zmiňovaný kus se i přes nižší udávaný maximální výkon 15 W umístil před oběma 18W soupeři. Zde Samsung odvedl velice dobrou práci při optimalizaci, jelikož se jedná o síťový adaptér s podporou starší technologie Samsung Adaptive Fast Charging, která je založena na Qualcomm Quick Charge 2.0 a tudíž by si neměla zcela rozumět se současným Samsung Super Fast Charging, jenž je derivací USB Power Delivery 3.0. Očividně se ale povedlo vytvořit jakousi formu zpětné kompatibility, takže běžné uživatele telefonů Samsung nemusí zdánlivý problém vůbec zajímat a k nabíjení můžou v klidu využít příslušenství, které už dost možná mají doma. Výhoda je navíc ještě patrnější, pokud vezmeme v úvahu fakt, že se nabíječky z ekologických důvodů již často do balení vůbec nepřidávají.

Kladné body získal model EP-TA200 hlavně za nejnižší průměrnou i maximální teplotu, když opomineme dva nejhůře umístěné, kteří se ale časově pohybovali úplně jinde. Z pohledu autora se jedná o pozitivní překvapení celého testu.

Čtvrté místo obsadil produkt společnosti Alza s názvem AlzaPower Q100. Na poli podporovaných standardů, se kupující mohou spolehnout zejména na Qualcomm Quick Charge 3.0 a z něj odvozené technologie, jakou je právě například již zmiňovaný Samsung Adaptive Fast Charging. Spolupráce s telefonem ale i přes vyšší udávaný výkon nebyla tak

dokonalá jako v případě Samsung EP-TA200. Na vině byly především znatelně vyšší teploty, které nezachránil ani o 5 minut lepší finální čas. Zajímavostí je, že tento výrobek dosáhl na lepší umístění než Apple MU7V2ZM/A, jenž by měl mít teoretickou výhodu v podpoře USB Power Delivery 3.0.

## 5.2 Bezdrátové nabíjení telefonu Samsung Galaxy S21 FE 5G

Pro lepší možnost srovnání zůstal systém hodnocení bezdrátového nabíjení stejný, a to včetně rozložení jednotlivých vah kritérií. Největší roli tak opět hrál celkový čas. Oproti prvnímu testu byl ale překvapivě rozdíl mezi prvním a posledním místem jen zhruba 45 minut, což již od začátku slibovalo velmi vyrovnaný souboj. Navíc se opět potvrdilo, že nejlepší údaje na papíře automaticky nezaručují celkové prvenství (Tabulka 6).

Tabulka 6: Výsledky testu bezdrátového nabíjení

| Název nabíječky    | Celkový čas (min) | Průměrná teplota (°C) | Maximální teplota (°C) | Celkové body |
|--------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|--------------|
| Ikea Livboj E1815  | 80                | 100                   | 100                    | 89           |
| Baseus WXIX-01     | 79                | 97                    | 95                     | 87           |
| AlzaPower WC200    | 100               | 87                    | 86                     | 94           |
| Baseus BS-W501     | 87                | 88                    | 86                     | 87           |
| Charakter kritéria | MIN               | MIN                   | MIN                    | X            |
| Váha kritéria      | 0,54              | 0,31                  | 0,15                   |              |

Zdroj: Vlastní zpracování, 2022

Nejvíce bodů v konečném součtu získala bezdrátová nabíječka AlzaPower WC200, v jejíž prospěch hovořil zejména nejlepší čas. Ani negativa v podobě nejvyšší průměrné a druhé nejvyšší maximální dosažené teploty na tomto výsledku nic nezměnila. Z tabulky naměřených hodnot je patrné, že výkon neměl v čase jasně klesající ani stoupající tendenci. Naopak se pohyboval ve vlnách, čehož svědkem jsou i získaná teplotní data. Vždy po nějaké době došlo k přechodnému snížení výkonu, na což kladně reagovala i teplota, která se tak nikdy nepřehoupla přes hranici 40 °C.

Sympatický odstup od prvního místa si udržela nabíjecí podložka nábytkářské společnosti Ikea s označením Livboj E1815. Ačkoliv je zde udáván výkon poloviční, tak byl po celou dobu sledování konstantní a v průměru na vítěze ztratil 3 W. Velice dobré byly především

teploty, a to jak maximální dosažená, tak i průměrná, která byla zhruba o 5 °C lepší než u výkonnějších konkurentů, což lze rozhodně považovat za nezanedbatelný rozdíl.

Na děleném třetím místě se společně umístily 5W nabíječka Baseus WXIX-01 a 15W Baseus BS-W501, která měla být zároveň nejrychlejší z celého testu. Slabší z modelů sice zaznamenal nepatrně lepší čas než výrobek řetězce Ikea, ale naměřené teploty se držely výše. Možným důvodem je dle autora horší účinnost přenosu energie, protože průměrný výkon se po celou dobu držel na velice dobrých hodnotách. Ta může být způsobena například starší verzí standardu Qi, která bohužel není uvedena. Právě horší efektivita se potenciálně mohla podepsat pod větší tepelné ztráty.

Již zmiňovaná nabíječka Baseus BS-W501 pak byla jednoznačně největším zklamáním. Nejenže nedominovala v oblasti rychlosti, ale nepřesvědčila ani teplotami, které byly vysoké jak v průměru, tak i maximu, kde se dokonce jednalo o nejvyšší zachycenou hodnotu vůbec. Jak se po delším zkoumání ukázalo, tak problém není pouze na straně nabíječky. Samsung udává pro telefon Galaxy S21 FE 5G podporu až 15W bezdrátového nabíjení. Zde nejsou na první pohled patrná žádná omezení. Po důkladnějším prozkoumání všech oficiálních materiálů bylo zjištěno, že Samsung Fast Wireless Charging 2.0 je aktuálně k dispozici při použití výrobků se speciálním rozšířením standardu Qi s názvem Samsung Proprietary Power Delivery Extension (PPDE), o čemž velmi pravděpodobně nemá většina zákazníků řádné tušení.

Zároveň vyšlo najevo, že tato nadstavba je dostupná pro jakékoliv výrobce, kteří projeví zájem o implementaci do svých produktů. Na webových stránkách konsorcia WPC, jež má standard Qi na starosti bylo možné dle čísla modelu dohledat testovanou nabíječku a certifikaci ověřit. Překvapivě je zde podpora PPDE uvedena, ale v jednom z dalších řádků je zároveň zdůrazněno, že produkt momentálně není licencován, jelikož je nevyhovující. Přesnější důvod bohužel nelze zjistit. Možnou příčinu vidí autor v napětí 12 V, při kterém podložka běžně pracuje. Maximální výkon drátového nabíjení je pro telefon Samsung Galaxy S21 FE 5G roven 25 W při užití již dříve testovaného síťového adaptéru Samsung EP-TA800NBEGEU. Ten dle dostupných informací pracuje s napětím do 11 V. Je tudíž možné, že zařízení dost dobře nezvládá konverzi z 12 V na nabíjecí napětí baterie. Teorii podporuje i fakt, že originální příslušenství společnosti Samsung pro bezdrátový přenos energie je dodáváno právě společně se zmíněným síťovým adaptérem.

Z výsledků je patrné, že srovnání dvou rozdílných způsobů nabíjení by podle nastavených kritérií jednoznačně vyznělo pro klasické spojení telefonu s elektrickou sítí pomocí kabelu. Nejrychlejší testovaná bezdrátová nabíječka AlzaPower WC200 se svým časem pohybovala mezi dvěma nejhoršími nabíječkami z opačné strany barikády. Rozdíl v průměrné teplotě ale činil propastných 12 °C v neprospěch výrobku značky AlzaPower. Od vůbec nejlepších síťových adaptérů jej pak dělily skoro dvě hodiny, a i přesto byla průměrná teplota stále o něco vyšší.

Ačkoliv je dnes na trhu možné narazit na bezdrátové nabíječky o výkonu i více než 30 W, tak jejich pravidelné užívání nebude z dlouhodobého hlediska pro kondici akumulátoru správnou volbou. Takovéto modely musí být často dodatečně vybaveny ventilátory, aby se vůbec dokázaly dostatečně chladit, což může na řadu uživatelů působit jako rušivý element. Současné technologie se nacházejí ve stavu, kdy nemá smysl pro rychlé nabíjení využívat bezdrátový přenos energie. Jeho pravděpodobně jediným pozitivním faktorem je pohodlnost. Z pohledu autora si bezdrátové nabíjení o výkonu okolo 10 W najde využití například v autě. Pro zrcadlení telefonu na displej infotainmentu už často není potřeba kabel a doplnění o přihrádku pro bezdrátové nabíjení pak dává smysl. Jen řidič nesmí počítat s tím, že se mu během cesty do práce zařízení zcela dobije.

### **5.3 Standardy rychlého drátového nabíjení**

Hodnocení jednotlivých standardů bylo založeno především na celkové rychlosti v přepočtu na kapacitu akumulátoru. Stejnou váhu měla i průměrná teplota baterie během měření. Menší mírou byla pak zastoupen čas nabíjení do 50 % a nejslabší dopad na výsledky měla maximální dosažená teplota. Snahou bylo zvolit taková kritéria, jež nejlépe odpovídají požadavkům uživatelů v reálném světě, kdy pravděpodobně většina nebude klást na teploty takový důraz jako právě na rychlost. Problém s vysokou teplotou se navíc neprojeví hned a je otázkou, zda bude mít během standardního životního cyklu při výkonech měřených nabíječek do 30 W vůbec nějaký razantní dopad na finální kondici akumulátoru. Mnohem větší vliv může mít naopak (ne)schopnost chlazení součástek při každodenním používání. Nejvýkonnější procesory od firmy Qualcomm, které se vyskytují prakticky ve všech vlajkových telefonech s Androidem, v posledních letech právě tímto neduhem trpí a je na povážení, zda obdobné chování není mnohem více škodlivé než vyšší teploty při nabíjení. Přesto, že bylo opět pro jednotlivé varianty řešení stanoveno bodové ohodnocení (Tabulka 7), nelze na jeho základě jednoznačně určit vítěze, protože se jedná o velice



subjektivní záležitost. Vždy budou hrát klíčovou roli zejména preference každého zákazníka. Z tohoto důvodu se autor rozhodl pouze pro vypíchnutí dobrých a špatných vlastností.

Tabulka 7: Výsledky testu standardů rychlého drátového nabíjení

| Název nabíječky           | mAh/min | Čas 10–50 % (min) | Průměrná teplota (°C) | Maximální teplota (°C) | Celkové body |
|---------------------------|---------|-------------------|-----------------------|------------------------|--------------|
| Apple Fast Charge         | 35      | 94                | 89                    | 85                     | 73           |
| Realme Dart Charge        | 100     | 100               | 79                    | 79                     | 90           |
| Samsung Adaptive Fast Ch. | 47      | 64                | 100                   | 100                    | 75           |
| Samsung Super Fast Ch.    | 75      | 83                | 84                    | 86                     | 81           |
| Charakter kritéria        | MAX     | MIN               | MIN                   | MIN                    | X            |
| Váha kritéria             | 0,31    | 0,23              | 0,31                  | 0,15                   |              |

Zdroj: Vlastní zpracování, 2022

Technologie Realme Dart Charge nabídla jednoznačně největší rychlost v poměru ke kapacitě akumulátoru, která byla navíc nejvyšší v celém testu. Jednalo se o jediný výsledek s celkovým časem pod jednu hodinu. Teploty byly sice oproti konkurentům nejhorší, ale v konečném srovnání stále lepší než „průměrná“ 10W bezdrátová nabíječka. V očích uživatelů může být nevýhodou špatná kompatibilita s jinými řešeními nebo proprietární příslušenství, které je mnohem hůře k sehnání a moc alternativ na trhu neexistuje.

Ačkoliv se výsledek Apple Fast Charge nemusí na první pohled zdát moc dobrý, opak je pravdou. Za zmínku stojí, že udávaný nabíjecí výkon skutečně odpovídal ve značné části pokusu výkonu reálnému. Doplnění energie do 50 % zabralo jen o minutu déle než u Realme. Zde by se dalo argumentovat o takřka 2000 mAh menší kapacitou baterie. iPhone 13 Pro byl však z testovaných zařízení jednoznačně nejlepší v nakládání s dostupnými energetickými zdroji a výdrž není o nic horší než v případě soupeřů. Navíc se teploty při běžném používání subjektivně drží nejvíce při zemi. Pomyslný kámen úrazu bylo posledních 10 %, kdy dokončení nabíjení zabralo skoro 40 minut. Apple si je očividně vědom toho, že to se jedná o nejkritičtější místo a svá zařízení se snaží chránit. Pokud se někdo rozhodne chovat se ke svému telefonu šetrně a nenabíjet ho do 100 %, pak se s výsledným časem dostane na mnohem příjemnější hodnoty. Výhodou je pak možná nečekaně pro tuto značku podpora velice rozšířeného standardu USB Power Delivery, která zaručuje skvělou kompatibilitu a obrovský výběr na poli příslušenství.

Dalším derivátem USB Power Delivery je Samsung Super Fast Charging, jenž si ve srovnání celkové rychlosti držel od Realme Dart Charge nejmenší odstup. Ztráta se pozitivně projevila především v lepších teplotách. Stejně jako v případě společnosti Apple zde není patrná honba za co nejlepšími čísly na úkor dlouhodobého užitku. Navíc opět potěší výborná kompatibilita a z ní plynoucí benefity.

Starší verze rychlého nabíjení od Samsungu s názvem Adaptive Fast Charging již pochopitelně na nejvyšší příčky ztrácí. I tak je ale schopna odvést kvalitní práci v kombinaci s jednoznačně nejlepšími teplotami. Jak ukázaly předchozí testy, tak se jedná o ideální alternativu pro nejnovější telefony stejnojmenné značky, které dokážou využít veškerý potenciál, jenž v tomto standardu tkví. Pro mnoho lidí bude mít zhruba půlhodina čekání větší smysl, než koupě zcela nového síťového adaptéru, která se už pomalu vzhledem k argumentům o ekologii stává v případě nového zařízení nutností.

## 6 Závěr

Hlavním cílem práce bylo charakterizovat a zhodnotit způsoby a technologie využívané pro nabíjení mobilních telefonů. Studium odborných informačních zdrojů byly položeny teoretické základy, jež poskytly potřebné znalosti o historickém vývoji, principech fungování i odlišnostech mezi jednotlivými alternativami.

V praktické části byly získané vědomosti využity při návrhu celkem tří testů, kterým předcházelo porovnání kabelů včetně detailního prozkoumání jejich vlivu na celkový proces nabíjení. V případě drátového nabíjení byly jasně patrné rozdíly mezi staršími a moderními síťovými adaptéry, což plynulo zejména z podpory standardů rychlého nabíjení. Obecně nejlépe si vedlo originální příslušenství anebo takové, které disponovalo požadovanou technologickou podporou. Lepší teplotní komfort nebyl natolik velký, aby se dal považovat za dostatečný argument pro upřednostnění pomalého nabíjení, které navíc v potřebných chvílích postrádalo možnost automatické regulace výkonu. Vítězem se stala nabíječka Samsung EP-TA800NBEGEU. Za příjemné překvapení lze považovat model EP-TA200 od stejného výrobce.

Bezdrátové nabíjení se ukázalo jako značně energeticky neefektivní, což se projevilo na celkovém čase i průměrných teplotách. Papírově nejrychlejší nabíječku se pak pravděpodobně z důvodu chybějící certifikace či technických problémů vůbec nepovedlo otestovat. Na druhou stranu se tak potvrdilo, že pro jistotu kompatibility je nutné na výrobku hledat logo technologie Qi od konsorcia WPC, jež ověřování kvality a funkčnosti zajišťuje. Prvenství v této kategorii získal výrobek AlzaPower WC200.

Porovnání obou způsobů nabíjení odhalilo obrovské rozdíly ve prospěch tradičního drátového přenosu energie. Při obdobných časech byly teploty o více než 10 °C nižší, přičemž rychlé drátové nabíjení ani při zlomku délky trvání tyto hodnoty nepřekonal. Z dlouhodobého hlediska není vhodné používat jen bezdrátové nabíjení, ačkoliv smysl dává jeho implementace například do osobních automobilů.

Snaha o komparaci technologií rychlého drátového nabíjení, jež fungují na rozdílné bázi přinesla zjištění, že některé aspekty nelze dostatečně dobře kvantifikovat pro sestavení relevantního pořadí. Zásadní roli v rozhodování budou vždy hrát subjektivní preference každého uživatele, a proto byly zdůrazněny kladné a záporné vlastnosti každé z alternativ. S jistotou však lze konstatovat, že veškeré testované subjekty poskytují lepší poměr výkonu

a naměřených teplot než v případě bezdrátového nabíjení, což je pozitivní zejména s ohledem na fakt, že pro naprostou většinu zákazníků není použitá technologie klíčovou vlastností při rozhodování o koupi nového telefonu.

Práce nabízí do budoucna značné možnosti rozšíření. Vyjma doplnění o nové příslušenství, technologie nebo pouze jejich nejnovější verze by bylo možné razantně změnit podmínky, za kterých testování probíhalo. Experiment by mohl probíhat například při zátěži nebo za jiných teplot okolí.

Všech plánovaných cílů práce bylo úspěšně dosaženo.

## 7 Seznam použitých zdrojů

ALTMAN, Lukáš. Jak zjistit, kolik nabíjecích cyklů má baterie Android mobilu a jaká je její životnost. *Svetandroida.cz* [online]. c2010-2021, 29. 7. 2019 [cit. 2021-08-14].

Dostupné z:

<https://www.svetandroida.cz/baterie-pocet-nabijecich-cyklu/>

AKOLAWALA, Tasneem. Oppo Unveils VOOC 4.0, 30W Wireless VOOC Flash Charge Tech. *Gadgets.ndtv.com* [online]. Red Pixels Ventures Limited, c2021, 18. 9. 2019 [cit. 2021-12-16]. Dostupné z:

<https://gadgets.ndtv.com/mobiles/news/oppo-vooc-flash-charge-4-0-30w-wireless-technology-launched-2102994>

ARTASHYAN, Argram. OPPO's flash charging technology evolution: The history behind VOOC. *Gizchina.com* [online]. Gizchina Media, c2012–2021, 15. 7. 2020 [cit. 2021-12-16]. Dostupné z:

<https://www.gizchina.com/2020/07/15/oppo-flash-charging-technology-evolution-the-history-behind-vooc/>

Asekol.cz, 2021. Červené kontejnery. *Asekol.cz* [online]. [cit. 13.3.2022]. Dostupné z:

<https://www.asekol.cz/cervene-kontejnery/>

BARSUKOV, Yevgen a Jinrong QIAN. *Battery Power Management for Portable Devices*. Artech House, 2013, 259 s. ISBN 9781608074914.

Battex.info, 2021. Hermetické akumulátory. *Battex.info* [online]. [cit. 27.8.2021]. Dostupné z:

<http://www.battex.info/elektricke-akumulatory-obecne/hermeticke-akumulatory>

BOXALL, Andy. New graphene battery recharges blazingly fast, and it's already on the market. *Digitaltrends.com* [online]. c2021, 15. 1. 2020 [cit. 2021-08-17]. Dostupné z:

<https://www.digitaltrends.com/features/real-graphene-battery-interview-samuel-gong-ces-2020/>

BŘEZINOVÁ, Jana. Bezdrátové nabíječky: Funkční řešení, nebo slepá cesta?. *Elektrina.cz* [online]. c2014-2022, 9. 7. 2019 [cit. 2022-01-07]. Dostupné z:

<https://www.elektrina.cz/bezdratove-nabijacky>

DEDEZADE, Esat. Smartphone battery tech: what could the next 10 years bring?. *Techradar.com* [online]. Future US, 6. 6. 2021 [cit. 2021-08-18]. Dostupné z:

<https://www.techradar.com/news/smartphone-battery-tech-what-could-the-next-10-years-bring>

DLOUHÝ, Jakub. Pravda o baterii a nabíjení mobilu aneb nevěřme už zastaralým mýtům. *Jablickar.cz* [online]. Text Factory, c2008-2021, 1. 9. 2018 [cit. 2021-08-15]. Dostupné z:

<https://jablickar.cz/pravda-o-baterii-a-nabijeni-mobilu-aneb-neverme-uz-zastaralym-mytum/>

FILIPOWICZ, Luke. Decade in review: 2012 brought Qi wireless charging and reinvented how we juice up our phones. *Imore.com* [online]. 23. 12. 2019 [cit. 2022-01-07]. Dostupné z:

<https://www.imore.com/most-significant-apple-gadget-2012-qi-wireless-charging>

FINGAS, Jon. New lithium-sulfur battery could let phones last five days between charges. *Engadget.com* [online]. Verizon Media, c2021, 6. 1. 2020 [cit. 2021-08-17]. Dostupné z: <https://www.engadget.com/2020-01-06-lithium-sulfur-battery-powers-phones-for-five-days.html>

HILL, Simon, Andre REVILLA a Simon CHANDLER. How does fast charging work? Here's every single standard compared. *Digitaltrends.com* [online]. c2021, 21. 7. 2021 [cit. 2021-08-24]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/mobile/how-does-fast-charging-work/>

JARY, Simon. How to Properly Charge a Phone Battery. *Techadvisor.com* [online]. IDG Communications, c2021, 29. 3. 2021 [cit. 2021-08-16]. Dostupné z: <https://www.techadvisor.com/how-to/mobile-phone/charge-phone-properly-3619623/>

KEJDUŠ, Radomír. USB-C bude mít nové značení. Přímě na kabelu ukáže rychlost i výkon. *Cnews.cz* [online]. Internet Info, c2021, 30. 9. 2021 [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/usb-c-bude-mit-nove-znaceni-primo-na-kabelu-ukaze-rychlost-i-vykon/>

KILIÁN, Karel. Co vyjadřuje jednotka mAh u kapacity baterie?. *Svetandroida.cz* [online]. c2010-2021, 5. 7. 2017 [cit. 2021-08-09]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/jednotka-mah-kapacita-baterie/>

LU, Xiao, Ping WANG, Dusit NIYATO, Dong In KIM a Zhu HAN. Wireless Charging Technologies: Fundamentals, Standards, and Network Applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials* [online]. IEEE, 2016, 18(2) [cit. 2021-06-23]. ISSN 1553877X. Dostupné z: doi:10.1109/COMST.2015.2499783

MICHLOVSKÝ, Jakub. Baterie a jak o ně pečovat. *Computer: Žijte digitálním světem*. Czech News Center, 2021, 28(4/2021). ISSN 1210-8790.

MIKSA, Martin. Legenda pokračuje. Špičkové Xiaomi Mi Mix 4 schovalo selfie kameru do displeje. *Mobilmania.cz* [online]. Czech News Center, c2021, 10. 8. 2021 [cit. 2021-08-17]. Dostupné z: <https://mobilmania.zive.cz/clanky/legenda-pokracuje-spickove-xiaomi-mi-mix-4-schovalo-selfie-kameru-do-displeje/sc-3-a-1352411/>

NEČÁSEK, Sláva. *Radiotechnika do kapsy*. Praha: SNTL, 1972. ISBN 04-538-72.

NIYATO, Dusit, Ekram HOSSAIN, Dong IN KIM, Vijay BHARGAVA a Lotfollah SHAFAI. *Wireless-Powered Communication Networks: Architectures, Protocols, and Applications* [online]. Cambridge University Press, 2016 [cit. 2022-01-05]. ISBN 9781316471845.

OLŠAN, Jan. Qualcomm uvádí Quick Charge 5.0: až 100W bleskové nabíjení mobilů, 50 % za 5 minut. *Cnews.cz* [online]. Internet Info, c2021, 29. 7. 2020 [cit. 2021-08-24]. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/qualcomm-quick-charge-5-0-az-100w-bleskove-nabijeni-smartphone-50procent-za-5-minut/>

Oppo.com, 2021. OPPO launches 125W flash charge, 65W AirVOOC wireless flash charge and 50W mini SuperVOOC charger. *Oppo.com* [online]. [cit. 24.12.2021].

Dostupné z:

<https://www.oppo.com/en/newsroom/press/oppo-launches-125w-flash-charge-65w-airvooc-wireless-flash-charge-and-50w-mini-supervooc-charger/>

Oppo.com, 2020. The Road to Developing 65W SuperVOOC 2.0 Flash Charging Technology. *Oppo.com* [online]. [cit. 16.12.2021]. Dostupné z:

<https://www.oppo.com/en/newsroom/stories/the-road-to-developing-65w-supervooc-2-0-flash-charging-technology/>

Proelektrotechniky.cz, 2013. Víte jak funguje baterie?. *Proelektrotechniky.cz* [online]. [cit. 27.8.2021]. Dostupné z:

<http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/17.php>

SAUNDERS, Brad a Joe BALICH. USB Promoter Group Announces USB Power Delivery Specification Revision 3.1: Specification defines delivering up to 240W of power over USB Type-C®. *USB.org* [online]. Beaverton (Oregon), 26. 5. 2021 [cit. 2021-12-12]. Dostupné z:

[https://www.usb.org/sites/default/files/2021-05/USB%20PG%20USB%20PD%203.1%20DevUpdate%20Announcement\\_FINAL.pdf](https://www.usb.org/sites/default/files/2021-05/USB%20PG%20USB%20PD%203.1%20DevUpdate%20Announcement_FINAL.pdf)

ŠPINA, Martin. Technicky historické okénko: Ni-Cd baterie. *Oenergetice.cz* [online]. 23. 7. 2021 [cit. 2021-08-14]. Dostupné z:

<https://oenergetice.cz/akumulace-energie/technicky-historicke-okenko-ni-cd-baterie>

The Road to Developing 65W SuperVOOC 2.0 Flash Charging

Technology. *Oppo.com* [online]. OPPO, c2004-2021, 9. 5. 2020 [cit. 2021-12-16].

Dostupné z:

<https://www.oppo.com/en/newsroom/stories/the-road-to-developing-65w-supervooc-2-0-flash-charging-technology/>

TRČÁLEK, Antonín. Kabely a Ohmův zákon. *Computer: Žijte digitálním světem*. Czech News Center, 2018, **25**(5/2018). ISSN 1210-8790.

TRČÁLEK, Antonín. Rychlé a bezdrátové nabíjení. *Computer: Žijte digitálním světem*. Czech News Center, 2019, **26**(2/2019), 22-25. ISSN 1210-8790.

TRIGGS, Robert. Lithium-ion vs lithium-polymer: What's the

difference?. *Androidauthority.com* [online]. c2021, 8. 5. 2021 [cit. 2021-08-15].

Dostupné z:

<https://www.androidauthority.com/lithium-ion-vs-lithium-polymer-whats-the-difference-27608/>

TRIGGS, Robert. USB Power Delivery explained: What you need to know about

ubiquitous charging. *Androidauthority.com* [online]. c2021, 21. 4. 2021 [cit. 2021-08-26].

Dostupné z:

<https://www.androidauthority.com/usb-power-delivery-806266/>

Wirelesspowerconsortium.com, 2021. History of the Qi specification.

Wirelesspowerconsortium.com [online]. [cit. 27.12.2021]. Dostupné z:

<https://www.wirelesspowerconsortium.com/knowledge-base/specifications/history-of-the-qi-specification.html>