



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH VĚD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST LIKVIDACE VYŘAZENÝCH
MOBILNÍCH TELEFONŮ**

THE ECONOMIC EFFICIENCY OF DISPOSAL OF DISCARDED
MOBILE PHONES

VEDOUCÍ PRÁCE: DOC. ING. IVAN KUDLÁČEK CSC.

STUDIJNÍ PROGRAM: ELEKTROTECHNIKA, ENERGETIKA A MANAGEMENT

STUDIJNÍ OBOR: ELEKTROTECHNIKA A MANAGEMENT

ONDŘEJ
MRÁZ

KVĚTEN 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mráz** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **457037**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Ekonomická efektivnost likvidace vyřazených mobilních telefonů

Název bakalářské práce anglicky:

The economic efficiency of disposal of discarded mobile phones

Pokyny pro vypracování:

Zhodnoťte z technologického a ekonomického hlediska:
- materiálovou recyklaci vyřazených mobilů
- součástkovou recyklaci vyřazených mobilů (včetně Fairphone přístupu)
Pro hodnocení aplikujte metodu Top Twenty

Seznam doporučené literatury:

[1]A.Sije.P.Awuor Ochieng.: "Cell phone disposal and strategie evaluation of eeletronic waste", xxx European Journal of Business and Innovation Research Vol. 1, No.4, pp. 1 -8, 2013
[2]Mikoláš J., Řezníček B.: "Ekologické hodnocení a navrhování procesů", SNTL 1992
[3]Yu, J., E. Williams and M. Ju: "Analysis of Materials and Energy Consumption of Mobile Phones in China", Energy Policy 38: 413-4141. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.03.041

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Ivan Kudláček, CSc., katedra elektrotechnologie FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **09.02.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

doc. Ing. Ivan Kudláček, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce, a že jsem na konci práce uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne

Podpis

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Doc. Ing. Ivanu Kudláčkovi, CSc. za jeho ochotu a trpělivost a za připomínky při vedení této práce.

Dále děkuji prof. Ing. Oldřichu Starému, CSc. za poskytnutou konzultaci.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit recyklaci vyřazených mobilních telefonů z ekologického a ekonomického hlediska. V práci je shrnuta legislativa ČR týkající se nakládání s elektroodpadem, problematika vyřazených mobilních telefonů a metody použitelné k materiálové recyklaci mobilních telefonů. V další části je provedeno zhodnocení dopadů recyklačních procesů na životní prostředí a člověka a dále ekonomické zhodnocení materiálové a součástkové recyklace vyřazených mobilních telefonů.

Klíčová slova

mobilní telefon, elektroodpad, recyklace, součástky, životní prostředí

Abstract

The aim of this bachelor's thesis is to evaluate the impact of discarded mobile phones recycling from both ecological and economical point of view. In this thesis I summarize Czech legislation regarding the handling of electronic waste, the issue of discarded mobile phones and the methods, which can be used for material recycling of mobile phones. Furthermore, an assessment of the impacts of recycling processes on the environment and humans is carried out, as well as economic evaluation of material and component recycling of discarded mobile phones.

Keywords

mobile phone, electronic waste, recycling, components, environment

Obsah

Úvod	1
1. Odpadová legislativa v ČR	2
1.1 Zákon o odpadech	2
1.2 Kolektivní systémy	2
1.3 Recyklační poplatek	3
2. Trh s mobilními telefony	5
3. Materiálové složení mobilního telefonu	8
4. Metody materiálové recyklace	10
Termicko-chemické metody:	10
Mechanické metody:.....	12
Příklad recyklačního procesu	13
5. Využití součástek	16
5.1 Baterie.....	17
5.2 Displej	19
5.3 Fairphone	20
5.3 Demontáž.....	21
6. Ekologické zhodnocení metodou TT	23
6.1 Metoda Top Twenty	23
6.2 Zhodnocení	24
7. Ekonomické zhodnocení	27
7.1 Materiálové hledisko.....	27
7.2 Stanovení nákladů na recyklaci.....	28
7.3 Stanovení hodnoty materiálů obsažených v mobilním telefonu	29
7.4 Výtěžnost recyklace.....	30
7.5 Zhodnocení materiálové a součástkové recyklace.....	32
Závěr	34
Seznam zdrojů a literatury	35

Použité zkratky:

OEEZ	Odpadní elektrická a elektronická zařízení
Sb.	Sbírka zákonů
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
PHE	Příspěvek na nakládání s „historickými“ elektrozařízeními
PNE	Příspěvek na nakládání s „novými“ elektrozařízeními
EoL	End of life = (zařízení) na konci života
ČR	Česká republika
DPS	Desky plošných spojů
TT	Top twenty
ŽP	Životní prostředí
EU	Evropská unie

Úvod

Nakládání s odpady se řadí k hlavním globálním problémům dnešního světa. V poslední době je kladen stále větší důraz na snižování množství skládkovaného odpadu. Jednou z oblastí jsou i odpadní elektrická a elektronická zařízení (OEEZ). Problematika tohoto odpadu se stala aktuální v posledních desetiletích v souvislosti s rozšiřujícím se odvětvím výroby nejrůznějších elektrozařízení, která se stala běžnou součástí každodenního života. Neustálý vývoj nových technologií a výrobků s sebou ale přináší velké množství odpadu, který tvoří výrobky na konci života.

Elektroodpad je specifický svou komplexností a velkým množstvím v něm zastoupených materiálů a s tím spojenými nároky na recyklaci. Nerozumné zacházení s tímto odpadem má negativní dopady na životní prostředí a je proto vhodné hledat alternativy v podobě jeho organizovaného sběru a recyklace. Největším problémem v této oblasti jsou v současné době nízké míry sběru vysloužilých elektrozařízení k recyklaci, tato občas končí i v běžném komunálním odpadu.

Mobilní telefon je příkladem malého elektrozařízení s velmi nízkou mírou recyklace. V porovnání s množstvím telefonů uváděných na trh se jich k recyklaci dostává pouze zlomek. Mobilní telefony patří k nejprodávanějším elektronickým zařízením [12], a přesto je právě u nich míra sběru velmi nízká. Průzkumy ukazují, že řada uživatelů si své staré telefony nechává doma (např. jako náhradní) a nedochází tak k jejich dalšímu použití, příp. recyklaci. [28]

V rámci této práce chci nastínit problematiku mobilních telefonů, nakládání s elektroodpadem, provést rešerši metod, jakými je možné vysloužilé mobilní telefony zpracovat materiálově a popsat možnosti využití funkčních komponentů z těchto telefonů. Hlavním cílem práce je zhodnotit recyklaci vysloužilých mobilních telefonů z ekologického a následně i ekonomického hlediska.

1. Odpadová legislativa v ČR

1.1 Zákon o odpadech

První zákon o odpadech (č. 238/1991 Sb.) vznikl v roce 1991. Do té doby nebylo nakládání s odpady legislativně nijak kontrolováno a s výjimkou druhotných surovin nepodléhalo žádným předpisům.

Prvním zákonem o odpadech v souladu s předpisy Evropské Unie je zákon č. 185/2001 Sb. [1], který v novelizované podobě platí dodnes, od 1. ledna 2015 ve znění 229/2014 Sb. Mezi nejpodstatnější změny provedené touto novelou patří stanovení zákazu „od roku 2024 ukládat na skládky veškerý směsný komunální odpad a recyklovatelné a využitelné odpady stanovené prováděcím právním předpisem“. [2]

Zákonem je *odpad* definován jako „každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.“ *Elektroodpadem* je potom „každé elektrozařízení, které se stalo odpadem, včetně komponentů, konstrukčních dílů a spotřebních dílů, které v tom okamžiku jsou součástí zařízení.“

„Elektrickým nebo elektronickým zařízením (dále jen "elektrozařízením") se rozumí zařízení, jehož funkce závisí na elektrickém proudu nebo na elektromagnetickém poli nebo zařízení k výrobě, přenosu a měření elektrického proudu nebo elektromagnetického pole a které je určeno pro použití při napětí nepřesahujícím 1000 V pro střídavý proud a 1500 V pro stejnosměrný proud.“ [1] §37g

Historické elektrozařízení je definováno vyhláškou MŽP [5] jako „elektrozařízení pocházející z domácností, uvedené na trh do dne 13. srpna 2005, které je určeno ke zpětnému odběru“.

1.2 Kolektivní systémy

Výrobce (nebo dovozce - obecně ten, kdo uvádí zařízení na trh) elektrozařízení má ze zákona povinnost zajistit pro toto zařízení možnost zpětného odběru a následně zpracování, a to samostatně na vlastní náklady, společně s jinými výrobci nebo přenesením těchto povinností na jinou, právnickou osobu (tzv. kolektivní systémy), zajišťující společné plnění povinností výrobců. [1] §37h

Skupiny elektrozařízení:

1. Velké domácí spotřebiče
2. Malé domácí spotřebiče
- 3. Zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení**
- 4a. Spotřebitelská zařízení
- 4b. Solární panely
5. Osvětlovací zařízení
6. Elektrické a elektronické nástroje
7. Hračky, vybavení pro volný čas a sporty
8. Lékařské přístroje
9. Přístroje pro monitorování a kontrolu
10. Výdejní automaty

Tab. 1 Provozovatelé kolektivních systémů se souhlasem pro zajištění financování nakládání s elektroodpady a s historickými elektrozařizeními: [4]

Kolektivní systém	Skupiny elektrozařizení, pro které byl kolektivnímu systému vydán souhlas k nakládání a financování		
	B2B	B2C	B2C-H
ASEKOL a.s.	1, 2, 3 , 4a, 5, 6, 7, 8, 9, 10	1, 2, 3 , 4a, 5, 6, 7, 8, 9	1, 2, 3 , 4a, 5, 6, 7, 8, 9, 10
ASEKOL Solar s.r.o.	4a, 4b	4a, 4b	
Bren, s.r.o	2, 6	2, 6	
ČEZ Recyklace, s.r.o.	4b	4b	
ECOPARTNER s.r.o.	4b	4b	
EKOLAMP s.r.o.	5	5	5
ELEKTROWIN a.s.	1, 2, 3 , 4a, 4b, 5, 6, 7, 8, 9, 10	1, 2, 3 , 4a, 4b, 5, 6, 7, 8, 9	1, 2, 3 , 4a, 5, 6, 7, 8, 9, 10
FitCraft Recyklace s.r.o.	4b	4b	
MINTES Solutions s.r.o.	4b	4b	
OFO - recycling s.r.o.	1, 2, 3 , 4a, 4b, 5, 6, 7, 8, 9, 10	1, 2, 3 , 4a, 4b, 5, 6, 7, 8, 9	
PV Recovery, s.r.o.	4b	4b	
Recycling Systems, s.r.o.	4b	4b	
REMA PV Systém, a.s.	4a, 4b	4a, 4b	
REMA Systém, a.s.	1, 2, 3 , 4a, 5, 6, 7, 8, 9, 10	1, 2, 3 , 4a, 5, 6, 7, 8, 9	1, 2, 3 , 4a, 5, 6, 7, 8, 9
REsolar s.r.o.	4b	4b	
RETELA, s.r.o.	1, 2, 3 , 4a, 4b, 5, 6, 7, 8, 9, 10	1, 2, 3 , 4a, 4b, 5, 6, 7, 8, 9	1, 2, 3 , 4a, 5, 6, 7, 8, 9

Vysvětlivky:

B2B – financování nakládání s elektrozařizeními, která nejsou určena pro domácnost

B2C – financování nakládání s elektrozařizeními určenými pro domácnosti bez oprávnění zajišťovat financování

nakládání s historickými elektrozařizeními

B2C-H – financování nakládání s historickými elektrozařizeními pocházejícími z domácností

Zvýrazněna je skupina 3. *Zařizení informačních technologií a telekomunikační zařízení*, do které spadají mobilní telefony a smartphony. Tyto tedy v České republice zpracovává celkem 5 společností. Největší část této skupiny elektroodpadu zpracovávají společnosti ASEKOL a.s. a REMA Systém, a.s. [11]

1.3 Recyklační poplatek

Recyklační poplatek byl v ČR zaveden v roce 2005 společně s povinností recyklovat elektroodpad. Placená částka se skládala se ze dvou složek, tzv. PHE a PNE. Zprvé výrobce kolektivnímu systému platil za budoucí recyklaci vlastního „nového“ výrobku (PNE) a zadruhé tzv. poplatkem za historický elektroodpad (PHE) přispíval na recyklaci *historických zařízení*, tedy zařízení vyrobených před 13. srpnem 2005. Nakládání s nimi měli výrobci zajistit kolektivně, ať už proto, že není jasné, kdo zařízení vyrobil, nebo že už původní výrobce neexistuje.

Poplatek PHE musel být zahrnut v konečné ceně výrobku a viditelně uveden na vydaném dokladu, v případě PNE tato povinnost není a ten již je proto nejčastěji zahrnut v ceně. Výši recyklačního poplatku stanovuje kolektivní systém a poplatek poté představuje, spolu s případnými zisky z prodeje získaných materiálů, zdroj jeho příjmů, z něj jsou financovány sběr, přeprava a zpracování elektroodpadu.

V současnosti již výrobci na recyklaci většiny *historických zařízení* přispívat nemusejí. PHE pro malé a střední spotřebiče byl zrušen 13. srpna 2013, u velkých spotřebičů (pračky, myčky,...) byl tento termín prodloužen o dva roky. Zrušení vychází z předpokladu, že většina historických zařízení už byla do této chvíle zrecyklována nebo jinak vyřazena z užívání.

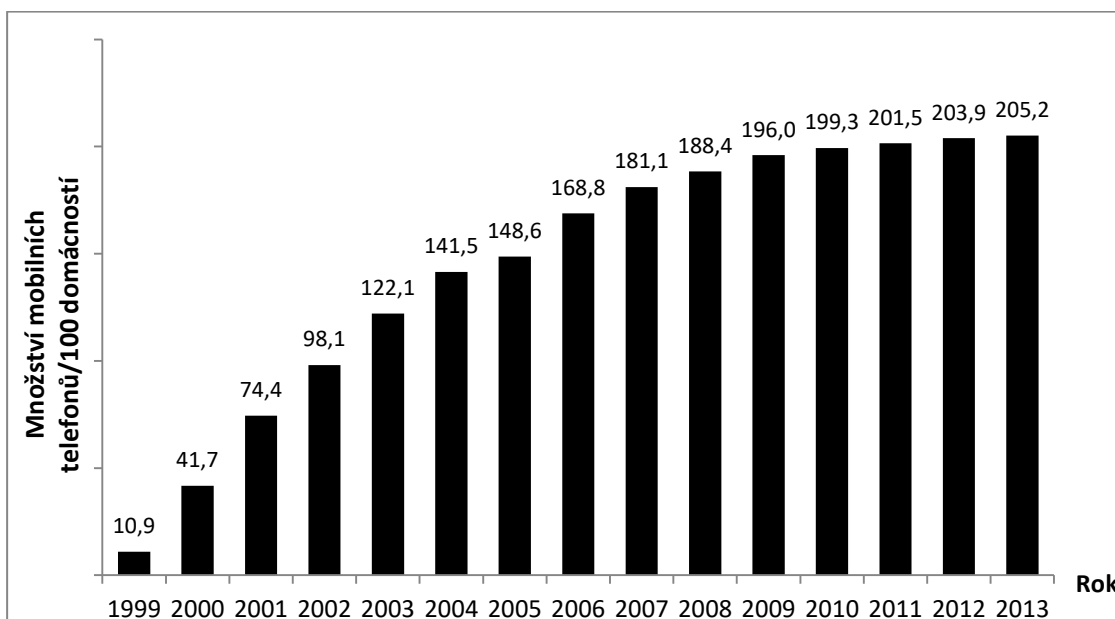
Tab. 2 *Aktuální výše recyklačního poplatku za mobilní telefony u některých zpracovatelů*, zdroje: [7],[8],[9]

REMA Systém, a.s.	1 Kč/ks
OFO - recycling s.r.o.	0,65 Kč/kg
RETELA, s.r.o.	0,80 Kč/kg

2. Trh s mobilními telefony

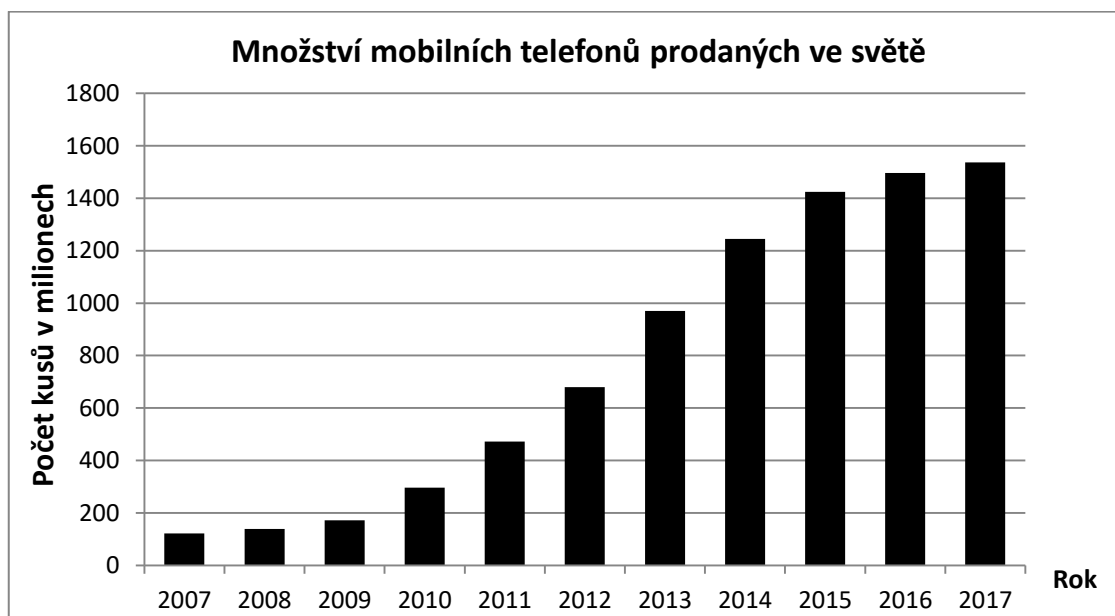
Mobilní telefon je v dnešní době naprosto běžným a jedním z nejčastěji prodávaných zařízení do domácností. Běžný mobilní telefon je ale využíván v průměru pouze 3 až 4 roky (viz dále). To přináší vysoký obrát na trhu (Graf 2), ale zároveň velké množství odpadních zařízení, s kterými je nutno dále nakládat.

Graf 1 Vývoj množství mobilních telefonů v českých domácnostech, zdroj: [10]

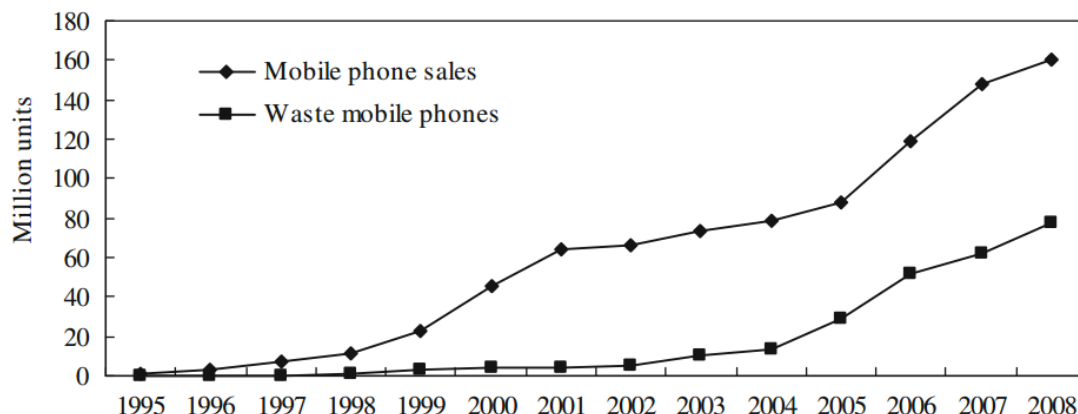


V grafu 1 je vidět spíše se ustalující trend množství mobilních telefonů v českých domácnostech. Lze tedy předpokládat, že většina poptávky po nových mobilních telefonech je v dnešní době tvořena již spíše zákazníky nahrazujícími staré zařízení, než zcela novými uživateli.

Graf 2 Prodeje mobilních telefonů, zdroj dat: www.statista.com (©Statista 2018)



Graf 3 Příklad vývoje množství mobilních telefonů na trhu - Čína, převzato z [15]



Zatímco množství nových mobilních telefonů uvedených na trh je možné poměrně přesně stanovit ze statistik výrobců a prodejců, určit množství EoL mobilních telefonů (=“end of life = na konci života“) generovaných každý rok je složitější. Toto je způsobeno jednak tím, že fyzická životnost zařízení se liší, a to podle značky, cenové kategorie ale i tím, jak je s ním zacházeno. K tomu se navíc přidává stárnutí způsobené trendem, kdy neustálé uvádění nových telefonů znamená, že stávající přístroje jsou už po několika letech zastaralé. Toto se navíc projeví různě u přístrojů různých cenových kategorií. Výsledkem je, že nelze přesně určit, za jakou dobu se zařízení dnes uvedené na trh změní v elektroodpad.

Graf 4 Odhad množství generovaných EoL mobilů v ČR a Norsku, převzato z [12]

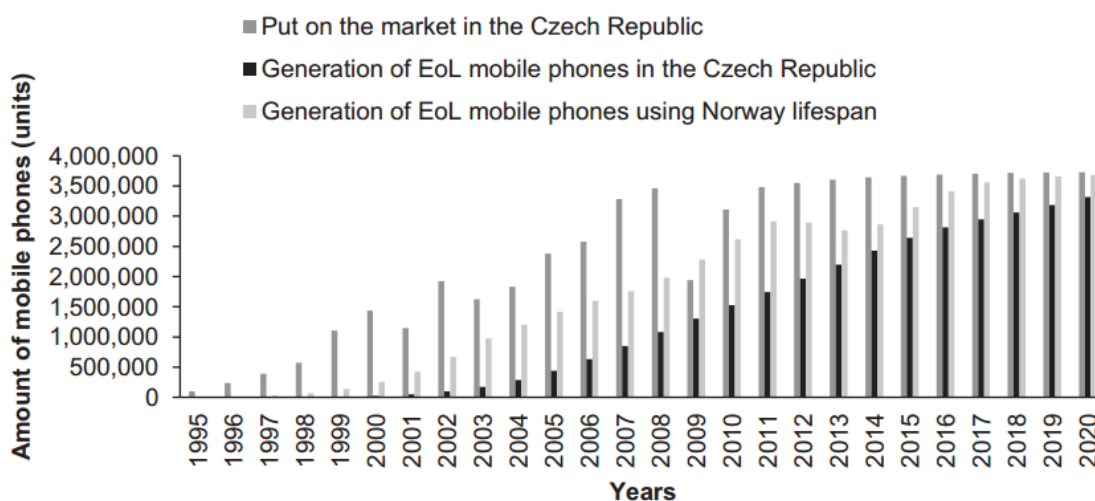


Fig. 8. Generation of EoL mobile phones (“units”) in the years 1995–2020 in the Czech Republic.

Graf 5 Příklad pravděpodobnostního rozložení stáří EoL mobilních telefonů, převzato z [12]

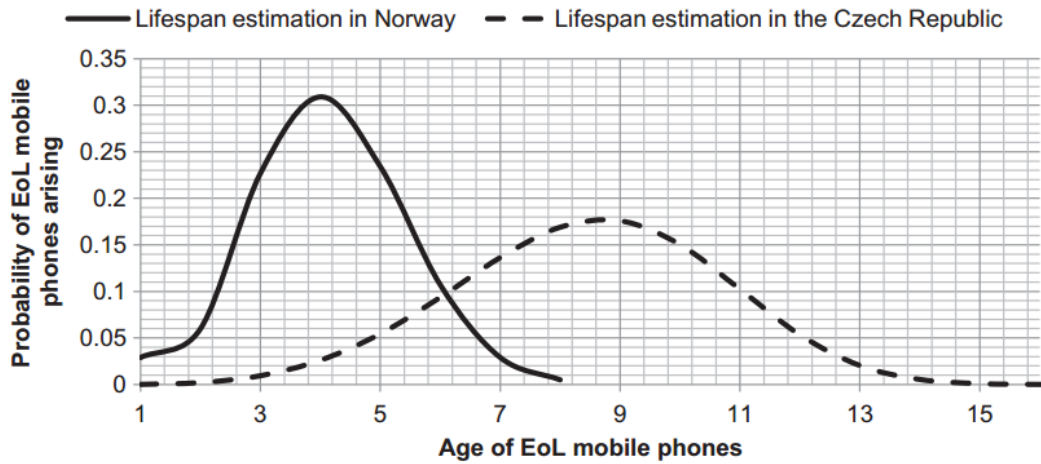


Fig. 6. Comparison of lifespan distribution of mobile phones in the Czech Republic and Norway.

Předchozí graf ukazuje rozdíl mezi ČR a Norskem z pohledu stáří EoL mobilních telefonů. Za stáří je v tomto případě brána doba od výroby zařízení do jeho vyřazení, tedy včetně přepravy, uskladnění před prodejem i skladování po ukončení jeho využívání.

Rozdíl je způsoben na jedné straně obecně vysokou mírou sběru elektroodpadu v Norsku, na druhé straně skutečně delším životním cyklem zařízení v ČR. Průměrné stáří EoL mobilního telefonu je v ČR 7,99 let, průměrná doba používání ale jen 3,63 roky. Rozdíl je doba, po kterou je mobilní telefon buď používán novým majitelem, nebo uschován u majitele prvního.

3. Materiálové složení mobilního telefonu

Elektronická zařízení obecně jsou tvořena velkým množstvím různorodých materiálů. Tyto materiály jsou do sebe vysoce integrovány a v zařízeních se vyskytují v poměrně malých množstvích a jejich separace je proto výzvou pro požadovaný recyklační proces.

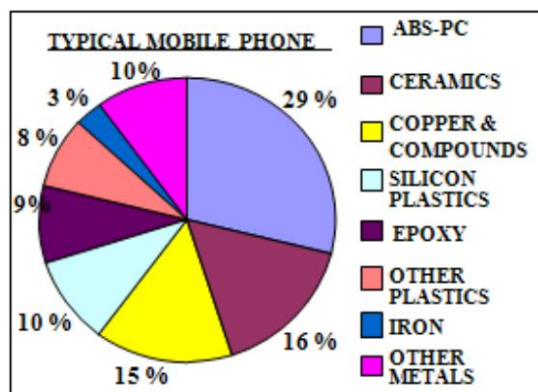
Přestože konkrétní obsah materiálů v mobilních telefonech se může mírně odlišovat jak podle výrobce, tak i s jednotlivými modely, složení těchto zařízení je v podstatě identické. Téměř z poloviny jsou tvořeny plasty (viz obr. 1). Desky plošných spojů (dále jen *DPS*) v mobilních telefonech jsou specifické vysokým obsahem drahých kovů, například koncentrace zlata je v nich téměř dvojnásobná oproti *DPS* z osobních počítačů [32].

Obsah drahých kovů (zlato, palladium, stříbro) se obecně pohybuje pod 1 %, a přesto právě tyto tvoří nejcennější část celého mobilního telefonu z pohledu materiálů (viz tab. 3). Jejich získávání je tedy z ekonomického hlediska nejzajímavější. Dalším důvodem výhodnosti tohoto způsobu získávání drahých kovů je porovnání s množstvím kovu obsaženého v surové rudě. Pro srovnání, koncentrace zlata se pohybuje mezi 1,4 g a 8,3 g v jedné tuně rudy [32] a 350 g v jedné tuně mobilních telefonů (při obsahu 0,035 % Au).

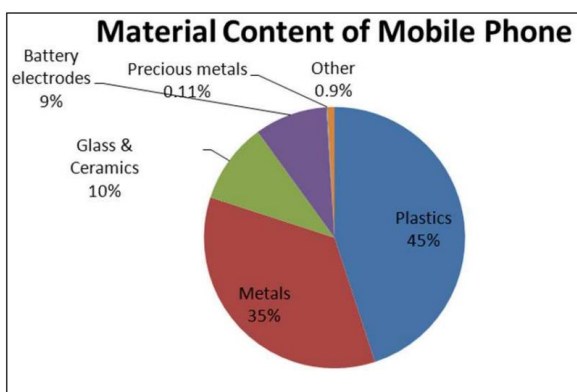
Mezi nejčastěji zastoupené plasty patří průmyslové plasty: např. polykarbonát (PC), akrylonitrilbutadienstyren (ABS), směsi těchto plastů: ABS/PC v různých poměrech, a dále polyamid (PA) ve směsi se skleněnými vlákny (GF), např. „50% PA+GF“. *DPS* je pak nejčastěji tvořena epoxidovou pryskyřicí a skleněnými vlákny. Kompozitní podstata těchto materiálů znamená nárok na složitější postup recyklace. V mobilním telefonu jsou navíc obsaženy další organické látky na bázi silikonu nebo pryže.

Separace těchto materiálů je hlavním úkolem recyklačního procesu (viz dále). Míra separace je specifická pro konkrétní metody a záleží na požadované čistotě výstupních surovin a na požadované míře využití, některé metody ponechávají část materiálu jako odpad nebo ho přeměňují na teplo.

Obr. 1 Složení typického mobilního telefonu (dva různé zdroje)



Zdroj: [13] str.128



Zdroj: [14] str.138

Tab. 3 Průměrný obsah kovů a jejich poměrná hodnota v typickém mobilním telefonu, [15]

Element	Cu	Al	Fe	Ni	Pb	Sn	Ag	Au	Pd
Content (%)	13	2	5	0.1	0.3	0.5	0.14	0.035	0.02
Value ratio (%)	4.3	0.3	0.2	0.1	0.03	0.6	3.9	78.8	11.8

4. Metody materiálové recyklace^[16,18]

Níže jsou uvedeny konkrétní metody použitelné při recyklaci mobilních telefonů, resp. elektroodpadu obecně. Některé jsou zaměřeny konkrétněji na zpracování desek plošných spojů, které představují nejsložitější část celého mobilního telefonu s nejvíce zastoupenými materiály. První tři (*termické*) metody se navíc týkají čistě zpracování organických složek elektroodpadu.

Jedná se o postupy využívané většinou ke zpracování konkrétního materiálu. Recyklační procesy zahrnují vždy kombinaci několika těchto metod, přičemž podle podstaty užívaných metod je možné je rozdělit na dvě základní cesty recyklace: termicko-chemické, mechanické. Reálný recyklační proces však může zahrnovat postupy z obou skupin a mít podobu např. mechanicko-chemickou.

Termicko-chemické metody:

4.1 Spalování

Spalování nekovových frakcí elektroodpadu představuje nejjednodušší z možných způsobů jejich energetického využití. Využívá se k redukci objemu elektroodpadu a odstranění jeho složek s nízkou a potenciálně zápornou hodnotou, danou nutností jejich další likvidace. Tyto postupy mnohdy provázejí neoficiální (často neodbornou) recyklaci elektroodpadu, která je jedním ze závažných ekologických problémů v rozvojovém světě, např. v Číně. [31]

Ekologickým nedostatkem této metody jsou odpadní plyny vznikající při hoření látek obsažených ve spalovaném odpadu. Typicky jde o používané zpomalovače hoření. Například při hoření polybromovaných bifenylnů vznikají toxické polybromované dioxiny a furany.

4.2 Pyrolýza

Pyrolýza je termický rozklad organických sloučenin za nepřístupu kyslíku při teplotách přesahujících mez chemické stability těchto sloučenin. Jedná se o proces, který je vhodný pro energetické využití odpadů [21]. Tuto technologii je možné využít k recyklaci syntetických polymerů, včetně polymerů (pryskyřic) v kombinaci se skelnými vlákny, tedy např. FR4, které jsou základem desek plošných spojů. Výslednými produkty pyrolýzy jsou plyny, oleje a popel. Tyto mohou být dále využity jako chemické suroviny nebo paliva.

Na rozdíl od spalování jde o proces endotermický, jehož produkty však lze použít jako paliva. Potřebné teplo lze potom dodávat spalováním právě těchto produktů. Zbývající odpadní teplo je dále možné využít k výrobě páry nebo teplé užitkové vody.

Desky plošných spojů jsou při pyrolýze zahřáty na vysokou teplotu, při které současně s rozkladem pryskyřice dojde k roztavení pájky poutající k desce elektronické součástky. Zbytkem po procesu je, kromě samotných produktů pyrolýzy, začernalý materiál, z kterého se jinými metodami separují čisté kovy.

4.3 Recyklace nekovových frakcí zplyňováním

Hlavním využitím procesu zplyňování je výroba syntézního plynu ($\text{CO} + \text{H}_2$, tzv. Syngas). Tato technologie je již poměrně dlouho využívána k výrobě plynů z fosilních paliv zplyňováním uhlí a ropných frakcí. Termický rozklad materiálu probíhá při vyšších teplotách než v případě pyrolýzy ($480\text{--}1,650^\circ\text{C}$), za nepřístupu vzduchu. Kromě tepelného rozkladu těkavých složek dojde i k přeměně uhlíku z popela, který by v případě pyrolýzy zůstal, v další syntézní plyn. Do směsi může být přidána vodní pára pro usnadnění této přeměny. [20]

Hlavní výhodou použití zplyňování je nízká úroveň rozkladu obsažených bromovaných retardantů hoření. Tyto jsou naopak při spalování zdrojem toxických plynů a způsobují vyšší škodlivost takového nakládání s nekovovou frakcí elektroodpadu.

4.4 Tavení + Elektrolyza

Jedná se o tradiční způsob recyklace mědi. Vstupním materiálem je slitina kovů, vzniklá v tomto případě roztavením kovů z elektroodpadu. Následně probíhá elektrolyza s vhodným elektrolytem, kdy jedna elektroda je tvořena slitinou kovů a druhá čistým požadovaným kovem. Nejčastěji je primárním produktem čistá měď, jiné procesy (např. hydrometalurgie) jsou následně použity pro zpracování zbývajících materiálů.

Vstupní surovinou pro tavení může být i neseparovaná směs kovů s organickými materiály. V takovém případě dochází zároveň k hoření těchto složek. To může být žádoucí z hlediska ekonomického, kdy tyto materiály není třeba složitěji separovat a jejich spálením se současně ušetří energie potřebná k tavení, chemická energie obsažená v organických složkách mobilního telefonu je totiž dostatečná k pokrytí spotřeby procesu získávání kovů [32]. V takovémto procesu je ale nutné počítat s negativními dopady spalování.

4.5 Hydrometalurgie

Hydrometalurgické postupy jsou vyžívány pro ziskovou recyklaci kovů z odpadu. Obsažené kovy jsou rozpouštěny v silných kyselinách a bázích a následně extrahovány, a to elektrolyzou nebo další chemickou reakcí. Používanými sloučeninami jsou mj. lučavka královská (pro rozpouštění vzácných kovů), HNO_3 , H_2SO_4 nebo kyanidy. Právě toxické a korozní vlastnosti používaných chemikálií jsou ale zároveň hlavní nevýhodou takového zpracování elektroodpadu.

Výhodou metody je energetická nenáročnost a rentabilita. Získaný kov je možné bez dalších úprav prodat. Nekovové materiály však je třeba dále ošetřit, než je možné s nimi dále nakládat.

4.6 Separace DPS rozpouštěním epoxidové pryskyřice organickým rozpouštědlem [16]

Používaným rozpouštědlem může být dimethylsulfoxid (DMSO), stabilní zásaditá bezvodá sloučenina. DMSO rozpouští řadu organických i anorganických látek, ale zároveň nezpůsobuje korozi kovů.

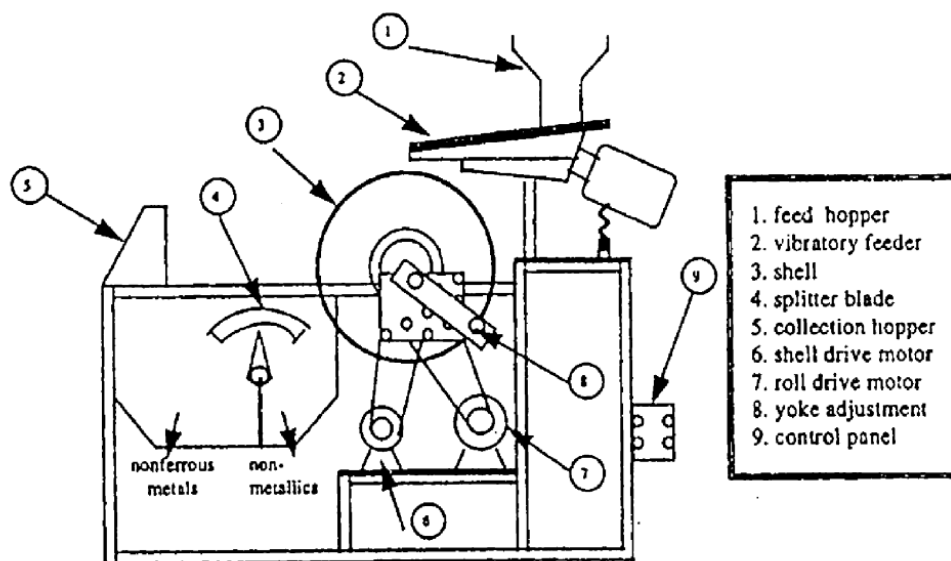
DPS jsou tvořeny skelnou tkaninou, epoxidovou pryskyřicí a kovy. Proces separace probíhá působením DMSO v dusíkové atmosféře na DPS nadrcené na menší kusy. DMSO je zahříván a odpařován, dále se z něj po ochlazení separují rozpuštěné složky a je přiváděn zpět do procesu. Po rozpuštění epoxidu z DPS nakonec zůstanou skelná vlákna a kovy (měděné fólie a zbytky pájky), případně i součástky, pokud nebyly odstraněny dříve.

Mechanické metody:

4.7 Separace vířivými proudy

Jde o proces fyzické separace materiálů ze směsi. Rozebraná zařízení jsou nejprve nasekána na velikost odpovídající požadavkům následujícího procesu mletí. Následně dojde k rozemletí směsi na prach. Tento prach potom prochází separací vířivými proudy. Separátor ze směsi vytřídí kovy podle jejich charakteristik, ty mohou být dále tříděny podle hustoty pro získání čistých vzorků. Příkladem použití této technologie je tzv. HFECS (High-force eddycurrent separator) sloužící k získávání hliníku.

Obr. 2 Schéma HFECS, [18]



4.8 Vzduchová separace

V této metodě probíhá separace pevných částic na základě jejich velikosti a hustoty. Principem je, že částice smíšené se vzduchem se pohybují různým směrem vlivem výslednice působení pohybu v proudu plynu a tíhy, která na ně působí v opačném směru. Toto způsobí jejich separaci. Zatímco lehké částice jsou unášeny proudem plynu vzhůru, na těžší působí větší gravitační síla a klesají.

4.9 Elektrostatická separace

Pro třídění materiálů z granulátu je v této metodě využito působení elektrické síly na nabitě částice. Tohoto způsobu je používáno např. pro recyklaci kovů a plastů z průmyslového odpadu [17]. Elektrostatická technologie může být použita k recyklaci Cu, Al, Pb, Sn, Fe, některých ušlechtilých kovů a plastů.

4.10 Magnetická separace

Separace magnetickou silou slouží k vytřídění feromagnetických částic (Fe) ze směsi s neželeznými kovy a ostatním nemagnetickým odpadem. Materiál je třeba nejdříve namlít na co nejmenší velikost, pro zvýšení efektivity separace. Nevýhodou této metody je aglomerace nemagnetických částic s feromagnetickými snižující celkovou účinnost procesu.[19]

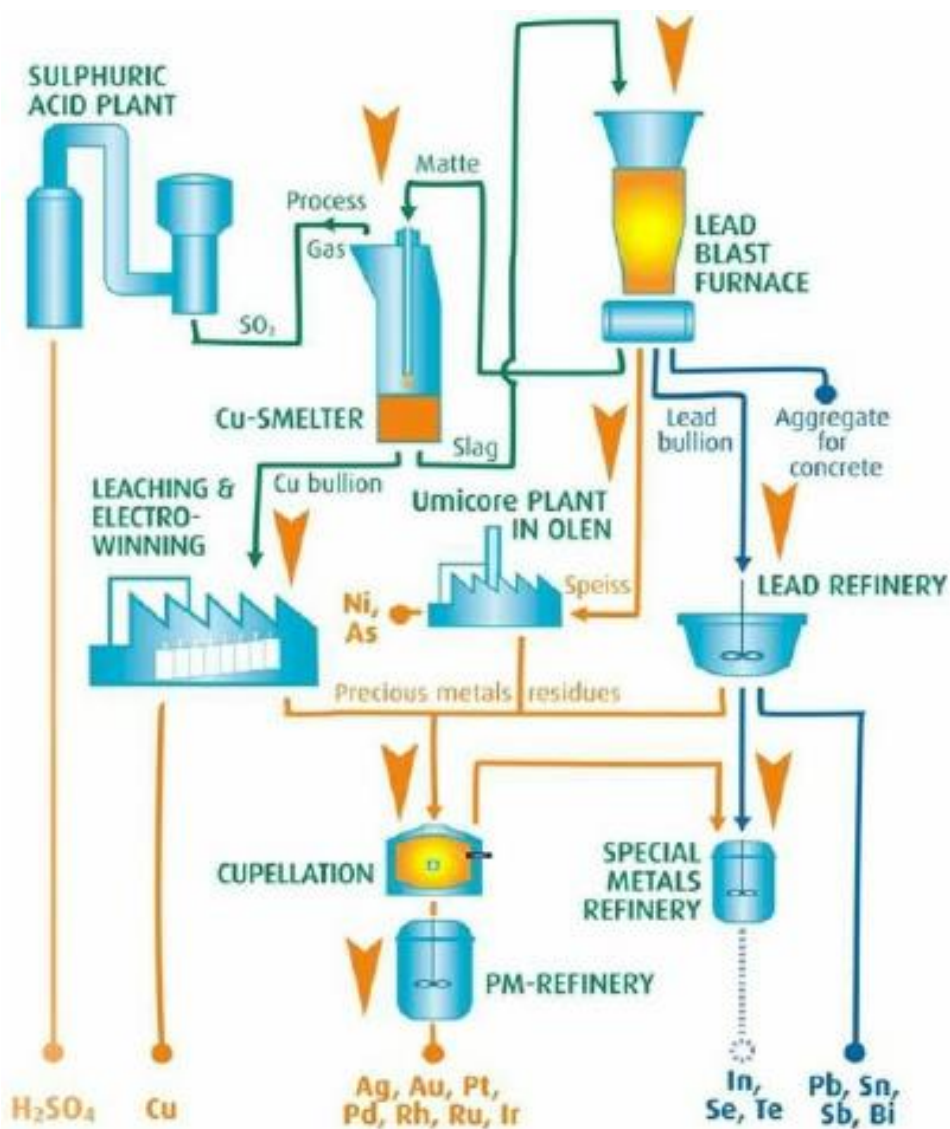
4.11 Bio-metalurgická metoda [16]

Těchto procesů je už delší dobu využíváno k získávání mědi a cenných kovů z rud. Využívá se tendence specifických mikroorganismů vázat z okolního prostředí konkrétní kovy. Tyto organismy do svých buněk selektivně přijímají ionty konkrétních kovů z okolí. Tohoto je možné využít pro extrakci kovů z elektroodpadu, který navíc oproti surovým rudám obsahuje větší koncentrace některých z nich.

4.12 Příklad recyklačního procesu

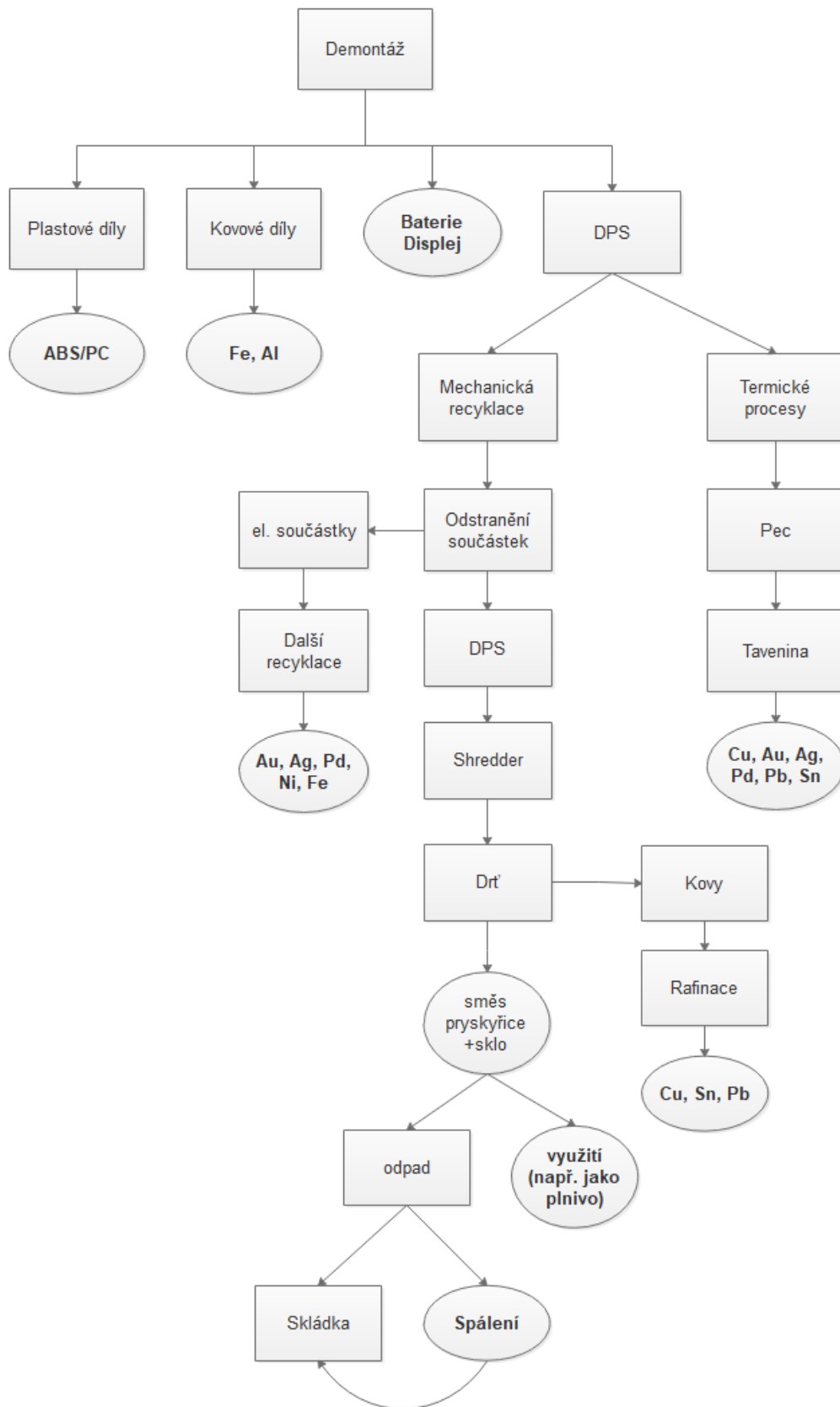
Příkladem zavedeného termochemického zpracovatelského procesu může být firma *Umicore*. Tento proces (*obr. 3*) je zaměřen na získávání kovů a zpracovává převážně odpad z průmyslových procesů, ale právě i elektroodpad. Ten je v rozdrčené podobě přidáván přímo do tavicí pece, kde veškerý organický materiál shoří (takový postup byl již popsán v kapitole 4.4).

Obr. 3 Diagram integrovaného procesu zpracování kovů firmy Umicore



zdroj: [22] str.154

Obr. 4 Diagram procesu recyklace mobilních telefonů zahrnující demontáž a dvě základní cesty materiálové recyklace



5. Využití součástek

Jedním z možných postupů při recyklaci elektroodpadu je využití nepoškozených a stále funkčních součástí vyřazených zařízení. Pokud samotné zařízení již není možné znovu použít, mohou v něm být stále funkční a použitelné součásti. Principem je udržet co největší část elektroodpadu v horní části „odpadové pyramidy“ zajištěním opětovného použití.

V případě mobilních telefonů se může jednat o kryty, displeje, baterie nebo součástky z plošného spoje. Demontáž posledně zmíněných je nejsložitější, protože jsou upevněny pájenými nebo lepenými spoji, jejichž demontáž často není možná bez poškození dané součástky.

Obecně je v tomto procesu nutná demontáž zařízení, v případě elektronických součástek ještě navíc testování jejich funkčnosti. Hlavním výdajem je v takovém procesu manuální práce a je tedy žádoucí zkrátit celkovou dobu rozebírání zařízení. Zjednodušení demontáže již v návrhu zařízení, větším zastoupením lehce rozebíratelných spojů, představuje významný způsob snížení nákladů a tedy zvýšení ziskovosti celého procesu.

Součásti je možné buď využít ke stejnému účelu ve formě náhradních dílů do daného typu mobilního telefonu, nebo také jako díly pro výrobu jiných zařízení. Toto se týká spíše telefonů starších, do kterých již není poptávka po náhradních dílech, nebo zařízení z levnějších kategorií, u kterých si často zákazníci radši koupí nové, než aby řešili opravu. Naopak vyšší poptávka po náhradních dílech je u novějších telefonů, vyšších cenových kategorií a prestižnějších značek.

Hlavním faktorem je při takovémto nakládání s EoL telefony dostatečná poptávka po získaných součástkách. Jak již bylo zmíněno dříve, elektronické součásti mobilních telefonů, jako jsou baterie a displeje, je možné použít při výrobě jiných zařízení. Hlavní podmínkou takového výrobního procesu je zajištění stálého přísunu těchto součástek od zpracovatelských firem, tedy recyklace dostatečného množství mobilních telefonů. Zároveň je nutná určitá technologická kompatibilita, tedy aby součástka nebyla příliš zastaralá pro použití v moderním zařízení. Toto dále snižuje výsledné množství takto použitelných součástek, kdy pouze zlomek z odpadních mobilních telefonů je možné tímto způsobem použít.

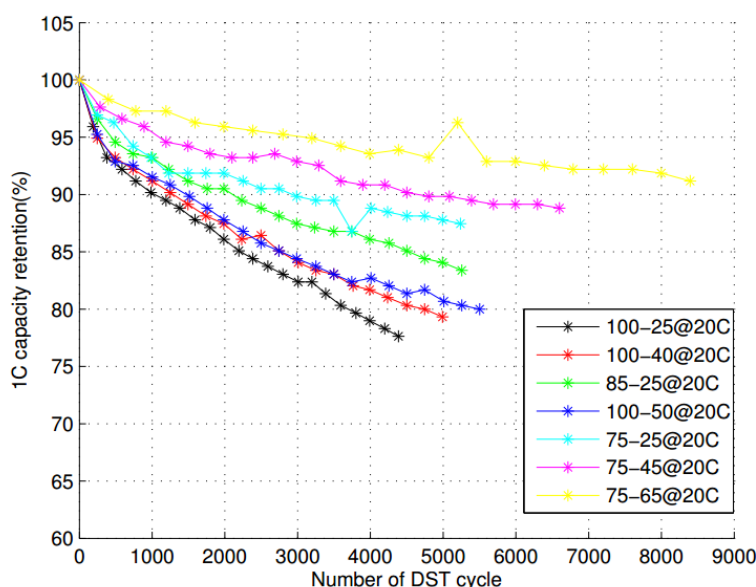
Tento způsob nakládání s mobilními telefony nejen snižuje ekologickou zátěž prodloužením života alespoň části zařízení, pokud toto samotné již není použitelné, ale zároveň přináší do celého recyklačního procesu potenciál větší výnosnosti. Součástky mají samy o sobě větší hodnotu než samotné suroviny získané při materiálové recyklaci.

5.1 Baterie

Baterie je nejobjemnější součástí v mobilním telefonu, dá se snadno odstranit a její znovuvyužití je tedy nejjednodušší. Baterie mobilního telefonu má obecně delší životnost než telefon samotný. V případě již nepoužívaného zařízení případně zařízení před recyklací jde v průměru o 2 až 3 roky zbývajícího života dané baterie. Tato doba se může lišit podle stáří, počtu provedených nabíjecích cyklů a způsobu nabíjení. Všechny tyto aspekty způsobují „stárnutí“ baterie, projevující se poklesem její celkové kapacity a tedy maximálního množství uložitelné energie.

Při používání hraje vliv na kapacitu baterie nejen počet provedených nabíjecích cyklů, ale také způsob nabíjení vyjádřený „hloubkou vybití“ (DoD=Depth of discharge). 100% DoD představuje plný nabíjecí cyklus, tedy nabití zcela vybité baterie, 10% DoD pak nabíjení krátké a časté.

Graf 6 Pokles celkové kapacity Li-ion baterie s cykly pro různé způsoby nabíjení, [23]



Legenda značí počáteční a koncové SoC (state of charge = stav nabití) při každém cyklu nabití/vybití baterie.

Při skladování Li-ion baterií hraje významnou roli jejich teplota a také, na kolik procent je daná baterie nabitá. Uskladnění plně nabité baterie při zvýšené teplotě pak může dokonce způsobit zestárnutí výraznější než její běžné užívání [24]. Tyto skutečnosti se projeví v případě dlouhodobě skladovaných mobilních telefonů, kdy původně funkční baterie již není použitelná.

Tab. 4 Vliv teploty skladování na celkovou dostupnou kapacitu Li-ion baterie po jednom roce skladování: převzato z: [24], str.122

Temperature	40% charge	100% charge
0°C	98%	94%
25°C	96%	80%
40°C	85%	65%
60°C	75%	60% (after 3 months)

Z předchozího vyplývá, že, aby bylo možné baterie z mobilních telefonů putujících k recyklaci znovu v nějaké formě využít, je nejprve třeba je otestovat a posoudit jejich stav. Pouze baterie s dostatečně dlouhým očekávaným zbývajícím životem by v tomto případě prošly dále a zbytek by pokračoval k materiálové recyklaci. Další nakládání s vybranými bateriemi by se odvíjelo od způsobu jejich dalšího využití. Pro vytvoření větších celků je nutné při sériovém/paralelním spojení použít baterie s podobnými vlastnostmi. Záleží také na konkrétní aplikaci, jaké je požadované množství baterií, jejich kapacita a dodávaný výkon do zátěže.

Aplikace

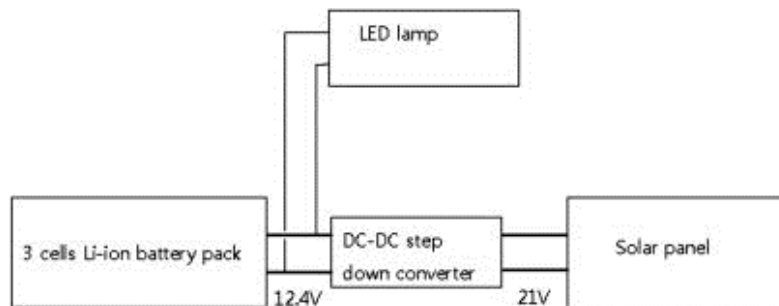
Příkladem jedné z možných aplikací recyklovaných baterií může být ta, kterou navrhl Boucar Diouf, profesor na Univerzitě *Kyung Hee* v Soulu, ve svém článku [25] v *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. Jedná se o využití baterií ze starých mobilních telefonů, sebraných v rámci sběru elektroodpadu převážně v rozvinutém světě, jako součásti systému domácího osvětlení. Tyto baterie by byly použity pro napájení LED lampy a přes den nabíjeny malým solárním panelem. Takto navržený systém by představoval „rychlé a levné řešení pro třetinu světové populace stále bez přístupu k elektřině“, v porovnání s cenou elektrifikace výstavbou rozvodné sítě.

Jedná se převážně o populaci venkovských oblastí rozvojových zemí. Tento systém by byl řešením pro nejchudší obyvatele, kteří si nemohou dovolit běžné off-grid systémy. „Celková výrobní cena takového systému osvětlení může být pod \$25, na základě prototypu sestaveného a testovaného autory, s životností kolem 3 let bez potřeby jakékoli údržby před tím, než bude třeba vyměnit baterie.“ [25]

Navrhovaný recyklační program by zahrnoval: sběr baterií, testování a výběr, sestavení systému, prodej a instalaci. Všechny tyto kroky by zároveň přinesly vznik pracovních míst, a to jak v rozvinutém světě při sběru baterií, tak ve světě rozvojovém při instalaci kompletních systémů.

Autory testovaný systém sestává ze tří baterií Samsung Galaxy Note 2 (3.1 Ah–3.8 V) v sérii a s ochranným obvodem, stejnosměrného měniče pro snižování napětí, 5 W solárního panelu (21 V naprázdno) a 5 W - 12 V LED lampy.

Obr. 5 Schéma návrhu 12 V systému osvětlení, zdroj [25]



5.2 Displej

Displej představuje další velkou a poměrně snadno demontovatelnou součástku s potenciálně delší životností, než je doba, po kterou je užíván v mobilním telefonu. V dnešní době jsou v této oblasti používány dvě základní technologie: LCD a AMOLED, s rozdílným způsobem vytváření obrazu. Displeje se také vyskytují v různých velikostech. Řešení pro využití recyklovaných součástek je třeba navrhnout pro konkrétní typ displeje a zavedení podobného procesu může být poměrně nákladné. Aby se takový postup vyplatil, je nezbytné mít k dispozici dostatečné množství displejů se stejnými parametry.

Aplikace

Příkladem využití těchto součástek může být existující japonská společnost, která demontuje displeje z odpadních mobilních telefonů a vyvíjí produkty s jejich využitím, případně tyto displeje přímo prodává. [27]

Získané displeje mohou výrobci použít při výrobě nových mobilních telefonů nebo dalších zařízení, jako jsou digitální fotoaparáty a kamery. K takovému účelu jsou však vhodné jen součástky ne příliš staré a v dobrém stavu, od kterých lze očekávat, že mohou ještě fungovat po dobu životnosti nového zařízení. Součástky starší, v horším stavu a s nedostatečným rozlišením lze použít v méně náročných aplikacích, jako jsou např. přenosná informační zařízení použitá v rámci *Expo 2006* (obr. 6)

Příklad návrhu kombinace 2 produktů s využitím recyklovaných LCD: zdroj [27]

- LCD s vysokým rozlišením jako displeje v digitálních fotoaparátech
- LCD s nízkým rozlišením do přenosných informačních zařízení pro muzea nebo venkovní události

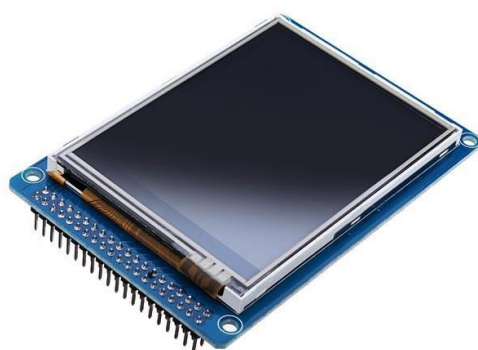
Je třeba zmínit, že využití recyklovaných součástek při výrobě nových mobilních telefonů v dnešní době není v souladu s obchodním modelem většiny výrobců. Navíc je třeba vzít v úvahu nutnou logistiku celého procesu. Montáž spotřební elektroniky dnes většinou probíhá v Číně, nebo jiných asijských zemích. Doprava displejů zpět pro opětovnou montáž do nového zařízení by byla velmi nákladná a tento model by proto byl relevantní pouze pro mobilní telefony recyklované v zemích, kde probíhá montáž.

Obr.6 Přenosné informační zařízení, zdroj: [27]



Jednou z dalších možných aplikací těchto displejů jsou displejové moduly pro mikropočítače (*Arduino*, *Raspberry Pi*, apod.). Tyto často nevyžadují příliš velké rozlišení a je tedy pro ně možné použít i displeje získané ze starých mobilních telefonů.

Obr. 7 Arduino 3,2" LCD modul, zdroj: arduino-shop.cz



5.3 Fairphone

Jednou z cest řešení problematiky odpadů je omezení jejich vzniku. Možnou aplikací v oblasti spotřební elektroniky je prodloužení životnosti zařízení a také možnost jejich opětovného použití. Fairphone je příkladem mobilního telefonu, který díky snadné opravitelnosti a jednoduché výměně součástek dlouhou životnost nabízí.

Společnost Fairphone vytvořila první takovýto mobilní telefon v roce 2013. Hlavní myšlenkou je sociálně odpovědná produkce smartphonů, navržených a vyráběných s minimálním poškozením lidí a planety. Cílem bylo vyvinout zařízení neobsahující „krvavé minerály“ (také tzv. *konfliktní suroviny*). Zároveň Fairphone 1 nabízel snadnou opravitelnost.

V roce 2015 společnost představila Fairphone 2, „první etický, modulární smartphone“ [30]. Telefon je tvořen z několika „modulů“, které je možné snadno vyměnit a upgradovat. Výsledkem je smartphone s potenciálně dlouhou životností, díky možnostem opravy poškozených a výměny zastaralých částí.

Výhodou tohoto provedení je, díky vyšší životnosti, menší množství produkováných EoL telefonů a tedy přispívání k řešení odpadové problematiky již v zárodku. Hlavní nevýhodu představuje pro výrobce, z podstaty telefonu vycházející, nutnost zajištění dostatečných zásob součástek. Toto byl také jeden z důvodů ukončení podpory prvního modelu v roce 2017.

Tento produkt zmiňuji jako zajímavou alternativu ke stávajícímu obchodnímu modelu většiny výrobců a také jeden z potenciálních způsobů řešení problému rostoucího množství elektroodpadu.

5.4 Demontáž

Pro možnost odhadu nákladů na rozebírání mobilních telefonů jsem určil dobu demontáže prakticky, rozebráním EoL mobilních telefonů, které jsem měl k dispozici. Výsledky následně použiji při výpočtech dále v této práci (*kapitola 7*).

Tab. 5 Změřené doby demontáže

	Mobilní telefon	Vyjmutí baterie a displeje (min)	Celková demontáž (min)
A	Nokia 3600s	8	15
B	Nokia 5230	6	19
C	Nokia 2730c-1	4,5	20
D	Nokia 2760	5,5	14
	Průměr	6	17

Změřené doby demontáže jsou vidět v tabulce 5. Pro možnost zhodnocení v další části této práce jsem zde určoval dobu potřebnou k vyjmutí baterie a displeje a následně dobu potřebnou k úplné ruční demontáži mobilního telefonu. Zde je třeba dodat, že zaučená obsluha v zaběhnutém provozu by mohla být schopna provádět demontáž i rychleji.

Pokud jde o stav získaných součástek, tak v případě A se jednalo o poškozený mobilní telefon a displej není znovu použitelný. U telefonů B, C a D jsou displeje naopak plně funkční a je možné s nimi dále nakládat, ať už jako s náhradními díly nebo součástkami pro nový produkt. Baterie z telefonů by bylo nutné, pro zhodnocení možnosti jejich dalšího použití, otestovat.



← rozebírané mobilní telefony

↓ mobilní telefony po demontáži



6. Ekologické zhodnocení metodou TT

6.1 Metoda Top Twenty

Pro zhodnocení vlivu recyklace na životní prostředí a člověka jsem využil modifikovanou metodiku Top Twenty (TT). Tato metoda se používá k hodnocení procesů, podstatou je hodnocení (dvaceti) nejdůležitějších vstupů a výstupů procesu, ke kterému se přistupuje jako k „černé skříňce“, podle různých hledisek [35]. K hodnocení tabulek TT se používá bodovací systém, kde se zvolí nejvýznamnější kritéria (dopady), kterým se přidělí priorita (1–5). Každému kritériu se přiřadí hodnocení (váha 1–10) vyjadřující skutečný stav v daném procesu. Součinem priority a váhy je pak výsledný počet bodů pro daný faktor hodnoceného procesu.

Metodu TT jsem použil pro zhodnocení a porovnání dvou základních cest recyklace, termicko-chemické a mechanické a také zhodnocení procesu demontáže součástek z mobilních telefonů.

Tab. 6 Definice vstupů a výstupů procesů

	Vstupy	Výstupy
Termicko-chemická metoda	mobilní telefony	suroviny
	energie	teplo
	chemické Látky	nerecyklovatelný odpad
	vybavení recyklační linky	chemické látky
	obsluha (lidská práce)	emise
	doprava	
Mechanická recyklace	mobilní telefony	suroviny
	energie	nerecyklovatelný odpad
	vybavení recyklační linky	
	obsluha (lidská práce)	
	doprava	
Demontáž	mobilní telefony	součástky
	vybavení linky	části k materiálové recyklaci
	lidská práce	nerecyklovatelný odpad
	doprava	

Za nejvýznamnější negativní dopady jsem zvolil úbytek surovin, spotřebu energie, produkované emise, přispívání ke globálnímu oteplování, fotochemické reakce, způsobovaný hluk a vibrace, toxicitu procesu, acidifikaci půdy a znečištění podzemních a užitkových vod.

Tab. 7 Zhodnocení negativních dopadů

Negativní vliv	Priorita	Termicko-chemická metoda		Mechanická recyklace		Demontáž	
		Váha	Body	Váha	Body	Váha	Body
úbytek surovin	5	8	40	9	45	3	15
spotřeba energie	5	9	45	10	50	3	15
emise	4	10	40	5	20	3	12
globální oteplování	4,5	9	40,5	6	27	5	22,5
fotochemické reakce	4	8	32	3	12	3	12
hluk, vibrace	3,5	4	14	10	35	6	21
toxická	4,5	10	45	2	9	0	0
acidifikace	4	9	36	2	8	0	0
znečištění vod	4,5	7	31,5	4	18	2	9
		Σ	324		224		106,5

Úbytek surovin reprezentuje jednak množství surovin, které nejsou z odpadu vyseparovány k dalšímu využití. Toto je u termických metod způsobeno například spalováním plastů, u mechanických nedokonalou separací materiálů. Zároveň tento úbytek zohledňuje suroviny spotřebovávané při samotné recyklaci, jako např. chemikálie pro získávání cenných kovů chemickou cestou nebo zemní plyn spalovaný v tavicí peci.

Příkladem dalšího negativního dopadu recyklačních procesů na životní prostředí může být kontaminace zemědělské půdy v okolí těžkými kovy. Zde bych odkázal například na studii z roku 2008, zkoumající tyto vlivy v lokalitě Taizhou na jihovýchodě Číny [31]. Studie prokázala zvýšené úrovně těžkých kovů (hlavně Cd, Cu a Hg) v zemědělské půdě a v rýži pěstované v dané lokalitě.

6.2 Zhodnocení

Rozdíly mezi oběma způsoby recyklace jsou vidět z porovnání grafů 7 a 8. Dominantními faktory v případě mechanických postupů recyklace jsou hluk a vibrace produkované recyklační linkou, na které převažuje drcení ve „šředrech“, přesun po dopravnících a třídění v separátorech (viz kap. 4). Dále je významná spotřeba energie stroji a úbytek surovin, způsobený nedokonalou separací.

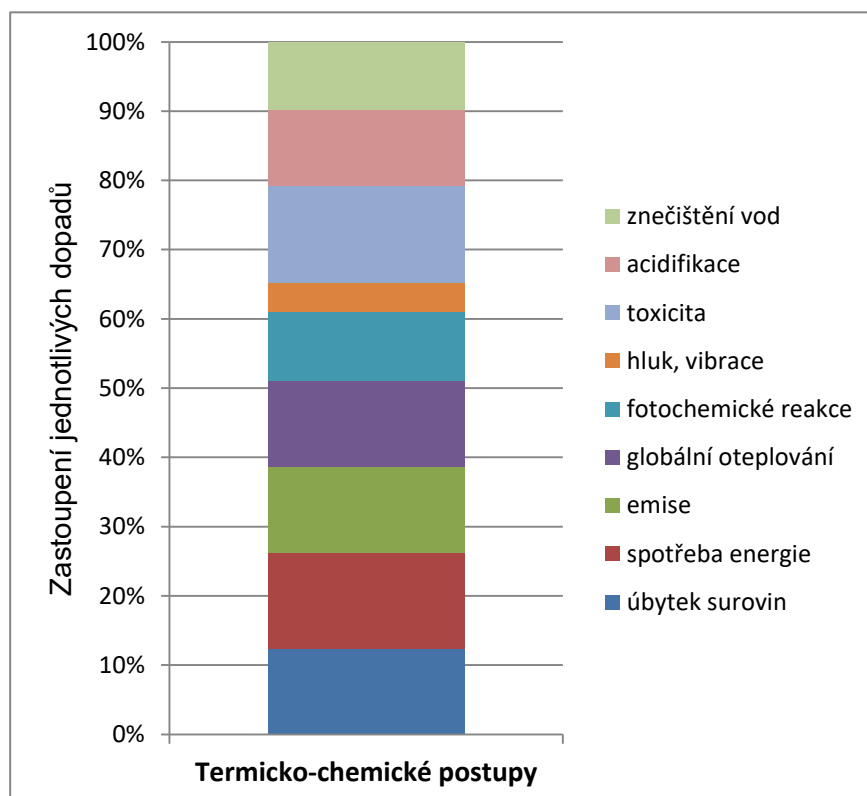
V případě chemických procesů má významný dopad na životní prostředí toxicita užívaných chemikálií a acidifikace půdy v okolí. Termické procesy jsou pak zdrojem emisí, které se z globálního hlediska podílejí na oteplování a z lokálního pohledu mohou fotochemickými reakcemi přispívat ke smogu.

Z celkového množství bodů obou cest recyklace, získaného hodnocením metodou TT (Tab. 7), vyplývá, že termicko-chemické zpracování je pro životní prostředí větší zátěž než zpracování mechanické. Dá se tedy konstatovat, že aby proces materiálové recyklace životní prostředí zatěžoval co nejméně, je žádoucí omezit chemické zpracování pouze na prvky vyskytující se v mobilních telefonech stopově a zbývajících materiály separovat mechanicky. Současně je vhodné omezit spalování a tedy i množství při zpracování vznikajících emisí.

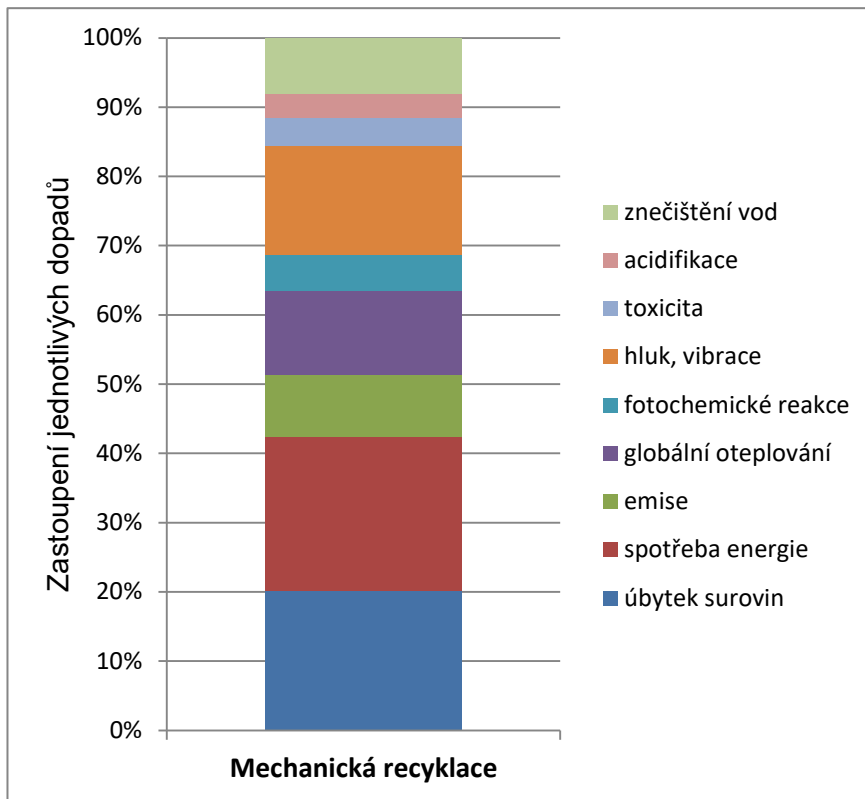
Z hodnocení dále vyplývá, že samotný proces ruční demontáže mobilních telefonů ŽP také zatěžuje, avšak ne tolik jako předchozí způsoby recyklace. Ruční demontáž ale ovšem není použitelná pro separaci všech materiálů z mobilního telefonu a proto reálný recyklační proces, i když zahrnující ruční rozebírání, bude alespoň část hmoty zpracovávat některou z termických, chemických nebo mechanických metod. Ideální proces kombinuje demontáž, využití součástek a materiálovou recyklaci pouze zbývajících, nerozebíratelných částí (DPS a ostatní součástky). Dopad takového způsobu recyklace na ŽP je poté nejnižší, neboť, díky ruční demontáži, je velká část hmotnosti vyseparována ručně (typicky plastové, hliníkové a železné konstrukční díly). Po oddělení použitelných součástek nakonec zbývá pouze menší část celého telefonu, u které je nutná další, ekologicky náročnější separace.

Ke zhodnocení Fairphone přístupu jsem tuto metodu nevyužil, neboť nejde o recyklační proces, ale pouze o odlišný způsob návrhu mobilního telefonu zajišťující dlouhou životnost. Nejde tedy o řešení samotné recyklace telefonů, ale spíše o prodloužení jejich životního cyklu. Zvýšením životnosti se snižuje množství potřebných mobilních telefonů a tedy i celkové množství elektroodpadu ke zpracování. Z ekologického hlediska je tedy tento přístup výhodný, neboť redukce odpadu již v zárodku je jednou z cest řešení odpadové otázky („Reduce, Reuse, Recycle“).

Graf 7 Rozložení dopadů recyklace termicko-chemickou cestou



Graf 8 Rozložení dopadů recyklace mechanickými metodami



7. Ekonomické zhodnocení

7.1 Materiálové hledisko

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3, mobilní telefony mají mnohem větší obsah vzácných kovů oproti surové rudě, a to až o dva řády. Toto znamená vyšší výtěžnost kovu a tedy výhodnost celého procesu. Z hlediska materiálů obsažených v mobilních telefonech, z kterých se mnohé řadí mezi „kritické suroviny“, se tedy jejich recyklace zároveň jeví jako vhodná až nutná.

V tabulce 9 je vidět odhad celkového množství jednotlivých kovů, které byly v letech 2007 až 2017 využity k výrobě mobilních telefonů. Výpočty předpokládají materiálové složení telefonu sestavené v kapitole 3 a průměrnou hmotnost jednoho mobilního telefonu 120 g. V tabulce 10 je dále množství zlata porovnáno s celkovou produkcí v daném roce. Je vidět, že v roce 2017 přesahuje již tento podíl 2 %, při obsahu 64,5 t zlata. Vzhledem k tomu, že mobilní telefony nejsou zdaleka jediná elektronická zařízení obsahující zlato, je toto již nezanedbatelné množství.

Tab. 8 Obsah nejvýznamnějších surovin v mobilním telefonu
(sestaveno z dat získaných v kap. 3)

Materiál	Au	Ag	Pd	Cu	Al	Fe	Pb	Sn	ABS/PC
Podíl hmotnosti (%)	0,035	0,14	0,02	13	2	5	0,3	0,5	29

Tab. 9 Odhad množství materiálů obsažených v mobilních telefonech prodaných ve světě mezi lety 2007 a 2017, zdroj dat o prodejkách viz Graf 2

Rok	Množství prodaných telefonů ve světě v milionech	Au (t)	Ag (t)	Pd (t)	Cu (t)	Al (t)	Fe (t)	Pb (t)	Sn (t)
2007	122,32	5,1	20,5	2,9	1 908,2	293,6	733,9	44,0	73,4
2008	139,29	5,9	23,4	3,3	2 172,9	334,3	835,7	50,1	83,6
2009	172,38	7,2	29,0	4,1	2 689,1	413,7	1 034,3	62,1	103,4
2010	296,65	12,5	49,8	7,1	4 627,7	712,0	1 779,9	106,8	178,0
2011	472	19,8	79,3	11,3	7 363,2	1 132,8	2 832,0	169,9	283,2
2012	680,11	28,6	114,3	16,3	10 609,7	1 632,3	4 080,7	244,8	408,1
2013	969,72	40,7	162,9	23,3	15 127,6	2 327,3	5 818,3	349,1	581,8
2014	1 244,74	52,3	209,1	29,9	19 417,9	2 987,4	7 468,4	448,1	746,8
2015	1 423,9	59,8	239,2	34,2	22 212,8	3 417,4	8 543,4	512,6	854,3
2016	1 495,96	62,8	251,3	35,9	23 337,0	3 590,3	8 975,8	538,5	897,6
2017	1 536,54	64,5	258,1	36,9	23 970,0	3 687,7	9 219,2	553,2	921,9

Tab. 10 Množství zlata obsažené v prodaných mobilních telefonech vztažené ke světové produkci v daném roce

Rok	Světová produkce zlata (t)	Podíl (%)
2007	2 350	0,22
2008	2 280	0,26
2009	2 460	0,29
2010	2 560	0,49
2011	2 660	0,75
2012	2 690	1,06
2013	2 800	1,45
2014	2 990	1,75
2015	3 100	1,93
2016	3 110	2,02
2017	3 150	2,05

Pozn.: zdroj dat o produkci: www.statista.com (©Statista 2018)

7.2 Stanovení nákladů na recyklaci

Kvůli nedostatku veřejně dostupných informací pro možnost zhodnocení postupů recyklace z ekonomického hlediska porovnáváním investic do recyklačních linek a zařízení, jsem pro hodnocení použil pouze srovnání nákladů na recyklaci a výnosů z prodeje surovin/součástí.

Výše nákladů na recyklaci mobilních telefonů není zjistitelná z veřejných zdrojů, a proto jsem provedl jejich odhad z veřejně dostupných výsledků hospodaření společností *Asekol* [37] a *REMA Systém* [38]. Tyto dlouhodobě zajišťují recyklaci většiny elektrozařízení ze 3. skupiny [11], do které spadají i mobilní telefony, a výsledky by proto v jejich případě měly být nejbližší skutečnosti.

Tab. 11 Stanovení nákladů na recyklaci

Společnost	Asekol a.s.			REMA Systém, a.s.		
	N (tis. Kč)	Q (t)	n (Kč/kg)	N (tis. Kč)	Q (t)	n (Kč/kg)
2011	204 444	17 652	11,6	56 162	5 172,8	10,9
2012	184 200	17 139	10,7	56 924	4 891,3	11,6
2013	186 908	15 692	11,9	66 874	4 184,4	16,0
2014	212 363	16 981	12,5	65 434	5 070,9	12,9
2015	240 324	17 743	13,5	88 022	9 671,8	9,1
2016	229 827	19 554	11,8	115 930	14 511,8	8,0
Průměr			12,0			11,4
			Celkem			11,7 Kč/kg

Vysvětlivky:

N – provozní náklady společnosti ; *Q* – množství zpracovaného elektroodpadu

Pro zhodnocení rentability zahrnutí ruční demontáže do procesu recyklace jsem určil dobu demontáže (viz kapitola 5.4) a vypočetl odpovídající osobní náklady. Vycházel jsem z minimální zaručené hodinové mzdy v 2. kategorii, která činí 80,80 Kč/hod hrubého. Tuto jsem přepočítal na mzdu superhrubou, která je o 34 % vyšší (9 % zdravotní + 25 % sociální pojištění zaměstnavatele) a představuje vlastně náklad zaměstnavatele na zaměstnance.

Tab. 12 Stanovení nákladů na demontáž

Rozsah demontáže	Čas (min)	Normohodiny	Cena práce (Kč/hod)	Náklady (Kč)
Pouze baterie a displej	6	0,10	108,3	10,8
Celý telefon	17	0,28		30,7

Poznámky: Doby demontáže získané v části 5.4
Cena práce = (80,80 · 1,34) Kč/hod = 108,3 Kč/hod

7.3 Stanovení hodnoty materiálů obsažených v mobilním telefonu

Aby bylo možné zhodnotit výhodnost recyklace mobilních telefonů, bylo nejdříve nutné stanovit hodnotu v nich obsažených materiálů. Sestavil jsem proto tabulku cen nejvýznamnějších surovin. K přepočtu jsem použil kurzy ČNB platné k 1.3.2018: 1 USD = 20,898 CZK, 1 EUR = 25,435 CZK [29]

Tab. 13 Cena materiálů, leden 2018

Materiál	Cena		Zdroj dat
	USD/g	CZK/g	
Zlato	41,94	876,5	moneymetals.com
Stříbro	0,55	11,5	
Palladium	34,22	715,1	
	USD/lb	CZK/kg	
Měď	3,275	150,9	tradingeconomics.com
Hliník	1,02	47,0	infomine.com
	USD/t	CZK/kg	
Ocel	578	12,1	steelbenchmarker.com
	EUR/kg	CZK/kg	
ABS/PC	1,12	28,5	plasticker.de
	USD/kg	CZK/kg	
Olovo	2,545	53,2	infomine.com
Cín	20,16	421,3	

Pozn.: v případě ABS/PC nejde o cenu na burze, ale o průměrnou hodnotu skutečných nabídek

Tab. 14 Cena materiálů, předpověď pro rok 2020 (ve stálých cenách)

Materiál	Cena		Zdroj dat
	USD/g	CZK/g	
Zlato	1199	805,7	©World Bank [40]
Stříbro	16,6	11,2	
Palladium	1038	697,5	statista.com
	USD/t	CZK/kg	
Měď	6181	129,2	©World Bank
Hliník	1981	41,4	
	USD/t	CZK/kg	
Olovo	2435	50,9	©World Bank
Cín	20579	430,1	

V tabulce 14 jsou zobrazeny ceny některých ze zmíněných materiálů předpovídané pro rok 2020. Je vidět, že u většiny z nich jsou očekávány poklesy cen. Toto se projeví nižšími výnosy z prodeje recyklovaných surovin. Nejvýznamnější je pokles v případě zlata, které má v mobilním telefonu nejvyšší poměrnou hodnotu, viz dále (tabulka 15).

7.4 Výtěžnost recyklace

Protože většina recyklačních procesů je zaměřena na vytěžení drahých kovů, do výpočtů zahrnují 99% výtěžnost a 99,9% (teoreticky 100%) čistotu (viz 4.4 a 4.5), kterých lze u chemických postupů dosáhnout (viz kap. 4.5).

Při mechanickém zpracování DPS je možné dosáhnout 97% výtěžnosti mědi a separace jediným průchodem HFECs (viz kap. 4.7) umožňuje získat 90 % obsaženého hliníku v 85% čistotě. [18]

Výtěžnost recyklace plastů (ABS, PC/ABS) jsem stanovil na 80 %, což je cílová hodnota evropského projektu *CloseWEEE* zaměřeného mj. právě na zvýšení výtěžnosti plastů z elektroodpadu. [33] Čistota získané suroviny je u některých metod až 95 % při procesu zpracování výstupů mechanické recyklace [34] a teoreticky 100 %* v případě dílů demontovaných ručně. Díky vysoké čistotě jsou získané materiály blízké původní surovině, a proto do výnosu zahrnují nesníženou cenu této suroviny.

**Pozn.: 100% čistota ve smyslu, že surovina neobsahuje jiné složky ze zpracovávaného materiálu, jinak je nutné brát v úvahu příměsi v samotných konstrukčních dílech (např. retardanty hoření), od kterých je případně nutné plasty dále očistit.*

Tab. 15 Obsah materiálů a jejich hodnota (v 1000 mobilních tel.)

Materiál	Měrná jednotka	Obsah	Cena za jednotku (CZK)	Hodnota (CZK)
Au	g	42	876,5	36 811,4
Ag	g	168	11,5	1 931,0
Pd	g	24	715,1	17 163,1
Cu	kg	15,6	150,9	2 353,8
Al	kg	2,4	47,0	112,8
Fe (Ocel)	kg	6	12,1	72,5
ABS/PC	kg	34,8	28,5	991,4
Pb	kg	0,36	53,2	19,1
Sn	kg	0,6	421,3	252,8

Celková hodnota materiálů obsažených v 1 tisíci mobilních telefonů je podle tabulky 15 přibližně 59 700 Kč. Pokud k výpočtu použijeme ceny z tabulky 14, tedy ceny předpovídané pro rok 2020, dostaneme hodnotu 55 900 Kč. Výnosy z prodeje surovin (tabulka 16) získaných běžnou materiálovou recyklací pak vycházejí nižší o cca 3000 Kč, tedy 3 Kč z jednoho mobilního telefonu. Takový pokles však nemá na konečné závěry vliv a proto ho dále při hodnocení neuvažují.

Tab. 16 Výnosy z prodeje surovin

Materiál	Výtěžnost (%)	Čistota (%)	Konečný výnos	Odpad (%)
Au	99	99,9	29 154,6	< 1
Ag	99	99,9	1 529,3	< 1
Pd	99	99,9	13 593,2	< 1
Cu	97	99	1 826,6	< 3
Al	90	85	71,1	10
Fe (Ocel)	90	90	45,7	10
ABS/PC	80 / 95	95 / 100	793,1 / 941,8	20 / 5
Pb	90	99	13,8	10
Sn	90	99	182	10

Způsob stanovení výnosů z prodeje je znázorněn v tabulce 17, prodejní cenu jsem vypočítával z **80 %** ceny dané suroviny na burze, v případě materiálů s nižší čistotou (*Al*, *Fe*) pak **70 %**. V případě plastů reprezentuje hodnota získaného materiálu přímo skutečnou prodejní cenu a korekce tedy není nutná. Dvě rozdílné hodnoty pak znázorňují rozdíl mezi surovinou separovanou z drti a plastovými díly demontovanými ručně. Ruční demontáž umožňuje získat více plastu s vyšší čistotou, což je zachyceno mírně vyšším výnosem.

Tab. 17 Postup výpočtu výnosů

Suroviny	Výpočet výnosu
Čistota > 99 %	0,8 . Hodnota . Výtěžnost
Čistota ≤ 90 %	0,7 . Hodnota . Výtěžnost
ABS/PC	Hodnota . Výtěžnost

7.5 Zhodnocení materiálové a součástkové recyklace

V tabulce 19 jsou shrnuty dříve získané hodnoty, konkrétně náklady na zpracování mobilních telefonů a výnosy z prodeje surovin a součástek. V případě nákladů jde o hodnoty při zpracování 1000 telefonů materiálovou recyklací a dále při zahrnutí ruční demontáže. Pro výpočty je jako dříve uvažována průměrná hmotnost mobilního telefonu 120 g. Výnosy jsou sumou hodnot z tabulky 16 a v případě součástkové recyklace je do výpočtu zahrnuta prodejní cena součástek 120 Kč (40 Kč baterie + 80 Kč displej) z jednoho mobilního telefonu. Tyto hodnoty jsem zvolil po prohlédnutí cen, za které je možné reálně součástky ze starších mobilních telefonů v dnešní době zakoupit. Jde o spodní hranici, a tedy o ceny součástek z telefonů starších než 8 let, které se k recyklaci dostávají častěji (jak bylo popsáno v kapitole 2). Graf 9 dále zobrazuje výsledné zisky vztažené na jeden mobilní telefon.

Tab. 18 Způsoby recyklace

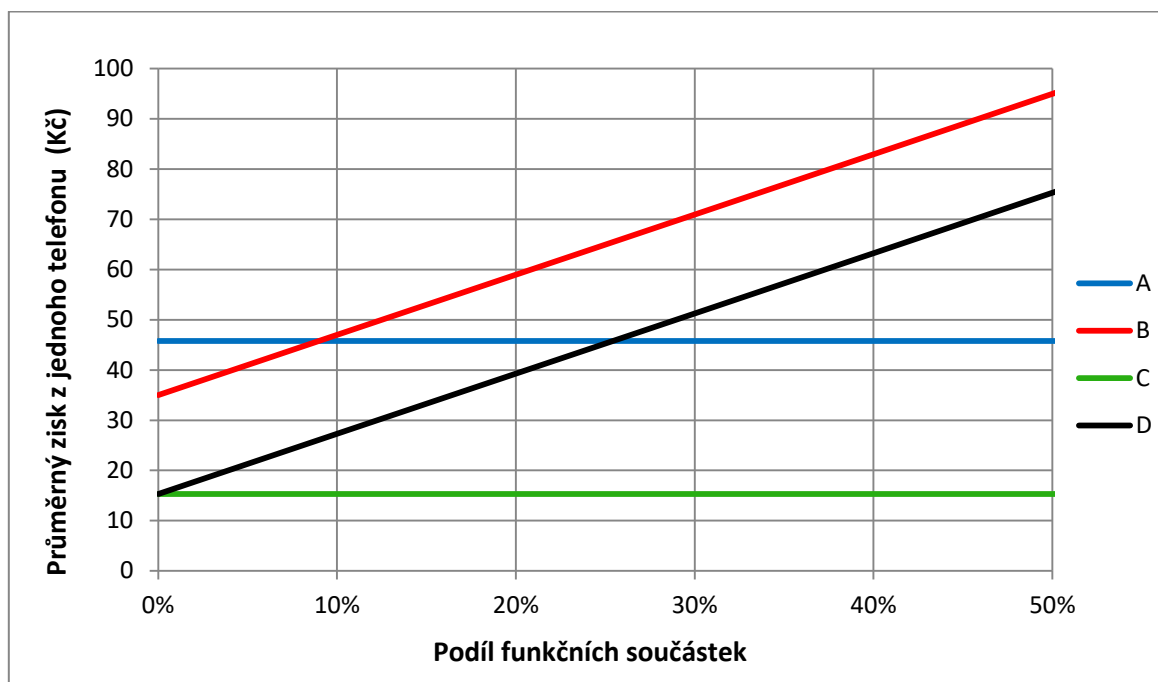
Způsob recyklace	
A	Materiálová
B	Materiálová s demontáží součástek
C	Materiálová s ruční demontáží telefonů
D	Materiálová s ruční demontáží a využitím součástek

Tab. 19 Porovnání výnosů a nákladů jednotlivých způsobů recyklace (1000 mobilních telefonů)

	Výnosy (Kč)	Náklady Kč	Zisk (Kč)
A	47 209	1 405	45 804
B	47 209 + a.120 000	12 232	34 977 + a.120 000
C	47 358	32 082	15 276
D	47 358 + a.120 000	32 082	15 276 + a.120 000

Pozn.: a (%) – podíl využitelných součástek

Graf 9 Závislost zisku recyklace na množství využitelných součástek



Provedené srovnání nákladů a výnosů (graf 9) ukazuje, že získávání displejů a baterií z mobilních telefonů se vyplatí od výtěžnosti cca 10 % funkčních součástek. Při hodnocení je však nutné zvážit další faktory. Prvním je potenciální odbyt těchto součástek, případně možnost poptávku po nich vytvořit, tedy jestli existují nebo mohou vzniknout firmy zabývající se využitím takto nabytých součástek.

Zadruhé je potřeba si uvědomit, že podíl využitelných součástek, např. 20 %, je stále pouze poměrné číslo nic neříkající o jejich skutečném množství. Pro možnost navržení vhodného řešení využití součástek (viz kap. 5) je zapotřebí mít k dispozici jejich dostatečné množství s podobnými parametry. Recyklované mobilní telefony mohou být ale velmi různorodé (typem telefonu i jeho stářím). Velmi různorodé mohou tedy být i z nich získané součástky. Důležitým faktorem je tím pádem celková míra sběru elektroodpadu v dané zemi, při nedostatečném počtu shromážděných mobilních telefonů nemusí být výhodné pro tak malé množství nějaké řešení navrhnout. Vzhledem k obecně nízké míře sběru vysloužilých mobilních telefonů (v ČR pouze 5 % [36]), by takovýto systém byl relevantní spíše v rámci většího celku (v našem regionu např. v rámci střední Evropy nebo celé EU).

Pokud jde o konečné zhodnocení nakládání s vyřazenými mobilními telefony, prvním závěrem je, že materiálová recyklace mobilního telefonu je proces ziskový. Jak je vidět v tabulce 19, náklady na recyklaci jsou výrazně nižší než výnosy z prodeje získaných surovin, kdy je možné dosáhnout zisku z jednoho mobilního telefonu až cca 45 Kč. Dále je vidět, že začlenění ruční demontáže celého telefonu do procesu přináší výrazné zvýšení nákladů. Takový postup materiálové recyklace je tedy méně výhodný. Nakonec lze konstatovat, že pokud existuje poptávka po stále funkčních součástkách, pak jejich prodej představuje způsob, jak z mobilních telefonů vytěžit vyšší hodnotu než pouhou recyklací materiálovou.

Závěr

V rámci této bakalářské práce jsem shrnul aspekty nakládání s elektroodpadem a nastínil problematiku mobilních telefonů a metod, jakými je možné vysloužilé mobilní telefony zpracovávat a recyklovat. V praktické části práce je potom provedeno zhodnocení recyklace z ekologického hlediska, metodou Top Twenty, a z hlediska ekonomického, porovnáním nákladů a výnosů procesů recyklace.

Závěrem ekologického hodnocení je, že samotný recyklační proces zatěžuje životní prostředí a je tedy vhodné volit metody zpracování elektroodpadu s nejnižším dopadem na ŽP. Z porovnání metod vyplývá, že mechanické postupy jsou méně škodlivé a jsou tedy vhodnější. Termicko-chemické postupy je vhodné využívat pouze v nezbytné míře, k získávání kovů obsažených v malém množství.

Z ekonomického hodnocení vyplývá, že materiálová recyklace mobilního telefonu je proces ziskový a dále, že prodej funkčních součástek je jednou z cest, jak z vyřazených mobilních telefonů vytěžit větší hodnotu. Z pouhého srovnání výnosů a nákladů součástkové recyklace vychází, že proces demontáže baterií a displejů a jejich následného využití/prodeje je výhodný. Pro úspěšné zavedení takového procesu je však nutná recyklace dostatečného množství mobilních telefonů a existence poptávky po získaných komponentech.

Seznam zdrojů a literatury

- [1] Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů, č. 185/2001 Sb.
Online: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185>
- [2] Novela zákona o odpadech č. 229/2014 Sb.
Online: <http://www.caoh.cz/data/article/sb0096-2014.pdf>
- [3] Příručka pro zpracovatele OEEZ, Česká asociace odpadového hospodářství
Online: <http://www.cir.cz/prirucky-k-oeez/482659/1833660>
- [4] Kolektivní systémy OEEZ, Ministerstvo životního prostředí
Online: https://www.mzp.cz/cz/kolektivni_systemy_oeez
- [5] Vyhláška č. 352/2005 Sb., o nakládání s elektrozařizováními a elektroodpady
Online: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-352>
- [6] Proč recyklovat, OFO - recycling s.r.o.
Online: <http://www.oforec.cz/index.php?id=21>
- [7] REMA Systém, a.s.; Ceník recyklačních poplatků platný od 1. 4. 2016
Online: <http://www.remasystem.cz/dovozci-a-vyrobci/cenik/>
- [8] RETELA, s.r.o.; Vzorový základní sazebník
Online: http://www.retela.cz/sites/RetelaCz/Resources/public/repository/Smlouva_EEZ_Priloha_2.pdf
- [9] OFO - recycling s.r.o.; Ceník poplatků platný od 1.4.2015
Online: http://www.oforec.cz/UserFiles/File/cenik_2015.pdf
- [10] Vybavenost českých domácností ICT, Český Statistický Úřad
Online: https://www.czso.cz/csu/czso/vybavenost_ceskych_domacnosti_ict
- [11] Vybrané ukazatele odpadového hospodářství v oblasti odpadních elektrických a elektronických zařízení, Ministerstvo životního prostředí, Odbor odpadů
- [12] POLÁK, Miloš, DRÁPALOVÁ, Lenka ; *Estimation of end of life mobile phones generation: The case study of the Czech Republic*, Waste Management, 2012, ISSN: 0956-053X
- [13] Ari, Vidyadhar. (2016). „A Review of Technology of Metal Recovery from Electronic Waste“; *E-Waste in Transition - From Pollution to Resource*
DOI: 10.5772/61569
- [14] Pia Tanskanen (2012). Electronics Waste: Recycling of Mobile Phones; *Post-Consumer Waste Recycling and Optimal Production*, Prof. Enri Damanhuri (Ed.), ISBN: 978-953-51-0632-6, InTech, Available from:
http://cdn.intechopen.com/pdfs/37110/InTechElectronics_waste_recycling_of_mobile_phones.pdf
- [15] Yu, J., E. Williams and M. Ju (2010), “Analysis of Materials and Energy Consumption of Mobile Phones in China,” *Energy Policy* 38: 413-4141.
DOI: 10.1016/j.enpol.2010.03.041

- [16] Gupta, Shubham & Modi, Gaurav & Saini, Rahul & Agarwala, Vijaya. (2014). „A review on various electronic waste recycling techniques and hazards due to its improper handling.“
International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES). 3. 05-17.
ISSN (Online) 2319-183X
- [17] Luga A, Morar R, Samuila A, Dascalescu L, *Electrostatic separation of metals and plastics from granular industrial wastes.*, IEE Proceedings- Science, Measurement and Technology, Vol. 148, 2001, p. 47-54.; DOI: 10.1049/ip-smt:20010356
- [18] J. Li, P. Shrivastava, Z. Gao and H. C. Zhang, *Printed Circuit Board Recycling: A State-of-the-Art Survey*, IEEE Transactions on Electronic Packaging Manufacturing, Vol. 27, 2004, p. 33-42.; DOI: 10.1109/TEPM.2004.830501
- [19] Hanafi J, Jobiliong E, Christiani A, Soenarta D.C., Kurniawan J, Irawan J, *Material Recovery and Characterization of PCB from Electronic Waste*, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 57, 2012 p. 331-338.; DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.09.1194
- [20] Gasification and Syngas Technologies Council,
Online: <http://www.gasification-syngas.org/applications/gasification-vs.-pyrolysis/>
- [21] ŠEJVL, Radovan: *Energie z odpadů II*. Biom.cz [online]. 2013-04-01; ISSN: 1801-2655. Online: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/energie-z-odpadu-ii>
- [22] Hagelüken, Christian. (2006). *Recycling of Electronic Scrap at Umicore's Integrated Metals Smelter and Refinery*, World of Metallurgy - ERZMETALL. 59. 152-161.
- [23] B. Xu, A. Oudalov, A. Ulbig, G. Andersson and D. Kirschen (2016), "Modeling of Lithium-Ion Battery Degradation for Cell Life Assessment," , IEEE Transactions on Smart Grid
DOI: 10.1109/TSG.2016.2578950
- [24] Buchmann, I. (2001). *Batteries in a portable world: a handbook on rechargeable batteries for non-engineers*. Cadex Electronics Inc.
ISBN: 0968211828
- [25] Diouf B. (2016). „A second life for mobile phone batteries in light emitting diode solar home systems“ , Journal of Renewable and Sustainable Energy 8, ISSN: 1941-7012
Dostupné online: <https://doi.org/10.1063/1.4944967>
- [26] Sije, A & Ochieng, P.A.. (2013). *Cell phone disposal and strategic evaluation of electric waste management*. European Journal of Business and Innovation Research. 1. 1-8.
- [27] Sawanishi, Hideyuki & Torihara, Kenta & Mishima, Nozomu. (2015). *A Study on Disassemblability and Feasibility of Component Reuse of Mobile Phones*. Procedia CIRP. 26. 740-745. 10.1016/j.procir.2014.07.090.
- [28] GSMA (2012) *Recycling of Network Equipment and Mobile Phones*
Dostupné online: <https://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2012/03/environrecycling.pdf>

- [29] Kurzovní lístek ČNB, historie kurzů měn
Online: <https://www.kurzy.cz/kurzy-men/historie/>
- [30] Fairphone, Online: <https://www.fairphone.com>
- [31] Jianjie Fu, Qunfang Zhou, Jiemin Liu, Wei Liu, Thanh Wang, Qinghua Zhang, Guibin Jiang, *High levels of heavy metals in rice from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health*, Chemosphere Vol.71 (2008), Pages 1269-1275, ISSN 0045-6535
- [32] Jakub Szałatkiewicz, *Metals Content in Printed Circuit Board Waste*, Pol. J. Environ. Stud. Vol. 23, No. 6 (2014), 2365-2369
Online: <https://www.pjoes.com/pdf/23.6/Pol.J.Environ.Stud.Vol.23.No.6.2365-2369.pdf>
- [33] *Integrated solutions for pre-processing electronic equipment, closing the loop of post-consumer high-grade plastics, and advanced recovery of critical raw materials antimony and graphite*, CloseWEEE Report Summary,
Online: https://cordis.europa.eu/result/rcn/192928_en.html
- [34] M. Schlummer, F. Wolff and A. Mäurer, "Recovery of PC/ABS from WEEE plastic shred by the CreaSolv® process," 2016 Electronics Goes Green (EGG), pp. 1-6.
DOI: 10.1109/EGG.2016.7829841
- [35] Mikoláš J., Řezníček B.: *Ekologické hodnocení a navrhování procesů*, SNTL 1992
- [36] REMA Systém, Článek online: https://www.remasystem.cz/wp-content/uploads/inthedia/31.7.2013_statisticky.cz.pdf
- [37] Výroční zprávy 2011 až 2016, Asekol a.s.
Dostupné z: <http://www.asekol.cz/asekol/o-nas/vyrocnizprava/>
- [38] Výroční zprávy 2011 až 2016, REMA Systém a.s.
Dostupné z: <https://www.remasystem.cz/rema-system/ke-stazeni/>
- [39] KUDLÁČEK, I. *Metodika čistší produkce* (prezentace)
- [40] *Commodities Price Forecast*, World Bank, October 26, 2017
Online: <http://pubdocs.worldbank.org/en/678421508960789762/CMO-October-2017-Forecasts.pdf>

Seznam tabulek

<i>Tab. 1</i>	Provozovatelé kolektivních systémů	3
<i>Tab. 2</i>	Aktuální výše recyklačního poplatku za mobilní telefony.....	4
<i>Tab. 3</i>	Průměrný obsah kovů a jejich poměrná hodnota v typickém mobilním telefonu	9
<i>Tab. 4</i>	Vliv teploty skladování na celkovou dostupnou kapacitu Li-ion baterie po jednom roce skladování.....	18
<i>Tab. 5</i>	Změřené doby demontáže	21
<i>Tab. 6</i>	Definice vstupů a výstupů procesů.....	23
<i>Tab. 7</i>	Zhodnocení negativních dopadů	24
<i>Tab. 8</i>	Obsah nejvýznamnějších surovin v mobilním telefonu	27
<i>Tab. 9</i>	Odhad množství materiálů obsažených v mobilních telefonech prodaných ve světě mezi lety 2007 a 2017.....	27
<i>Tab. 10</i>	Množství zlata obsažené v prodaných mobilních telefonech vztažené ke světové produkci v daném roce.....	28
<i>Tab. 11</i>	Stanovení nákladů na recyklaci	28
<i>Tab. 12</i>	Stanovení nákladů na demontáž	29
<i>Tab. 13</i>	Cena materiálů, leden 2018	29
<i>Tab. 14</i>	Cena materiálů, předpověď pro rok 2020 (ve stálých cenách)	30
<i>Tab. 15</i>	Obsah materiálů a jejich hodnota (v 1000 mobilních tel.).....	31
<i>Tab. 16</i>	Výnosy z prodeje surovin	31
<i>Tab. 17</i>	Postup výpočtu výnosů	32
<i>Tab. 18</i>	Způsoby recyklace	32
<i>Tab. 19</i>	Porovnání výnosů a nákladů jednotlivých způsobů recyklace	32

Seznam grafů

<i>Graf 1</i>	Vývoj množství mobilních telefonů v českých domácnostech.....	5
<i>Graf 2</i>	Prodeje mobilních telefonů	5
<i>Graf 3</i>	Příklad vývoje množství mobilních telefonů na trhu - Čína.....	6
<i>Graf 4</i>	Odhad množství generovaných EoL mobilů v ČR a Norsku	6
<i>Graf 5</i>	Příklad pravděpodobnostního rozložení stáří EoL mobilních telefonů.....	7
<i>Graf 6</i>	Pokles celkové kapacity Li-ion baterie pro různé způsoby nabíjení.....	17
<i>Graf 7</i>	Rozložení dopadů recyklace termicko-chemickou cestou	25
<i>Graf 8</i>	Rozložení dopadů recyklace mechanickými metodami.....	26
<i>Graf 9</i>	Závislost zisku recyklace na množství využitelných součástek	33