

OVEROVANIE RECYKLAČNEJ DEMONTÁŽE VYBRANÝCH DRUHOV ELEKTRONICKÝCH VÝROBKOV

RECYCLING DISASSEMBLY MEASUREMENT OF CHOSEN ELECTRONIC PRODUCTS

Ing. Daniela Bánociová

Technická univerzita v Košiciach

Strojnícka fakulta

Katedra manažmentu a ekonomiky

Park Komenského 9, 041 89 Košice

daniela.banociova@tuke.sk

Abstract

Preservation and environment protection of the resources has become one of the important tasks for the producing-industry because of the increasing waste, the deficiency of landfills and declining of resources.

Disassembly of products in the end-of-life phase acts as a recycling technique that match these environment friendly demands.

This article presents an disassembly experiment of chosen electronic products - mobile phones. There is analysed particular method of disassembly in technological and economic aspect. Compare to theoretical parameters, experiment results in following tentative conclusion.

Key words: disassembly, obsolete products

Úvod

Spektrum výrobných prostriedkov využívaných v demontáži dožitých výrobkov je rôzne z hľadiska množstva funkcií, technických a technologických parametrov, morálnej opotrebovanosti a pod., čo ovplyvňuje ekonomickú efektívnosť demontáže spracovaných dávok. Vo fáze dožitia výrobku je odhad demontážnych/recyklačných nákladov ako aj projektovanie potrebných opatrení hlavnou činnosťou. Pre každý výrobok pri aktuálnych obmedzujúcich podmienkach je potrebné projektovať optimálny postup jeho recyklačnej demontáže. Pre demontovateľné výrobky musí byť naprojektovaný priebeh demontážnych procesov ako aj dimenzovanie demontážnych systémov.

V súčasnosti spravidla chýbajú v demontážno recyklačných prevádzkach detailné informácie o výrobkoch. Jednak preto, že výrobcovia sú v tom málo zainteresovaní a prevádzky nemajú k dispozícii informácie o ich konštrukcii a ich know-how. Časový interval medzi fázami vzniku výrobku a recykláciou je potrebné preto minimalizovať a optimalizovať. Pre recyklačnú demontážnu činnosť sa získavajú chýbajúce informácie najmä demontážou (rozkladom) vzoriek (modelov) výrobkov.

Pri súčasných obmedzujúcich podmienkach heterogénneho spektra výrobkov môže byť tento spôsob z hľadiska úspor času a nákladov efektívny.

Vo väčšine demontážno recyklačných prevádzok sa vykonáva manuálna demontáž výrobkov na samostatných pracoviskách. Automatizované riešenia nie sú spravidla aplikované. Inovačný potenciál, získavaný prostredníctvom znalostí o štruktúrovanej demontáži, sa ešte len objavuje. Vplyvom nevyhovujúceho dispozičného riešenia, ktoré nezohľadňuje špecifika využívaných demontážnych prostriedkov, je materiálový tok v prevádzke spravidla často vysoko nákladný.

Významnou úlohou je preto na základe analýzy charakteristík demontáže dožitých výrobkov a konkrétnych obmedzujúcich podmienok projektovať efektívne a nízkonákladové demontážne postupy a procesy. Optimálna demontáž a demontážne postupy z tohto pohľadu nemusia byť zhodné s postupmi, ktoré boli stanovené ešte pri vývoji výrobkov.

Charakteristiky procesu recyklačnej demontáže

Východiskovým bodom pre projektovanie recyklačnej demontáže je zobrazenie modelu výrobku ako aj realizačného prostredia prostredníctvom využívania vhodnej databanky informácií. Na základe toho sa môžu stanoviť parametre projektovania:

Čas demontáže: Potrebný je na rozpojenie väzieb výrobku. Zahŕňa v sebe čas určený na uvoľňovanie väzieb spojovacích prvkov, konštrukčných celkov a obsluhu náradia.

Náklady na demontáž: Vyplývajú zo závislosti času demontáže od pracovnej hodiny a z nákladov, ktoré vznikli odstraňovaním nepoužitelných alebo použitelných častí.

Stupeň demontáže: Detailnosť demontáže je vyjadrovaná stupňom, resp. mierou demontáže. Časti výrobku určené na recykláciu realizovanú rovnakým spôsobom sú zahrnuté do jednej skupiny. Pri určovaní detailnosti demontáže je potrebné zohľadňovať vplyv separovania od nebezpečných a škodlivých látok, prípustnosť obmedzení, možnosť nedeštruktívneho delenia použiteľných častí výrobku ako aj rozhodovanie medzi demontážnymi a materiálovými nákladmi.

Demontážne sekvencie (postupnosť):

Opisujú možné poradie rozoberania časti výrobkov. Demontážne sekvencie sa môžu zaznamenávať do matice, v ktorej sú zadané podmienky stavu pred a po demontáži. Z matice je možné zostrojiť graf detailnosti rozobratia, ktorý zahŕňa realizovateľný stupeň rozobratia demontovaných výrobkov [].

Vo fáze dožitia výrobku možno na základe využitia týchto charakteristík demontážneho procesu stanoviť optimálny recyklačný postup, podľa ktorého sa zrealizuje demontáž. Pre riešenie sú vhodné aj metódy tvorenia skupín recyklačne podobných výrobkov a postupy prostredníctvom ktorých sa overuje činnosť demontážnych systémov na základe simulácie.

Organizácia a plánovanie demontáže

Prevládajúcou organizačnou štruktúrou v demontáži je manuálna činnosť realizovaná na samostatných pracovných miestach. Táto organizácia demontáže sa vyznačuje pasívnymi (nepohyblivými) objektmi demontáže, ktoré sú spracovávané na stacionárnych pracovných miestach. Pracovné miesta (pracoviska resp. stanice) vytvárajú demontážny systém, sú navrhnuté pre demontáž príslušných druhov výrobkov a sú vybavené potrebným pracovným náradím (nástroje, prípravky, dopravníky, prívod energie a pod.).

Demontáž na samostatných pracoviskách je výhodná hlavne pri relatívne heterogénnych, jednoducho rozložiteľných výrobkoch s relatívne málo rozdielnymi uzlami, súčiastkami a materiálmi. Problematickou stránkou pri demontážnych linkách je závislosť a podriadenosť od demontážnych sekvencií (postupností). Len pri homogénnom spektre dožitých výrobkov s podobnou prácnosťou môže dôjsť k výraznému zníženiu vzniku rodielných skupín a zjednoteniu demontážnych činností v rámci pracoviska resp. systému.

Stanovenie demontážnych sekvencií je potrebné realizovať po vypracovaní demontážneho postupu. V demontáži je možné vypracovať niekoľko variantov demontážnych postupov, pretože tu neexistuje toľko obmedzení ako v montáži. Pre dimenzovanie demontážneho systému vzhľadom na štruktúru materiálového toku má určenie prácnosti a návrh demontážnych postupov pre jednotlivé pracoviska značný význam. Prioritným cieľom je redukovanie vzniku veľkého počtu rozdielných demontovaných častí a minimalizácia potrebného náradia na pracoviskách. Týmto sa zníži čas na dopravu a roztriedenie ako aj efektívnejšie sa dá využiť použité náradie a obmedziť časť výmena nástrojov, resp. ich prestavovanie. K tomu sa musí zaistiť rovnomerné vyťaženie pracovísk.

Pre systematické zohľadňovanie rozdielných demontážnych sekvencií a pre stanovenie prácnosti v rámci určeného počtu

združených pracovných miest je rozvíjaná metodika rozhodovania.

Experimentálne overovanie demontážnych postupov v laboratórnych podmienkach

Recyklačná demontáž vybraných druhov elektrotechnických a elektronických výrobkov je realizovaná aj v laboratórnych podmienkach SJF TU v Košiciach. Typickým príkladom rýchlo dožívajúcich výrobkov sú mobilné telefóny.

Z hľadiska určenia efektívnosti demontáže mobilných telefónov, je realizovaná experimentálna demontáž vybraných druhov výrobkov. Demontáž je v prvej etape vykonávaná manuálne, so štandardnými nástrojmi. Analyzovanými ukazovateľmi v tomto prípade sú: čas demontáže, náročnosť demontáže a materiálová štruktúra zariadení. Príklady výsledkov z realizovaných a vyhodnocovaných experimentov sú v uvedené v tab.1 až tab.6.

Príklady výsledkov z recyklačnej demontáže

Príklad časovej a hmotnostno – štruktúrna analýzy demontáže výrobku model LG C1200 je v tab.1 a tab.2.



Rozmery	82 x 45 x 22 mm
Hmotnosť	81 g
Displej	STN, 65 tis. farieb 128 x 160 pix
Batéria	Li-Ion, 760 mAh
K dispozícii	Od roku 2004

Tab.1 Časová štúdia demontáže mobilného telefónu

Operácia	nástroj	čas (s)
Odobratie batérie	ručne	00:01,8
Odobratie antény, odskrutkovanie zadných skrutiek	ručne, skrutkovač	00:26,7
Odobratie zadného krytu	ručne, skrutkovač	00:12,7
Očistenie zadného krytu od gumených častí a zbytkov konektorov	ručne	00:37,7
Rozmontovanie displeja (zadná strana)	skrutkovač	01:30,0
Očistenie zadného krytu displeja od gumených častí	ručne	00:27,5

Odobratie dosiek plošných spojov od predného krytu	Kliešte	00:28,1
Odobratie zbytkových častí z krytu	skrutkovač, kliešte	01:46,5
Odobratie plastových častí z displeja	ručne, kliešte	00:43,9
	Σ	06:14,9

Tab. 2 Hmotnostno – štruktúrna štúdia

Názov súč.	Hmot. [g]	Z celkovej hmot. [%]	Materiálová skupina	Kategória odpadu
plastové kryty	21,9	27,121%	termoplast	O
batéria	23	28,483%		O
anténa	1,94	2,402%		O
dosky plošných spojov	15,84	19,616%		O
klávesnica	2,65	3,282%	termoplast	O
prieľadný kryt displeja	2,7	3,344%	plexisklo	O
ozdobné zrkadielko	0,55	0,681%	termoplast	O
obruba displeja	0,75	0,929%	termoplast	O
displej	4,26	5,276%		O
fólie displeja	0,49	0,607%		O
kryt displeja	1,11	1,375%	plexisklo	O
gumové tesnenie	0,7	0,867%	guma	O
skrutky	0,56	0,693%	ocel'	O
gumové prvky	0,25	0,310%	guma	O
zbytkové časti	4,05	5,015%		O
Σ	80,75			

Hmotnosť výrobku deklarovaná výrobcom bola v primeranej odchýlke nameraná aj v laboratórnych podmienkach.

Príklad časovej analýzy demontáže modelu Siemens A55 je v tab.3.



Rozmery	101 x44x 21 mm
Hmotnosť	84 g
Displej	Monochrom., 101x64 pix
Batéria	Li-Ion, 700 mAh
K dispozícii	Od roku 2003

Tab. 3 Príklad časovej analýzy demontáže mobilného telefónu model Siemens A55

Operácia	nástroj	čas (s)
Odobratie zadného krytu	ručne	00:01,4
Odobratie batérie	ručne	00:01,0
Odobratie predného krytu	ručne	00:01,4
Odobratie gumenej klávesnice	ručne	00:00,6
Odrhnutie predného plechového krytu	kliešte, skrutkovač	00:28,7
Odrhnutie dosky plošného spoja od zadného krytu	kliešte, skrutkovač	00:19,6
Očistenie zadného krytu od pripojených súčiastok	skrutkovač, ručne	00:35,2
Odstránenie tieniacich plechov z dosky plošných spojov	kliešte, skrutkovač	00:11,4
Odobratie držiakov tieniacich plechov z dosky	kliešte	00:26,3
Očistenie priesvitného plastového dielu od zbytkových súčiastok	ručne	00:35,7
	Σ	02:41,3

Príklad hmotnostno – štruktúrnej analýzy modelu Siemens C 35 je v tab.4.



Rozmery	118 x46x 21 mm
Hmotnosť	110 g
Displej	Monochrom., 101x54 pix.
Batéria	NiMH, 500 mAh
K dispozícii	Od roku 2000

Tab. 4 Hmotnostno – štruktúrna analýza

Názov súčiastky	Hmotnosť [g]	Z celkovej hmot. [%]	Materiál. skupina	Kat. odpadu
plastové kryty	28,4	26,77%	termoplast	O
batéria	32,85	30,96%		O
anténa	0,25	0,24%	ocel'	O
dosky plošných spojov	19,15	18,05%		O
klávesnica	4,55	4,29%	guma	O
prieľadný kryt displeja	3,75	3,53%	plexisklo	O
displej	4,7	4,43%		O
tieniace kryty	5,85	5,51%	ocel'	O
rámy tieniacich krytov	3,7	3,49%	ocel'	O
izolácia displeja	0,2	0,19%	guma	O
držiak SIM karty	0,4	0,38%	termoplast	O
zbytkové časti	2,3	2,17%		O
Σ	106,1			

Hmotnosť zariadenia deklarovaná výrobcom s odchýlkou 3,9g nameraná aj v laboratórnych podmienkach.

Teoretické výpočet efektívneho množstva demontovaných telefónov

Z údajov získaných z experimentálnej demontáže je možné špecifikovať priemerné hodnoty pre vzorového predstaviteľa danej výrobkovej skupiny (tab. 5).

Tab. 5 Hmotnosti prvkov (vzorový predstaviteľ)

Teoretický MT		
Materiál	Hmotnosť [g]	Percento hmotnosti
batéria	27,925	28,48%
doska	17,495	19,62%
guma	2,85	1,18%
ocel'	6,15	3,10%
ostatné	7,9	10,90%
plexisklo	3,78	4,72%
termoplast	27,325	32,01%

Priemerný čas potrebný na demontáž mobilného telefónu, podľa informácií uvedených v časových štúdiách (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.1, Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.3**) je 4 minúty a 28,1 sekúnd.

$E_{ef}=3600s$ – efektívny časový fond

$T_{dz}=268,1s$ – čas demontáže zariadenia

M_{dz} – množstvo demontovaných zariadení

$$M_{dz} = \frac{E_{ef}}{T_{dz}}$$

$$M_{dz} = \frac{3600s}{268,1s}$$

$$M_{dz} = 13,43 \text{ ks}$$

Za jednu pracovnú hodinu je tak pracovník v ideálnom prípade schopný demontovať cca 13 kusov mobilných telefónov. Vo výpočte nie sú zahrnuté časy na manipuláciu so zariadením a na výmenu nástroja.

Reálne množstvo takto spracovaných mobilných telefónov závisí na zložitosti konštrukcie telefónu, na typovej štruktúre dodávaných mobilných telefónov a na stupni automatizácie demontáže a od znalosti spôsobov demontáže jednotlivých modelov.

Z nameraných výsledkov je zostavená aj využiteľnosť získaných materiálov recyklačnou demontážou (tab.6).

Tab. 6 Využitelnosť materiálov

Siemens C35			LG C1200		
Materiál	Hmot. [g]	percento	Materiál	Hmot.[g]	percento
Batéria	32,85	30,96%	Termoplast	25,85	32,01%
Termoplast	28,8	27,14%	Batéria	23	28,48%
Doska	19,15	18,05%	Doska	15,84	19,62%
Oceľ	9,8	9,24%	Ostatné	8,8	10,90%
Ostatné	7	6,60%	Plexisklo	3,81	4,72%
Guma	4,75	4,48%	Oceľ	2,5	3,10%
Plexisklo	3,75	3,53%	Guma	0,95	1,18%

Z uvedeného prehľadu je zrejmé, že výrazné percento z hmotnosti výrobku tvorí batéria. Nakladaniu s batériami sa venujú špecializované firmy, pretože batérie ako také sú nebezpečným odpadom.

Najvýznamnejší podiel na hmotnosti výrobkov majú termoplasty, nasledujú dosky plošných spojov. Podiel plexiskla, gumových častí, oceľových častí a ďalších častí je silne závislý na modeli mobilného telefónu.

Záver vyplývajúce z experimentov s demontovanými výrobkami:

- Staršie modely zariadení sa demontujú ľahšie ako nové, sú to skladačky.
- Staršie modely telefónov sú väčšinou len skladané, v ich konštrukcii sa nenachádza, resp. nachádza len minimum spojovacieho materiálu (skrutky).
- Niektorí výrobcovia používajú skrutky s vlastnými hlavami, skrutky nie sú štandardné.
- Nové telefóny sa vyznačujú zložitejšou konštrukciou.
- Nové telefóny obsahujú oveľa viac a oveľa menšie diely ako staré mobilné telefóny.
- V nových telefónoch sa nachádza viac dielov pozostávajúcich z dvoch materiálov, napríklad spojenie plast - kov.
- Demontáž nových typov telefónov je náročnejšia na čas.

Záver

Z vykonaných experimentov vyplýva, že manuálna technológia demontáže nie je dostatočne efektívna. Manuálna demontáž overovaných výrobkov je pomalá, i keď nie je náročná na vybavenie pracovnými pomôckami. Uvedené množstvo demontovaných telefónov za človekohodinu je nepostačujúce a hodnota vyťaženého materiálu nie je dostatočná z hľadiska ekonomickej efektívnosti demontáže.

Experimenty potvrdili predpoklad, že pre recyklačnú demontáž mobilných telefónov nie je vhodná manuálna činnosť. Z hľadiska ekonomickej efektívnosti je potrebné použiť také technológie, ktoré dokážu spracovať veľké množstvo výrobkov za jednotku času a umožnia recyklačné využitie širokého spektra materiálov.

Literatúra

1. CIUPEK, M.: Beitrag zur simulationsgestuetzten Planung von Demontagefabriken fur Elektro- und Elektronikaltgeraete, TU Berlin 2004
2. BÁNOCIOVÁ, D.: Experimentálna demontáž mobilných telefónov, In.: Trendy v systémoch riadenia podniku 2008, ISBN 978-80-553-0115-0
3. KOVÁČ, J., a kol.: Projektová štúdia laboratória projektovania, manažovania a riadenia výroby, Sjf TU v Košiciach, 2005
4. KOVÁČ, J., SVOBODA, M., LÍŠKA, O.: Automatizovaná a pružná montáž. Viena, Košice, 2000
5. FEDORKO, Matúš: Recyklačná demontáž dožitých mobilných telefónov. Bakalárska práca, Košice: Sjf TU v Košiciach, 2008. 48 s.

Príspevok bol pripravený v rámci grantovej úlohy KEGA 3/5208/07 Virtuálne laboratórium pre projektovanie demontážnych systémov dožitých výrobkov.