

Mobilní telefony po skončení životnosti

Management of used & end-of-life mobile phones

Markéta Šerešová¹ | Vladimír Kočí¹ | Miloš Polák²

INFORMACE O ČLÁNKU

DOI

10.3260/ENTECHO.2017.11.004

HISTORIE

Datum doručení: 16. 10. 2017

Datum revize: 29. 11. 2017

Datum akceptace: 30. 11. 2017

AFILACE

¹ VŠCHT Praha

Ústav chemie ochrany prostředí
Technická 5, CZ-166 28 Praha 6

² Retela, s.r.o.

Neklanova 152/44,

128 00 Praha 2 – Vyšehrad

KLÍČOVÁ SLOVA

mobilní telefony,
sběr elektroodpadu, recyklace,
elektroodpad, End of Life

KEYWORDS

mobile phones, collection of
electrowaste, electrowaste,
End of Life

ABSTRAKT

Vzrůstající množství vznikajícího elektroodpadu je celosvětovým problémem moderní doby. Typickým zástupcem malého elektrozařízení je právě mobilní telefon, který je jednou z historicky největších zlomových a celosvětově využívaných technologií v osobní komunikaci. Počet aktivně používaných telefonů celosvětově exponenciálně roste, avšak k recyklaci se jich dostává pouze malé množství. V České republice je to pouze 3–6%, celosvětově pak 10–20%. Přičemž jen v České republice se do roku 2020 předpokládá existence asi 30 milionů mobilních telefonů po skončení životnosti. Malá elektrozařízení po skončení životnosti jsou důležitým odpadním tokem, který v sobě skrývá potenciál recyklace surovin, a má tak svůj význam jednak z hlediska environmentálního a ekonomického, ale i sociálního. Cílem tohoto článku je popsat nakládání s mobilními telefony po skončení životnosti v České republice v kontextu světového výzkumu.

ABSTRACT

The issue of the increasing amount of e-waste is a phenomenon of the 21st century. The typical representative of small electrical equipment is the mobile phone that belongs to the one of the biggest technological and worldwide used breakthrough for personal communication. The amount of EoL mobile phones is growing rapidly but only a small amount is recycled.

1 Úvod

Mezinárodní telekomunikační unie ve své zprávě z roku 2016 odhadovala více než 7 miliard aktivních telefonních SIM karet na světě, což je téměř stejné množství jako počet obyvatel na planetě (International Telecommunication Union, 2015; Soo a Doolan, 2014). V České republice obměňuje každý uživatel mobilního telefonu (MT) toto zařízení průměrně po 2–5 letech, přičemž se předpokládá vznik téměř 30 milionů vysloužilých telefonů do roku 2020. Avšak míra recyklace telefonů je doposud malá, v ČR a ve světě se pohybuje pod 10% (Polák a Drápalová, 2012). Nejobtížnějším úkonem je dle Ministerstva životního prostředí samotné získání vyřazených elektrozařízení od jeho uživatelů (Ministerstvo životního prostředí, 2008).

Mobilní telefon v sobě skrývá celou řadu drahých, pro EU kriticky označených či toxických prvků. Jeho recyklace je důležitá jak z pohledu environmentálního, ekonomického, avšak i sociálního, neboť těžba primárních surovin s sebou nese mj. i celou řadu sociálních problémů (Coulomb et al., 2015; Evropská komise, 2014; Navazo et al., 2014).

2 Počet mobilních telefonů v České republice

V České republice sleduje Český statistický úřad počet MT v českých domácnostech od roku 1999, kdy postupně začaly nahrazovat pevnou telefonní linku. O nárůstu používání mobilních telefonů v českých domácnostech svědčí fakt, že v roce 1999 vlastnilo mobilní telefon 10% domácností, zatímco v roce 2011 vlastnilo alespoň jeden mobilní telefon 97% domácností. Avšak již lze pozorovat zmírnění nárůstu počtu MT z důvodu nasycení trhu v České republice (ČSÚ, 2013), ale i v jiných

vyspělých státech (Sawanishi et al., 2015). V předchozích letech vlastnili telefon převážně lidé mladšího věku s vyššími příjmy, avšak nyní je toto zařízení standardní výbavou napříč všemi věkovými kategoriemi i sociálním postavením ve společnosti. (ČSÚ, 2013). Odhadu množství mobilních telefonů po skončení životnosti (EoL) v ČR se věnoval Polák a Drápalová (2012). Dle nich vzniklo v ČR v období 1990–2000 na 45 tisíc EoL telefonů, v letech 2000–2010 na 6,5 milionů, zatímco od roku 2010 do 2020 se předpokládá vznik 26,3 milionů EoL telefonů.

2.1 Mobilní telefony v domácnostech

Množství vzniklého elektroodpadu z MT statistiky nezaznamenávají. Dle odhadů Poláka a Drápalové (2012) je průměrná doba životnosti MT v České republice 3,63 let. Odhady délky životnosti telefonů se u jiných autorů a v jiných státech liší. V průměru je délka života MT odhadována kratší, a to na 2,5 roku. Pro srovnání např. v Číně byla odhadnuta životnost telefonů na méně než 3 roky (Yin et al., 2014), v dalších státech 2–3 roky (Makdisi, 2011; Sawanishi et al., 2015; Singhal, 2005).

Odhadu vzniku EoL MT v domácnostech v ČR se věnoval Polák (2015), jenž předpokládá, že v roce 2010 vzniklo na 2,26 milionů EoL MT. Po skončení životnosti MT by se dalo předpokládat, že jej spotřebitelé v ideálním případě vhodí do sběrné nádoby s elektroodpadem, či jej odstraní jiným způsobem, např. jej vhodí do komunálního odpadu. Skutečností je, že malá elektrozařízení, která se svými rozměry a hmotností vejdu do odpadkového koše, spotřebitelé spíše vyhodí do běžného odpadu, nežli elektrozařízení velká (Chancerel et al., 2009). V případě mobilního telefonu je však situace odlišná, protože spotřebitelé si je často ponechávají doma, „v šuplíku“ (Polák a Drápalová, 2012; Welfens et al., 2016).

Dle Poláka a Drápalové (2012) je doba, po kterou si v české domácnosti uživatel ponechá nepotřebný telefon, odhadnuta na 4,35 let. „Úschova“ telefonu není ale pouze českou realitou, nýbrž i celosvětovým problémem. Např. v zemích OECD je to 45 % MT (OECD, 2010), v Číně pak okolo 47 % MT uschovaných v domácnostech (Yin et al., 2014). O tomto jevu vypovídá i míra sběru EoL mobilních telefonů určených pro recyklaci, která byla v roce 2010 v České republice pouze 3–6 % (Polák a Drápalová, 2012), v USA 10 % (Silveira a Chang, 2010), v zemích OECD 16 % (OECD, 2010) a v Japonsku okolo 20 % (Sawanishi et al., 2015).

2.2 Proč mobilní telefony nerecyklujeme?

Důvodů nízké míry odevzdávání MT k recyklaci může být několik. Jelikož je dnes telefon multifunkčním zařízením, lidé jej využívají k mnoha činnostem (focení, zábavě, organizaci času aj.), personifikují si jej a mohou si k němu vytvořit emoční vztah. Používáním telefonu k různorodým účelům se v telefonu ukládají citlivá data a právě obava z jejich ztráty může být důvodem, proč se majitelé svých zařízení odmítají zbavit. Uživatelé si rovněž nechávají svůj starý telefon pro případ, že by se jim jejich nový pokazil (Welfens et al., 2016). Ve většině případů se však uložený telefon již nikdy nevyužije. Důležitým faktorem může být nevědomost uživatelů o možnosti a důležitosti recyklace (Welfens et al., 2016). Dle Yin et al. (2014) téměř 46 % uživatelů nerecyklovalo telefon proto, že nevěděli kam jej mohou odevzdat, a přibližně čtvrtina jich raději telefon postoupila dále v rodině či přátelům. Příznivé motivuje k odevzdávání vyřazených MT finanční odměna či refundace ceny při nákupu nového zařízení (Yin et al., 2014).

3 Recyklace mobilních telefonů

Vhodné nakládání s EoL telefony a jejich recyklace je důležitá z několika důvodů. Mobilní telefony obsahují nebezpečné látky, které mohou mít vlivem špatného nakládání na skládkách či ve spalovnách neblahé konsekvence na životní prostředí a zdraví člověka, a mělo by být s nimi nakládáno jako s nebezpečným odpadem (Maragkos et al., 2013; Navazo et al., 2014; Yadav et al., 2014).

Dalším z environmentálních benefitů recyklace je opětovné získání surovin, např. drahých kovů, a tím i udržitelnější spotřeba primárních surovin. Vlivem těžby surovin dochází k významným environmentálním dopadům na okolní krajinu, její destrukci, kontaminaci vody, vzduchu a půdy díky úniku toxických látek. S extrakcí primárních surovin, zejména drahých kovů, je spojena také řada sociálních problémů, jako je např. nucené vystěhování lidí, konflikty o přístup k surovinám, zdravotní rizika spojená s prací v dolech aj. Důležité je také ekonomické hledisko recyklace některých surovin (Navazo et al., 2014) a s tím související hledisko politické. Skutečností zůstává, že nerostné bohatství je rozprostřeno nerovnoměrně a pouze pár států má absolutní kontrolu nad produkcí některých surovin. Dle OECD (2010) se nalezitelných významných surovin nacházejí: v Číně 95 % nálezitých vzácných kovů: 84 % wolframu, 83 % galia, 87 % antimonu a 60 % india, na území USA je umístěno 81 % nálezitých beryllia, v Jihoafrické republice 77 % nálezitých platiny a 79 % rhodia, v Chile 60 % nálezitých lithia a v Brazílii 90 % niobia.

Nerudné suroviny a kovy jsou klíčové nejen pro evropskou ekonomiku, ale také pro udržení vysoké kvality současného života vyspělé společnosti a jejího rozvoje. Evropská Unie se aktivně zabývá tímto tématem z důvodu rostoucího znepokojení nad zajištěním spolehlivého a udržitelného přístupu k některým surovinám. Evropská komise proto vytvořila dokument „Kritické suroviny pro EU“, ve kterém se zabývá nerudnými surovinami z hlediska ekonomické důležitosti ve vztahu k EU v kombinaci s vysokým rizikem přístupu k nim (pomocí indikátorů politické stability dané země, absence násilí, účinnosti správy země aj.). Dokument v roce 2014 identifikoval 20 kritických surovin či skupin surovin, mezi které patří i většina nerudných surovin a kovů nacházející se v MT, jmenovitě jde o antimon, beryllium, chrom, kobalt, galium, indium, hořčík, kovy platinové skupiny a prvky vzácných zemin (Coulomb et al., 2015; Evropská komise, 2014).

3.1 Demontáž telefonů

Při manuální i mechanické recyklaci je telefon nejdříve ručně demontován a baterie je separována. Při výlučně mechanické demontáži postupují části telefonu do drtičích zařízení, kde jsou rozmělněny na malé části. Poté se nadrcený materiál roztrídí pomocí sít na různé velikosti, následuje magnetická separace, kdy dochází k oddělení kovové a nekovové frakce. Další stupeň separace se provádí pomocí vířivých proudů, elektrické vodivosti materiálu, odlišné hustoty materiálu a dalších třídících technik (Bachér et al., 2015; Cui a Forsberg, 2003; Hagelueken et al., 2009). Při drčení telefonů se do značné míry poškozují povrch desky plošných spojů, kde se nachází největší množství kovů. Při následné separaci dochází k významné ztrátě drahých kovů nacházející se v MT ve stopovém množství, které jsou rozmělněny do výstupních frakcí. Čím menší rozměry má nadrcený materiál, tím dochází k větší ztrátě drahých kovů (Hagelueken et al., 2009; Chancerel et al., 2009). Chancerel et al. (2009) uvádí, že se u mechanicky zpracovaných desek plošného spoje znovu získá o 62 % méně drahých kovů v porovnání s deskami mechanicky nezpracovanými. Na druhou stranu se mechanickým zpracováním MT získá více mědi, hořčíku, hliníku, železa, niklu, zinku. Tyto kovy mají však nižší ekonomickou hodnotu. Výsledná ekonomická výtěžnost drahých a vzácných kovů je vyšší u manuálního nakládání než u mechanického zpracování (Bachér et al., 2015).

Při manuální demontáži jsou jednotlivé části ručně rozebírány a dochází tak k šetrnějšímu nakládání s elektroodpadem. Drahé kovy jsou získány v lepší kvalitě a ve vyšší koncentraci (Bachér et al., 2015). Nicméně manuální demontáž je finančně náročnější, náklady mohou být až 2,7krát vyšší (Šebo et al., 2012). V praxi se často používají oba typy demontáží dohromady. Nejprve dochází k manuální demontáži na hlavní frakce a posléze k mechanickému rozdrčení elektroodpadu.

3.2 Recyklace kovů

Deska plošného spoje je nejdůležitějším komponentem telefonu jak z hlediska ekonomického, neboť jsou v ní obsaženy drahé kovy (zlato, stříbro, platina), tak také z hlediska environmentálního, protože obsahuje těžké kovy (rtuť, kadmium, beryllium, olovo, nikl, arsen a antimon) (Hagelueken et al., 2009; Vats a Singh, 2015). V desce plošných spojů se nacházejí vzácné kovy jako galium, indium, germanium, tantal, selen, dále měď, hliník, zinek, železo, cín, aj. (Khalique et al., 2014; Makdisi, 2011).

V jedné tuně elektroodpadu z desek plošných spojů se nachází okolo 280 g zlata, 450 g stříbra, 93 g drahých kovů jako je platina a indium, 191 kg mědi, 145 kg hliníku a 31 kg slitiny olovo/cín (Chatterjee, 2012).

Tradičním procesem znovuzískání kovů je pyrometalurgický proces. V posledních letech byla pozornost přesunuta také na hydrometalurgický a biometalurgický proces (Cui a Zhang, 2008). Při pyrometalurgickém procesu je materiál taven při teplotě okolo 1500 °C. V takto vysokých teplotách jsou kovy relativně nestálé a sérii metalurgických reakcí je žádaný kov zachycen (Cui a Zhang, 2008; Navazo et al., 2014). Hydrometalurgie, známá jako loužení, spočívá v selektivním rozpouštění kovů působením vodných roztoků z dané látky s cílem převedení kovu do roztoku. Posléze se kov či jeho chemické sloučeniny z roztoku vyloučí srážením či elektrolyzou. Obecně se pro znovuzískání kovů z elektroodpadu využívají oba procesy. Ty se však vzájemně odlišují. Pyrometalurgický proces vyžaduje pokrokovou technologii a rozsáhlou infrastrukturu, proto je recyklace kovů tímto způsobem proveditelná pouze ve velkém měřítku. Naproti tomu je hydrometalurgický proces energeticky méně náročný a může být prováděn v malém měřítku (Brunori et al., 2015; Cui a Zhang, 2008).

3.3 Ekonomická stránka recyklace

Znovuzískání materiálů a jejich recyklace je důležitá nejen z environmentálního a sociálního hlediska, jak bylo popsáno výše, ale také z hlediska ekonomického. Ačkoliv vzácné kovy jsou zastoupeny v MT pouze 1 % hmotnosti telefonu, jejich hodnota je 70–80 % hodnoty telefonu. Hodnota plastů, skla a jiných materiálů je z ekonomického hlediska zanedbatelná (Navazo et al., 2014; Park a Fray, 2009; Yu et al., 2010). Nejdražším kovem v telefonu je zlato, které představuje 80 % celkové hodnoty, přičemž je

v telefonu obsaženo v koncentraci jen asi 0,009–0,017%, následuje palladium s 10% hodnoty a stříbro se 7% (Vats a Singh, 2015; Yu et al., 2010). O velké celosvětové spotřebě kovů na výrobu telekomunikačních zařízení (3. skupina dle Zákona o odpadech) svědčí i roční spotřeba: 267,3 t zlata a 7225 t stříbra (Street et al., 2016; Thomson Reuters, 2015).

4 Závěr

Produkce elektroodpadu z mobilních telefonů celosvětově roste a v posledních několika letech patří k nejrychleji se zvětšujícím odpadním tokům (Cui a Forssberg, 2003). Evropská unie hodnotí vzrůstající míru elektroodpadu do budoucna jako jednu z největších výzev v oblasti odpadového hospodářství (Crowe et al., 2003; Cui a Forssberg, 2003). Dle Welfense et al. (2016) téma recyklace elektroodpadu, konkrétně mobilních telefonů, nebylo doposud veřejně velmi diskutováno, důsledkem čehož je povědomí spotřebitelů o možnostech recyklace stále velmi nízké.

K většímu množství sebraných mobilních telefonů by přispěla změna legislativy, a to na celoevropské úrovni, neboť v současnosti jsou cíle zaměřeny pouze na hmotnost zařízení, nikoliv na materiál získaný recyklací. Legislativa doposud pohlíží stejně na recyklaci 1 kg betonu (např. z pračky), 1 kg freonů (z ledničky) či 1 kg zlata (z desek plošných spojů). Avšak rozdíl v environmentálních přínosech recyklace materiálů a jejich potenciálním dopadu na životní prostředí je významný.

Je potřeba zvýšit nízkou míru recyklace telefonů, neboť nepoužívaná zařízení uschovaná v domácnostech znamenají ztrátu důležitých materiálů a při nesprávné manipulaci se můžou stát potenciálním zdrojem znečištění životního prostředí (Polák a Drápalová, 2012).

5 Literatura

- Bachér, J.; Mrotzek, A.; Wahlström, M., 2015. *Mechanical pre-treatment of mobile phones and its effect on the Printed Circuit Assemblies (PCAs)*. Waste Management, Urban Mining 45, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.009>
- Bruno, C.; Cafiero, L.; De Carolis, R.; Fontana, D.; Guzzinati, R.; Pietrantonio, M.; Pucciarmati, S.; Torelli, G. N.; Trinca, E.; Tuffi, R., 2015. *Innovative technologies for metals recovery and plastic valorization from electric and electronic waste: An integrated approach*. Environmental Engineering and Management Journal 14, 1553–1562.
- Coulomb, R.; Dietz, S.; Godunova, M.; Nielsen, T. B., 2015. *Critical Minerals Today and in 2030*. OECD Environment Working Papers (91). <https://doi.org/10.1787/5jrknwm5hr5-en>
- Crowe, M.; Elser, A.; Göpfert, B.; Mertins, L.; Meyer, T.; Schmid, J.; Spillner, A.; Ströbel, R., 2003. *Waste from electrical and electronic equipment - quantities, dangerous substances and treatment methods (ETC/WMF report)*. European Environment Agency, Copenhagen.
- Cui, J.; Forssberg, E., 2003. *Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review*. J. Hazard. Mater. 99(3), 243–263.
- Cui, J.; Zhang, L., 2008. *Metallurgical recovery of metals from electronic waste: a review*. J. Hazard. Mater. 158(2–3), 228–256. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.001>
- ČSÚ, 2013. *Informační společnost v číslech: Česká republika a EU*. Český statistický úřad, Praha.
- Evropská komise, 2014. *Sdělení Komise Evropskému Parlamentu, Radě, Evropskému a Sociálnímu Výboru a Výboru Regionů o přezkumu seznamu kritických surovin pro EU a o provádění iniciativy v oblasti surovin (No. COM/2014/0297 final)*. Brusel.
- Hagelueken, C.; Thomas, C.; Cheret, D.; Salame, F.; Rice, G.; Straus, G.; Shields, G.; Margetson, G.; Castren, H.; Sinclair, I.; Rowley, J.; Bullock, J.; Scharp, M. P.; Hine, P.; Tonetti, R.; Bartley, R.; Burban, S.; Chiu, W.-L.; Catelin, M.; Myslicki, J., 2009. *Mobile phone partnership initiative (MPP)-Project 3.1: Guideline on Material Recovery and Recycling of End of Life Mobile Phones*. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal.
- Chancerel, P.; Meskers, C. E. M.; Hagelüken, C.; Rotter, V. S., 2009. *Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment*. Journal of Industrial Ecology 13(5), 791–810. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00171.x>
- Chatterjee, S., 2012. *Sustainable Electronic Waste Management and Recycling Process*. American Journal of Environmental Engineering 2(1), 23–33.
- International Telecommunication Union, 2015. *ICT Facts & Figures: The world in 2015*. ICT Data and Statistics Division, ITU Telecommunication Development Bureau, Geneva.
- Khaliq, A.; Rhamdhani, M. A.; Brooks, G.; Masood, S., 2014. *Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes: A Review and Australian Perspective*. Resources 3(1), 152–179. <https://doi.org/10.3390/resources3010152>
- Makdisi, K., 2011. *Basel Convention, in: Green Politics: An A-to-Z Guide*. SAGE Publications, Inc., 2455 Teller Road, Thousand Oaks California 91320 United States. <https://doi.org/10.4135/9781412971867.n8>
- Maragkos, K. G.; Hahladakis, J. N.; Gidaracos, E., 2013. *Qualitative and quantitative determination of heavy metals in waste cellular phones*. Waste Management 33(9), 1882–1889. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.016>
- Ministerstvo životního prostředí, 2008. *Zpětný odběr výrobků*. http://www.mzp.cz/cz/zpetny_odber_vyrobu
- Navazo, J. M. V.; Méndez, G. V.; Peiró, L. T., 2014. *Material flow analysis and energy requirements of mobile phone material recovery processes*. Int J Life Cycle Assess 19(3), 567–579. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0653-6>
- OECD, 2010. *Materials Case Study 1: Critical Metals and Mobile Devices - ANNEXES (Working Document)*, OECD Global Forum On Environment Focusing on Sustainable materials management. The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Environment Directorate.
- Park, Y. J.; Fray, D. J., 2009. *Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards*. Journal of Hazardous Materials 164(2), 1152–1158. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.09.043>
- Polák, M., 2015. *Materiálové toky a environmentální dopady malého elektroodpadu (Disertační práce)*. Univerzita Karlova v Praze, Praha.
- Polák, M.; Drápalová, L., 2012. *Estimation of end of life mobile phones generation: The case study of the Czech Republic*. Waste Management 32(8), 1583–1591. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.028>
- Sawanishi, H.; Torihara, K.; Mishima, N., 2015. *A Study on Disassemblability and Feasibility of Component Reuse of Mobile Phones*. Procedia CIRP, 12th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Emerging Potentials 26, 740–745. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.090>
- Silveira, G. T. R.; Chang, S.-Y., 2010. *Cell phone recycling experiences in the United States and potential recycling options in Brazil*. Waste Management, Special Thematic Section: Sanitary Landfilling 30(11), 2278–2291. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.05.011>
- Singhal, P., 2005. *Life Cycle Environmental Issues of Mobile Phones (Stage I Final Report), Integrated Product Policy Pilot Project*. Nokia Corporation, Espoo, Finland.
- Soo, V. K.; Doolan, M., 2014. *Recycling Mobile Phone Impact on Life Cycle Assessment*. Procedia CIRP, 21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering 15, 263–271. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.005>
- Street, L.; Gopaul, K.; Kumar, M.; Lu, C.; Hewit, A., 2016. *Gold Demand Trends: Full Year 2015*. World Gold Council, London.

- Šebo, J.; Svetlík, J.; Fedorčáková, M.; Dobránský, J., 2012. *The comparison of performance and average costs of robotic and human based work station for dismantling*. Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering 5(4), 67–70.
- Thomson Reuters, 2015. *World silver survey*. Silver Institute, Washington, D. C.
- Vats, M. C.; Singh, S. K.; 2015. *Assessment of gold and silver in assorted mobile phone printed circuit boards (PCBs): Original article*. Waste Management, Urban Mining 45, 280–288. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.002>
- Welfens, M. J.; Nordmann, J.; Seibt, A., 2016. *Drivers and barriers to return and recycling of mobile phones*. Case studies of communication and collection campaigns. Journal of Cleaner Production, Absolute Reductions in Material Throughput, Energy Use and Emissions 132, 108–121. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.082>
- Yadav, S.; Yadav, S.; Kumar, P., 2014. *Metal toxicity assessment of mobile phone parts using Milli Q water*. Waste Management 34(7), 1274–1278. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.02.024>
- Yin, J.; Gao, Y.; Xu, H., 2014. *Survey and analysis of consumers' behaviour of waste mobile phone recycling in China*. Journal of Cleaner Production 65, 517–525. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.006>
- Yu, J.; Williams, E.; Ju, M., 2010. *Analysis of material and energy consumption of mobile phones in China*. Energy Policy 38(8), 4135–4141. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.041>