

Green and sustainable... software

Návrhem systémů ke snížení ekologické stopy

Elektroodpad (e-waste)

- **Vyřazená nebo nefunkční elektronická zařízení**
 - Elektronika (počítače, mobilní telefony, tablety, příslušenství...)
 - Domácí spotřebiče (velké i malé)
 - Součásti strojů (automobilů, vlaky, průmyslová výroba...)
 - Zdravotnické přístroje (diagnostické i terapeutické)
 - ...
- **TLDR:**

Elektroodpad je každý typ odpadu, který obsahuje desky plošných spojů.

Kde je problém?

- **Toxický odpad** (olovo, rtuť, kadmium)
- **Plýtvání zdroji** (zlato, stříbro, měď, jiné vzácné kovy)
- **Těžko recyklovatelné**
 - Kombinace materiálů (plast + kov + další materiály)
 - Nebo nerecyklovatelné (např. moderní displeje)
- **Obrovský nárůst objemu** (50,6 Mt in 2019; 74,4 Mt očekáváno v 2030)

Proto je redukce elektroodpadu cílem mnoha strategických materiálů vlád i nadnárodních uskupení (2015 UN, 2020 EU)

CO2

- Skleníkový plyn - oteplování
- Největším zdrojem je výroba součástek
- Druhý největší zdroj je výroba energie pro provoz součástek

V kontextu elektroniky - snížení spotřeby = snížení produkce CO2

Snížení spotřeby v embedded = méně baterií

Nejhorší jsou datová centra (a v důsledku AI/LLM)

Voda

- Nejhorší je výroba jakékoliv elektroniky - polovodičů
- Krize dostupnosti součástek v letech 2020 - 2022 mj. kvůli suchu na Taiwanu

Nejhorší jsou datacentra (a v důsledku AI/LLM)

LCA

- Life Cycle Assessment
- Analýza dopadu výrobku na životní prostředí
- Pro elektroniku velmi těžké
- <https://getenviropass.com/life-cycle-assessment-2/>
-

Proč my?

EECONE = European ECO system for green Electronics

Placeno z CHIPS-Ju, 2023-2026

50 partnerů, hlavní cíl reduce e-waste

TUL:

1. Zapojení v úlohách zaměřných na prodloužení životnosti a zlepšení opravitelnosti embedded věcí díky SW
2. Vzdělávání budoucích inženýrů a příprava materiálů pro stávající inženýry

EECONE a eWaste

- **Reduce/Redukuj**

- Cíl: Snížit množství cenných/vzácných/toxických materiálů ve výrobcích

- **Reliability/Spolehlivost**

- Cíl: Zvýšit spolehlivost výrobků a prodloužit jejich životnost; tím se snižuje celkový objem produkce a odpadu.

- **Repair/Opravuj**

- Cíl: Opravy existujících výrobků prodlužují jejich životnost; tím se snižuje celkový objem produkce a odpadu.

- **Reuse/Využij co nejvíc**

- Cíl: Snaha využít z nefunkčního výrobku alespoň některé jeho stále funkční části a tím redukovat objem odpadu.

- **Refurbish/Renovuj**

- Cíl: Prodloužit životnost výrobku, který své funkci již nestačí, obnovením jeho kritické části.

- **Recycle/Recykluj:**

- Cíl: Z již vzniklého odpadu zpětně získat co nejvíce cenných/vzácných materiálů k opětovnému využití.

Proč to neděláme?

- **Nemusíme a stávající systém je pohodlnější/levnější**
- **Výrobce:**
 - Příjem z prodaných kusů - chce prodat co nejvíc
 - Udržovat servis, náhradní díly, manuály k opravám, vykupovat staré výrobky - velmi drahé
 - Příprava výrobku na opravy či prodloužení životnosti zvyšuje celkové náklady
- **Zákazník:**
 - Money first - na přírodě nám zase tolik nezáleží, když to není levné a pohodlné
 - Zákazník chce nové výrobky (Dva roky starý mobil? Jakože vážně?)
 - Časové/finanční náklady na opravu

Jak se ke změnám donutíme?

- Rostoucí náklady za zpracování odpadu - firmy i domácnosti
- Rostoucí ceny za stále vzácnější materiály - motivace k recyklaci
- Snaha o surovinovou nezávislost - motivace k recyklaci a opravám
- Změna myšlení
- Změna legislativy, regulace, zákazy

Vnucená řešení vždy fungují hůře než dobrovolně přijatá.

Dobrovolně přijímáme pouze to, co se nám vyplácí finančně nebo co je pohodlné (v roli výrobců i zákazníků).

Proč je součástí tvorba materiálů?

- **Musí být nutná součást výuky**
- **Vše začíná návrhem:**
 - Univerzální kombinovatelné HW moduly
 - Univerzální kombinovatelné SW moduly
 - Příprava na budoucí rozšiřitelnost/úpravu funkce
 - Rozmyslet vhodnou znovupoužitelnost jednotlivých modulů
 - Příprava sítě servisů, náhradních dílů, návodů apod.
 - Příprava výrobku na snadnou recyklaci
 - Příprava na výměnu chybné části

Reduce/Redukce materiálů I.

- Na úrovni návrhu desek plošných spojů:
 - Jiné materiály pro desky
 - Tenčí desky
 - U vícevrstevných desek - minimalizace spotřeby mědi (tenké vrstvy apod.)
 - Tištěná elektronika - vodivé inkousty místo měděných pokovení
 - Hledání alternativních materiálů za těžké kovy a jiné toxické součásti
- Na úrovni zapojení:
 - Stále vyšší míra integrace čipů - jednodušší design, méně materiálu pro celé řešení
- Spotřeba:
 - U zařízení napájených z baterií nebo baterie využívajících vede redukce spotřeby k redukci odpadu.

Reduce/Redukce materiálů II.

- **Problém:**

- Většinou vyšší náklady případně nižší životnost
- Omezená dostupnost nových technologií
- Vyžaduje změnu výrobních postupů (extrémně drahé)
- Zatím často vyšší LCA

- **Slibné vedlejší zisky**

- Náhrada materiálů nebo snížení spotřeby - Snížení surovinové závislosti
- Snížení spotřeby s cílem šetřit materiál potřebný na baterie vede ke snížení spotřeby CO₂ a tím ke snížení uhlíkové stopy výrobků.

Reliability/Spolehlivost

- Čím je zařízení spolehlivější, tím později je vyhodíme.
- Testy a diagnostika během vývoje.
- Volba spolehlivých součástek s dlouhou životností.
- Online monitoring a pečlivý servis.

Problém:

Vyžaduje změnu obchodního modelu a myšlení zákazníků.

Spolehlivé výrobky jsou nákladné (výroba, testy, součástky).

Repair/Opravy

- Základní myšlenka: Nevyhazujeme celé zařízení, opravíme vadnou část.
- Zařízení je cíleně navrhováno modulárně, aby moduly/součásti šlo vyměnit.
- **Problém:**
 - Náhradní díly/moduly nejsou univerzální
 - Výrobce musí zajistit servisní síť a náhradní díly po celou očekávatelnou životnost
 - Oprava může vyžadovat přístroje a know-how, které není servisům dostupné
 - Vysoká míra integrace některé elektroniky (mobilní telefony)
 - Vazba SW-HW - výměna HW modulu může vyžadovat aktualizaci SW výrobku
 - ***Obecně se jedná o velmi nákladná opatření, pro zákazníka i výrobce je levnější koupit nový výrobek.***

Reuse - Využij alespoň něco

- Model “vrakoviště” - z již nefunkčního výrobku zachráníme díly, které využijeme k opravám nebo sestavení nových výrobků.
- **Problém:**
 - Vysoká rozmanitost jednotlivých částí a jejich vzájemná nekompatibilita.
 - Nutná spolupráce servisů a výrobců.
 - Vzhledem k nízké pořizovací ceně celého výrobku se zákazníkům ani výrobcům nevyplácí.

Refubrish - Renovuj

- Výměna součásti, která již technologicky nestačí
- Známý a funkční use-case - stolní počítače - upgrade paměti/úložiště/CPU
- Vyžaduje modulární design
- **Problém:**
 - Současný design výrobků často nic podobného neumožňuje, výrobek je neopravitelný i nerenovovatelný.
 - U malé levné elektroniky se zákazníkům nevyplácí.
- SW Refubrish: Najdi nové využití pro danou součást (eco.kde.org) - instalace Linuxu na počítače, kde nemohou být Win11

Recycle/Recyklace

- Výrobek s ukončenou životností je rozebrán a materiály znovu využity nebo dobře likvidovány.
- **Problém:**
 - Zákazníci často vyhazují elektroodpad do normálního odpadu
 - Rozmanitá zařízení - neexistují univerzální postupy
 - Výtěžnost nízká nebo minimální
 - Některé materiály zatím nerecyklovatelné

Nové materiály

- Zejména pro “desky” plošných spojů.
- Snaha využívat recyklovatelné a odbouratelné materiály.
- “Flexible electronics” - obvody tištěné na plastovém/papírovém podkladu.
- Materiály, které nezískáváme z ropy, ale z jiných zdrojů (celuloza).

Celkově snaha snížit LCA, ale kvůli malým sériím a experimentální výrobě zatím LCA buď vyšší nebo cenově nekonkurence schopné.

EECONE: demonstrace dálkového ovladače s flexibilní recyklovatelnou základní deskou.

Nové zdroje energie

- “Energy harvesting” - těžba energie z místních fyzikálních podmínek místo baterie.
- Využívá různých fyzikálních principů:
 - Světlo či jiné elektromagnetické vlnění v místě.
 - Gradienty fyzikálních polí (teplota, magnetické pole apod.).
 - Využití mechanických pohybů (samonabíjecí hodinky).
- Prodlouží životnost zařízení, netřeba velké drahé baterie.
-

Jak tedy mám navrhovat?

- **Funkčně - Modulární design**
- Celý systém se skládá z definovaných funkčních modulů.
- Funkci může řešit přímo HW (napájení, filtrace apod.) nebo je určená SW.
- Modulární systém je připraven na:
 - Budoucí opravy a tím prodloužení života.
 - Budoucí aktualizace.
 - Recyklaci.

Modularita na úrovni HW designu

- Celý HW design vychází ze systémového návrhu
- HW moduly:
 - Celá zařízení vzájemně propojovaná.
 - Celá zařízení uzavřená do obalů (System in Package).
 - Dílčí desky plošných spojů usazovaných do patič (System on Module).
 - Integrované součásti (System on Chip).
 - Návrhové knihovny pro FPGA či zákaznický design.

Modularita na úrovni SW designu

- Funkcionalita rozdělená do modulů - důležitý je vhodný návrh architektury.
- Vzájemné volání funkcí pomocí vhodné metody.
- Dobře definovaná exportovatelná API.
- Oddělení HW závislých částí od čisté funkcionality.
- Podpora over the air update - nový SW pro novou HW sestavu.

Návrh SW a spotřeba energie (Digital is physical)

- V embedded - existují RTOS optimalizované pro spotřebu (Zephyr OS).
- Maximální využití sleep modu nebo power off.
- Žádná aktivní čekání.
- Omezení přenosu dat mezi CPU a pamětí.
- Co nejméně využívat upload/download (stahovaná hudba, data apod.).
- Minimalizovat čas s anténami a podobnými periferiemi.
- Vypínat periferie.

Datacentra

- **e-waste:**
 - Staré disky jsou podstatě nerecyklovatelné.
 - EECONE zkouší zpětnou výtěžnost některých materiálů.
 - Disků je ohromné množství a mají krátkou životnost.
- **Energie:**
 - Nyní cca 5-10 % světové spotřeby; očekává se růst až k 35 % (odhady před příchodem LLM)
- V tomto směru je skutečný problém masivní využití LLM - vymysleli jsme nečistý drahý způsob pro relativně levnou a ekologicky šetrnou lidskou práci.
- Operátor na lince si klidně může dát denně tři steaky a jezdit do práce SUV, pořád je z hlediska green/sustainable lepší než LLM.
- **Kdykoliv si znovu a znovu stahujete písničku, představte si, jak vám kolem domu krouží velký hlučný naftový nákladník.**

TUL v EECONE (implementační část)

- Celková studie a řešerše vlivu SW návrhu na produkci e-waste:
 - Baterie - spotřeba.
 - Prodloužení životnosti - umožnění oprav a změny HW sestavy.
 - Prodloužení životnosti - SW podpora HW modularity.
 - Výstup: studie & best practices.
 - Aktuálně: CFP Open Source Summit Amsterdam, následně publikace v Embedded System Letters.
- Demontrace:
 - Embedded Linux/Yocto na deskách vyvíjených partnerem - demonstrace oddělení HW a SW závislé části, over the air update, dílčích update apod; práce s napájením.
 - Zephyr RTOS na dalších deskách - demonstrace správného modulárního návrhu, OTA, power efficiency.

Související právní předpisy

- **Směrnice o ekodesignu - Directive 2009/125/EC**

- Požadavky na energeticky náročné výrobky (domácí spotřebiče, spotřební elektronika, motory, osvětlení apod.)
- Kritéria pro energetickou účinnost (štítky), spotřebu vody, hlučnost, obsah nebezpečných látek, recyklovatelnost.
- Průběžně aktualizována nařízením EU Komise (např. 2019 pro nabíječky nebo 2021 pro displeje).
- Přehled všech platných dokumentů je k dispozici např. [na webu MPO.](#)

Nástroje pro analýzu

LCA Tools - Life cycle assessment tools

- Celková ekologická stopa výrobku se dá analyzovat s využitím podpůrných nástrojů.
- Slouží k výpočtu uhlíkové a vodní stopy výrobku.
- <https://sustainabilityguide.eu/methods/life-cycle-assessment/>
- <https://carbontrail.net/blog/best-5-life-cycle-assessment-software/>

Pro další studium

- EECONE.com
- [ECS Sustainability and Environmental Footprint](#)
- [Dassault Systems: Eco-design from theory to practice](#)
- [Workshop - Eco design at DATE 2023](#)
- <https://greensoftware.foundation/>
- <https://training.linuxfoundation.org/training/green-software-for-practitioners-lfc131/>
-

Knihy:

World Wide Waste (<https://gerrymcgovern.com/books/world-wide-waste/>)

Building Green Software (<https://www.oreilly.com/library/view/building-green-software/9781098150617/>)

Design for sustainability (<https://www.oreilly.com/library/view/designing-for-sustainability/9781491935767/>)

Závěrečné TLDR

- Elektroodpad je jedovatý, těžko recyklovatelný a jeho objem narůstá.
- Je to problém, který musíme řešit už při návrhu.
- Existují zákonné regulace, které nás nutí navrhovat lépe.
- Regulací bude přibývat.
- Udržitelná zelená energetika vyžaduje změnu myšlení výrobců i spotřebitelů.

Materiál i celý program výuky vznikl díky projektu EECONE, financovaném v rámci programu CHIPS-JU.

[Výchozí informace o projektu.](#)