

Fakulta elektrotechnická
Katedra materiálů a technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Možnosti uplatnění principů cirkulární ekonomiky pro řízení
životního cyklu výrobků z oblasti chytrých textilií

Autor práce: **Bc. Jan Valnoha**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Tupa, Ph.D.**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan VALNOHA**
Osobní číslo: **E19N0082P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Téma práce: **Možnosti uplatnění principů cirkulární ekonomiky pro řízení životního cyklu výrobků z oblasti chytrých textilií**
Zadávací katedra: **Katedra materiálů a technologií**

Zásady pro vypracování

1. Seznamte se základními principy cirkulární ekonomiky (CE).
2. Uveďte základní přehled technologií a materiálů pro chytré textilie.
3. Vypracujte případovou studii, jejímž cílem bude posouzení možnosti implementace principů CE v oblasti chytrých textilií v rámci řízení celého životního cyklu výrobku.
4. Zpracujte závěry pro aplikaci v praxi.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

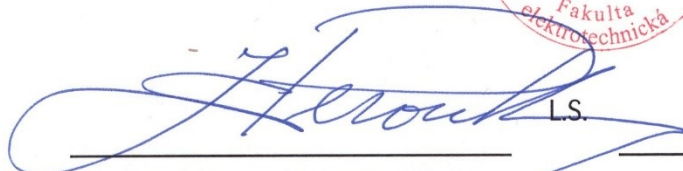
Seznam doporučené literatury:

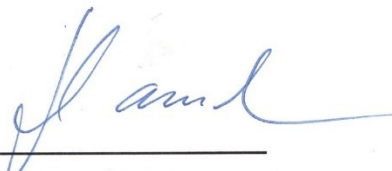
1. Sdělení EU: Zelená dohoda pro Evropu.
2. Kumar, A., Garza-Reyes, J.A., Rehman Khan, S.A.: Circular Economy for the Management of Operations (2020).
3. Elektronické informační zdroje.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jiří Tupa, Ph.D.**
Katedra materiálů a technologií

Datum zadání diplomové práce: **8. října 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2022**




LS.
Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan


Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 8. října 2021

Abstrakt

Tato diplomová práce řeší možné uplatnění principů cirkulární ekonomiky pro oblast chytrých textilií. Zpracování probíhalo na základě rešerše problematiky cirkulární ekonomiky a technologií, materiálů pro chytré textilie. Výsledky práce ukazují nutné zpracování nových norem a právních předpisů pro nakládání a recyklaci chytrých textilií. Dále také poukazují na zaměření se spíše na kvalitu než na kvantitu výrobku a rozšíření půjčoven a pronájmů. U recyklace bude nutné zvážit kapacitní možnosti recyklačních center a stěžejní budou technologie pro šetrné rozdělení přírodní části textilie od technické části textilie. V závěru je formulován vývojový diagram s kroky, které aplikují principy cirkulární ekonomiky do výrobního cyklu chytré textilie.

Klíčová slova

Cirkulární ekonomika, lineární ekonomika, chytré textilie, recyklace, materiály, technologie

Abstract

This thesis discusses the possible application of circular economy principles for smart textiles. The work was based on a research of circular economy issues and technologies, materials for smart textiles. The results of the work show the necessity of elaboration of new standards and legislation for the management and recycling of smart textiles. They also point to a focus on quality rather than quantity of the product and an expansion of rental and hire services. For recycling, the capacity of recycling centres will need to be considered and technologies for the gentle separation of the natural part of the textile from the technical part of the textile will be key. Finally, a flow chart is formulated with steps that apply the principles of circular economy to the production cycle of smart textiles.

Key Words

Circular economy, linear economy, smart textiles, recycling, materials, technology

Poděkování

Tímto krátkým odstavce bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Tupovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky, trpělivost a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Daniele Moravcové, Ph.D. za poskytnutí materiálů k případové studii. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu během mého studia.

Obsah

Úvod.....	- 1 -
1 Cirkulární ekonomika.....	- 2 -
1.1 Koncept cirkulární ekonomiky.....	- 2 -
1.1.1 Lineární ekonomika	- 3 -
1.1.2 Počátky cirkulární ekonomiky	- 5 -
1.2 Model cirkulární ekonomiky.....	- 6 -
1.2.1 Model cirkulární ekonomiky podle European Environment Agency	- 7 -
1.3 Základní principy cirkulární ekonomiky.....	- 9 -
1.3.1 Ekodesign.....	- 9 -
1.3.2 Princip 3R	- 10 -
1.3.3 Cradle to Cradle	- 11 -
1.4 ČR a Evropa s cirkulární ekonomikou	- 12 -
1.4.1 Česká republika.....	- 12 -
1.4.2 Evropská unie	- 16 -
2 Smart textilie	- 19 -
2.1 Rozdělení smart textilií	- 20 -
2.1.1 Pasivní smart textilie.....	- 20 -
2.1.2 Aktivní smart textilie	- 20 -
2.1.3 Ultra smart textilie	- 21 -
2.2 Technologie pro smart textilie	- 22 -
2.2.1 Technologie na povrch smart textilie.....	- 22 -
2.2.2 Integrace vodivé příze a vodivého vlákna	- 24 -
2.3 Materiály pro smart textilie	- 26 -
2.3.1 Vodivá pasta	- 26 -
2.3.2 Vodivá vlákna	- 27 -
2.3.3 Optická vlákna	- 28 -
2.3.4 Povlak s nanočásticemi	- 28 -
2.3.5 Slitiny s tvarovou pamětí	- 29 -

2.4	Výrobci smart textilních prvků	- 30 -
2.4.1	Vodivé nitě.....	- 30 -
2.4.2	Vodivé textilie.....	- 31 -
2.4.3	Vodivé stuhý	- 31 -
3	Recyklace smart textilií	- 32 -
3.1	Recyklace textilií.....	- 32 -
3.1.1	Recyklace vláken	- 32 -
3.1.2	Recyklace textilu v Evropě	- 34 -
3.1.3	Recyklace v České republice	- 37 -
3.2	Recyklace smart textilií.....	- 40 -
3.2.1	Zpracování a regulace	- 40 -
3.2.2	Směrnice	- 41 -
3.2.3	Praní	- 41 -
3.2.4	Trh se smart textiliemi	- 41 -
4	Případová studie v oblasti CE a chytrých textilií	- 43 -
4.1	Případová studie – chytré vyhřívané prostěradlo	- 43 -
4.1.1	Posouzení životního cyklu	- 44 -
4.2	Případová studie – Vyhřívané ponožky	- 50 -
4.2.1	Posouzení životního cyklu	- 51 -
4.3	Návrhy pro budoucí vývoj smart výrobků	- 58 -
4.3.1	Materiály	- 58 -
4.3.2	Ekodesign.....	- 59 -
4.3.3	Odpad a recyklace.....	- 60 -
4.3.4	Normy	- 61 -
4.3.5	Vývojový diagram	- 61 -
	Zhodnocení a závěr.....	- 64 -
	Literatura.....	- 65 -

Seznam symbolů a zkratk

Značka	Popisek
LE	Lineární ekonomika
CE	Cirkulární ekonomika
C2C	Cradle to Cradle
EU	Evropská unie
OEEZ	Směrnice o odpadních elektrických a elektronických zařízeních
€	Euro
OECD	Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj

Úvod

Cirkulární ekonomika, jinými slovy oběhové hospodářství, bude patřit mezi důležitou součást výrobních procesů a spotřebitelských procesů na celém světě. V této diplomové práci jsou rozebrány principy cirkulární ekonomiky pro řízení životního cyklu výrobků z oblasti chytrých textilií.

Cílem diplomové práce je na základě rešerše z odborné literatury a odborných článků vysvětlit smysl cirkulární ekonomiky a implementovat cirkulární ekonomiku do procesů pro budoucí vývoj chytrých výrobků. Dílčím cílem je vysvětlit proces recyklace textilu a zhodnotit současný stav recyklačních center, s ohledem na fakt, že dnešní masově vyráběné chytré textilie jsou stále v 90 % zastoupeny textilním vláknem.

Teoretická východiska diplomové práce jsou uvedena v kapitolách 1 až 3. Kapitoly se zaměřují na definování termínů jako jsou: cirkulární ekonomika, materiály a technologie chytrých textilií, recyklace textilií a chytrých textilií. První kapitola teoretické části diplomové práce se soustředí na vymezení termínu cirkulární ekonomiky a jejích základních principů. Dále jsou zde nastíněny klíčové dokumenty, stanovující základní poznatky o cirkulární ekonomice v České republice a Evropské unii. Druhá kapitola teoretické části se zabývá chytrými textiliemi. V úvodu jsou chytré textilie rozděleny podle stupně integrace a funkcí chytré textilie. Dále kapitola pojednává o technologii výroby chytrých výrobků a materiálech pro chytré výrobky. Dále jsou představeni vybraní výrobci chytrých textilních prvků. Kapitola tři teoretické části se věnuje recyklaci textilií v České republice a Evropské unii a jsou zde také uvedeny výrobky z těchto recyklovaných textilií.

Praktická část diplomové práce navazuje na teoretické poznatky uvedených v kapitolách 1 až 3 a zabývá se vyhříváním chytrými textiliemi z pohledu modelu cirkulární ekonomiky. Dochází zde následně k vyvození závěrů pro budoucí vývoj chytrých textilií podle konceptu cirkulární ekonomiky.

1 Cirkulární ekonomika

Cirkulární ekonomika je koncept udržitelného rozvoje, který umožňuje funkční a prosperující vztah mezi přírodou a lidskou společností. Cirkulární ekonomika představuje koloběh od základní surovin až po její recyklaci, a tím se staví proti našemu současnému lineárnímu systému. V uvedeném lineárním systému se zdroje přeměňují na výrobky, prodávají se, spotřebovávají se a po ukončení své životnosti se stávají odpadem, který končí na skládce či v lepším případě ve spalovně. Pokaždé, když se zvolí tento přístup, plýtvá se hlavně omezenými zásobami zdrojů na Zemi a často se v celém procesu vyprodukují toxické látky, které zamořují celosvětový ekosystém. Aby lidstvo začalo více využívat cirkulární ekonomický model, musí změnit způsob svého myšlení a svých návyků. Cirkulární ekonomika by měla být zakomponovaná již ve fázi designu a výroby, aby bylo možno výrobek rozebrat na základní prvky a následně recyklovat podle požadavků [1]. Správný způsob implementace cirkulární ekonomiky může generovat peněžní úspory. Společnost McKinsey & Company vypočetla, že implementace principů cirkulární ekonomiky může od roku 2030 vytvářet v Evropě roční úspory v hodnotě 1,8 biliónů €, a navíc výnosy ve výši 600 miliard € ročně. Dále s sebou může CE také přinášet nová pracovní místa, a to dle Evropské komise až 2 milióny nových pracovních míst [2] [3]. O využívání cirkulární ekonomiky usiluje velké množství zemí a územních celků včetně České republiky v rámci progresivní Evropské unie [4] [5].

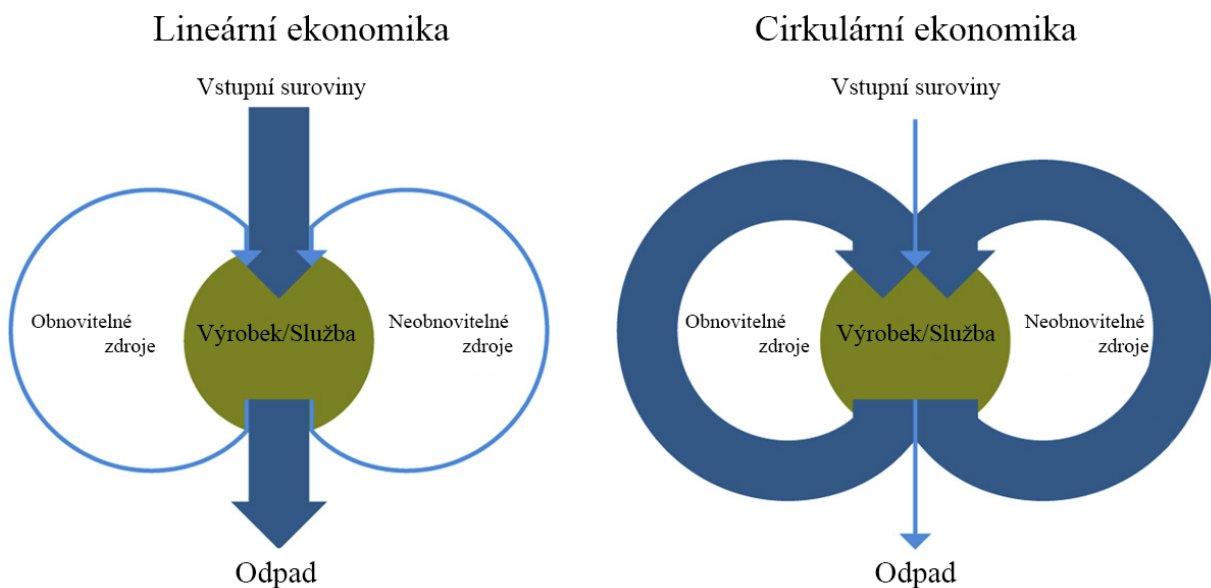
1.1 Koncept cirkulární ekonomiky

Koncept cirkulární ekonomiky vznikl proto, aby bylo možné přejít ze současné lineární povahy materiálového toku na cirkulární. V roce 2009 se celosvětová poptávka po surovinách zvýšila o 150 % oproti schopnosti planety udržitelně zajišťovat suroviny. Nejnovější modely ukazují, že světová poptávka bude dosahovat až trojnásobku množství udržitelné produkce do roku 2050 [6]. Tuto situaci ještě umocňuje fakt, že životní cyklus výrobků v 95 % končí už po 6 měsících od jejich prodeje koncovému zákazníkovi. Za rok se vyprodukuje v Evropě 2,5 miliardy tun odpadu, přičemž přibližně 50 % z toho končí nevyužito. V důsledku tohoto faktu se lidstvo nenávratně připravuje o neobnovitelné suroviny. Cirkulární ekonomika s tímto trendem bojuje, proto bývá často definována jako koncept či myšlenka bez odpadu. [7]

1.1.1 Lineární ekonomika

Pojem lineární ekonomika se používá jako antonymum k cirkulární ekonomice. Na obr.1 je znázorněné obecné vnímání lineární ekonomiky a cirkulární ekonomiky. LE je založena na filozofii o třech jednoduchých krocích – získat, vyrobit a zlikvidovat, kdy se v první fázi vytěží zdroje, následně se ze zdrojů vyrobí produkty, které se po určitém čase zlikvidují. Na druhé straně CE je založena na toku v uzavřených smyčkách. Zisk surovin, výroba produktů a následná recyklace, kde zdroje recirkulují, takže výstup jednoho produktu je vstupem jiného. Tímto procesem se zachovává hodnota výrobků nebo jejich částí. [8]

Podle Ellen MacArthur Foundation má v současnosti převládající lineární ekonomika kořeny v historicky nerovnoměrném rozdělení nerostného bohatství podle geografických oblastí. Jednoduše řečeno, vyspělejší státy či celky měly mnohem vyšší hospodářský růst díky klesajícímu trendu cen surovin než rozvojové státy při dražší pracovní síle. Přírozeným důsledkem levného materiálu oproti drahé pracovní síle je společenské zanedbávání recyklace, opětovného použití materiálu a kladení velkého důrazu na odpad jako takový. [9]



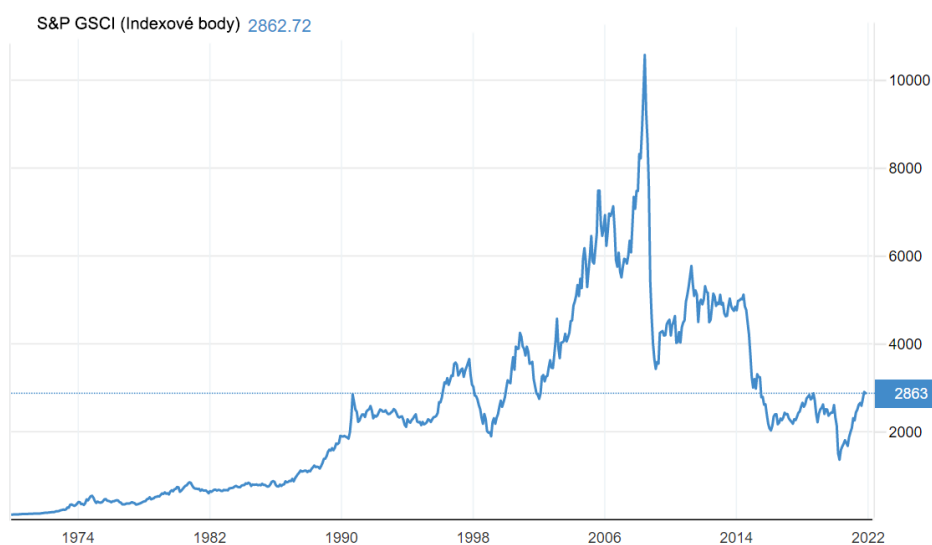
Obr. 1 Srovnání Lineární ekonomiky a Cirkulární ekonomiky. Převzato a překresleno z: [8]

Lineární ekonomika byla velmi úspěšná při vytváření materiálního bohatství v průmyslových zemích až do konce 20. století. V novém tisíciletí se objevila velká slabina, a to rostoucí ceny materiálů a energií po celém světě. V návaznosti na to, EU zavedla emisní povolenky jako nástroj boje s uhlíkovou stopou v průmyslovém odvětví. [10]



Graf. 1 Graf vývoje ceny emisních povolenek v EU za MWh. Převzato a upraveno z: [10]

Graf GSCI Commodity Index zahrnuje velký košík vzácných surovin např. zlato, stříbro, bavlna, benzín [11]. Na grafu 2 můžeme sledovat volatilní růst vzácných surovin od roku 1973, z čehož se může se vyvodit, že v budoucnu dosáhnou hodnoty vzácných surovin nových historických maxim [12]. Tyto rostoucí náklady motivují lidstvo k pomalému, ale postupnému přechodu z konceptu lineární ekonomiky na ekonomiku cirkulární.



Graf. 2 Graf vývoje ceny GSCI Commodity Index. Převzato a upraveno: [12]

1.1.2 Počátky cirkulární ekonomiky

Historicky je samotný koncept CE znám již po celá staletí. Princip CE byl instinktivně a přirozeně používán v dobách, kdy lidé žili plně spjati s přírodou. Od druhé poloviny 18. století se lidstvo díky postupným průmyslovým, zemědělským a technologickým revolucím dostalo na novou úroveň vládnutí nad přírodou. Pokud vezmeme v potaz průběh historie a negativní přístup k přírodě a lidským zdrojům, jako je např. těžba, intenzivní zemědělské postupy, znečištění, skládky, nadměrný rybolov či plýtvání, otroctví či válečné konflikty, můžeme souhlasit s tím, že negativní hospodářský rozvoj a vliv společnosti jsou příliš důležitými faktory na to, aby byly ignorovány. Jestliže se bude dále pokračovat v zavádění současných ekonomických modelů, zejména v energetické, průmyslové a zemědělské oblasti, může dojít k nenávratnému vymizení nejen neobnovitelných zdrojů. [8]

Enviromentální ekonomie je základním stavebním kamenem konceptu CE. Od začátku 60. let 20. století tato subdisciplína ekonomie kombinuje konvenční studia v oblasti ekonomie a filozofie, kde se snaží zkoumat postupy v procesech udržitelného rozvoje [12].

V praxi se úsilí vědeckých výzkumů v environmentální ekonomii zabývá otázkami, jako jsou různé způsoby likvidace odpadů, kvalita vzduchu, vody a půdy vyplývající z průmyslových a zemědělských činností. Dále zachování přírodního kapitálu a biologické rozmanitosti a podpora udržitelnosti.

Na základě souvisejících publikací a aktivit lze za zakladatele moderní cirkulární ekonomiky považovat několik osobností z různých oblastí. Americký ekonom Kenneth E. Boulding, který v roce 1966 publikoval svůj slavný článek nazvaný „The Economics of the Coming Spaceship Earth”. [13]

Švédský ekonom Karl-Göran Mäler, který svou vědeckou práci zaměřil na nekonvexní dynamiky ekosystémů, v rámci obecné oblasti Enviromentální ekonomie, kterou se zabývá ve své práci „Environmental Economics: A Theoretical Inquiry”. [14]

Američtí vědci Robert A. Froesch a Nicholas E. Gallopoulos, tehdy pracující ve výzkumném oddělení General Motors (GM), se svým vědeckým článkem „Strategies for Manufacturing“. [15]

1.2 Model cirkulární ekonomiky

Nadace Ellen MacArthur Foundation definuje cirkulární ekonomiku jako ekonomiku, která si klade za cíl zachovat vstupní zdroje v ekonomickém oběhu co nejdéle. V tomto modelu je důležité, aby se používalo menší množství materiálu ve výrobním cyklu a aby se jakýkoliv odpad, který se vyprodukuje znovu vrátil do oběhu. Klíčem k úspěšnému uzavření cirkulárního oběhu materiálu je zajištění toho, aby základní suroviny nebyly kontaminovány a byly snadno získatelné na konci cyklu. To umožní jejich snadné opětovné vrácení do oběhu s minimálním zhoršením kvality. Nejde jen o plýtvání, ale o to, aby bylo s přírodními zdroji nakládáno efektivně a udržitelně po celou dobu životního cyklu. [16]

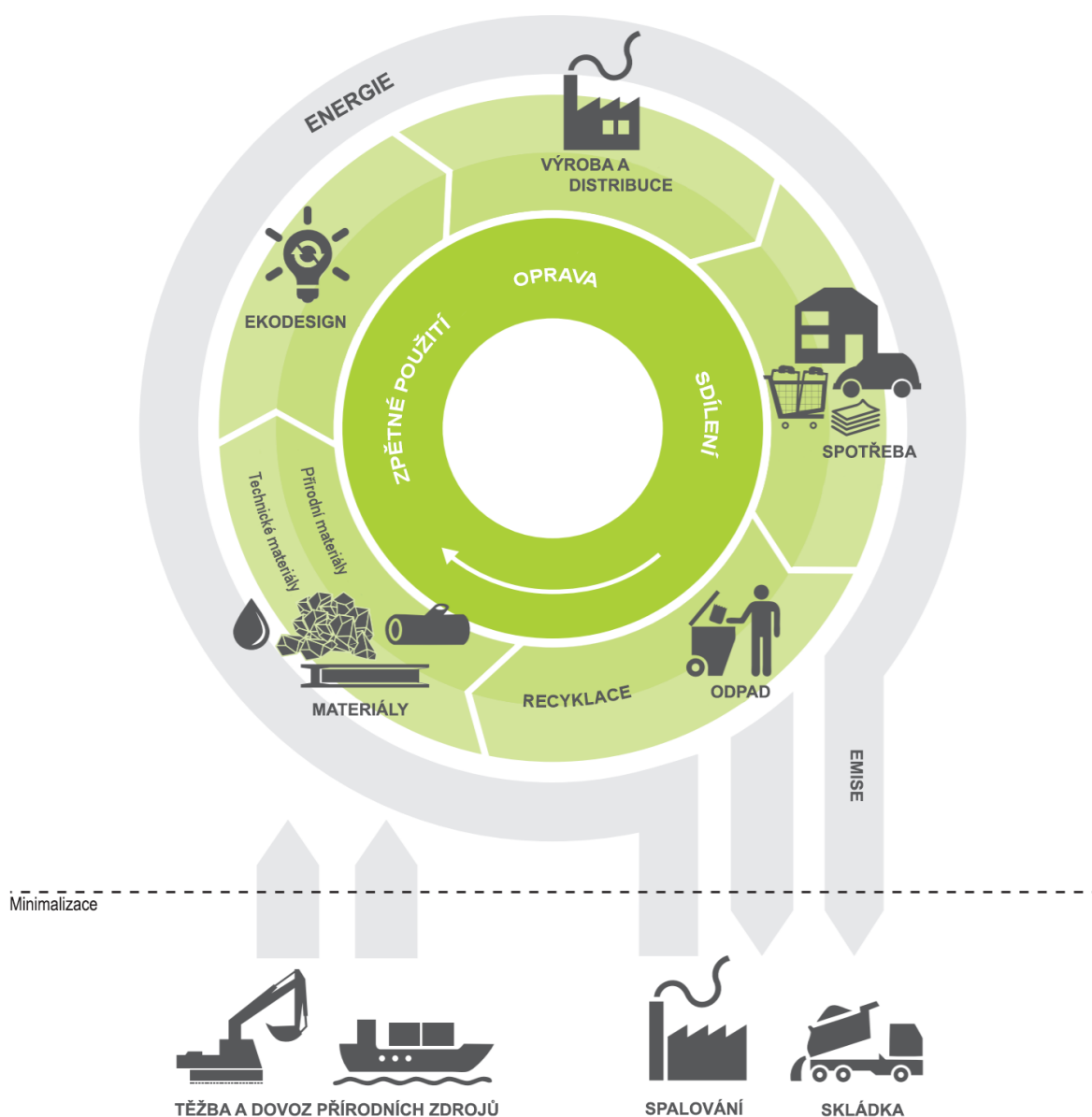
Jak již bylo uvedeno v úvodu, cirkulární ekonomika se snaží nahradit stávající lineární ekonomiku, která sází na velké množství levných, snadno dostupných materiálů a energie. Cirkulární ekonomika je model výroby a spotřeby, který zahrnuje sdílení, pronájem, opětovné použití, opravy, renovace a recyklaci stávajících materiálů a produktů tak dlouho, jak jen je možné. Tímto způsobem se prodlužuje životní cyklus produktů a současně se snižují materiálové ztráty skladováním na skládkách nebo spalováním ve spalovnách. V praxi to znamená snížení odpadu na naprosté minimum. Jakmile produkt dosáhne konce své životnosti, jeho materiál by měl být recyklován a znovu použit v ekonomickém prostředí pro vytvoření nových produktů. [17]

Existuje několik konceptů a vizualizací cirkulární ekonomiky. Model CE dle European Environment Agency, obr. 2, představuje přesnou a přehlednou demonstraci cirkulární ekonomiky v praxi. [18]

Hlavní myšlenkou je, aby produkce odpadu a materiálové vstupy ze životního prostředí byly minimalizované prostřednictvím ekodesignu, recyklace, oprav a opětovného použití produktů. To vytvoří ekonomické a environmentální přínosy, neboť závislost na těžbě a dovozu klesá souběžně se snižováním emisí do životního prostředí způsobeným například těžbou a zpracováním materiálů, spalováním či skládkováním. [18]

1.2.1 Model cirkulární ekonomiky podle European Environment Agency

Vnější kruh na modelu představuje celkový energetický tok. Relevantními parametry jsou celková energetická účinnost a podíl obnovitelných zdrojů, které by se měly ve srovnání s lineárním modelem ekonomiky zvýšit. Zatímco energie získána ze spalování může krátkodobě kompenzovat výpadky v obnovitelné energii, je jí třeba minimalizovat. Materiály pro výrobu energie ze spalování lze použít pouze jednou a v tomto důsledku se odstraní z ekonomické smyčky. [18]



Obr. 2 Model cirkulární ekonomiky podle European Environment Agency. Převzato a překresleno z: [18]

Střední kruh tvoří materiálové toky, kdy rozlišujeme mezi technickými materiály a přírodními materiály. Dále na obrázku můžeme vidět pojem ekodesign, který je strategickým přístupem k řízení celých životních cyklů produktů, procesů a služeb. Strategií ekodesignu je navrhnout takový produkt, který bude vhodný, a hlavně snadně recyklovatelný či rozebratelný, což může usnadnit repasování daného produktu ve vhodném servisu. Následujícím bodem jsou výroba a distribuce. Zde si cirkulární ekonomika klade za cíl minimalizovat materiálové vstupy a omezovat produkci nerecyklovatelných nebo nebezpečných odpadů. Volba spotřeby produktů či využití služeb ze strany občanů, vlád a podniků má značný vliv na realizaci cirkulární ekonomiky při následné možné likvidaci. Jako poslední a jeden z hlavních pilířů cirkulární ekonomiky je přivádění materiálů zpět do ekonomiky a zamezení transportu odpadu na skládky nebo do spaloven. Je potřeba věnovat pozornost rozšiřování kvality a hodnoty recyklovaného materiálu. Další inovace a vyšší účinnost jsou vyžadovány ve všech fázích recyklačního systému: sběr, předúprava a zpracování. [18]

Vnitřní kruh poukazuje na opětovné použití, opravy či sdílení, které zamezují tvorbě odpadu nebo ho ve značné míře redukuje. Tyto přístupy udržují hodnotu produktů či komponentů na nejvyšší možné úrovni a zároveň prodlužují jejich životnost. Jedná se o nejefektivnější metodu cirkulární ekonomiky z hlediska minimalizování plýtvání přírodními zdroji. [18]

1.3 Základní principy cirkulární ekonomiky

1.3.1 Ekodesign

Ekodesign lze vymezit jako systematický proces navrhování a vývoje produktu, který kromě běžných vlastností, jako je funkčnost, hospodárnost, bezpečnost, ergonomie, technická proveditelnost či estetika, přikládá důležitý význam co nejmenšímu negativnímu dopadu na životní prostředí prostřednictvím výroby a užívání produktu během jeho životního cyklu. Snížení negativního dopadu produktu během jeho životního cyklu znamená, že design není pouze zaměřen na snížení odpadu při výrobě, ale také na případný způsob likvidace či opravy, tak aby bylo jednáno co nejšetrněji k životnímu prostředí. [19]

Z ekonomického hlediska může ekodesign snížit výrobní náklady, což povede ke zvýšení kupní síly pro spotřebitele. Pokud budou výrobky navrženy tak, aby vydržely co nejdéle a bylo by je možné snadno opravit, vylepšit vlastníky produktů nebo profesionálními opravami, hodnota by se ve společnosti uchovala mnohem déle, než když je výrobek vyřazen a jeho materiály jsou recyklovány. Tento efekt může přispět k oddělení hospodářského růstu od spotřeby zdrojů prostřednictvím nižšího využívání materiálů a energie, vyšší míry recyklace a nižší produkce odpadu. V roce 1992 byla představena na veletrhu v Hannoveru kancelářská otočná židle německé společnosti Wilkhahn Ltd. v rámci programu Picto 20, která byla navržena v souladu se zásadami ekodesignu a měla velký úspěch nejen pro ekology, ale i pro spotřebitele. Ekologové ocenili jak snížení znečišťujících materiálů, tak i vysoký podíl recyklovatelných komponentů (95 %). Díky recyklačním procesům byly také sníženy výrobní náklady a cena židle. [19]



Obr. 3 Picto židle model 206/7. Převzato z: [20]

1.3.2 Princip 3R

Princip 3R z anglických slov – reduce, reuse and recycle (redukce, znovupoužití a recyklace) je v podstatě přehled toho, jak správně nakládat s odpadem. Prvním a nejdůležitějším principem pyramidy je redukce, nebo-li snížení tvorby odpadu. Poté znovupoužití a recyklace, která pomáhá snížit množství odpadu, které jako lidstvo vyprodukujeme a nevhodně likvidujeme. [21]

Koncept obráceného trojúhelníku 3R znázorňuje množství objemu odpadu, se kterým by se mělo v každém kroku nakládat. To v podstatě znamená, že většina produkce odpadu by měla být od začátku omezena prvním krokem – redukcí. Když materiály již nelze znovu použít, je odpad recyklován např. se roztaví, naseká ap., aby se z něj vytvořil nový produkt, který může utrpět snížení kvality. Snížení kvality recyklovaných materiálů, stejně jako energie a zdroje potřebné k recyklaci odpadu, jsou dva z několika důvodů, proč recyklace není první prioritou správného nakládání s odpadem. [22]



Obr. 4 Obrácená pyramida principu 3R. Překresleno z: [21]

1.3.3 Cradle to Cradle

Cradle to Cradle, zkrácene C2C, je designový koncept, který byl vyvinut v 90. letech 20. století prof. Dr. Michaelem Braungartem a Williamem McDonoughem. Popisuje bezpečné a potenciálně nekonečné použití materiálů v cyklech. C2C je designový koncept inspirovaný přírodou, ve kterém jsou produkty vytvářeny podle principů ideální cirkulární ekonomiky. Všechny produkty a procesy, které dojdou do konce své životnosti jsou přetvořeny na něco nového, proto zde nenachází a neprodukuje odpad. Metoda se zaměřuje na nové vynalézání produktů tak, aby materiály a procesy měly pozitivní vliv na člověka a přírodu. To odlišuje Cradle to Cradle od konvenční recyklace. [23]



Obr. 5 Logo cradle to cradle. Převzato z: [23]

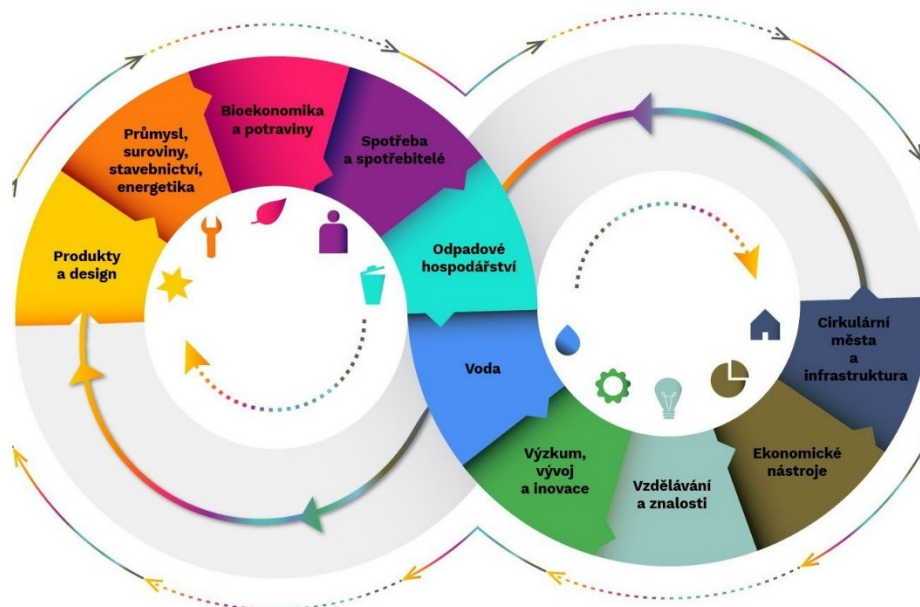
Koncepce designu C2C odlišuje dva cykly materiálů: technický a biologický. V technickém cyklu získávají primární suroviny díky zpracování takovou podobu, kdy je již nelze vrátit zpět do přírody. Tyto suroviny by měly cirkulovat co nejefektivněji, aby se omezilo množství nových surovin vytěžených z přírodních zdrojů. Technické materiály lze přímo znovu použít nebo je lze dále zpracovat a přeměnit na druhotné suroviny. Klíčové je však oddělit technologické cykly od přírody, abychom se vyhnuli problémům, jako je například znečištění biosféry mikroplasty. V biologickém cyklu se materiály vrací do přírody ve formě kompostu nebo jiných živin, ze kterých lze vytvářet materiály nové. Například bioplyn vzniklý z procesu lze využít k výrobě energie. Některé produkty pro biologický cyklus lze v technických cyklech několikrát přepracovat, než dojde k jejich navrácení zpět do biosféry. Podle cirkulárního ekonomického myšlení jsou všechny využívané materiály zapůjčené od přírody, a nakonec dojde k jejich navrácení do přírody na biologické bázi. Získávání surovin z přírody by mělo být na takové úrovni, aby byla umožněna postupná obnova. [24]

1.4 ČR a Evropa s cirkulární ekonomikou

Pojem cirkulární ekonomika se v posledních letech stává velmi diskutovaným tématem na evropském poli. Pravdou je, že pro méně vyspělé členské státy, bez vypracované infrastruktury odpadů, zásobování a recyklačních mechanismů je přechod na cirkulární ekonomiku v dnešní době utopie [25]. Každý stát má různé vize toho, co by oběhové hospodářství mělo znamenat, a proto si vytváří svoje návrhy a zájmy, které se mohou od myšlenek Evropské unie lišit.

1.4.1 Česká republika

Česká republika v roce 2021 vydala návrh pro veřejnou konzultaci od Ministerstva životního prostředí – Strategický rámec cirkulární ekonomiky České republiky 2040. Tento dokument definuje nutné kroky k tomu, aby se Česká republika zařadila po bok vyspělých států v prostředí cirkulární ekonomiky a byla v dlouhém časovém horizontu odolná vůči různým nástrahám, tj. změna klimatu, dovoz materiálů, recyklace odpadů a dalších. Cirkulární Česko 2040 se zaměřuje na 10 prioritních oblastí: produkty a design, spotřeba a spotřebitelé, odpadové hospodářství, průmysl, suroviny, stavebnictví, energetika, voda, výzkum, vývoj a inovace, vzdělávání a znalosti, ekonomické nástroje, cirkulární města a infrastruktura. [26]



Obr. 6 Jednotlivé části Strategického rámce cirkulární ekonomiky ČR 2040. Převzato z: [26]

Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (OECD) odhaduje, že globální spotřeba materiálů a následné související dopady na životní prostředí se od roku 2008 do roku 2060 bez razantních opatření minimálně zdvojnásobí. Aby se snížila spotřeba materiálu a vyrovnal se výsledný dopad na životní prostředí, musí celý hodnotový řetězec přijmout přísnější opatření v oblasti využití zdrojů a cirkulární ekonomiky a je také nutné přejít z lineárního obchodního modelu na obchodní model cirkulární. V této souvislosti se Česká republika zavázala formulovat Národní strategický rámec České republiky pro oběhové hospodářství 2040 (dále jen „Oběžník Česká republika 2040“ nebo „Strategický rámec“), který má za úkol přezkoumat a následně realizovat změny v stávajících plánech a programech v oblasti cirkulární ekonomiky. Česká republika má relativně komplexní politický a právní rámec pro odpady, nakládání se zdroji a bezpečnou a rozrůstající se digitalizaci. V mnoha oblastech mohou být současné politické nástroje přepracovány, vylepšeny nebo mohou být zavedeny nové nástroje politiky pro urychlení přechodu na cirkulární hospodářství. Vypracovaný plán Cirkulární Česko 2040 si dává za cíl posílit konkurenceschopnost vůči ostatním státům a zlepšit technologickou vyspělost, zlepšit dodavatelský řetězec a zefektivnit proces dodávání surovin a v neposlední řadě také vytvořit nové příležitosti pro pracovní trh. Záměrem Strategického rámce cirkulárního hospodářství České republiky 2040 je vytvořit předpoklady pro dlouhodobou odolnost České republiky vůči budoucím ekologickým hrozbám (včetně změny klimatu a ztráty biodiverzity) prostřednictvím cirkulárního hospodářství a vytvořit celkově udržitelný sociální systém. [26]

1.4.1.1 Produkty a design

Česká republika dosud plně neřešila témata produktového designu související s cirkulární ekonomikou, ale dlouhodobě rozvíjí dobrovolný systém eko značení (National Environmental Product and Service Labeling Scheme). Eko značení jsou štítky pro určité výrobky a služby, které jsou šetrnější k životnímu prostředí po celý svůj životní cyklus, a zároveň jsou také nezávadné pro zdraví spotřebitelů [27]. V roce 2019 byl celkový počet platných licencí používaných ekoznačkami 28 [28]. Česká republika si dala za cíl lépe využívat druhotných recyklovaných materiálů ve výrobním procesu a také podporovat optimalizaci výrobního procesu z hlediska prevence a eliminace odpadu [29]. Dále se zavázala také podporovat inovace a vývoj nových materiálů, postupů, technologií a produktů s cílem zajistit jejich recyklovatelnost, snadnou renovaci a modernizaci výrobků. [26]

1.4.1.2 Průmysl

Ekonomika České republiky je vysoce závislá na průmyslové výrobě. Zároveň má ČR jen omezenou surovinovou základnu, která činí ekonomiku závislou na dovozu ze zahraničí (zejména paliv a kovů) [30]. Z tohoto důvodu je potřeba s materiály a odpady hospodařit efektivně, tak aby zdroje v české ekonomice cirkulovaly co nejdéle a nejefektivněji. Průmysl a těžba surovin jsou páteří české ekonomiky a společně tvoří zhruba jednu třetinu hrubého domácího produktu. Mají však velké dopady na životní prostředí a budoucnost průmyslu ovlivní především akcelerace technologických inovací. V současnosti a v blízké budoucnosti jde především o tzv. Průmysl 4.0. Koncept Průmysl 4.0 se v České republice pomalu implementuje [29]. Ve světě mezitím vzniká velmi inovativní přístup zvaný Průmysl 5.0 (propojování lidí a robotů, nové materiály a zásadní změny ve výrobních procesech). [26]

1.4.1.3 Suroviny

Cirkulární ekonomika je jedním z řešení omezených zdrojů, z nichž jsou pro českou ekonomiku nejdůležitější energetické zdroje a nerostné bohatství [31]. Česká republika musí v příštích letech stanovit pravidla, která zajistí větší oběh surovin v ekonomice. Dále se musí zaměřit na snižování spotřeby primárních surovin, množství vyprodukovaného odpadu, a naopak prodlužovat životnost výrobků pomocí recyklačních a revitalizačních procesů [32]. Materiálová náročnost ekonomiky dlouhodobě klesá, např. v období mezi lety 2000 a 2019 klesla o 44,2 % [33]. V produktivitě zdrojů neboli v tom, jak ekonomika efektivně využívá materiální zdroje k vytváření prosperity, dosáhla ČR v roce 2017 nižší hodnoty než průměr EU, který činil 1,131 eur/kg (průměr EU byl 2,04 eur/kg). Proti závislosti na dovozu chce ČR bojovat několika kroky, a to: [26]

- Do roku 2040 využít míru cirkulární ekonomiky na materiály až trojnásobně oproti roku 2017.
- Zvýšit podíl recyklovatelných surovin do českého hospodářství oproti celkové spotřebě surovin v ČR a využití recyklovatelných surovin ve výrobních procesech.
- Předcházet vzniku zbytečného odpadu optimalizováním průmyslových procesů. Snižit materiálovou náročnost investicemi do vývoje nových metod výroby materiálů a postupů v technologii.

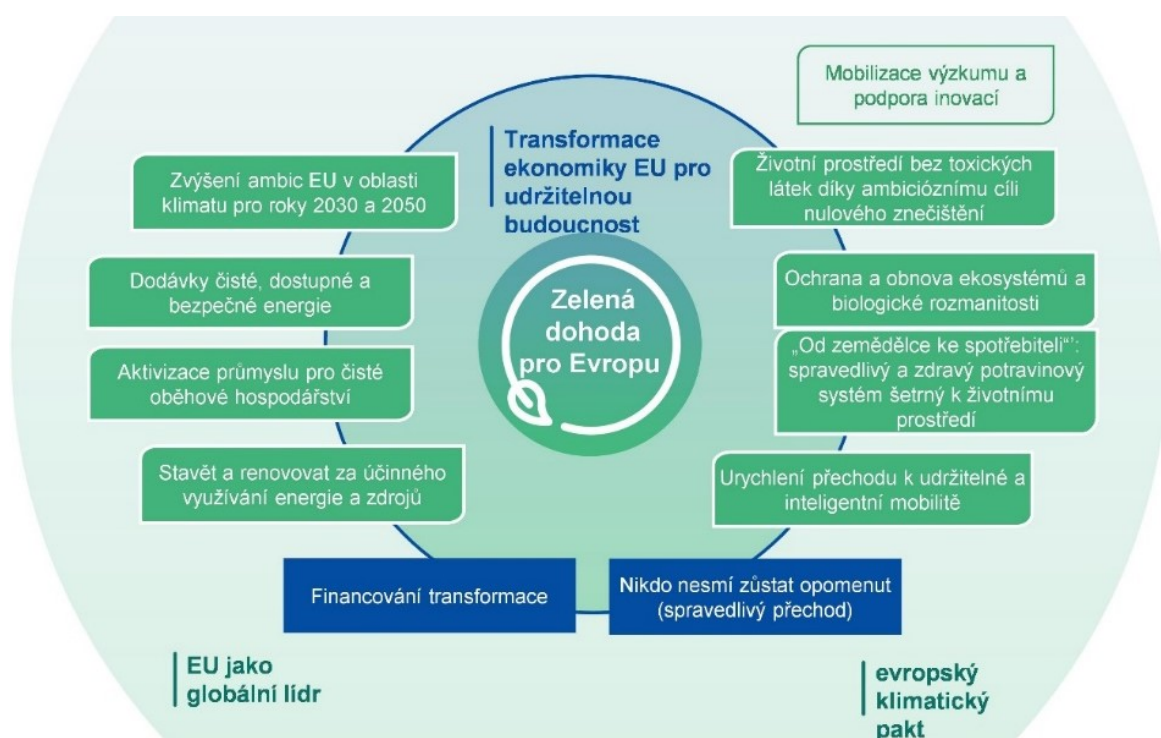
- Novelizovat odvody daní z primárních surovin. A v neposlední řadě větší podpora Průmyslu 4.0 v oblasti digitalizace a Big data pro monitoring materiálových toků.

1.4.1.4 Energetika

Česká ekonomika spotřebuje výrazně více energie, než je průměr EU. Energetická náročnost české ekonomiky má klesající tendenci a od roku 2000 do roku 2017 poklesla o 33,6 % [34]. Výroba, přenos a distribuce elektřiny jsou největšími zdroji emisí skleníkových plynů v ČR (kromě vytápění a distribuce) [35]. Klíčové pro CE je zlepšování energetické účinnosti a další způsoby, jako je zvyšování podílu obnovitelné energie nebo jaderné energie či získávání energie z odpadu. Energetická udržitelnost musí být v součinnosti s životním prostředím, které je schopné poskytnout suroviny pro svůj provoz, při ekonomické stabilitě. Problém je v tom, že se v České republice energeticky využívá jen 12 % z celkového vyprodukovaného komunálního odpadu pro energii, kdyžto průměr využití v EU je přes 29 %. Do roku 2035 se chce ČR přiblížit evropskému průměru ve využívání odpadu na energii v důsledku posílení energetické bezpečnosti v zemi. [26]

1.4.2 Evropská unie

V roce 2015 schválila Evropská komise akční plán na podporu přechodu Evropské unie k cirkulárnímu hospodářství. Tento plán zahrnuje 54 opatření k uzavření kruhu životního cyklu výrobku a je zaměřen na 5 hlavních sektorů ekonomiky [36]. V prosinci 2019 byla představena Zelená dohoda pro Evropu – plán transformace evropské ekonomiky na moderní, konkurenceschopnou a efektivní z hlediska zdrojů [37]. V rámci Zelené dohody byl v březnu 2020 schválen nový akční plán oběhového hospodářství s opatřeními pro podniky, veřejné orgány a spotřebitele k přijetí udržitelného modelu ekonomiky [38]. Tento akční plán se zaměřuje na design a výrobu s cílem zajistit, aby zdroje zůstaly v ekonomice co nejdéle.



Obr. 7 Jednotlivé části Zelené dohody. Převzato z: [37]

Zelená dohoda pro Evropu představuje novou strategii růstu, jejímž cílem je přeměnit Evropskou unii ve spravedlivou a prosperující společnost s moderní, na zdroje efektivní a konkurenceschopnou ekonomikou. Hospodářský růst bude oddělen od využívání zdrojů, a to na základě toho, že Zelená dohoda má za cíl do roku 2050 eliminovat produkci skleníkových plynů na možné minimum. Hlavním cílem je také chránit, uchovávat a zlepšovat přírodní kapitál EU a chránit zdraví a blaho občanů před riziky a dopady souvisejícími s životním prostředím. Zároveň musí být tento přechod spravedlivý a inkluzivní. Musí dát občany na první místo a věnovat pozornost regionům, průmyslovým odvětvím a pracovníkům, kteří budou čelit největším výzvám této strategie. [37]

1.4.2.1 Produkty a design

Zelená dohoda cirkulárního hospodářství zahrnuje politiku „udržitelných produktů“ na podporu cirkulárního designu všech produktů na základě společné metodiky a zásad. EU upřednostňuje snížení a opětovné použití materiálů před jejich recyklací. Podporuje nové obchodní modely a stanovuje minimální požadavky tak, aby se zabránilo uvádění výrobků škodlivých pro životní prostředí na evropský trh. Posílena bude také rozšířená odpovědnost výrobců za případné znečišťování biosféry. [37]

Plán pro cirkulárního hospodářství se bude řídit přechodem všech odvětví, ale hlavní důraz bude kladen na opatření zejména v odvětví náročná na zdroje, jako je textil, stavebnictví, elektronika a plasty. Komise naváže na strategii pro plasty z roku 2018, která se mimo jiné zaměří na opatření proti záměrně přidávaným mikro plastům a neúmyslnému uvolňování plastů, např. z textilu. Komise vypracuje požadavky, které zajistí, že do roku 2030 budou všechny obaly na trhu EU znovu použitelné nebo plně recyklovatelné. Dále se vypracuje regulační rámec pro biologicky rozložitelné plasty a zavede opatření týkající se plastů na jedno použití. [37]

Důležité bude také zahrnovat opatření, která povzbudí podniky, aby nabízely a umožnily spotřebitelům vybrat si opakovaně použitelné či opravitelné produkty. Nové obchodní modely založené na pronájmu a sdílení zboží a služeb budou hrát velkou roli v ekonomickém prostředí, pokud budou skutečně udržitelné a dostupné. [37]

1.4.2.2 Průmysl

Dosažení klimaticky neutrálního a cirkulárního hospodářství vyžaduje plnou mobilizaci průmyslu. Transformace průmyslového sektoru a všech hodnotových řetězců trvá přibližně 25 let. Průmysl zahájil postupný vývoj ke skleníkové neutralitě, ale stále tvoří 20 % emisí skleníkových plynů v EU. Průmysl v EU zůstává velice lineární a závisí na velkém množství nově vytěžených materiálů, které se poté přeměňují a zpracovávají na produkty, které jsou ve finále likvidovány jako nechtěný odpad. Pouze 12 % materiálů, které se využívají v procesech, pochází z recyklace. Přechod je příležitostí k rozšíření udržitelné hospodářské činnosti náročné na pracovní místa. [37]

Na globálních trzích existuje významný potenciál pro nízkoemisní technologie, udržitelné produkty a služby. Stejně tak cirkulární hospodářství nabízí velký potenciál pro nové aktivity a pracovní místa. Transformace však probíhá příliš pomalým tempem a pokrok není ani rozšířený, ani jednotný. Evropská Zelená dohoda by měla podpořit a urychlit přechod průmyslu EU k udržitelnému modelu inkluzivního růstu. Spolu s průmyslovou strategií

pomůže nový akční plán oběhového hospodářství modernizovat hospodářství EU a využít příležitostí cirkulárního hospodářství doma i ve světě. [37]

1.4.2.3 Suroviny

Udržitelná produktová politika má také potenciál výrazně snížit množství odpadu. Tam, kde se odpadům nelze vyhnout, je třeba obnovit jejich ekonomickou hodnotu a zabránit nebo minimalizovat jejich dopad na životní prostředí a na změnu klimatu. Společnosti v EU by zároveň měly těžit ze silného a integrovaného jednotného trhu pro druhotné suroviny. To vyžaduje hlubší spolupráci napříč hodnotovými řetězci, jako je tomu v případě Circular Plastics Alliance. Komise zváží právní požadavky na posílení trhu s druhotnými surovinami s povinně recyklovaným obsahem (například pro obaly, vozidla, stavební materiály a baterie). Komise je toho názoru, že EU by měla přestat vyvážet svůj odpad mimo EU, a proto přezkoumá pravidla o přepravě odpadu a nezákonném vývozu. [37]

Přístup ke zdrojům je také strategickou bezpečnostní otázkou pro ambice Evropy realizovat Zelenou dohodu. Zajištění dodávek udržitelných surovin, zejména kritických surovin nezbytných pro čisté technologie, digitální, kosmické a obranné aplikace. Tím lze dosáhnout prostřednictvím diverzifikace dodávek z primárních i sekundárních zdrojů. [37]

1.4.2.4 Energetika

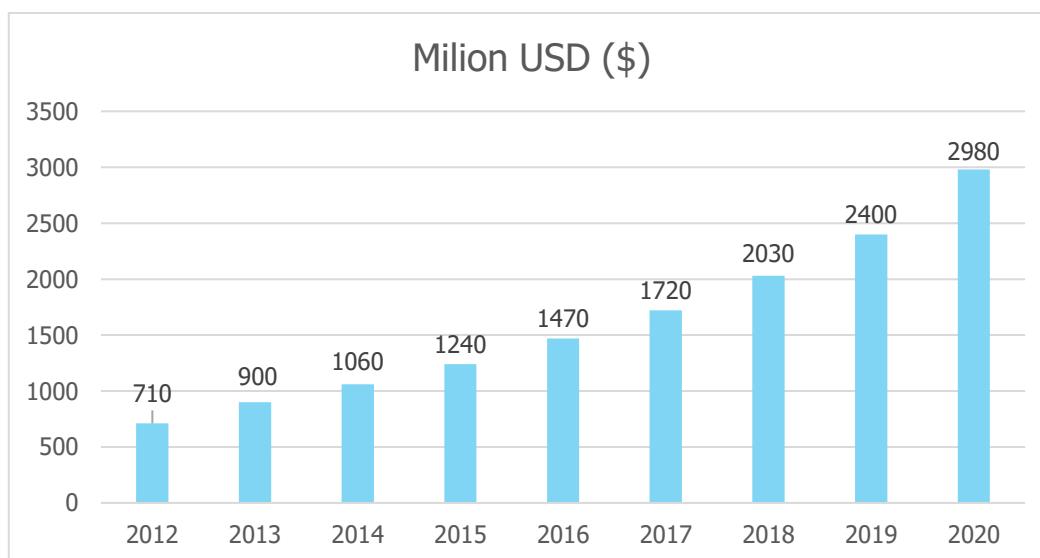
Další dekarbonizace energetického systému je zásadní pro dosažení cílů v oblasti klimatu v roce 2030 a 2050. Výroba a využití energie napříč hospodářskými odvětvími tvoří více než 75 % emisí skleníkových plynů v EU. Energetická účinnost musí být prioritou. Musí být vyvinuto odvětví energetiky, které bude z velké části založeno na obnovitelných zdrojích, doplněné rychlým vyřazováním uhlí a dekarbonizací plynu. Zásobování energií pro členské státy musí být bezpečné a zároveň dostupné pro spotřebitele a podniky. Aby se tak stalo, je nezbytné zajistit, aby byl evropský trh s energií plně integrovaný, propojený a digitalizovaný při současném respektování technologické neutrality. [37]

Obnovitelné zdroje energie sehrají v CE zásadní roli. Zásadní význam bude mít zvýšení výroby větrné energie na moři, která musí vycházet z regionální spolupráce mezi členskými státy. Inteligentní integrace obnovitelných zdrojů energie, energetické účinnosti a dalších udržitelných řešení napříč odvětvími mohou pomoci dosáhnout dekarbonizace za nejnižší možné náklady. Rychlý pokles nákladů na obnovitelné zdroje v kombinaci s lepším návrhem podpůrných politik již snížil dopad na účty domácností za energii zaváděním obnovitelných zdrojů [39]. [37]

2 Smart textilie

Pojem chytrý materiál byl poprvé definován v Japonsku v roce 1989. Prvním textilním materiálem, který byl zpětně označen jako chytrá textilie, byla hedvábná nit s tvarovou pamětí. Objev materiálů s tvarovou pamětí v 60. letech a inteligentních polymerních gelů v 70. letech 20. století jsou obecně přijímány jako zrod skutečných chytrých materiálů. Teprve koncem 90. let byly v textilu zavedeny inteligentní materiály [40]. Prvotní výzkumy se zabývaly tím, jak integrovat vodivá vlákna a obvody do textilií. Výzkum pokračoval další roky a postupně bylo dosaženo hustší integrace s přidáním senzorů, ovladačů, uživatelských rozhraní a složitých textilních obvodů do textilií [41].

Textil se základními vlastnostmi oděvu, ochrany a estetiky je nepostradatelnou součástí našich životů. V posledních letech s rozvojem technologií a změnami požadavků roste po celém světě stále více i poptávka po chytrých materiálech a inteligentních textiliích. Jinými slovy, technologie ovládla i textilní průmysl. Inteligentní textilie si nachází místo v armádě, zdravotnictví, sportu atd. Inteligentní, neboli smart textilie lze také nazvat textiliemi nové generace. Trh s chytrým textilem roste v průměru o 20 % každý rok. Graf 3 ukazuje růst globálního trhu s chytrými, inteligentními, digitálními a interaktivními látkami a textiliemi od roku 2012 do roku 2020. [42]



Graf. 3 Vývoj kapitalizace smart textilií v globálním měřítku. Překresleno z: [42]

Definice smart textilií dle Lieva Van Langenhove a Carla Hertleer zní: Smart textilie jsou textilie, které jsou schopny vnímat podněty z okolí, reagovat na ně a přizpůsobovat se jim integrací funkčnosti do struktury textilu. Podnět a reakce mohou mít elektrický, tepelný, chemický, magnetický nebo jiný původ [40].

2.1 Rozdělení smart textilií

2.1.1 Pasivní smart textilie

Pasivní smart textilie, které jsou často považovány za „první generaci“ smart textilií mají funkčnost nad rámec tradičních textilií. Je však třeba vědět, že pasivní textilie se obecně nepřizpůsobují v důsledku informací, které snímají pomocí senzorů. Jinými slovy, textilie se nemění, když se změní podmínky prostředí. Typickými příklady pasivních smart textilií jsou oděvy s ochranou proti UV záření, antimikrobiální anebo voděodolné tkaniny či s tepelným vyhříváním. [43]

Pasivní prvky, jako jsou UV absorbéry, se přidávají do vláken, aby vytvořily vlastnosti ochrany před sluncem. Při použití v kombinaci s jinými technickými komponenty mohou být tyto materiály velmi účinné při prevenci poškození kůže a dalších souvisejících stavů, které jsou důsledkem vystavení slunečním paprskům. Antimikrobiální kompozitní povlaky jsou oblíbenou komoditou v textilním průmyslu, zejména při výrobě aktivního oblečení. Tyto povlaky účinně zabraňují růstu bakterií, které se produkují zvýšeným pocením. [44]

2.1.2 Aktivní smart textilie

Druhá generace smart textilií označovány jako aktivní smart textilie jsou ty, které se přizpůsobují a mění svou funkčnost pomocí senzorů a akčních členů v reakci na změny vnějšího prostředí nebo v reakci na vstup uživatele, ať už je to pohyb, teplota, intenzita světla či znečištění a na základě svého programu se rozhodnout, jak reagovat [45]. „Rozhodnutí“ může nastat lokálně v případě vestavěných elektronických zařízení (textilní elektronika) do inteligentních textilních struktur nebo vzdáleně v případě, že je chytrá textilie bezdrátově připojena ke cloudům obsahujícím databázi, servery se softwarem umělé inteligence atd.

Aktivní inteligentní textilie mají širokou škálu možností a mají mnoho vlastností, které pasivní smart textilie nemají. Jak již bylo zmíněno dříve, aktivní textilie se přizpůsobují a mění svou funkčnost v reakci na vnější prostředí. [46]

Mezi nejčastější aplikace aktivních textilií patří svrchní oděvy; konkrétně oděvy, které regulují tělesnou teplotu [44]. Takzvaná chameleóni textilie je díky svým funkčním látkám schopna reagovat na vnější prostředí. Přítomnost pigmentů v látce pomáhají absorbovat teplo z okolí či UV záření, čímž mění své optické vlastnosti a chemickou strukturu [47]. Automobilový průmysl je možná tím největším, kdo implementuje aktivní chytré textilie.

V současné době je ve vývoji několik konceptů, ale jedním, který vyniká nejvíce, je schopnost rozlišit řidiče automobilu podle jejich velikosti a hmotnosti pomocí tlakových senzorů.[44]

2.1.3 Ultra smart textile

Ultra smart textile jsou třetí a nejpokročilejší generací smart textilií. Dokážou vnímat, reagovat, monitorovat a přizpůsobovat se podle podnětů nebo podmínek prostředí, jako jsou tepelné, mechanické, chemické, magnetické nebo jiné zdroje. Ultra chytrá nebo inteligentní textile se v podstatě skládá z kontrolní jednotky, která funguje jako mozek, dále paměťové jednotky a vodičů a jako v případě aktivních smart textilií jsou obsahem akční členy a senzory. Nová vlákna, textilní materiály a miniaturizace elektronických součástí umožňují výrobu a použitelnost chytrého oblečení v různých situacích podle navržených aplikací. [45].

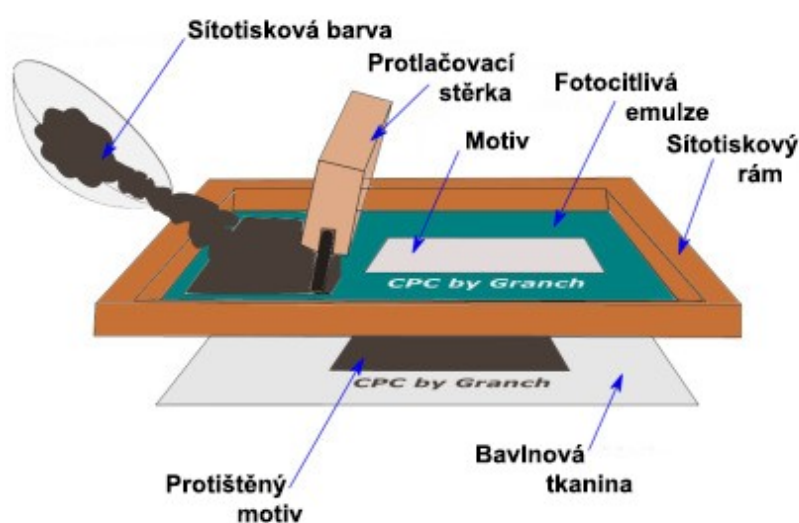
2.2 Technologie pro smart textilie

Smart materiály jsou začleněny do textilní struktury různými technologiemi: vyšíváním, pletením, tkaním, předením, splétáním, potahováním, tiskem, pokovováním a chemikáliemi, které poskytují specifické vlastnosti. Techniky integrace vodivého materiálu do nebo na textilní strukturu lze kategorizovat na základě formy výchozího vodivého materiálu, který používáme. Výchozí vodivé materiály mohou být vodivé sloučeniny, vlákna, příze nebo fólie. Techniky integrace těchto výchozích vodivých materiálů jsou proto různé a budou blíže představeny v dalších kapitolách.

2.2.1 Technologie na povrch smart textilie

2.2.1.1 Sítotisk

Jednou z nejučinnější a nákladově efektivních metod pro vytváření vodivých vzorů na různých textilních substrátech je sítotisk. Díky jednoduché výrobě je sítotisk široce používanou tiskovou technikou pro realizaci textilní elektroniky. Lze snadno nanést různé vzory pomocí síta a vodivých past na tkaninu, aby se po vytvrzení vytvořila pružná, pevná a vhodně funkční vrstva. Velkou výhodou je také počet opakování sítotiskem, který je téměř neomezený. Sítotiskový proces probíhá z tisku vodivé pasty přes vzorovanou šablonu s následným procesem vytvrzování v závislosti na substrátu a vlastnostech použité vodivé sloučeniny. Tuto techniku lze použít k nanášení vodivých polymerů a kovových či elektrolytických inkoustů na textilní substráty. Substráty by měly mít vysokou elektrickou vodivost, odolnost proti oxidaci a dobrou přilnavost k textilií. [48]



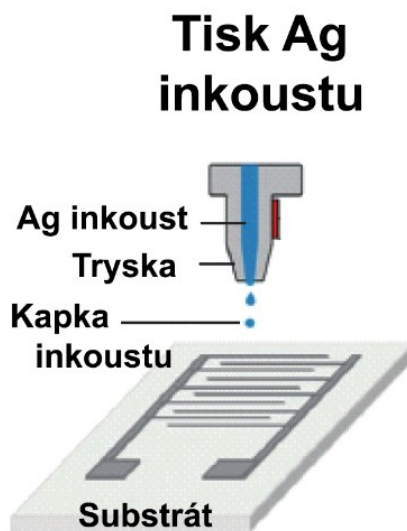
Obr. 8 Proces technologie sítotisku. Převzato a překresleno z: [48]

2.2.1.2 Transferový tisk

Při transferovém tisku se požadovaný design nejprve vytiskne na netextilní substrát nazývaný tisková matrice a poté se za použití tepla a tlaku přenesse na textilní tkaninu. Tato cesta by byla zvolena v případě, kdy přímý tisk na látku není vhodný. Ve většině případů mohou takové potíže vzniknout z drsného povrchu textilie. Částice mohou být přeneseny z předtiskné matrice na textilií sublimací, tavením, uvolňováním filmu anebo přenosem za mokra. [48]

2.2.1.3 Inkoustový tisk

Flexibilnější technikou, kterou lze dobře zabudovat do moderní výrobní logistiky textilií a oděvů, je digitální inkoustový tisk. Inkoustový tisk je technologie, při které jsou malé kapičky kapalin nebo disperze vystřikovány drobnými tryskami (průměr <20 mm) tak, aby dopadly na substrát na přesném místě. Inkoustový tisk představuje inovativní tiskovou techniku pro textilní materiály a v blízké budoucnosti nabude značného významu, a to s ohledem na fakt, že tato technologie zkrátí dobu tisku a naplní silnou potřebu průmyslu reagovat v reálném čase na potřeby zákazníků. Proces je aditivní, nevyžaduje leptací chemikálie škodlivé pro životní prostředí a zároveň minimalizuje množství produkovaného odpadu a s ohledem na fakt, že není vyžadována žádná maska (vzor), existuje velká flexibilita měnit design.[48] [49]



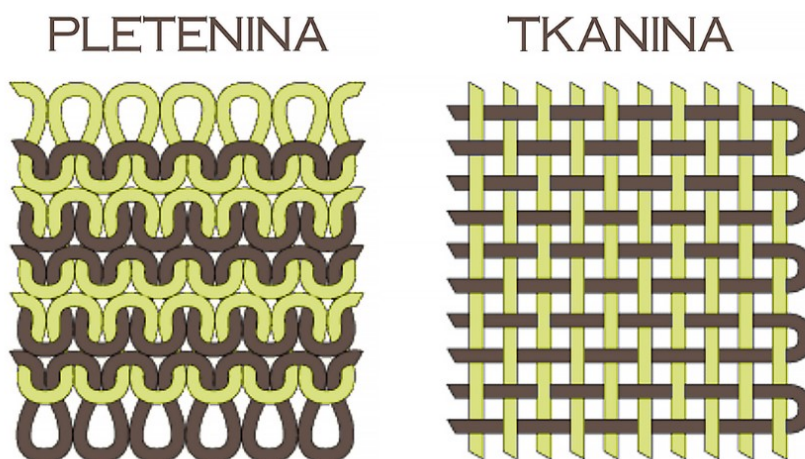
Obr. 9 Proces technologie inkoustového tisku. Převzato a překresleno z: [50]

2.2.2 Integrace vodivé příze a vodivého vlákna

Obecnými vlastnostmi pletených i tkaných textilií jsou nízká hmotnost, přenosnost a pohodlí pro pokožku (např. prodyšnost) ve srovnání se standardními elektrickými a optickými systémy. Tkaniny jsou obvykle odolné a poskytují stabilnější tvar než pleteniny. To umožňuje přesnější umístění jednotlivých přízí a hustší integraci elektronických a optických funkcí. Kromě toho jsou tkané textilie relativně pevné a odolné proti deformaci, zatímco pletené textilie se vyznačují vysokou elasticitou a tažností, dobrou přizpůsobivostí v mechanicky aktivním prostředí (např. textilie používané v oděvech), jakož i dobrou prodyšností, tepelnou odolností a vlastnostmi přenosu vlhkosti. [51]

2.2.2.1 Pletení

Pletení je technika výroby převážně dvourozměrné tkaniny vyrobené z jednorozměrné příze nebo nitě. Pletenina se skládá z řady po sobě jdoucích řad smyček, nazývaných stehy. Pleteniny lze vyrábět ze všech druhů přízí: přírodních materiálů, jako je vlna nebo bavlna, syntetických materiálů, jako je PES nebo PAC, nebo dokonce sprádaná kovová či uhlíková vlákna. Podle tloušťky zpracovávaných přízí a měřidla pletacího stroje mohou pletená oka vykazovat širokou škálu tvarů a velikostí. Ve srovnání s tkanými strukturami lze pleteniny snadno deformovat a přizpůsobit se tak různým tvarům podle jejich použití. Díky tomu jsou vhodné pro oděvní průmysl, aby se přizpůsobily různým tvarům lidského těla. [51]



Obr. 10 Rozdíl mezi zpracováním pleteniny a tkaniny. Převzato z: [52]

2.2.2.2 Tkaní

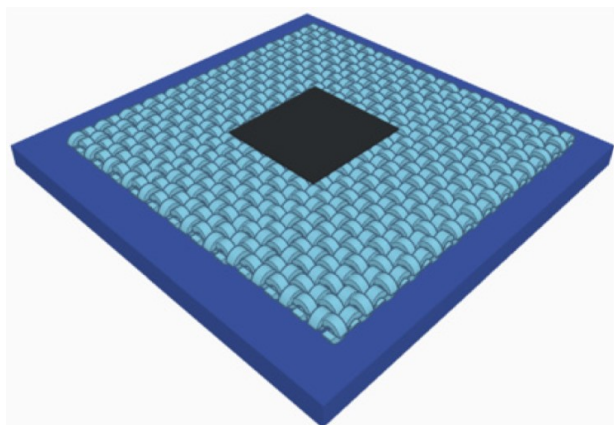
Tkaní je nejstarší způsob přeměny příze na látku. Zatímco moderní metody jsou složitější a mnohem rychlejší, základní princip proplétání přízí zůstává nezměněn. Tkaní je proces, který proplétá dvě na sebe kolmé sady přízí, nazývané útek a osnova. Tkaní představuje atraktivní médium pro elektronickou integraci, protože jsou velmi přesné a lze je automaticky vyrábět a vytvářet velkoplošné povrchy se specifickými vodivými vlastnostmi při velmi vysokých rychlostech. Tkaniny pro elektronické aplikace jsou navrženy tak, že vodivé drátky jsou zabudovány během výroby. Nevodivá tkanina se obvykle skládá z polymerních přízí, jako je polyester nebo polyamid, zatímco vodivé složky využívají ideálně dobré vodiče, jako je stříbrný či měděný drátek. [51]

2.3 Materiály pro smart textilie

Elektricky vodivé textilie se používají v mnoha aplikacích smart textilních materiálů. Běžné textilní materiály jsou však obvykle izolační materiály, kde je nelze přímo použít pro smart textilní aplikace, které vyžadují elektrickou vodivost. Je možné získat elektricky vodivou textilií integrací kovových drátků, vodivých polymerů nebo jiných vodivých sloučenin do textilní struktury v různých fázích, jako je výroba vláken, spřádání příze nebo fáze vytváření tkaniny. Pro dodání vodivosti mohou být do textilní struktury vloženy netextilní kovové dráty ze stříbra, nerezové oceli, niklu, hliníku či mědi. Kovy poskytují vysokou vodivost, která je velmi důležitá pro některé chytré textilní aplikace, ale zvyšují hmotnost materiálu a ovlivňují jeho pružnost. Některé kovy jsou navíc náchylné ke korozi. Kromě použití kovových drátů lze vodivé textilie na bázi kovu vyrábět také nanášením kovového inkoustu na povrch textilních materiálů, ty mají ale omezení ve stabilitě při praní. To vede k hledání alternativních vodivých sloučenin k výrobě spolehlivých vodivých textilií s lepší flexibilitou. [48]

2.3.1 Vodivá pasta

Procesy sítotisku umožňují vytvářet motivy pro funkční elektronické obvody, při kterých se využívají vodivé pasty. Pasty se obecně používají v textilním průmyslu na nanášení motivů různých obrazců či v elektronice se nanášejí na elektronické součástky za účelem odvodu tepla. Pokud chceme získat vodivé vlastnosti pasty musíme dodat prvky, který nám vodivost zaručí, což je například uhlík, měď, stříbro, nikl či zlato. Výsledný spoj musí být schopen se pružně roztáhnout při zachování dostatečné úrovně vodivosti, dále pohodlný na nošení pro uživatele a vydržet zátěž mycích cyklu v běžné pračce. [53] [54]



Obr. 11 Aplikovaná vodivá pasta na textilií. Převzato z: [55]

2.3.2 Vodivá vlákna

Vlákno lze definovat jako strukturu, která je jemná, flexibilní a vykazuje vysoký poměr délky k šířce. Vodivé vlákno je elektronický vodivý prvek, který má strukturu vlákna a jsou v něm obsaženy vlákna z kovů – stříbro, měď, zlato či uhlík nebo vodivé polymery. [56]

2.3.2.1 Kovová vlákna

Největší výhodou kovů je jejich nízký elektrický odpor. Kovová vlákna se vyrábějí procesem tažení ve svazcích nebo rozřezáním plátů na úzká vlákna. Když jsou kovové vlákna vyrobeny jsou poté přidány pletením či tkaním do nevodivé textilie pro vytvoření vodivého vlákna a pro zhotovení přípojí mezi jednotlivými elektronickými komponenty na textilií. Nejčastějšími používanými materiály jsou stříbro, měď, zlato a ocel. [56]



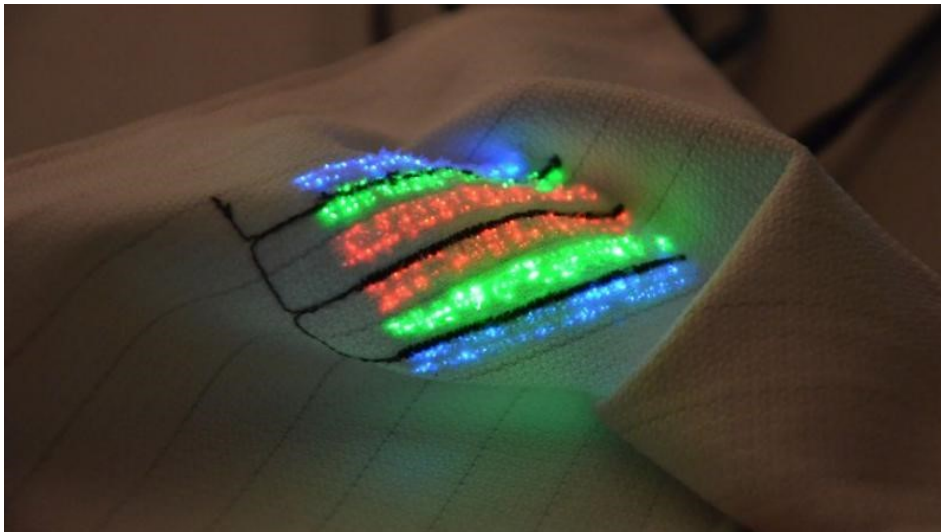
Obr. 12 Kovová vlákna. Převzato z: [57]

2.3.2.2 Vodivé polymery

V současnosti jsou při vývoji elektrovodivých textilií široce používány vodivé polymery. Některé běžně známé polymery zahrnují polyacetylen, polypyrrol nebo polyanilin. Polymery mohou kombinovat elektrické vlastnosti kovů či polovodičů s výhodou konvexních polymerů jako je cena, strukturní rozmanitost, flexibilita a trvanlivost, což z nich dělá ideální volbu pro smart textilie. Vodivost polymerů lze ještě zvýšit přidáním organických rozpouštědel, jako je etylenglykol, dimethylsulfoxid nebo glycerol. Proto lze tyto vodivé polymery použít k vývoji všech staveních bloků smart textilního systému, jelikož přidáním organických rozpouštědel lze dosáhnout široké škály elektrických vlastností. [48]

2.3.3 Optická vlákna

Optická vlákna byla známá již v 60. letech 20. století pro přenos světla, ale nikoli pro přenos signálu. V průběhu času se technologie optických vláken vyvíjela a postupně byla aplikována do nositelných smart textilií pro různé implementace, jako je komunikace, snímání a monitorování. Na základě poptávky mladých a módních spotřebitelů po jedinečném oblečení byla optická vlákna úspěšně zabudována do textilií pro barevné osvětlení částí oblečení. Vlákenný vzhled optických vláken je výhodou oproti mnoha dalším zařízením pro aplikaci v chytrých textiliích. Optická vlákna jsou dosti podobná tradičním textilním vláknům a zejména polymerní optická vlákna, jsou flexibilní, malá, lehká, odolná, nákladově efektivní a odolná vůči elektromagnetickému rušení bez generování tepla. Tyto vlastnosti dělají z optických vláken ideální materiál pro zabudování do smart textiliích, kde mohou např. přenášet datové signály k řadě funkcí, přenášet světlo pro optické snímání, detekovat deformace tkanin v důsledku napětí a napětí a provádět chemické snímání. [48]



Obr. 13 Optická vlákna na textilii. Převzato z: [58]

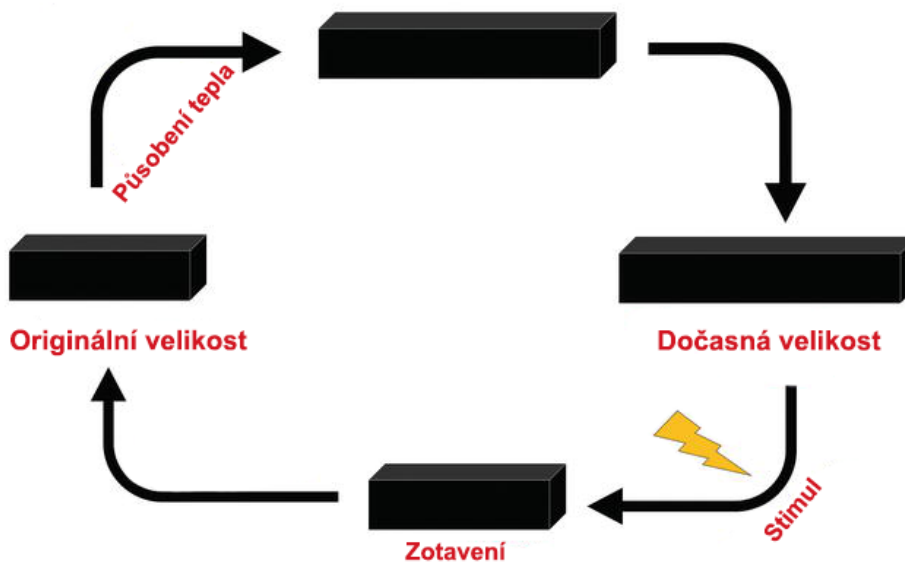
2.3.4 Povlak s nanočásticemi

Nátěry založené na nanotechnologiích jsou považovány za nový pohled na postupy konečné úpravy textilií. Nanočástice a nanostrukturní materiály jsou zaváděny pro účely povrchové úpravy a chytré funkce textilií. Úspěch nanočástic souvisí s jejich vlastnostmi souvisejícími s velikostí a vysokým poměrem povrchové plochy k objemu, což vede k jejich lepším vlastnostem. Jejich využití v textilním průmyslu ve světě rychle roste a pokrývá širokou škálu aplikací v odvětví, jako jsou průmyslové, oděvní a technické textilie. Hlavním cílem funkcí prostřednictvím nanočástic jsou antibakteriální, hydrofobní, nehořlavé, samočisticí a nejdůležitější elektrické vlastnosti při zachování

prodyšnosti textilie. Díky intenzivnímu úsilí v oblasti nanopovlaků textilií bylo vyvinuto několik metod a mezi nejvíce používané postupy pro textilní nanopovlaky jsou metody oplachování a vytvrzování. Mezi nevýhody týkající se aplikace nanočástic řadíme problémy s čistotou, velikostí a tvarů nanočástic a trvanlivost v textiliích. [59]

2.3.5 Slitiny s tvarovou pamětí

Materiály s tvarovou pamětí jsou chytré materiály, které se dokážou dostat do svého původního stavu po deformaci při reakci s vnějším prostředím, jako jsou chemikálie, teplota, pH, světlo či magnetické pole. Dnešní pojetí textilu se nepochybně liší od minulosti a očekávání lidí od textilu se stále více mění. V tomto bodě mohou materiály s tvarovou pamětí odpovídat na tyto potřeby v textilu díky svým chytrým funkcím. Materiály s tvarovou pamětí lze použít v textilu jako příměs příze a tkaniny. Například slitina nikl – titan byla vyvinuta tak, aby poskytovala zvýšenou ochranu proti teplu. Slitina s tvarovou pamětí má různé vlastnosti, pokud teplota klesne nebo vzroste na aktivační teplotu. Pokud teplota vzroste na aktivační teplotu, slitina se vrací do původního tvaru, a naopak pokud teplota klesne pod aktivační teplotu, slitina se deformuje do nové podoby. Teplotu aktivace lze zvolit změnou poměru niklu a titanu ve slitině. [60]



Obr. 14 Cyklus natahování slitiny s tvarovou pamětí. Převzato a překresleno z: [60]

2.4 Výrobci smart textilních prvků

2.4.1 Vodivé nitě

Od roku 1854 je AMANN [61] jedním z předních mezinárodních výrobců vysoce kvalitních šicích nití, vyšivacích přízí a smart přízí. Společně se zákazníky a partnery vyvíjí chytré produkty, individuální řešení a inovativní nápady tak, aby splnili požadavky na trhu dneška i zítřka. Zároveň spojují tradici a inovace do funkčních vláken pro mnoho různých použití. Ve své nabídce mají i produktovou řadu Silver-tech [62], která obsahuje stříbrem potažený polyamid/polyester s úpravou hybridní příze nebo řadu Silver-tech+ [63], kde se nachází postříbřený polyamid multitalament pro maximální vodivostní vlastnosti.



Obr. 15 Produktová řada Silver-tech+. Převzato z: [63]

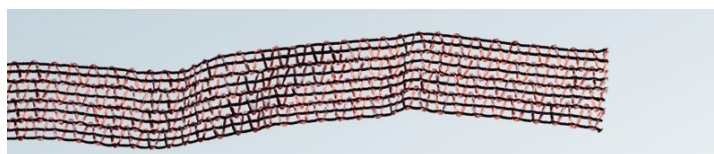
Další významnou společností na trhu smart nití je společnost Madeira, kdy její počátky sahají do roku 1919. V současné době se přibližně 70 % prodaných nití vyrobí jejich v sídle v Německu pomocí moderních a udržitelných technologií. Firma vyrábí vysoce vodivé nitě pro průmyslové vyšivací stroje, kdy nitě mohou být skryty mezi dvěma vrstvami látky, ale jsou také dostatečně hladké na to, aby byly přímo našité na vrchní vrstvě textilie. Tato flexibilní příze byla speciálně vyvinuta pro všechny druhy elektronických aplikací a lze ji použít k vytvoření obvodů pro senzory, akční členy, vyhřívání, přenos zvuku nebo k připevnění flitrů LED. [64] Firma prodává dva druhy postříbřených nití. První varianta je s odporem 100 ohmů na metr, která je vhodná pro všechny aplikace, kde je vyžadován velmi nízký odpor. Druhá varianta je s odporem 300 ohmů na metr. [65]

2.4.2 Vodivé textilie

Německá firma Shieldex stojí za výrobou textilií více než 40 let. [66] Ve své portfoliu vodivých textilií mají tři různé druhy výroby. První z nich jsou tkaniny, které působí jako technické textilie v oblasti textilních vodivých drah, senzorů a stínění elektromagnetického záření. Druhé z nich jsou pleteniny ze stříbra, které jsou vhodné pro lékařské aplikace díky antimikrobiálním účinkům. Používají se jako obvazy na rány, ve veterinární medicíně, při kožních onemocněních a v protetice a sensorové technice. Třetí jsou netkané textilie upravené stříbrem, mědí, niklem nebo cínem, které se aplikují mimo jiné ve vojenském vybavení a lékařství. Další možné aplikace lze nalézt v technické oblasti a při stínění elektromagnetických vln. V porovnání s tkanými a pletenými látkami jsou netkané textilie relativně tenké. [67]

2.4.3 Vodivé stuhy

Společnost AMOHR vyrábí tkaniny již více než 100 let. [68] Výrobu vodivých pásků rozlišuje na textilní elektrody a textilní ploché vodiče. Textilní elektrody se většinou používají pro ploché a plošné kontaktování. Společnost textilní elektrody vyrábí v elastickém i neelastickém provedení tak, aby si zákazník mohli vybrat typ produkty, který nejlépe odpovídá jeho aplikačnímu prostředí. Nabízí také textilní elektrody s integrovaným tavným lepidlem, které lze nažehlit na jakýkoli podklad. Také textilní ploché vodiče mohou být elastické či neelastické. Společnost je vyrábí v mnoha různých variacích od jednoho po osm izolovaných vodičů, ale na přání zákazníka je možné vyrobit i jiný počet vodičů. [69]



Obr. 16 Textilní ploché vodiče od společnosti AMOHR. Převzato z: [69]

Společnost Ohmatex má 10 let zkušeností s rozvojem dovedností potřebných k poskytování plně komplexních řešení pro vývoj smart oděvních zařízení. Jejich vodivé stuhy se vyznačují značnou měkkostí a pevností. S přidáním konektivity na textilní stuhu jsou zachovány i tradiční textilní vlastnosti jako pružnost, textura, stálobarevnost a pratelnost. Přizpůsobení umožňuje zahrnutí módního prvku s příležitostmi pro specifické barvy, vzory a textury. Zákazník si může také nadefinovat počet obsažených vodičů, zahrnutí koaxiálního kabelu, nehořlavosti, šířky kabelu a podobně. [70]

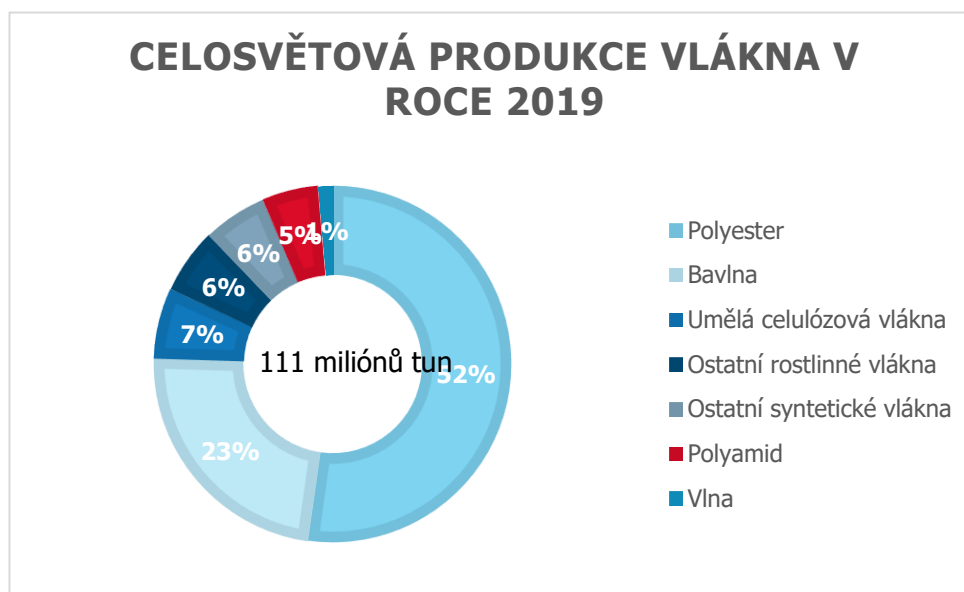
3 Recyklace smart textilií

3.1 Recyklace textilií

Předpokládá se, že do roku 2030 vzroste celková spotřeba textilu o 63 %, ze současných 48 milionů tun na 102 milionů tun, přičemž je 25 % nynější produkce odpovídajícím způsobem recyklováno. [71] Současný lineární model textilního průmyslu, který spočívá ve výrobě, použití a likvidaci, představuje viditelnou zátěž pro přírodní zdroje. Textil na skládce působí jako řada jiných odpadků nežádoucí účinky na životní prostředí. Umělá vlákna z oblečení se nerozkládají a skládky se čím dál tím více rozrůstají. I s přírodními vlákny to není snadné, ty se na skládkách časem rozkládají, ale vzniká při tom amoniak, metan a jiné skleníkové plyny, které znečišťují vzduch a spodní vody v okolí. V poslední době se rozvíjí trend odklonu od tohoto neudržitelného lineárního modelu směrem k modelu oběhovému, který uplatňuje koncept cirkulárního hospodářství. [72]

3.1.1 Recyklace vláken

Na grafu 4 můžeme vidět světový trh s vlákny, kde převažují dva typy vláken. Polyester a bavlna představují 75,5 % trhu s vlákny. Používání syntetických vláken, zejména polyesteru, stále roste. Polyester v současné době představuje více než polovinu celosvětově používaných vláken. Nárůst produkce vláken má významný dopad na planetu. Povědomí o naléhavé potřebě odpovědnějšího využívání zdrojů roste, nicméně změna neprobíhá v takovém měřítku a takovou rychlostí, jak by bylo potřeba. [73]



Graf. 4 Celosvětová produkce vlákna v roce 2019. Překresleno z: [73]

Textilní odpad lze rozdělit do dvou kategorií:

- Předspotřebitelský textilní odpad nebo průmyslový odpad vznikající při zpracování vláken nebo při výrobě textilu. 75 % předspotřebitelského textilního odpadu nekončí na skládkách, ale je recyklováno na suroviny pro průmyslová odvětví, jako je automobilový průmysl, stavební průmysl nebo nábytkářský průmysl. [73]
- Textilní odpad po spotřebiteli pochází z jakéhokoli textilního zboží nebo textilních výrobků v domácnosti, které spotřebitelé již nechtějí. Část tohoto odpadu je shromažďována pro druhý život – obvykle ve formě dalšího prodeje, downcyklace nebo pro spalování. Přítomnost směsi vláken (např. polyester/bavlna), barviv a všech netextilních druhů doplňků ve zpětně odebraném textilu činí recyklaci textilu na recyklovaný textil velmi složitou a nákladnou. [73]

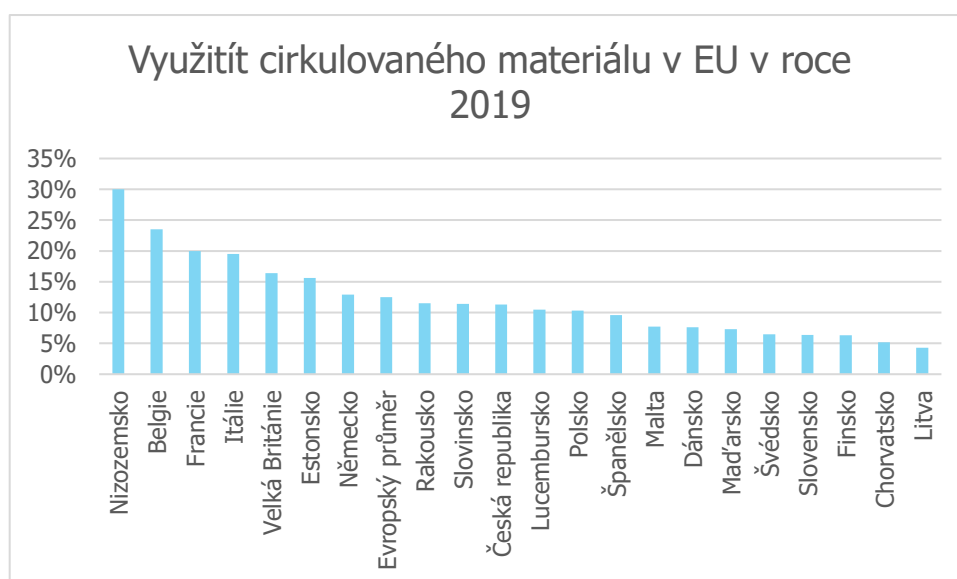
Nejlepší vlastnosti pro recyklaci mají přírodní materiály jako je bavlna nebo vlna. Bavlna pro recyklaci pochází ze dvou druhů zdrojů. Většinu z nich tvoří odpad a zbytkové materiály z textilního průmyslu, menší pak použité oděvy. Tyto materiály prochází často procesem mechanické recyklace. Přírodní materiály se strojově trhají na menší kusy, postupně až na jednotlivá vlákna. Díky tomu se vlákna zlomí či se jim jinak poničí struktura a takto recyklovaná vlákna jsou kratší, než byly na začátku. Recyklovaná vlákna se musí smísi s novými vlákny, bavlněných či polyesterových, aby se z nich vyrobily vlákna nová. Takto recyklovaná vlákna však nejsou tak kvalitní jako vlákna nová, protože proces recyklace ovlivní jejich jednotnost, pevnost v tahu, což dále ovlivňuje jejich konečné použití. Málokdy vidíme výrobky vyrobené ze 100 % recyklovaného vlákna. Pokud k recyklátu přidáme syntetická vlákna, je materiál po dalším cyklu téměř nerecyklovatelný. [74]

Pokud jde o různé syntetické látky nebo textil obsahující chemická barviva a aditiva, ty nelze recyklovány do přízí. Například syntetický textil je recyklován jako výplňový textil do polštářů, autosedaček nebo jako čisticí a leštící hadříky. Textil s obsahem chemických barviv např. džíny se většinou používají jako izolace ve stavebnickém průmyslu. [75]

3.1.2 Recyklace textilu v Evropě

Domácnosti se v Evropské unie podílí na produkci odpadu zhruba 8,5 % z celkové roční produkce 2,5 miliardy tun odpadu. Ačkoliv komunální odpad se podílí pouze z jedné desetiny, je hlavním znečišťovatelem přírodní krajiny. Od roku 2005 se objem komunálního odpadu, který končí na skládkách, v celoevropském průměru daří snižovat, bohužel to tak není ve všech zemích. Například severské země jsou premianty v recyklaci odpadu. Recyklovaný a kompostovaný odpad z celkového objemu komunálního odpadu je zde 47 % a odpad, který končí na skládkách je v průměru 1 %. Oproti tomu v zemích jako je Kypr nebo Řecko, v průměru 83 % odpadu končí na skládkách a jen 17 % je recyklováno či kompostováno. Jak již bylo zmíněno, existuje několik způsobů, jak se zbavit odpadu. Ne všechny jsou stejně vhodné z pohledu našeho životního prostředí. Nejlepší je se tvorbě odpadu úplně vyhnout, a proto hierarchie nakládání s odpady klade důraz na prevenci a opětovné použití. Za nejméně vhodnou variantu s nakládáním s odpadem je označováno skládkování. Jedná se o nejméně vhodnou variantu pro přírodu a lidské zdraví, ale také o jednu z nejlevnějších. [76]

V roce 2019 dosáhla míra využívání oběhového materiálu v EU (označovaná jako míra oběhového hospodářství) 12,5 %. To znamená, že 12,5 % materiálových zdrojů používaných v EU pocházelo z recyklovaných odpadních materiálů. Míra cirkulace představuje podíl použitých materiálových zdrojů, které pocházejí z recyklovaných odpadních materiálů, čímž se ušetří těžba primárních surovin. Míra oběhového hospodářství je součástí rámce EU pro monitorování oběhového hospodářství. [77]



Graf. 5 Využití cirkulovaného materiálu v EU v roce 2019. Vytvořeno z: [77]

V roce 2018 zaměstnával textilní průmysl v EU 1,66 milionu lidí, což představuje 2 % přidané hodnoty ve výrobním sektoru EU a 5 % zaměstnanosti v celé EU. Zároveň má tento průmysl velký dopad na životní prostředí. Výroba a spotřeba textilu činí přibližně 4-6 % ekologické stopy EU a v celé řadě kategorií negativních dopadů je způsobeno spotřebou textilu. Dopady na životní prostředí jsou přímým důsledkem celosvětové masové výroby a rychlé spotřeby textilních výrobků. Spolu s čistší výrobou a používáním udržitelnějších druhů vláken má přechod na cirkulární hospodářství potenciál výrazně snížit dopady textilu vyráběného a spotřebovávaného v Evropě. [78]

Strategie Evropské komise pro udržitelné výrobky v cirkulárním hospodářství označila textilní průmysl za odvětví s vysokým potenciálem pro oběhové hospodářství. Akční plán se textilem zabývá v oblasti spotřeby a nakládání s odpady. Komise v současné době využívá politiku ekodesignu k začlenění aspektů materiálové účinnosti do návrhu výrobků. Další opatření se zaměřují na šíření osvědčených postupů týkajících se odděleného sběru textilu po spotřebě s cílem snížit množství odpadu a podpořit opravy a opětovné použití textilu. Uzavírání smyček v životním cyklu textilních výrobků otevírá příležitosti pro lepší tvorbu hodnoty z materiálových zdrojů, z nichž jsou oděvy vyrobeny. Tím se snižuje poptávka po primárních textilních surovinách a životní prostředí se tak zbavuje negativních dopadů při výrobě vláken, jako jsou emise skleníkových plynů, potřeba vody a používání pesticidů při výrobě bavlny. [78]

S textilem shromážděným charitativními organizacemi a společnostmi zabývající se tříděním textilu se obvykle zachází následovně: část shromážděného textilu může být roztržena tak, aby se vybral nejkvalitnější textil pro prodej v jejich vlastních maloobchodních prodejnách s použitým zbožím. Zbytek se prodává velkoobchodníkům k podrobnému třídění a prodeji na světových trzích. Textil může být často vyvážen k třídění do jiných zemí (většinou v rámci EU) např. Nizozemsko a Polsko dovezly v roce 2018 více než 200 000 tun použitého textilu. Velkoobchodníci ručně třídí přijatý textil na 100 až 300 různých druhů podle typu oděvu, stylu, velikosti, ročního období atd. za účelem prodeje na globálních trzích pro opětovné použití. Textil, který není vhodný pro globální trhy s opětovným použitím, se posílá k recyklaci (obvykle jako průmyslové utěrky nebo k downcyklaci na výrobky nižší kvality), pokud je to možné, a jinak na skládku/do spalovny. Podíl opětovného použití se obvykle pohybuje mezi 50 % a 75 % v závislosti na zemi, kde byl textil shromážděn, a na způsobu sběru. [78]

3.1.2.1 Společnost Recover

Společnost Recover je celosvětový výrobce vysoce kvalitních recyklovaných bavlněných vláken a jejich směsí s nízkým dopadem. Společnost sídlící ve Španělsku byla založena roku 1914. V roce 1947 začala s inovacemi, jak recyklovat staré oblečení do podoby nové příze. Proces samotného roztřízení vhodných materiálů je automatizován pomocí třídící linky za pomoci NIR/VIS spektroskopie, kdy linka analyzuje strukturu materiálu pomocí záření z oblasti infračerveného a viditelného spektra. [79]

Společnost má recyklační pobočky ve Španělsku a v Bangladéši. Textilní recyklace začíná u velkých kusů textilního odpadu, které jsou rozřezány na menší kousky vhodné pro následné zpracování. Netextilní materiál je odstraněn přes separátor a následně uložen pro skládkování. Malé kousky textilního odpadu jsou zpracovány uvnitř skartovacího stroje, pro maximální délku regenerovaného vlákna. Recyklované bavlněná vlákna jsou poté zabalena do balíků a odeslána. Společnost také dělá své vlastní příze. Recyklovaná bavlněná vlákna Recover se mísí s nerecyklovanými bavlněnými vlákny a vytvářejí nová vlákna v celém spektru barev s nízkými ekologickými náklady. Společnost spolupracuje s velkými módními značkami jako např. Primark, Lee, IKEA, Calvin Klein. [80]



Obr. 17 Oděv vyrobený z recyklované bavlny společností Recover. Převzato z: [81]

3.1.3 Recyklace v České republice

Jen v České republice se ročně vyhodí kolem 200 000 tun starého textilu, který končí v 97 % na skládkách nebo v lepším případě ve spalovnách [82]. Hlavní důvodem plýtvání textilií je nabídka levného oblečení, které se vyrábí v Asii a je prodáváno mezinárodními „fast-fashion“ řetězcích jako např. Zara, H&M, C&A, Tesco. Dalším důvodem může být nedostatečná osvěta obyvatel, jak nakládat a třídit starý textil ze strany státu a organizací. Bohužel textilní průmysl může být zatím (spolu s nábytkáři) posledním odvětvím, které zcela ignoruje tzv. udržitelnost a dosud nezavedlo financovaný systém recyklace od textilních společností.

V České republice se v kontejnerech na textil nebo na sběrných dvorech objeví pouze 3 % ročního textilního odpadu, který je možné dále recyklovat. V různých městech operují různé společnosti na sběr a třídění textilního odpadu. Poté, co textil lidé vyhodí do kontejnerů určených pro textil, proběhne svoz a následně je textil dopraven na rozřídovací linky. České podniky nedisponují automatickými třídíčkami textilu, a tak třídění probíhá manuálně, přičemž existuje kolem 150 kategorií, do kterých lze každou jednotlivou textilií dotřídit. Třídí se podle materiálu, typu oblečení, barvy, znečištění. [83]

Nerecyklovatelné kusy oblečení, které jsou znehodnoceny jak opotřebením, tak i průmyslovým zpracováním, jsou vyřazeny a končí většinou na skládkách. To jde proti zásadám cirkulární ekonomiky, kdy by měl být materiál alespoň využit ve spalovnách, ale dokud budou skládky pro společnosti levnější než spalovna, nedojde k žádným změnám potřebným pro přechod k cirkulárnímu principu ekonomiky. Například v Plzni stojí skládkování textilního odpadu na jednu tunu ov přepočtu 2500 Kč [84], kdežto cena ve spalovně Plzeňská teplárenská činí 4500 Kč [85], s tím že textil nelze spalovat samostatně, ale jako přidružený odpad [86].

Nositelný textil v dobrém stavu, který vyhověl původnímu rozřídění, se převážně prodává mimo evropský trh, a to do afrických států a států bývalého Sovětského svazu jako secondhand zboží. Zarážející je, že z afrického trhu jej překupníci prodávají zpět do Evropy. Další část textilu je předávána neziskovým organizacím jako např. Kapka naděje, Linka bezpečí, Klokánek, kde je dále přerozdělován lidem v nouzi. [83] [87]

Textil, který se neprodá nebo nedaruje jako second hand zboží, tak je s ním dále nakládáno. Oděvy jsou zbaveny všech druhů příměsí např. knoflíky, zipy, kovové ozdoby, nápisy, polyesterové nitě. Příměsí jsou odstraněny ručně na rezačkách nebo je textil vkládán do integrátorů nečistot, kde se zpracují textilie na jemné částice.

Částice materiálu následně procházejí přes separátory, kde jsou kovové části oblečení odděleny od skutečné suroviny. Kovové částice a jiné nečistoty poté končí na skládkách. [83] [87]

Nejdůležitější částí recyklace textilu je zbavení všech druhů příměsí, např. knoflíky, zipy, kovové ozdoby ale i například dvojí textilní materiál. Kovový materiál je buď odstraněn ručně na rezačkách, nebo je vkládán do integrátorů nečistot, kde je zpracován na jemné částice. Tyto částice textilií následně procházejí přes separátory, kde jsou kovové části oblečení odděleny od skutečné suroviny. Kovové částice a jiné nečistoty poté končí jako odpad. S textilními příměsemi je recyklace obtížnější. Takto "kontaminované" textilie se převážně recyklují jako výplňový materiál do autosedaček nebo jako střešní izolace. Pokud je textil recyklován jako čistící hadr pro automobilový průmysl, je zde problém hlavně ve složení. Různé druhy textilních látek převážně syntetické, mohou poškrábat povrch lakované vrstvy u autodílů. [83] [88]

Na obr. 18 můžeme vidět metodu PEST vypracovanou Bc. Stepanem Vashkevichem [83] ve které shrnuje jeho výzkum možných bariér v implementaci cirkulární ekonomiky v ČR v oblasti textilií.

Politické vlivy	Ekonomické vlivy
<ul style="list-style-type: none"> • Absence evidence dat ze strany příslušných rezortů MŽP • Nedostatečný politický zájem o textilní odpad • Chybějící nástroje ekonomické podpory pro služby, které poskytují organizace svázející textilní odpad • Existence dvojího svozu textilního odpadu – v režimu odpadu a v režimu předcházení vzniku odpadu¹⁰ 	<ul style="list-style-type: none"> • Oslabování koruny vůči euru • Rostoucí minimální mzda vede k vysokým nákladům na zaměstnance, • nákladný provoz obecně • Absence finanční zásoby pro investice, tím pádem není možná spoluúčast na dotačních programech • Chybějící kapacity na trhu – kdyby kdokoliv ze společností sbírající textil zkrachoval, ostatní organizace kapacitně nezvládnou převzít podíl na trhu
Sociální vlivy	Technologické vlivy
<ul style="list-style-type: none"> • Dlouhodobý trend růstu množství nekvalitního oblečení v kontejnerech na použitý textil, který provozovatelé sběru spojují s fenoménem rychlé doby a všeobecnou přítomností cenově dostupného oblečení v nízké kvalitě • Nedostatek pracovní síly v oboru třídění textilu 	<ul style="list-style-type: none"> • Stále převládající manuální třídění textilního odpadu – nepřesné, náročné na pracovní sílu • Absence technologií na zpracování textilního odpadu, který se dnes skládá

Obr. 18 PEST analýza pro segment sběru a třídění použitého oblečení v ČR. Převzato z: [83]

3.1.3.1 Společnost DIMATEX CS

Společnost DIMATEX CS, která působí v ČR od roku 1991 přináší ve spolupráci s firmou VIVE Innovation řešení, jak využívat a recyklovat starý textil. Společnost využívá vhodné textilní materiály pro druhotné využití, které zpracuje a následně je nabízí jako čisticí hadry nebo textilní kompozit RETEXTIL®. Tento kompozit je z textilu (48 %), LDPE (48 %) a 4 % aditiva. Ve společnosti probíhá recyklace textilu tak, že je ukládán do integrátorů nečistot, kde se textilie zpracuje na jemné částice. Částice následně procházejí přes separátory, kde jsou kovové části oblečení odděleny od skutečné suroviny. Oddělený materiál od kovových částí je ukládán do zásobníku sypkých hmot, odtud jde do plastového zhutňovače, kde je materiál rozebrán díky působení vysoké teploty a obrušování materiálu. Výsledné granule se dále transportují do protlačovacího zařízení, kde se kompozit RETEXTIL® tvaruje do různých profilů. Následně z těchto profilů vyrábí městský mobiliář či zahradní mobiliář. [83]



Obr. 19 Ukázka zahradního mobiliáře z vyrobeného kompozitu RETEXTIL®. Převzato z: [90]

3.2 Recyklace smart textilií

O recyklaci smart textilu a jeho dopadu na životní prostředí existuje jen málo informací. Andreas Koehler, autor publikované studie o důsledcích výroby smart textilií [91] říká, že řešení pro bezpečnější likvidaci a recyklaci smart textilií by se měla hledat nyní, dokud smart textilie nejsou tolik komerčně rozšířené po celém světě. Smart textilie spojují problematickou povahu textilního a elektronického odpadu. Vědomé řešení vlivu e-textilií na konci jejich životního cyklu bude vyžadovat systém recyklace, který se bude zabývat jak textilními, tak elektronickými složkami oděvu. Koehler ve studii uvádí několik klíčových důvodů, proč je elektronický odpad nebezpečný. Nejenže přispívá ke znečištění životního prostředí, ale je také nebezpečný pro zdraví a má sociální a ekonomické důsledky. Elektronický odpad obvykle končí v rozvojových zemích, kde jej lidé následně spalují, aby získali cenné kovy, což uvolňuje do ovzduší velkou dávku nebezpečných látek.

3.2.1 Zpracování a regulace

Podle článku z časopisu Yale Environment Review [92], i když bude zaveden řádný systém pro recyklaci smart textilu, současná technologie používaná pro recyklaci elektroniky nebude schopna tento materiál zpracovat. Jejich zastarávání bude také rychlejší než u většiny elektroniky, protože reagují na vývoj technologií i na rozměry sezónní módy. Musí být tedy vyroben zcela jiný druh strojů určených pouze pro recyklaci smart textilu, což bude velmi nákladný a zdlouhavý proces.

Dalším problémem je regulace. Komise pro bezpečnost spotřebitelských výrobků dohlíží na výrobu elektroniky a textilu odděleně, ale konkrétně na smart textil ne. Existují certifikace, které musí smart textilní výrobky splňovat kvůli použitým komponentům (certifikace FCC a CE), ale neexistuje žádný řídicí orgán, který by se zaměřoval výhradně na návrh, výrobu a likvidaci smart textilu. S rozvojem tohoto odvětví se to stane nutností. Vzhledem k tomu, že se stále jedná o nové odvětví, musí se tak stát spíše dříve než později. Výrobci se budou muset zaměřit na design a existuje několik způsobů, jak lze ekologicky šetrný design realizovat: tím, že smart textilie budou snadno rozebratelné, sníží se množství použitých materiálů a materiály budou po rozebrání recyklovatelné. [93]

3.2.2 Směrnice

Elektronický odpad je v Evropě regulován směrnicemi EU – směrnicí 2012/19/EU [94] o odpadních elektrických a elektronických zařízeních, která stanoví cíle sběru, recyklace a využití elektrozařízení, a směrnicí 2011/65/EU2 [95] o omezení nebezpečných látek (RoHS), která omezuje používání šesti nebezpečných materiálů (např. olova, rtuti a kadmia) při výrobě elektronických a elektrických zařízení.

V textilním odvětví platí norma OEKO-TEX® 100, která odstraňuje škodlivé látky v dodavatelském řetězci, včetně surovin, meziproductů a hotových výrobků. Certifikační systém OEKO-TEX® zavádí také udržitelnou textilní výrobu (STeP), z níž mají prospěch výrobci značkového zboží, maloobchodníci a další organizace v dodavatelském řetězci. Existují také různé normy ISO (např. ISO 14001, ISO 14020, ISO 14044), které mohou společnosti získat, aby prokázaly ekologickou výrobu nebo nakládání s výrobky. [96]

3.2.3 Praní

Mezi další úvahy patří, jak navrhnout oděvy, aby vydržely praní a měly minimální dopad na kvalitu vody. To spočívá v konstrukci elektroniky tak, aby odolala procesu praní. Podle studie Fraunhoferova institutu pro spolehlivost a mikrointegraci v Berlíně zveřejněné v únoru 2021 [97] v současné době neexistují žádné standardizované metody pro testování praní smart textilií a žádné obecná pravidla pro srovnatelné posouzení pratelnosti testovaných výrobků a sekce péče o smart textilie. Výrobce smart textilií Loomia uvádí [98], že oděvy mohou vydržet 10 až 50 pracích cyklů v závislosti na technologii. Například vodivé inkousty jsou obvykle vyrobeny z grafitu nebo jiných kovových nanočástic. Je-li vodivý inkoust integrován přímo do textilního podkladu, vydrží více praní s malou změnou odporu (až 50 praní). Větší změna odporu se projeví, pokud je inkoust natištěn přímo na povrch textilie, kde inkoust může vydržet pouze 1 až 5 praní.

3.2.4 Trh se smart textiliemi

První generace smart oblečení je již dostupná na trhu v podobě vyhřívaného oblečení, bot se senzory dopadu nebo trička, která dokáží monitorovat srdeční činnost. První generace smart oblečení má tu výhodu, že kabeláž nebo řídicí jednotky nejsou plně integrované s textilií, což usnadňuje její vyjmutí a následnou recyklaci. Pokročilejší smart textilie, které se snaží integrovat vodivá vlákna do textiliích samotných nebo dokonce celé řídicí jednotky jsou ve stádiu vývoje a na komerční trh v masivním měřítku dosud nepronikly. Oba typy výrobku, jak textilie, tak elektroniky představují relativně krátkodobé zboží pro spotřebitele.

Jejich kombinace může zesílit tlak na ještě nižší životnost, jelikož místo jednoho typu výrobku existují dva. To činí ze smart textilií ekologickou hrozbu. Sbližování textilních a elektronických výrobků povede ke vzniku masových výrobků s krátkou životností, je pravděpodobné, že se v budoucnu stanou zdrojem velkých toků odpadu. Navíc smart textil bude tvořit nový typ odpadu, a to e-odpadem kontaminovaný starý textil. [91]

Zkušenosti s likvidací současného elektronického odpadu dávají důvody očekávat závažné environmentální a sociální dopady pro celý svět. Problém s elektronickým odpadem můžeme rozdělit do tří klíčových oblastí. Očekáváme tudíž, že smart textilie a smart oblečení splní všechny tři faktory problému elektronického odpadu:[91]

- Na celém světě se zvyšuje množství elektrického odpadu, který většinou končí na skládkách.
- Elektronika obvykle obsahuje problematické látky, které mohou způsobit poškození životního prostředí a lidského zdraví, pokud se uvolní při neodborné manipulaci.
- Elektronický odpad obsahuje cenné materiály, které se obtížně získávají zpět.

V současnosti zavedené recyklační systémy nejsou vhodné pro sběr a zpracování textilií s integrovanými elektronickými součástmi. Z dnešního pohledu lze předpokládat, že největší část vyřazeného smart textilu bude likvidována společně s tuhým komunálním odpadem. Likvidace pevného komunálního odpadu se v zásadě provádí buď spalováním, nebo přímým skládkováním, v závislosti na státu. Pokud se smart textil spaluje společně s pevným komunálním odpadem, je využití cenných materiálů s dnešní technologií stěží možné. Zpětné získávání kovů z popela ze spaloven je možné pouze u větších kovových dílů v řádu centimetrů. [99]

Z technického hlediska nejsou zavedené systémy zpětného odběru a recyklace OEEZ navrženy tak, aby si poradily s tímto novým typem odpadu. Textil by se mohl zasekávat v drtičích, které se v současnosti používají při recyklaci OEEZ. Automatické separátory jsou považovány za nedostatečné pro separaci textilních a elektrických materiálů, jako jsou textilní vlákna se stříbrnými nitěmi. Ze současné technologie recyklace OEEZ víme [100], že mechanické drcení vede k velkým ztrátám vzácných kovů.

Ruční třídění a zpracování smart textilního odpadu je možné, i když obtížné. Náklady na zpracování byly odhadnuty jako neúnosně vysoké, oproti výnosu za recyklaci vzácných kovů s ohledem na fakt, že cenné kovy nejsou koncentrovány tak jako v tradičních OEEZ. Personál na sběrných místech a v recyklačních dílnách by musel být vyškolen, aby rozpoznal miniaturní elektronická zařízení, která jsou bezproblémově integrována do textilu. [91]

4 Případová studie v oblasti CE a chytrých textilií

V praktické části diplomové práce budou zpracovány dvě případové studie. Jejich cílem je posouzení možnosti implementace principů CE v oblasti chytrých textilií v rámci řízení celého životního cyklu výrobku pro rozličné trhy a stavu vývoje. První případová studie se zaměřuje na vyhřívané chytré prostěradlo, které je v rámci vývoje na Západočeské univerzitě v Plzni na fakultě elektrotechnické v prototypové fázi. Na masovém trhu se zatím nejvíce rozšířily pasivní chytré textilie, a to konkrétně vyhřívané části oblečení. Pro tuto druhou případovou studii byla zvolena společnost Alpenheat, která je dále distribuována prodejci třetí strany např. Alza za přijatelnou cenu pro koncového zákazníka.

Pro životní cyklus výrobku v oblasti cirkulární ekonomiky je zvolen model cirkulární ekonomiky podle European Environment Agency popsáný v kapitole 1.2. Každý výrobek bude přiblížen v jednotlivých oblastech od materiálů po odpad a dále budou zpracovány návrhy na případnou recyklaci, opravu či sdílení. Žádný ze smart výrobků, který zde bude popisován, není navrhován podle principů CE. Jak již bylo zmíněno, neexistují v dnešní době jednotné postupy, regulace či normy, jak by se měl smart výrobek navrhovat, vyrábět či dokonce recyklovat. Autor se bude snažit hodnotit zvolené postupy s principy cirkulární ekonomiky a snažit se implementovat CE do celého životního cyklu výrobku.

4.1 Případová studie – chytré vyhřívané prostěradlo

Chytré vyhřívané prostěradlo vyvíjí fakulta elektrotechnická v Plzni spolu se strojní firmou VÚB z Ústí nad Orlicí pod vedením Ing. Daniely Moravcové, Ph.D. Jelikož se jedná o prototyp vyhřívacího prostěradla, není možné zde přiložit jeho aktuální fotku. Jako ilustrativní příklad byl využit obrázek 20.

Chytré prostěradlo je výrobek určený pro nemocnice a pečovatelské domy, ale může být také využito pro domácí péči pacientů, kteří potřebují vyhřívaný prvek. V nemocničních zařízeních může personál využít chytré prostěradlo pro pacienti v narkóze, kteří nemohou regulovat svoji tělesnou teplotu a může docházet k hypotermii. V domácí péči to může přispět k tepelné pohodě pacienta po operacích či pro lidi v důchodovém věku, kteří jsou více zimomřiví.

Prototyp chytrého prostěradla se skládá z textilní složky, která tvoří samotné prostěradlo, a elektrické složky v podobě vpletených vodivých pruhů tvořící 1 hybridní vodivá nit a základní jednotka pro řízení vyhřívání prostěradla společně s baterií pro možný provoz. Díky tomu, že je chytré prostěradlo stále na úrovni prototypu, může tato případová studie posloužit pro případnou implementaci principů CE v rané fázi vývoje, před vstupem na trh. [106]



Obr. 20 Pohled termokamerou na chytré prostěradlo s vyhřívací funkcí. Převzato z: [101]

4.1.1 Posouzení životního cyklu

4.1.1.1 Použité materiály

Pro výrobu prostěradla byly použity přírodní materiály s vazbou froté, tedy 50 % česaná bavlna a 50 % modal [106]. Již při volbě přírodních materiálů se mohou uplatnit principy CE. Již u samotného výběru materiálů na výrobek, je nutné myslet na celý životní cyklus výrobku podle cirkulární ekonomiky. Přírodní materiály by se měly vybírat podle toho, aby šly co nejlépe využít po skončení životnosti výrobku např. vyrobení z recyklátu novou přízí. Při spojení dvou a více materiálů může docházet k znemožnění recyklace a výrobek může skončit jako odpad nevhodný pro recyklaci na skládce, v lepším případě ve spalovně. Pokud jde o zvolené materiály, ty jsou z přírodních materiálů a jsou stoprocentně přírodně rozložitelná. Tím nedochází k zatěžování přírody tolik jako při použití syntetických vláken.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1.1., nejlépe se recykluje čistá bavlna bez jakýkoliv příměsí. Pro udržitelná obyčejná prostěradla se v dnešní době používá organická bavlna či recyklovaná bavlna.

Při pěstování organické bavlny se nepoužívají škodlivé chemikálie, geneticky modifikovaná semena a také není pěstování náročné na spotřebu vody. Recyklovaná bavlna oproti tomu pochází z již existující bavlny. To znamená, že pomáhá snižovat množství odpadu a má minimální dopad na životní prostředí. Výhody organické bavlny můžeme spatřovat v její prodyšnosti a hlavně hypoalergennosti. Samozřejmostí je, aby organická bavlna měla z některých mnoha certifikací jako je i Organic Content Standard (OCS) nebo Global Organic Textile Standard (GOTS). [102]

Jako druhý materiál v chytrém prostěradle je použit modal. Modalová tkanina je tkanina na přírodní bázi, která se vyrábí ze spřádání bukové celulózy. Modal je obecně považován za ekologičtější alternativu běžně pěstované bavlny, protože bukové stromy nepotřebují k růstu mnoho vody, a proto se při výrobě spotřebuje asi 10 - 20krát méně vody. Výrobce Lenzing, sídlící v Rakousku, vyrábí vlákna TENCEL z modalu a pyšní se svojí 95 % recyklovatelností díky inovativním ekologickým procesům. [103]

Jak bavlna, tak modal jsou v souladu s principy CE. V tomto případě by pro chytré prostěradlo bylo vhodnější použít bavlnu. Modal je o 50 % savější než bavlna, může tedy dojít k rychlejší degradaci technických materiálů uvnitř prostěradla vlivem pohlcené vlhkosti. Modalové povlečení může být náročnější na údržbu, což může stěžovat už tak náročnou péči o chytré prostěradlo. V neposlední řadě největší nevýhoda modalu je, že pokud je vystaven jakékoliv teplotě přesahující tělesnou teplotu tj. 36,6 °C má tendence žloutnout bez ohledu na to, jaké barvivo bylo použito k výrobě výrobku. [103]

Co se týče technického materiálu použitého na chytré prostěradlo, jedná se o vodivý pruh tvořící jednou hybridní vodivou nití označenou jako HI-COND CA art. 53 [106] (tj. 4x měděný postříbřený mikrodrátek o průměru 0,03 mm + Polyesterové vlákno). Zde se vědci ze Západočeské univerzity fakulty elektrotechnické zpracovali studii s názvem: Vodivé hybridní nitě a jejich aplikace, kde se zabývají vhodností použití určitých materiálů pro chytré textilie. V tabulce č. 1 jsou uvedeny 4 typy nití od společnosti CleverTex a jejich vlastností.

Tabulka 1 Vodivé nitě od společnosti CleverTex [104,106]

Číslo nitě	Základní počet vláken	Kovové dráty	Pružnost [cN/tex]	Prodloužení [%]	Lineární odpor R [Ω /m]
25 A	72 tex	Mosaz	21,82	10,16	8,9
53	50 tex	Cu/Ag	31,59	14,08	6,5
74	76 tex	Cu/Ag	16,89	13,39	2,9
7 A	39 tex	chromniklová ocel	53,11	14,39	2420,2

Pro implementaci cirkulární ekonomiky je vhodné mít zanalyzovaný trh s určitými druhotnými výrobky, v tomto případě trh s vodivými nitěmi, aby bylo možné posoudit jaký druh je vhodný pro aplikaci jak z materiálního hlediska, tak z cenového hlediska do výrobku.

4.1.1.2 Ekodesign

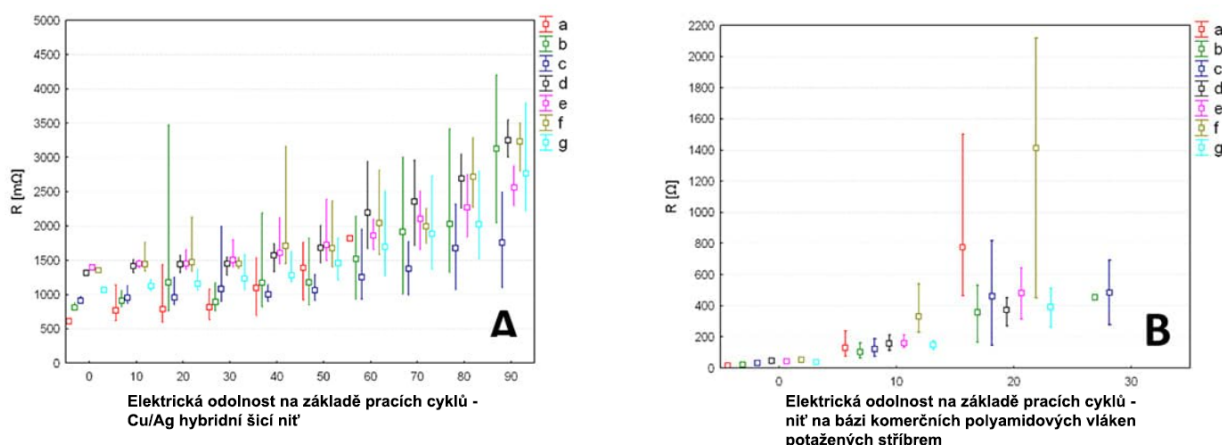
Co se týče designu chytrého prostěradla, dříve došlo k testování dvou varianty toho, jak vnést elektrickou část materiálu do výrobku. Jednou z nich bylo nanášení vodivých past pomocí sítotisku, popisované v kapitole 2.2.1.1. Jedná se o jednu z neúčinnější a nákladově efektivních metod pro vytváření vodivých vzorů na různých textilních substrátech. Pro aplikaci na chytré prostěradlo naprosto nevhodná. Jak uvedla Ing. Daniela Moravcová, Ph.D., z dřívějších zkušeností je jasné, že užitím sítotisku a vodivých past dochází při mechanickém namáhání k popraskání a rychlé destrukci vodivých drah. Další nevýhodou sítotisku je špatná reakce na práci a sušicí cykly, jak dokazuje studie: Elektricky vodivé textilie získané sítotiskem. Ve studii bylo hodnoceno chování potištěných textilních vzorků při domácím praní podle mezinárodní normy ISO 6330:2000. Byl zvolen prací program, který pere při teplotě 40 ± 3 °C, nejběžněji využívané teplotě při praní v domácnostech. Každý potištěný vzorek byl vyprán 5, 10, 15 a 20krát a mezi každými pěti cykly byl změřen odpor. Po 20 mycích cyklech téměř polovina vzorků ztratila svou vodivost a zbývající vzorky vykazovaly velmi vysoké odpory. [105]

Na obrázku 21 můžeme vidět změnu nanesené pasty po 20 cyklech praní. Pokud by tato metoda byla aplikována pro masovou výrobu chytrého prostěradla, šla by proti základním ideologiím cirkulární ekonomiky.



Obr. 21 Porovnání vodivé pasty po 20 cyklech praní. Převzato z: [105]

Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly 4, pro chytré prostěradlo byla použita hybridní vodivá nit označena jako HI – COND CA art. 53, pro její skvělé vodivé vlastnosti. Vysoká mechanická odolnost, a hlavně odolnosti vůči procesu praní/sušení, které jsou pro délku životnosti chytrých výrobků velmi důležité jsou další důležité vlastnosti této vodivé nitě. Provedené testy ukazují, že tyto vyvinuté nitě jsou odolné vůči procesu praní po více než 80 cyklů. Během procesu praní se odpor hybridních vodivých nití mění, ale ve srovnání s nitěmi na bázi komerčních polyamidových vláken potažených stříbrem, jsou tyto změny zanedbatelné. Tyto změny můžeme vidět na obr. 22. [104]



Obr. 22 Porovnání elektrické odolnosti na základně pracích cyklů. Převzato z: [104]

Co se týče koncentrace elektroniky po textili, vzdálenosti jednotlivých pruhů jsou cca 2 cm od sebe. Technologie vyšívání umožňuje vodivé nitě zpracovat po celém prostěradle, takže je jen na výrobcu, a hlavně na spotřebitelích, jak chytré prostěradlo budou využívat, zda-li budou potřebovat vodivé nitě po celé ploše prostěradla, či nikoliv. Toto rozhodnutí ušetří technický materiál.[106]

Je důležité, aby pro řízení a napájení prostěradla bylo od prostěradla odnímatelné a přenositelné. Pro napájení prostěradla je potřeba externí baterie. Nynější možnosti prostěradla jsou přibližně 80 pracích cyklů a bylo by ekologicky a ekonomicky zatěžující, aby se s každým dalším novým kusem prostěradla vyráběla další řídicí a napájecí jednotka, když stávající bude sloužit. Nastává zde otázka, zda-li by nebylo vhodné místo externí baterie zvolit napájení z elektrorozvodné sítě. Ušetřil by se materiál pro baterii a bylo by i zbytečné, aby např. nemocnice měli u lůžek zásuvky pro napájení chytrého prostěradla. Autor práce uvažuje za vhodné, nechat metodu napájení na zákazníkovi, podle jeho nároků na výrobek.

4.1.1.3 Výroba a distribuce

Jelikož se jedná pouze o prototyp ve spolupráci se soukromým výrobcem, který nechtěl detaily výroby a možné distribuce sdělit, není možné analyzovat možné kroky ve výrobě a distribuci. I zde bylo už myšleno na aplikaci cirkulární ekonomiky v rámci odpadního materiálu při procesu výroby chytrého prostěradla. Primárně se výrobce snaží využít maximum materiálu tak, aby vzniklo co nejméně odpadu. To, co se nedá využít na chytré prostěradlo, je možné využít pro jiné, např. menší vyhřívané elementy.

4.1.1.4 Spotřeba

Zde je také nutné uvést, že se jedná o prototyp a chytré prostěradlo nebylo zkoušeno koncovým zákazníkem, ale při vývojové fázi byly odzkoušeny některé spotřební zvyklosti zákazníků. Jednou z velkých témat smart textilií je praní a sušení. Zde musíme brát na zřetel jak přírodní materiál, tak i technický materiál, přičemž technický materiál je více náchylnější na různé formy praní než běžný přírodní materiál. V případě chytrého prostěradla je zde využita bavlna a modal, které mají protichůdné vlastnosti. Co se týče praní a sušení, bavlna je s ohledem na chemickou odolnost lepší oproti modalu, a tudíž je jí vhodné bělit či barvit. Bavlněné ložní prádlo lze prát až na 90 °C. Oproti tomu modal lze prát na teploty do 40 °C. Díky tomu, že máme integrované hybridní nitě, která je náchylnější na praní a sušení. Musíme se řídit štítkem pro hybridní nit, který můžeme vidět na obrázku 23.



Obr. 23 Porovnání elektrické odolnosti na základně pracích cyklů. Převzato z: [106]

Z doporučení od výrobce, jak zacházet s hybridní nití, která je integrovaná do prostěradla, lze usoudit, že bude náročná na údržbu. Prát pouze na 30 °C, a to na nejjemnější cyklus, žehlit do 110 °C. Dále se chytré prostěradlo nesmí bělit, či jinak chemicky čistit, neboť by docházelo k rychlejší degradaci technického materiálu. Sušit se musí pouze ve vodorovné poloze bez použití sušičky, aby se neponičily vodivé dráhy. Aby mělo chytré prostěradlo co nejdelší životnost, mělo by být ošetřováno pouze na povrchu pomocí šetrných přípravků s dezinfekcí, pokud by prostěradlo nebylo příliš znečištěno. [106]

4.1.1.5 Odpad a recyklace

V kapitole 3.2 byla zmíněna podstatná informace o odpadech a recyklaci smart textilií a to, že dosud nejsou žádné normy, které by doporučovaly či nařizovaly, jak nakládat s takto zpracovaným materiálem. Proto by mělo být v celém cyklu výroby, a hlavně v ekodesignu kladen důraz na použití vhodného množství materiálu, tak aby byl využit v místě, kde je potřeba.

Hlavní výhodou chytrých textilií je, že po skončení životnosti technické části výrobku může stále uživateli sloužit ta textilní. U chytrého prostěradla to není výjimka. Je zde jediná podmínka, a to, aby výrobce vodivých hybridních nití deklaroval jejich zdravotní nezávadnost i po skončení životního cyklu. Dále bude nutné zkoumat, zda-li vodivé nitě nebudou pro spotřebitele po nějaké době nepříjemné na dotek.

Opravitelnost a recyklace klesá s vyšší integrací technických materiálů do materiálů přírodních. U chytrého prostěradla je integrace hybridní nitě do přírodního materiálu maximálně možná, což znamená že měděný postříbřený mikrodrátek je zapleten společně s polyesterovým vláknem, což znemožňuje opravitelnost vodivých drah. Oprava bude možná jen u přírodního materiálu, což u chytrého prostěradla představuje samotný materiál, z něž je prostěradlo vyrobeno. Jako u běžných textilií, opravou se myslí obyčejné zašití roztrhlého místa či nažehlení záplaty. Tyto opravy prodlouží životnost samotného prostěradla.

Pokud bude možné odnímat napájecí a řídicí jednotky od prostěradla, bude je moci spotřebitel znovupoužít na nové vyrobené chytré prostěradlo, či napájecí kabeláž použít k jinému výrobku. V tomto případě bude nutné zvolit jednotný typ nabíjecí a napájecích portů pro elektronická zařízení. Evropská komise počítá s běžným portem USB typu C. Díky tomuto kroku se sníží elektrický odpad a spotřebitelé by měli možnost si vybrat, zda si zakoupí nové elektronické zařízení bez nebo s napájecím či dobíjecím kabelem. Tímto dojde k eliminaci nechtěně zakoupených nebo nevyužitých kabelů.

4.2 Případová studie – Vyhřívané ponožky

Vyhřívané ponožky Fire-socks model AJ27 vyvinula společnost APLENHEAT, která mimo jiné vyvíjí různé druhy vyhřívacích produktů – rukavice, obuv a vesty. Společnost APLENHEAT byla založena roku 1993 a hlavní sídlo leží v rakouském městě Hausmannstätten. Od roku 2009 je generálním ředitelem společnosti Tanja Gragl. Celý vývoj, design a testování se provádí výhradně v Rakousku. [107] Na obrázku 24 můžeme vidět vyhřívané ponožky Fire-socks model AJ27, které se prodávají se dvěma dobíjecími Li-Ion bateriemi a nabíjecím zařízením s výstupem 5,5/2,1 mm. Vyhřívané ponožky jsou výrobek určený pro široké spektrum uživatelů. Využit můžeme vidět pro zimní sporty, turistiku ve vysokohorských oblastech, myslivectví, lesnické práce, venkovní sporty či prostou tepelnou pohodu. [108]



Obr. 24 Vyhřívané ponožky Fire-socks model AJ27. Převzato z: [108]

Výrobek se skládá z textilní složky, které tvoří samotné ponožky a elektrické složky v podobě topného tělesa s uhlíkovým vláknem, vpraveném mezi dvěma textilními vrstvami.

4.2.1 Posouzení životního cyklu

4.2.1.1 Použité materiály

Pro samotnou výrobu ponožek byly použity materiály vlněné příze, konkrétně se jedná o 30 % merino vlnu, 25 % nylon, 45 % akrylové vlákno, 10 % měděné vlákno, 8 % spandex a 8 % elastan [107]. Pokud se na to podíváme z pohledu cirkulární ekonomiky, můžeme zde vidět pár zásadních nedostatků ve volbě materiálů. Jak již autor uvedl v první případové studii, je vhodné zvolit takový materiál, který bude recyklovatelný po skončení jeho životnosti. Takto zvolená vlákna, ať už přírodního typu nebo syntetického typu nepůjde oddělit od sebe a recyklace na původní materiály nebude možná.

Merino vlna je obzvláště kvalitní forma vlny získávána z ovcí pasoucí se na australských a novozélandských pastvinách. Získává se z ovcí merino a vyznačuje se zvláštní jemností a měkkostí. Na rozdíl od běžné vlny neškrábe, a proto ji lze nosit i přímo na kůži. Merino vlna, stejně jako vlna obecně, je obnovitelnou surovinou, která je zcela biologicky rozložitelná. Vlněná vlákna jsou jako cenná surovina pro recyklační společnosti ideální. Existuje několik způsobů recyklace vlny, jeden systém mění vlněná vlákna na materiál do ložního prádla, který se často používá do matrací, izolací nebo plstěných příkrývek. Alternativně lze vlnu rozdrtit zpět na přízi a znovu z ní vyrobit recyklované vlněné oděvy. [109]

Nylon je název skupiny syntetických polymerů, které se běžně používají k výrobě různých typů oděvů a spotřebního zboží. Na rozdíl od jiných organických nebo polysyntetických vláken jsou nylonová vlákna zcela syntetická, což znamená, že nemají žádný základ v organickém materiálu. Díky tomu se biologicky nerozloží a mohou být recyklované pouze pro druhotné využití. [110]

Tabulka 2 Porovnání výrobku podle složení materiálu. Vytvořeno podle [109,110,111]

100 % Merino výrobek		80 % Merino a 20 % Nylon výrobek	
Výhody	Nevýhody	Výhody	Nevýhody
Lepší odpružení nohy	Nižší odolnost	Vyšší odolnost	Horší odpružení nohy
Nezapáchá	Cenově dražší materiál	Cenově levnější materiál	Zachytává nepříjemné pachy
Lepší savost materiálu	Delší doba sušení	Kratší doba sušení	Biologicky nerozložitelná
Hřejivý materiál i ve vlhkém prostředí		Vlákna jsou jemná a měkká	Ztrácí hřejivost se zvyšující se vlhkostí
100 % biologicky rozložitelná			

Akrylová tkanina je vyrobena z plastových vláken. Plastové nitě jsou vyrobeny z umělých polymerních vláken, která se vytvářejí chemickým procesem z fosilních paliv. Akrylová tkanina se vyrábí podobným způsobem jako polyamidová (nebo nylonová) a polyesterová tkanina. Tato tkanina často slouží jako levnější alternativa vlny, díky podobným vlastnostem, jako je poskytování tepla a izolaci. Jako u nylonové tkaniny je akrylová tkanina biologicky nerozložitelná a nerecyklovatelná na nové přize.[112]

Jako technický materiál jsou zde použity uhlíková vlákna obalena v plášti z pryže, která slouží jako topné těleso pro vyhřívání části ponožek. Napájecí konektor byl zvolen konektor DC 5,5x2,1 mm s vyvedeným měděným vodičem. [108]

Technický materiál pro vyhřívací část ponožek, byl použit vodič z uhlíkových vláken a izolace z pryže. Napájecí konektor byl zvolen konektor DC 5,5x2,1 mm s vyvedeným 2 pinovým měděným vodičem s izolací PVC. Externí zdroj napájení je zde v podobě vysoce výkonné dobíjecí Li-Ion baterie 3,7V/2,6Ah/9,6Wh. Zmíněný akumulátor je lehký (59 g) a kompaktní (32 x 70 x 20 mm) s dobou provozu 5-10 hodin (záleží na stupni intenzity vyhřívání).

4.2.1.2 Ekodesign

Jelikož se jedná o pasivní smart textilii první generace, není zde elektro část zabudovaná přímo ve vláknech textilie, ale nachází se mezi dvěma vrstvami látky. Vyhřívací část se nachází ve spodní části ponožky v oblasti prstů. Na obr. 25 můžeme vidět vyhřívací plochu, kterou ponožky Fire-socks poskytují.



Obr. 25 Vyhřívané ponožky Fire-socks model AJ27. Převzato z: [108]

Pokud se podíváme na vyhřívanou ponožku jako na celek, v horní části se nachází kapsa pro umístění Li-Ion baterie (obr. 26). Kapsa je vybavena zapínacím cvočkem, aby uživateli během nošení ponožek nevypadla baterie z této kapsy. V kapse se také nachází vstupní konektor DC 5,5x2,1 mm, který je nutné zapojit do Li-Ion baterie pro napájení vyhřívané ponožky.



Obr. 26 Pouzdro na baterii se vstupním konektorem.

Na obrázku č. 27 můžeme vidět dráhu zabudování dvou pinového měděného drátku s PVC izolací, který vede z kapsy a končí v polovině spodní části ponožky.



Obr. 27 Vodivá dráha dvou pinového měděného drátku s PVC izolace.

Dvou pinový měděný drátek je poté kabelovou spojkou připojen k vodiči z uhlíkových vláken pro vyhřívací část. Vyhřívací část je zabudovaná pouze ve spodní části ponožky o rozměrech 8x6 cm. Jak je možné vidět na obr. 28, uhlíková vlákna jsou také zabudována mezi dvě vrstvy tkaniny s tvarem připomínající sinusoidu.



Obr. 28 Vyhřevný prvek na ponožce

Zpracování elektricky vodivých drátů a konektorů mezi dvě vrstvy textilie má velkou výhodu v jejich oddělení od samotné ponožky. Pro snazší recyklaci společnost APLENHEAT našla z druhé strany ponožky nylonovou látku, která má dvě funkce. První funkcí je samozřejmě ochrana vodivého drátu, aby se volně nepohyboval po samotné ponožce. Druhá funkce nylonové látky je snadné odhalení vodivé cesty pro uživatele a následného odstranění z ponožky. To samé platí pro vyhřívanou část ponožky s tím, že uhlíková vlákna jsou všité mezi dvě akrylové textilní vrstvy. Akrylová vrstva je poté našita na samotnou ponožku, díky tomu jde snadno odpárat od zbytku ponožky. To dělá výrobek snadno recyklovatelný. Pokud by samotná ponožka byla vyrobena pouze z jedné přírodní složky, mohla by se pomocí recyklačních cyklů vrátit zpět do oběhu jako nová příze. Pokud uživatel nebo pracovník recyklační služby takto oddělí od sebe textilní a elektro složku od jedné vyhřívané ponožky, bude textilní část představovat 74 g a elektro složka 8 g. Poté se můžou obě složky recyklovat zvlášť.

4.2.1.3 Výroba a distribuce

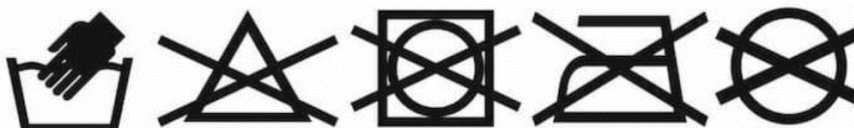
Výroba vyhřívaných ponožek Fire-socks model AJ27 probíhá velmi podobně jako výroba obyčejných ponožek. Před zahájením pletení ponožek se přírodní suroviny nejprve vyperou a upředou na přízi. Příze již mají požadovanou barvy a nemusí se dodatečně barvit při výrobě. Pletací stroj má válec, který obklopuje 116 pletacích jehlic. Příze se přivádí do pletacího stroje a plete se kolem válce. Ponožka se plete s otevřenou špičkou a po upletené následuje první kontrola kvality. Pokud ponožka dosahuje požadované kvality putuje do šicího místa, kde se uzavře otvor pro prsty. Po dokončení šití jsou ponožky připraveny na další krok, kterým je mokrá úprava. Po pletení a šití se ponožky vyperou a vysuší. Praní odstraní z přízi oleje a zbytky pletení a také pomáhá při případném smršťování a stabilizuje je. Praní probíhá pouze ve vodě, nepoužívají se žádné prací prostředky. Po vyprání a usušení putují ponožky do párovacího centra. Zde se natáhnou na ploché kovové formy, kde se vytvarují do požadovaného tvaru a velikosti. Poté se lisují párou, aby získaly konečný plochý a úhledný tvar. Posledním krokem tohoto procesu je komplexní kontrola kvality, kdy se hotový výrobek pečlivě zkontroluje. [113]

Pokud je ponožka vyhovuje nastaveným kvalitám je předána k ručnímu šití švadlenám, které našijí z vnější strany kapsu pro Li-Ion baterii a také zapínací cvoček. Poté se vytvoří díra z kapsy do vnitřní strany ponožky. Zde se provleče napájecí konektor DC 5,5x2,1 mm s vyvedeným 2 pinovým měděným vodičem s izolací PVC. Na vodič se provlíkne nylonová oboustranná stuha a z vnější strany ponožky se našije na povrch. Na konce měděných vodičů se připojí kabelová spojka, která spojuje měděný vodič s vodičem z uhlíkových vláken. Uhlíkatý vodič se všije mezi dvě akrylové vrstvy textilie a následně je prošit na spodní část ponožky z vnitřní strany. Poslední kontrola se provede připojením Li-Ion baterie a následně je vyzkoušena funkčnost celé vyhřívané ponožky. Poté, co ponožky úspěšně projdou poslední kontrolou kvality, jsou pečlivě zabaleny do plně recyklovatelných obalů a připraveny k odeslání. [113]

4.2.1.4 Spotřeba

Podle výrobce je možné vyhřívané ponožky Fire-socks model AJ27 využívat na sport (rybaření, lov, turistika, zimní sporty, golf, cyklistika) anebo na tepelnou pohodu starých lidí či v zimním období. Použitý materiál je pro lidskou nohu velmi příjemný a pohodlný. Materiál je také dostatečně pružný na to, aby komfortně obepnul lýtko a držel tvar. Díky tomu se v ponožce nezapaří noha a ponožka nesklouzává dolů při vykonávání pohybu. Vyhřívací část ponožky pod prsty nemá žádné negativní vliv na pohodlné nošení ponožek pro spotřebitele.

Co se týká praní a sušení ponožek Fire-socks výrobce uvádí, že před praním je nutné odpojit baterii od ponožek a napájecí konektor DC 5,5x2,1 mm bezpečně uložit v kapse na baterii a zapnout zapínací cvoček. Jsou dva způsoby praní těchto ponožek. Jedním z nich je ruční praní při teplotě 30 °C, bez bělicích prostředků a se šetrným pracím práškem. Je také doporučeno, aby se ponožky jen opatrně vyždímaly a nechali okapat. Jakékoliv kroucení ponožek může mít za následek poškození izolace vodičů či rozdělení vodiče na dvě části. Druhý způsob praní ponožek je na šetrný program v pračce při teplotě 30 °C a pouze v pracím sáčku při velmi šetrném máchání a odstředování. V pračce hrozí stejné problémy jako při ručním praním, a navíc ještě mohou nárazy v bubnu pračky poškodit vstupní konektor. Na obr. 29 můžeme vidět štítek s pokyny při praní a sušení vyhřívaných ponožek od výrobce. [114]



Obr. 29 Štítek se symboly pro nakládání při praní a sušení vyhřívaných ponožek. Vytvořeno z: [114]

Největší nevýhodu vyhřívaných ponožek může spotřebitel spatřovat v řešení připojení konektoru DC 5,5x2,1 mm k Li-Ion baterii. Konektor DC 5,5x2,1 mm je úhlového typu pootočeného o 90° a baterie není dostatečně široká, aby pokryla celou délku tohoto konektoru, takže konektor takzvaně vyčuhuje z baterie. Další velká nevýhoda je, že konektor se může otáčet o 180° a tím se postupně odpojit od zdroje. Spojení těchto nevýhod může k odpojování konektoru od baterie při různých činnostech a pokud má spotřebitel navíc ještě na sobě více vrstev oblečení, tak je velice složité konektor spojit se zdrojem a zprovoznit funkci vyhřívacích ponožek. V horším případě to může vést až k přetrhání měděných drátků a nefunkčnosti výrobku.

4.2.1.5 Odpad a recyklace

Jak již autor v kapitole 4.2.1.3 zmiňoval, je celkem snadné oddělit elektro část od textilní části v těchto ponožkách. Výrobce udává že výrobek musí být zlikvidován v souladu s platnými směrnici pro likvidaci použitých elektrických a elektronických zařízení. S tímto výrobkem nesmí být nakládáno jako s domovním odpadem, ale musí být zlikvidován na sběrném místě pro recyklaci elektrických a elektronických spotřebičů. Samotné baterie se nesmí rozebírat, házet do ohně ani zkratovat. Baterie musí být řádně zlikvidovány vyhozené do vhodné nádoby na takový odpad a nabíjecí zařízení taktéž. [114]

Pokud jsou ponožky poškozené např. otevřený šev nebo malá dírka či poškozené topné těleso je možné ponožky zaslat výrobcí a ten je opraví nebo je vykoupí a části znovu použije. Technik může zkontrolovat topná tělesa a odborně připájet poškozené vodiče a švadlena může vyměnit zipy, zašít poškozené švy atd. [113]

Výrobce se pyšní certifikáty Plastic Positive, kdy plastovou stopu jejich výrobků kompenzují podporou skandinávské společnosti Empower. Společně získávají zpět 2 kg plastu z oceánů, aby kompenzovali 1 kg plastu použitého ve výrobcích. Dalším certifikátem je 100 % Free of single-use plastic, kdy se společnost zavázala, že u výrobků nebude používat jednorázové plasty. Významným certifikátem společnosti je 100 % Green elektricity. Společnost v rakouském sídle a ve skladech používá ekologickou elektřinu vyrobenou ze 100 % z rakouských vodních elektráren. Poslední certifikát dostala společnost v roce 2018 za to, že jejich obaly byly 100 % recyklovatelné a vyrobené z recyklátu. [115]



Obr. 30 Certifikáty Plastic positive company a certifikát o 100 % recyklovat obalů. Převzato z:[115]

4.3 Návrhy pro budoucí vývoj smart výrobků

Většina společností je stále v počáteční fázi zkoumání cirkulární ekonomiky a udržitelného rozvoje. Aby se zmírnily dopady smart textilních výrobků na ekologické prostředí, společnost a ekonomiku, je třeba zhodnotit způsoby navrhování, výrobní systémy, a hlavně recyklační procesy. Nejen společnosti ale i široká veřejnost se musí zapojit do procesu cirkulární ekonomiky, aby od spotřebitelů recyklovatelný odpad končil tam, kde má. Na základě teoretické části a případových studií autor vyhodnotil základní poznatky a návrhy pro udržitelný rozvoj tohoto odvětví z hlediska cirkulární ekonomiky.

4.3.1 Materiály

Výrobek z oblasti chytrých textilií se vyznačuje integrací textilní materiálové složky a technické materiální složky v jednom výrobku. Pro efektivní uchování textilních materiálů v cirkulární smyčce je nejlepší volbou použít jeden typ organického textilního materiálu pro daný výrobek. Organický textilní materiál je biologicky zcela rozložitelný. Při recyklaci je možné získat zcela novou přízi, ale je nutné, aby ve výrobku nebyly různé příměsi jiných textilních tkanin. Mezi organické textilní materiály řadíme: Organickou bavlnu, tencel, konopí, len, hedvábí, vlnu, organický bambus. Pokud textilní část výrobku obsahuje umělá vlákna spojená s organickými vlákny není zde recyklace na novou přízi možná a textilie je následnou downcyklací vyřazena pro výrobky nižší kvality. Společnosti by měli vybírat textilní materiály podle dostupnosti v jednotlivých krajinách. Zdroje vynaložené na výrobu a převoz jednotlivých surovin je potřeba také započítávat do cirkulární ekonomiky např. voda, pesticidy, půda, energie, oxid uhličitý, fosilní paliva. Nejdůležitějším faktorem pro výběr textilního materiálu je jeho životnost.

Technické materiály by měly být voleny podle typu prostředí ve kterém bude výrobek používán a dále podle typu namáhání výrobku. Pokud to lze, je vhodné chránit vodiče a ostatní technické materiály vodotěsnou izolací pro delší životnost výrobku. Vliv a chování technických materiálů na prací cykly bylo popsáno v kapitole 4.1.1.2.

4.3.2 Ekodesign

V teoretickém úvodu v kapitole 1.3.1 byly principy ekodesignu představeny. Ekodesign je nejtěžejnější část celého cirkulárního cyklu. Snaha ekodesignu je navrhnout takový produkt, který bude v souladu s principy cirkulární ekonomiky, tj. minimalizace těžby a dovozu přírodních zdrojů pro výrobu, použití vhodných materiálů, energeticky nenáročná a ekologická výroba produktu, přívětivý design pro spotřebitele, životnost výrobku a v neposlední řadě jeho snadná recyklace. Vývoj v oblasti chytrých textilií je co nejlépe zabudovat technický materiál do textilní části tak, aby zákazník nepoznal, že se ve výrobku technická část vůbec vyskytuje. To může komplikovat následnou recyklaci a bylo by vhodné např. barevně odlišit, kde se nachází po výrobku technický materiál, aby jej bylo možné odstranit.

Použitím jednoduchého nástroje, jako je strategické kolo ekologického designu, společnost může lépe definovat životní fáze výrobku, což se může stát základem pro budoucí vylepšování výrobku. Zmíněné strategické kolo ekodesignu vychází z principů ekodesignu, který povodně v roce 1997 vyvinuly vědci Han Brezet a Carolien van Hemel [116]. Kolo zahrnuje všechny fáze životního cyklu výrobku a je seřazeno podle významu na životní prostředí. Nejdůležitější je zajištění funkčnosti (1) výrobku výběrem vhodných materiálů a minimalizace materiálu (2). Poté je zásadní řešit způsob výroby (3) a přepravu výrobku (4). Posledními kroky jsou dopady na životní prostředí během používání (5), prodloužení životnosti (6), ukončení životnosti (7) a alternativní využití výrobku (8).



Obr. 31 Návrh strategického kola ekologického designu. Vytvořeno pomocí: [116]

Důležitou součástí ekodesignu budou napájecí prvky. Aby výrobek měl co nejdéle životnost bude nutné, aby napájecí prvky byly odnímatelné či dobře izolované proti vodě. V cirkulární ekonomice je vhodnější napájecí prvky mít odnímatelné, aby došlo při konci životnosti výrobku k lepší recyklaci. Designeři musí vymyslet takový způsob úchyty pro napájení, aby to bylo uživatelsky přívětivé. Napájecí kabeláž musí mít vhodný konektor pro dobré uchycení na napájecím prvku, nejlépe ještě s pojistkou proti samovolnému uvolnění při zátěži smart výrobku.

4.3.3 Odpad a recyklace

Cirkulární ekonomika má za cíl udržet co nejdéle suroviny a výrobky v oběhu. Pokud smart textilní výrobky budou provozuschopné a spotřebitel už je chtít nebude, bude je moci prodat na bazarových webech či aplikací. Různé e-shopy a kamenné obchody v dnešní době vykupují od spotřebitelů rozbalené, zánovní a použité zboží a potenciální zákazník si zboží může koupit se slevou.

Důležitou součástí cirkulární ekonomiky je oprava výrobků. Poškozené výrobky nemusí být nutně zlikvidovány, ale mohou být případně opraveny nebo jejich části znovu použity. U smart textilních výrobků se bude zájmena jednat o zašití různých malých děr, výměna zipů, zašití poškozených švů, výměna napájecích prvků, připájení poškozených vodičů. Je nutné, aby s vývojem a integrací technických materiálů do textilní struktury, byly také řešeny možné opravy či výměny těchto struktur.

Nejdůležitějším bodem cirkulární ekonomiky je recyklace. Recyklace bude nutné již zahrnout do ekodesignu, tak aby společnosti zabývající se recyklací měli jasné informace, kde se nachází textilní část a kde technická část. Je zapotřebí vytvořit normy, tak aby napomáhali přijetí nových výrobků na trh a zvyšovat důvěru v kvalitu výrobků. To znamená vytvořit zcela nové normy pro chytré textilie v přijmou normy již zavedené z oblasti textilu a oblasti technických materiálů. Výrobci, obchodníci a spotřebitelé si stále více uvědomují naléhavost standardizace v nové oblasti chytrých textilií a oděvů. Potřeby standardizace chytrých textilií a chytrých oděvů rostou s rostoucím trhem. Kvalita inteligentních textilií a inteligentních oděvů na trhu musí být posuzována z hlediska existujících právních požadavků obsažených ve směrnících EU a vnitrostátních právních předpisech spolu s podpůrnými normami. Zavádění nových rizik, zejména s ohledem na zranitelné skupiny spotřebitelů, např. děti, zdravotně postižené a starší osoby.

4.3.4 Normy

Důležitou potřebou výrobců a spotřebitelů je vývoj vhodných zkušebních a hodnotících metod pro zajištění funkčnosti a trvanlivosti nových výrobků. Nové normy pro chytré textilie a chytré oděvy musí být harmonizovány se stávajícími směrnici EU: Směrnice o obecné bezpečnosti výrobků 2001/95/ES, směrnice o osobních ochranných prostředcích 89/686/EHS, směrnice o zdravotnických prostředcích 93/42/ES, směrnice o strojních zařízeních 2006/42/ES, směrnice o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních 2002/95/ES, směrnice o odpadních elektrických a elektronických zařízeních 2003/108/ES a směrnice o elektromagnetické kompatibilitě 2004/108/ES. Strategie EU pro udržitelný a oběhový textil stanovuje vizi a konkrétní opatření, která mají do roku 2030 zajistit, aby textilní výrobky uváděné na trh EU měly dlouhou životnost a byly recyklovatelné, v co největší míře vyrobené z recyklovaných vláken, neobsahovaly nebezpečné látky a byly vyráběny s ohledem na sociální práva a životní prostředí.

4.3.5 Vývojový diagram

Vývojový diagram výrobního cyklu smart výrobku podle principů cirkulární ekonomiky je zobrazen na obr. 32. Názorně ukazuje nejdůležitější podprocesy v jednotlivých důležitých procesech podle cirkulární ekonomiky. Tento vývojový diagram byl vytvořen na základě rešerše a případových studií a slouží jako grafické znázornění pro návrh budoucího vývoje smart výrobků.

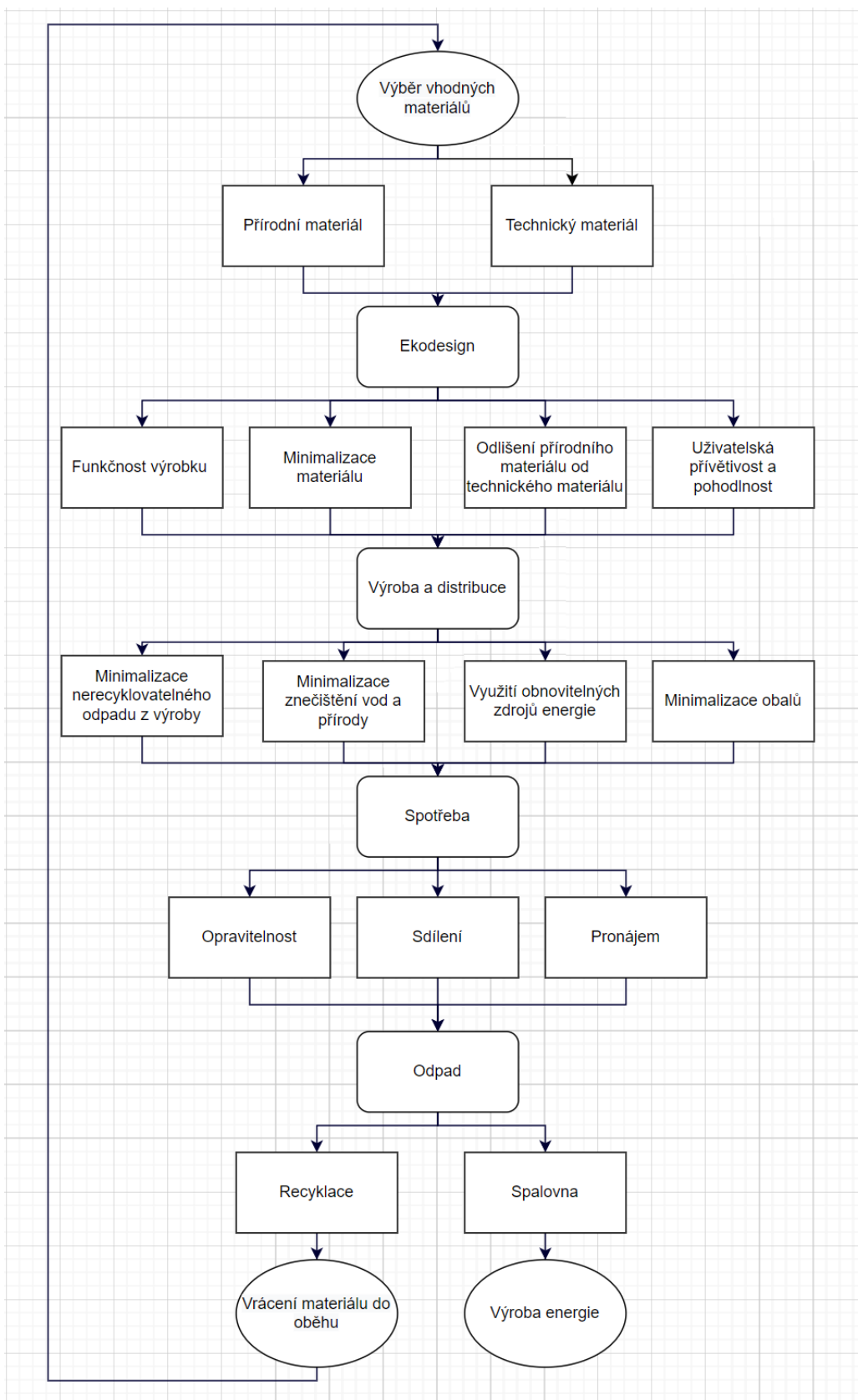
V první fázi je nutné vybrat vhodné přírodní a technické materiály na výrobek. Podle principů CE by měl materiál pocházet již z recyklovaných materiálů. Pokud to nelze zajistit, tak by mělo být dbáno na šetrné vytěžení a vypěstování vstupních surovin. Důležitou součástí výběru materiálu je jejich integrace. Přírodní materiál by neměl snižovat hodnotu technického materiálu a naopak např. životností, pohodlností, funkčností, tepelnou namáhavostí atd.

Ekodesign by měla být činnost, která zajistí návrh výrobku pro uživatele s co největší přidanou hodnotou (funkčnost, uživatelská přívětivost ovládání, a hlavně komfortnost nošení samotného výrobku). Je také nutné zamezit zbytečnému plýtvání vstupních materiálů a minimalizovat vstupní materiály na možné minimum, ale v žádném případě na úkor kvality, spíše kvantity. Pro zjednodušení následné recyklace je potřeba odlišit smart textilie od běžných textilií. Mohou to být štítky se speciálním znakem pro smart textilií, který by měl být popsán a uveden v normách.

Výroba a distribuce podle cirkulární ekonomiky musí jednoznačně minimalizovat odpady z výroby a přidružených činností. Pokud i tak budou vznikat odpady z výroby, tak je vhodné najít možnosti využití pro jiné produkty. Dále je nutné využívat obnovitelných zdrojů pro chod výroby v maximální možné míře např. solární, vodní, větrná.

U spotřeby se zaměřujeme na myšlenku vlastnictví věci. Sdílení a pronájem je skvělá myšlenka pro ušetření materiálů a výrobních prostředků. V každé domácnosti se skladuje spousta věcí, které se nevyužívají každý den. Jsou to věci, které lidé používají nepravidelně a většinu svého životního cyklu zůstanou nevyužity a zbytečně chátrají a zastarávají. Pomocí speciálních půjčoven nebo systémem lidé lidem pomocí webů se dají vybudovat body pro sdílení věci s určitou skupinu smart textilií např. pro zdravotnické, stavební.

Po skončení životnosti výrobku, tím rozumíme výrobek, který přestal plnit své primární funkce, můžeme výrobek klasifikovat jako odpad. Podle CE by měl být výrobek recyklován na své primární materiály, ale pokud je výrobek poškozen na tolik, že již ho nelze recyklovat, měl by končit ve spalovně pro výrobu energie. Výhodou chytrých textilií je možnost využití textilní části jako obyčejné textilní produkty bez chytrých funkcí.



Obr. 32 Vývojový diagram výrobního cyklu chytré textilie podle cirkulární ekonomiky

Zhodnocení a závěr

Diplomová práce vznikla se záměrem bližšího přiblížení v současné době velice aktuálního tématu cirkulární ekonomiky. Na základě toho došlo ke zpracování dvou případových studií na vyhřívané smart výrobky.

Hlavními cíli diplomové práce bylo posoudit a vypracovat z případových studií a řešerší možnosti implementace principů CE v oblasti chytrých textilií v rámci řízení celého životního cyklu výrobku a následné zpracování poznatků pro aplikaci v praxi, kde hlavní důraz byl kladen na možnosti recyklace textilních částí. Pro dosažení těchto cílů byla zpracována v první kapitole řešerše o principech CE jako například 3R a Cradle to Cradle a dále také model cirkulární ekonomiky. V druhé kapitole byly rozebrány typy materiálů a technologie výroby pro smart textilie. Třetí kapitola navazovala na kapitolu první ve stěžejní otázce cirkulární ekonomiky a tj. recyklace.

Případové studie byly provedeny na základě zpracovaného modelu cirkulární ekonomiky od společnosti European Environment Agency. V první případové studii byly rozebrány jednotlivé procesy z pohledu CE pro výrobek vyhřívaného smart prostěradla. V jednotlivých podkapitolách byly uvedeny návrhy pro vylepšení nebo rozebrány rozdílné metody výroby či zvolených postupů. Druhá případová studie byla koncipovaná odlišně. Jelikož se první výrobek nachází ve stavu prototypu, autor popsal metody a postupy aplikace CE. Ve druhé případové studii byly uvedeny vyhřívané ponožky jako příklad masového výrobku na trhu. Proto v podkapitolách byl rozebraný pouze výběr materiálu, design, spotřeba atd. Následující a poslední kapitola 4.3 reagovala jak na teoretický úvod a případové studie, tak i zpracovala závěry pro budoucí navrhování smart textilií v souladu s principy cirkulární ekonomiky.

Literatura

- [1] About us. Institut cirkulární ekonomiky [online]. [cit. 2021-10-011]. Dostupné z: <https://incien.org/about-us/>
- [2] MAPPING THE BENEFITS OF A CIRCULAR ECONOMY. McKinsey & Company [online]. 2017, 6 [cit. 2021-10-11]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Sustainability/Our%20Insights/Mapping%20the%20benefits%20of%20a%20circular%20economy/Mapping-the-benefits-of-a-circular-economy.pdf> Bibliografický záznam časopiseckého článku – příjmení a jméno autora (autorů), název článku, název časopisu, rok vydání, ročník, číslo, rozsah stran, ISSN.
- [3] CIRKULÁRNÍ ČESKO: Cirkulární ekonomika jako příležitost pro úspěšné inovace českých firem [online]. 2019, 28 [cit. 2021-10-12]. Dostupné z: <https://hub.cirkularnicesko.cz/wp-content/uploads/2019/01/Cirkularni-Cesko-final.pdf>
- [4] Ministerstvo životního prostředí. STRATEGICKÝ RÁMEC CIRKULÁRNÍ EKONOMIKY ČESKÉ REPUBLIKY 2040: „MAXIMÁLNĚ CIRKULÁRNÍ ČESKO V ROCE 2040“ [online]. 2021, 150 [cit. 2021-10-12]. Dostupné z: https://www.cbcsd.cz/wp-content/uploads/2021/04/Strategicky_ramec_CC_2040_duben_2021.pdf
- [5] EVROPSKÁ KOMISE. ZPRÁVA KOMISE EVROPSKÉMU PARLAMENTU, RADĚ, EVROPSKÉMU HOSPODÁŘSKÉMU A SOCIÁLNÍMU VÝBORU A VÝBORU REGIONŮ: o provádění akčního plánu pro oběhové hospodářství [online]. 2019,13 [cit. 2021-10-12]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0190&from=EN>
- [6] Cirkulární ekonomika. Institut cirkulární ekonomiky [online]. [cit. 2021-10-12]. Dostupné z: <https://incien.org/cirkularni-ekonomika/>
- [7] Cirkulární ekonomika aneb odpad jako hodnotný zdroj surovin. Lindstromgroup [online]. 2020 [cit. 2021-10-13]. Dostupné z: <https://lindstromgroup.com/cz/article/cirkularni-ekonomika-aneb-odpad-jako-hodnotny-zdroj-surovin/>
- [8] SILLANPAA, MIKA a CHAKER NCIBI. THE CIRCULAR ECONOMY: Case Studies about the Transition from the Linear Economy [online]. 125 London Wall, London EC2Y 5AS, United Kingdom: Elsevier, 2019 [cit. 2021-11-16]. ISBN 978-0-12-815267-6.

- [9] Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition. Ellen MacArthur Foundation [online]. 2013, 98 [cit. 2021-11-16]. Dostupné z: <https://emf.thirdlight.com/link/x8ay372a3r11-k6775n/@/preview/1?o>
- [10] EU Carbon Permits. TRADING ECONOMICS [online]. [cit. 2021-11-16]. Dostupné z: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>
- [11] S&P Dow Jones Indices: Index Methodology: S&P GSCI Methodology [online]. 2021, 51 [cit. 2021-11-16]. Dostupné z: <https://www.spglobal.com/spdji/en/documents/methodologies/methodology-sp-gsci.pdf>
- [12] PEARCE, David. An Intellectual History of Environmental Economics: Annual Review of Energy and the Environment. United Kingdom, 2002.
- [13] E. BOULDING, Kenneth. The Economics of the Coming Spaceship Earth [online]. Boston University, 1966 [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: http://arachnid.biosci.utexas.edu/courses/thoc/readings/boulding_spaceshipearth.pdf
- [14] MALER, Karl-Goran. Environmental Economics: A Theoretical Inquiry. RFF Press, 2011. ISBN 9781617260254.
- [15] A. FROSCHE, Robert a Nicholas E. GALLOPOULOS. Strategies for Manufacturing: Waste from one industrial process can serve as the raw materials for another, thereby reducing the impact of industry on the environment [online]. [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: https://www.teaching.industrialecology.uni-freiburg.de/Content/IEooc_Background1_Reading3_Strategies_For_Manufacturing_Sci_American_1989.pdf
- [16] KUMAR, Anil, Jose Arturo GARZA-REYES a Syed Abdul REHMAN KHAN. Circular economy for the management of operations. Abingdon: Tayler & Francis Group, 2021. ISBN 978-1-003-00248-2.
- [17] Circular economy: definition, importance and benefits [online]. 2021 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>
- [18] Circular economy in Europe: Developing the knowledge base [online]. 2016 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>

- [19] EKODESIGN [online]. 2003 [cit. 2021-11-17]. ISSN 80-7212-230-4. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/7907A38F19E1D57EC1256FC0004FE74D/\\$file/kodesign.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/7907A38F19E1D57EC1256FC0004FE74D/$file/kodesign.pdf)
- [20] E. GALLOPOULOS, Nicholas. Picto Chair. model 206/7 [online]. 2005 [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://collections.vam.ac.uk/item/O112497/picto-chair-model-2067-office-chair-produktentwicklung-roericht/>
- [21] EVANS, MARNI. Learn the 3 Rs – Reduce, Reuse, and Recycle [online]. 2019 [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://www.thebalancesmb.com/the-3-r-s-reduce-reuse-and-recycle-3157809>
- [22] BAHRAINI, AMANDA. Waste4Change Supports 3R (Reduce-Reuse-Recycle) Green Concept! [online]. 2019 [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://waste4change.com/blog/waste4change-supports-3r-reduce-reuse-recycle-green-concept/>
- [23] Cradle to Cradle® [online]. 2021 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://www.healthyprinting.eu/cradle-to-cradler/>
- [24] Biological and technical cycles [online]. [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://blogs.helsinki.fi/inventionsforcirculareconomy/circular-economy/biological-and-technical-cycles/>
- [25] WELLESLEY, Laura, Felix PRESTON a Johanna LEHNAn E. Inclusive Circular Economy: Priorities for Developing Countries [online]. 2019 [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://www.chathamhouse.org/2019/05/inclusive-circular-economy/2-challenges-scaling-circular-economy-developing-countries>
- [26] STRATEGICKÝ RÁMEC CIRKULÁRNÍ EKONOMIKY ČESKÉ REPUBLIKY 2040: „MAXIMÁLNĚ CIRKULÁRNÍ ČESKO V ROCE 2040“ [online]. Duben 2021 [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: https://www.cbcsd.cz/wp-content/uploads/2021/04/Strategicky_ramec_CC_2040_duben_2021.pdf
- [27] Ekoznačení [online]. Praha [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: <https://ekoznacka.cz>
- [28] Statistická Ročenka životního prostředí v České republice [online]. 2020 [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2021/02/Statisticka_Rocenka_ZP_CR-2019.pdf
- [29] CIRKULÁRNÍ ČESKO: Cirkulární ekonomika jako příležitost pro úspěšné inovace českých firem [online]. 2018 [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: https://incien.org/wp-content/uploads/2018/08/WP_CE.pdf

- [30] Strategický rámec Česká republika 2030: Příloha 2: Analýza rozvoje [online]. 2017 [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: https://www.cr2030.cz/strategie/wp-content/uploads/sites/2/2018/05/TISK_Příloha-č.-2_Analýza-rozvoje_final-17.04.2017.compressed.pdf
- [31] Panorama zpracovatelského průmyslu ČR 2017 [online]. [cit. 2021-11-19]. ISBN 978-80-906942-4-8. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/panorama-zpracovatelskeho-prumyslu/2018/10/Panorama-2017.pdf>
- [32] Informační přehled přezkumu provádění environmentální politiky v České republice 2019 [online]. 2019 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/environment/eir/pdf/report_cz_cs.pdf
- [33] Změna konceptu Zprávy o životním prostředí České republiky [online]. 2021 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: http://renatachmelova.cz/blog/wp-content/uploads/2021/04/zprava_o_ZP.pdf
- [34] Zpráva o životním prostředí České republiky [online]. 2019 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2019/03/Zprava-o-zivotnim-prostredi-Ceske-republiky_2017.pdf
- [35] Politika ochrany klimatu v ČR [online]. 2017 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/politika_ochrany_klimatu_2017/\\$FILE/OEOK-POK-20170329.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/politika_ochrany_klimatu_2017/$FILE/OEOK-POK-20170329.pdf)
- [36] Closing the loop: Commission adopts ambitious new Circular Economy Package to boost competitiveness, create jobs and generate sustainable growth [online]. 2015 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip_15_6203/IP_15_6203_EN.pdf
- [37] Zelená dohoda pro Evropu [online]. 2019 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=CS>
- [38] Změna způsobu výroby a spotřeby: Nový akční plán EU pro oběhové hospodářství ukazuje cestu ke klimaticky neutrální, konkurenceschopné ekonomice, v níž mají spotřebitelé posílené postavení [online]. 2020 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/cs/ip_20_420
- [39] Solární panely na rodinném domě ušetří tisíce [online]. [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/projekt/solarni-panely-na-rodinnem-dome-usetri-tisice/>
- [40] KONCAR, Vladan. Smart Textiles and Their Applications [online]. United Kingdom: Woodhead Publishing, 2016 [cit. 2021-12-04]. ISBN 978-0-08-100583-5.

- [41] SCHNEEGASS, Stefan a Oliver AMFT. Smart Textiles: Fundamentals, Design, and Interaction [online]. Switzerland: Springer International Publishing, 2017 [cit. 2021-12-04]. ISBN 978-3-319-50124-6.
- [42] Smart Textiles Market To 2024: [online]. 2017 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.ameriresearch.com/smart-textiles-market/>
- [43] Smart Textiles In Fashion: What They Are, Types & Exciting Examples [online]. 2021 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://thetechfashionista.com/what-are-smart-textiles-and-examples/>
- [44] Passive vs. Active Smart Textiles [online]. 2019 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://www.loomia.com/blog/passive-vs-active-smart-textiles>
- [45] Smart Clothing Classification [online]. 2017 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://teslasuit.io/blog/smart-clothing-classification/>
- [46] Představili jsme unikátní textilie. Mění barvu jako chameleon [online]. 2014 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://tuni.tul.cz/rubriky/univerzita/id:66341/predstavili-jsme-unikatni-textilie-meni-barvu-jako-chameleon>
- [47] Smart E-Textile Materials [online]. 2019 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/chapters/73836>
- [48] TSEGHAJ, Granch Berhe, Benny MALENGIER, Kinde Anlay FANTE, Abreha Bayrau NIGUSSE a Lieva VAN LANGENHOVE. Integration of Conductive Materials with Textile Structures, an Overview [online]. 2020 [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7730024/#B90-sensors-20-06910>
- [49] PATNAIK, Asis a Sweta PATNAIK. Fibres to Smart Textiles: Advances in Manufacturing, Technologies, and Applications. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300: Taylor & Francis Group, 2020. ISBN 9781138368033.
- [50] Yang-Pei-Qi Yi a Yi Li. Inkjet Conductive Inks for Printing Textile Materials and Applications [online]. 2019 [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: https://doc.global-sci.org/uploads/Issue/JFBI/v12n1/121_11.pdf?1591864059
- [51] SCHNEEGASS, Stefan a Oliver AMFT. Smart Textiles: Fundamentals, Design, and Interaction. Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017. ISBN 978-3-319-50123-9.
- [52] LÁTKY [online]. 2019, 2019 [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.caramilla.cz/latky/>
- [53] SYDUZZAMAN, Md, Sarif PATWARY, Kaniz FARHANA a Sharif AHMED. Smart Textiles and Nano-Technology: A General Overview [online]. 2015 [cit. 2022-02-17].

- Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/279847961_Smart_Textiles_and_Nano-Technology_A_General_Overview
- [54] SLOVICK, Murray. Smart Textiles: A Good Fit [online]. 2018 [cit. 2022-02-17]. Dostupné z:
<https://www.tti.com/content/ttiinc/en/resources/marketeye/categories/passives/meslovick-20180212.html>
- [55] YONG, Sheng a et al. Smart Textiles Development of a Screen-Printable Carbon Paste to Achieve Washable Conductive Textiles [online]. 2021 [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2673-7248/1/3/22/htm>
- [56] DIAS, Tilak. Electronic Textiles: Smart Fabrics and Wearable Technology. 80 High Street, Sawston, Cambridge, CB22 3HJ, UK: Woodhead Publishing, 2015. ISBN 978-0-08-100201-8.
- [57] Kovové vlákno [online]. 2021 [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kovové_vlákno
- [58] JACOBS, Angelika. Soft sensors for smart textiles [online]. 2017 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://techxplore.com/news/2017-03-soft-sensors-smart-textiles.html>
- [59] JACOBS, Angelika. Soft sensors for smart textiles [online]. 2017 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://techxplore.com/news/2017-03-soft-sensors-smart-textiles.html>
- [60] THAKUR, Suman. Shape Memory Polymers for Smart Textile Applications [online]. 2016 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/chapters/56078>
- [61] Společnost [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.amann.com/cz/spolecnost/>
- [62] Silver-tech [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.amann.com/cz/vyrobky/product/silver-tech/>
- [63] Silver-tech Plus [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.amann.com/cz/vyrobky/product/silver-tech-plus/>
- [64] ABOUT US / OUR BRAND [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.madeira.co.uk/about-us/>
- [65] HIGH CONDUCTIVE [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.madeira.co.uk/embroidery-threads/hc/>
- [66] Over 40 years of experience [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.shieldex.de/en/company/>

- [67] Fabrics [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: https://www.shieldex.de/en/products_categories/fabrics/
- [68] The Company [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://amohr.com/en/company/>
- [69] Conductive Tapes [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://amohr.com/en/conductive-tapes/>
- [70] Products [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: https://www.ohmatex.dk/products_textile-_cables_connectors/
- [71] RENGEL, Angela. Recycled Textile Fibres and Textile Recycling [online]. 2017 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjLobPjwIv2AhXElqQKHdmRCIsQFnoECB0QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.bafu.admin.ch%2Fdam%2Fbafu%2Fen%2Fdokumente%2Fwirtschaft-konsum%2Fexterne-studien-berichte%2FRecycled-Textile-Fibres-and-Textile-Recycling.pdf.download.pdf%2Fstudy-on-recycled-textiles-and-textile-recyclability-ch.pdf&usq=AOvVaw3MCWFAGCq3ahve6GCDcu9i>
- [72] ÜTEBAY, Burçin, Pinar ÇELİK a Ahmet ÇAY. Textile Wastes: Status and Perspectives [online]. 2020 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/chapters/71971>
- [73] Preferred Fiber & Materials: Market Report 2020 [online]. 2020 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2020/06/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report_2020.pdf
- [74] KAŇKOVÁ, Tereza. Bez zipu a knoflíků, prosím [online]. 2021 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.nila.cz/blog/archiv/archiv-fashion/bez-zipu-a-knofliku-prosim/>
- [75] PROCĚ RECYKLOVAT [online]. 2021 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.recyklujemetextil.cz/proc-recyklovat#prettyPhoto>
- [76] Nakládání s odpadem v EU: fakta a čísla (infografika) [online]. 2021 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20180328STO00751/nakladani-s-odpadem-v-eu-fakta-a-cisla-infografika>
- [77] EUROSTAT. Circular material use rate [online]. 2021 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AC_CUR__custom_1598253/default/table?lang=en

- [78] KÖHLER, Andreas a a et al. Circular Economy Perspectives in the EU Textile sector [online]. [cit. 2022-02-19]. ISSN 1831-9424. Dostupné z: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC125110>
- [79] About us [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://recoverfiber.com/about-us>
- [80] The process [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://recoverfiber.com/process>
- [81] Primark and Recover™ [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://recoverfiber.com/collaborations/primark>
- [82] KDO JSME [online]. [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.recyklujemetextil.cz/kdo-jsme>
- [83] Kristýna Jelínková. Recyklace textilií [e-mail]. Zpráva komu: Jan Valnoha. 08.02.2022 [20.02.2022]
- [84] SEZNAM ODEBÍRANÝCH ODPADŮ A CENÍK [online]. 2022 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: https://www.cistaplzen.cz/wp-content/uploads/2021/12/Cenik-SD-1_1_2022.pdf
- [85] Ceník ZEVO PLZEŇ 2022 [online]. 2022 [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/download.php?fid=878>
- [86] Hana Szmitková. Telefonní komunikace. 02.02.2022 [cit. 2022-02-19].
- [87] Petra Zemanova. Recyklace textilií [e-mail]. Zpráva komu: Jan Valnoha. 28.01.2022 [cit. 2022-02-19].
- [88] Lukáš Koutecký. Recyklace textilií [e-mail]. Zpráva komu: Jan Valnoha. 01.02.2022 [cit. 2022-02-19].
- [89] VASHKEVICH, Bc. Stepan. Analýza současného stavu nakládání s textilním odpadem v České republice a identifikace příležitostí uplatnění principů cirkulární ekonomiky v tomto odvětví [online]. Olomouc, 2020 [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/77gqig/39086831>. Diplomová práce. UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI – PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA.
- [90] Mobiliář [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.retextil.cz/mobiliar>
- [91] R. KÖHLER, Andreas, Lorenz M. HILTY a Conny BAKKER. Prospective Impacts of Electronic Textiles on Recycling and Disposal [online]. 2011 [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1530-9290.2011.00358.x>
- [92] WALSH, DYLAN. Responsible design of electronic textiles [online]. 2012 [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://environment-review.yale.edu/responsible-design-electronic-textiles-0>

- [93] VOGT, MARY. Do E-Textiles Contribute to Electronic Waste? [online]. 2021 [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.loomia.com/blog/etextiles-electronic-waste>
- [94] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2012/19/EU ze dne 4. července 2012 o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ) [online]. 2012 [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32012L0019>
- [95] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2011/65/EU ze dne 8. června 2011 o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních [online]. 2011 [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:32011L0065>
- [96] SENTHILKANNAN MUTHU, Subramanian. Sustainability in the Textile Industry [online]. Singapore: Springer Nature Singapore Pte, 2017 [cit. 2022-02-21]. ISBN 978-981-10-2638-6.
- [97] ROTZLER, Sigrid, Malte VON KRSHIWOBLOZKI2 a Martin SCHNEIDER-RAMELOW. Washability of e-textiles: current testing practices and the need for standardization [online]. 2021 [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0040517521996727>
- [98] VOGT, MARY. All About Washing E-Textiles [online]. 2021 [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://www.loomia.com/blog/washable-etextiles>
- [99] MÄDER, Urs. Optimized Metal Recovery from Fly Ash from Municipal Solid Waste Incineration [online]. 2017 [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: https://boris.unibe.ch/110441/2/17weibel_g.pdf
- [100] CHANCEREL, Perrine a Susanne ROTTER. Recycling-oriented characterization of small waste electrical and electronic equipment [online]. 2009 [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19427188/>
- [101] Čeští experti vyvíjejí chytrá prostěradla. Mohou pomoci v nemocnicích i za polárním kruhem [online]. 2018 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://radiozurnal.rozhlas.cz/cesti-experti-vyvijeji-chytra-prosteradla-mohou-pomoci-v-nemocnicich-i-za-7635067>
- [102] POINTING, CHARLOTTE. How Sustainable Is Organic Cotton? [online]. 2022 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.livekindly.co/how-sustainable-is-organic-cotton/>

- [103] BROGAN, Nikki. Material Guide: What Is Modal? And Is It Sustainable? [online]. 2021 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://goodonyou.eco/material-guide-ethical-modal/>
- [104] BLECHA, Tomas, Radek SOUKUP, Jan REBOUN a Miroslav TICHY. Conductive Hybrid Threads and Their Applications [online]. 2019 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://passive-components.eu/conductive-hybrid-threads-and-their-applications/>
- [105] KAZANI, Ilda, Anne SCHWARZ-PFEIFFER, Carla HERTLEER a Genti GUXHO. Electrical Conductive Textiles Obtained by Screen Printing [online]. 2012 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/277172845_Electrical_Conductive_Textiles_Obtained_by_Screen_Printing
- [106] Ing. Daniela Moravcová, Ph.D. E-mailová komunikace. 30.03.2022 [cit. 2022-05-17].
- [107] Historie společnosti [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://alpenheat.com/cs/o-nas/historie-spolecnosti/>
- [108] ALPENHEAT Vyhřívané ponožky FIRE-SOCKS: Model: AJ27 (1 pár vlna) [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://alpenheat.com/cs/produkty/vyhrivane-ponozky/vyhrivane-ponozky-fire-socks-aj27-vlna/>
- [109] The Ultimate Merino Wool Sustainability Guide [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://merinowoolgear.com/merino-wool-sustainability-guide/>
- [110] RINKESH, Rinkesh. Is Nylon Recyclable? [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.conserve-energy-future.com/is-nylon-recyclable.php>
- [111] S. KABBAZ, Alexander. Comparison: 100 % Merino Socks vs 80 % Merino/20 % Nylon Socks [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://customshirt1.com/pages/merino-vs-blend-socks>
- [112] What Is Acrylic Fabric? [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.naturalclothing.com/what-is-acrylic-fabric/>
- [113] David. E-mailová komunikace. 08.04.2022 [cit. 2022-05-17].
- [114] ALPENHEAT. Fire SOCKS Model: AJ27RC [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.cz/product/30305/download/AJ27RC.pdf>
- [115] ALPENHEAT. Sustain our Planet - Perceive Sustainability [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://alpenheat.com/cs/o-nas/sustain-our-planet-perceive-sustainability/>

- [116] RUUD, Audun a William MAHER LAFFERTY. Report no 1/07 Exploring the conditions for adapting existing techno-industrial processes to ecological premises: A summary of the CondEcol project [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/267972322_Report_no_107_Exploring_the_conditions_for_adapting_existing techno-industrial_processes_to_ecological_premises_A_summary_of_the_CondEcol_project