

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Nanokompozity a jejich aplikace
Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Valášek, Ph.D.
Autor práce: Nikola Tichá

PRAHA 2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Nikola Tichá

Zemědělská specializace
Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Nanokompozity a jejich aplikace

Název anglicky

Nanocomposites and their applications

Cíle práce

Cílem práce je shromáždit aktuální poznatky z oblasti nanokompozitů, určit jejich výhody oproti konvenčně využívaným materiálům a posoudit jejich ekonomicko-technický potenciál a možnosti jejich využití. Bakalářská práce především popisuje aktuální trendy v této oblasti a dále nastiňuje budoucí vývoj těchto materiálů.

Metodika

- Současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- technicko-ekonomická analýza,
- aktuální trendy a budoucí vývoj v oblasti nanokompozitů,
- závěry a přínos práce.

Doporučený rozsah práce

30 s.

Klíčová slova

Kompozitní systémy, materiály, nanotechnologie

Doporučené zdroje informací

Časopisy: *Journal of composite materials*, *Journal of composites for construction*, *Journal of reinforced plastics and composites*, *Manufacturing Technology*, *Strojírenská technologie*

HOA, Suong V. *Principles of the manufacturing of composite materials*. Lancaster: DEStech, c2009. ISBN 978-1-932078-26-8.

KUMAR, C. S. S. R. *Nanocomposites*. Weinheim: Wiley-VCH, c2010. *Nanomaterials for the life sciences*. ISBN 978-3-527-32168-1.

MAI, Yiu-Wing a Zhong-Zhen YU. *Polymer nanocomposites*. Cambridge: Woodhead Publ., 2006. Woodhead publishing in materials. ISBN 1-85573-969-0.

ÖCHSNER, Andreas, Waqar AHMED a Nasar ALI. *Nanocomposite coatings and nanocomposite materials*. Stafa-Zuerich: Trans Tech Publications, c2009. ISBN 978-0-87849-346-3.

VOJTĚCH, Dalibor. *Materiály a jejich mezní stavy*. V Praze: Vysoká škola chemicko-technologická, 2010. ISBN 978-80-7080-741-5.

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Petr Valášek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 26. 1. 2019

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 06. 12. 2020

PROHLÁŠENÍ

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Nanokompozity a jejich aplikace vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědoma, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědoma že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

Praha:

.....

(podpis autora)

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá nanokompozity a jejich aplikaci v organických fotovoltaických článcích. Cílem práce je poskytnout ucelený přehled o současných nanomateriálech a možnostech jejich využití v oblasti získání energie. Literární rešerše seznamuje nejprve s oborem nanotechnologie a následně se zaměřuje detailněji na nanokompozity využívané pro organické fotovoltaické články. V práci jsou představeny průlomové donorní a akceptorní materiály, jakými jsou například polymery na bázi benzodithiofenů a polymery na bázi naftalen-diimidů, nahrazující doposud využívané fullereny, a je poskytnut přehled o aktuálních poznatcích ve výzkumné oblasti v tomto moderním oboru. Práce následně zvažuje použití dostupných fotovoltaických elektráren pomocí ekonomicko-technické analýzy, kde je tato možnost porovnávána s konvenčním zdrojem tepla na bázi zemního plynu. Z vyhodnocení je patrné, že vysoké vstupní náklady za alternativní zdroj jsou za určité období shodné s náklady konvenčního zdroje tepla, přičemž v následujících letech jsou náklady pro tento alternativní zdroj výrazně nižší. V závěru jsou jmenovány další kroky ke komercializaci organických fotovoltaických článků a co je možné na trhu v příštích letech očekávat.

Klíčová slova

Kompozitní systémy, nanotechnologie, materiály

Abstract

This bachelor thesis focuses on nanocomposites and their application in the field of organic photovoltaics. The aim of this thesis is to provide a comprehensive overview of current innovative materials and the possibilities of their use in the field of energy generation. This literature review in thesis first introduces the general topic of nanotechnology, then focuses more in detail on nanocomposites used for organic photovoltaic cells. It presents pioneering donor and acceptor materials, such as benzo-dithiophene-based polymers and naphthalene diimide-based polymers and provides an overview of current research findings. This thesis then compares the use of available photovoltaic power plants with a conventional heat source based on natural gas with the use of an economical and technical analysis. The evaluation shows that the high input costs for an alternative source are after a period of certain years equal with the costs of a conventional heat source, while in the following years the costs for this alternative source are significantly lower. Finally, the conclusion presents further steps towards the commercialization of organic photovoltaic cells and what may be expected on the market in the forthcoming years.

Keywords

Composite systems, nanotechnology, materials

Obsah

Úvod	1
1 Cíl práce a metodika.....	3
1.1. Cíl práce.....	3
1.2 Metodika	3
2 Nanotechnologie.....	4
2.1 Nanokompozity.....	5
2.2 Nanovýrobní technologie.....	7
3 Udržitelnost jako trend v nanokompozitech.....	11
3.1 Problematika získání energie	11
3.1.1 Fotovoltaika a fotovoltaické články	11
3.1.2 Organické fotovoltaické buňky	12
3.1.3 Aktuální akademické poznatky a úspěchy.....	16
4 Ekonomicko-technická analýza.....	19
5 Zhodnocení výsledků	27
6 Závěr.....	29
7 Seznam použitých zdrojů	31

Seznam obrázků

Obrázek 1 Top-down a Bottom-up výrobní metody	8
Obrázek 2 Princip funkce fotovoltaického článku	12
Obrázek 3 Organický fotovoltaický panel vs. křemíkový fotovoltaický panel.....	23

Seznam tabulek

Tabulka 1 Klasifikace Nanočástic	6
Tabulka 2 Výdaje na konečnou spotřebu domácností podle účelu v ČR.....	19
Tabulka 3 Bilance elektrické energie v ČR.....	20
Tabulka 4 Průměrné tempo růstu výroby elektřiny	21
Tabulka 5 Nabídka hybridní fotovoltaické elektrárny od firmy SolidSun	22
Tabulka 6 Porovnání fotovoltaických článků.....	23
Tabulka 7 Porovnání zdrojů na výrobu elektřiny	24
Tabulka 8 Výpočet nákladů.....	25
Tabulka 9 Porovnání celkových nákladů.....	25
Tabulka 10 Cena elektřiny na spotovém trhu.....	27

Úvod

Pokud pohlédneme na současné úspěchy a významné události ve světě technologií, mohlo by se zdát, že je nanověda dlouho známým vědním oborem. Málokdo si uvědomuje, že hlavní startovní signál pro vznik nano nastal teprve před 60 lety kontroverzní myšlenkou, která dovolila vědcům udělat krok do neznáma a přiblížit se nanosvětlu, o němž nebylo jisté, zda existuje.

Díky novým technologiím, které umožňovaly nahlížet do tohoto světa (rastrovací tunelový mikroskop, mikroskop atomových sil) se myšlenka nanotechnologie přenesla do téměř všech vědních oblastí. V současné době zasahuje mj. do fyziky, informatiky, biologie, chemie a medicíny. S nadhledem lze říct, že si, se současnými vědomostmi, můžeme hrát na bohy a zasahovat do každé materiální struktury v rozměrech do 1 nanometru, která existuje.

Pro mnohé je ale pojem nano ještě stále neprobádaná oblast. Je faktem, že zatím převládá vědecké zkoumání, zatímco aplikace nanotechnologií jsou ve svých počátcích. Jako při každé vědní disciplíně, lze tvrdit, že technologie nejsou dobré nebo špatné, záleží pouze na člověku, co z nich učiní. Tato práce se proto bude zabývat myšlenkami v tomto ohledu zodpovědnějšími. Nanokompozity, které mají náš svět měnit k lepšímu, a přinášet lepší životní úroveň.

Práce se bude proto zabývat nanokompozity – tedy stavebními prvky pro realizaci výrobků, které vznikají ze dvou či více i zcela odlišných složek, přičemž alespoň jedna z nich musí být v nanorozměrech – které by mohly, alespoň částečně, odstranit nerovnosti mezi vyspělými zeměmi a zeměmi 3. světa, kde se mezi hlavní nedostatky řadí nedostupnost elektřiny.

Tyto výrobky mají také ve vyspělých zemích přinášet záchranu pro narušené životní prostředí v podobě šetrného vytváření elektřiny, s cílem rozumného čerpání přírodních zdrojů a zastavení desertifikace.

Tato závěrečná práce by měla tyto metody vnést do podvědomí čtenáře, jelikož realizace jsou již možné a díky neustupujícímu úsilí akademické obce budou jejich v budoucnu v mnohém překonávat současné konvenční metody.

Současní „průkopníci“ v oblasti energie jsou organické fotovoltaické články, skládajících se z nových, zajímavých nanokompozitů v podobě objemových heteropřechodů. Hlavními zástupci jsou zde polymerní donorní konjugáty a fullerénové deriváty.

1 Cíl práce a metodika

1.1. Cíl práce

Cílem této práce je poskytnout ucelený přehled o současných poznatcích v oblasti nanokompozitů. Dílčím cílem je analýza fotovoltaických organických článků, nastínění současných trendů na akademickém poli a závěrné ekonomické zhodnocení potenciálů prezentovaných nanokompozitů. Práce řeší otázky obnovitelných zdrojů, ochrany přírody a zajištění životní úrovně, ve kterých nanokompozity zastupují hlavní nástroj realizace.

1.2 Metodika

Bakalářská práce byla vypracována pomocí strojové výběrové literární rešerše vycházející z vědeckých publikací. Dílčí část, ekonomicko-technologická analýza, byla vypracována pomocí indukce, zjišťování a objektivizace.

2 Nanotechnologie

Nanotechnologie se staly jedním z nejdůležitějších a nejperspektivnějších oborů 21. století. Vliv nanotechnologií na naši společnost a ekonomii je srovnatelný s vlivem technologií polovodičů, informačních technologií nebo buněčné a molekulární biologie ve 20. století [1].

Díky proniknutí do světa o nanometrických velikostech je možné získat jedinečný pohled na chemické, fyzické a biologické vlastnosti látek – nanostruktury sestávají ze stejných materiálů jako makroskopické látky, mají však zcela odlišné vlastnosti ve vodivosti, magnetickém chování, bodu tání a varu, tuhosti, barvy a dalších vlastnostech.

Nanotechnologie jsou jakékoliv technologie, které jsou implementovány v nanoškále a mají použití v reálném světě. Jsou definovány jako kontrola nebo restrukturalizace hmoty na atomární nebo molekulární úrovni v rozsahu velikostí o 1 až 100 nm [1].

Jako hlavní myšlenka se považuje, že částice menší než 100 nanometrů dodávají z nich vznikajícím nanostrukturám nové vlastnosti a mění jejich chování. Nanočástice mají nové chemické a fyzické vlastnosti, jelikož jsou menší než charakteristické délky částic vykazující konkrétní jevy. Závislost mezi chováním a velikostí částice umožňuje tedy člověku konstruovat jejich vlastnosti [2].

Z výše uvedeného lze uvažovat, že nanotechnologie jsou novým poznáním, které bylo lidstvu dosud neznámé, opak je ale pravdou: Používání nanomateriálů sahá až do 4. století, kdy římsští skláři používali skla s obsahem kovů v nanorozměrech. Doložený artefakt z této doby jsou Lykurgovy poháry, které byly vyrobeny ze sodnovápenatého skla se stříbrnými a zlatými nanočásticemi [2].

Základní koncept nanotechnologií a obecně nanověd byl nastíněn až v roce 1959 fyzikem oceněným Nobelovou cenou Richardem Feynmanem, ve svém slavném prohlášení „*Principy fyziky, tak jak je vnímám, nevylučují možnost ovládnutí věci od atomu k atomu. Není to čin, který by porušil zákony; je to něco, co v principu lze udělat, neučinili jsme zatím ale tak, jelikož jsme moc velcí*“ [3].

Velkým mentorem zde zůstává matka příroda, tvůrce kvintesenčních nanokompozitních struktur, jakými jsou například kosti či kmeny stromů [4].

2.1 Nanokompozity

Nanokompozitní materiály vznikají smícháním dvou nebo více odlišných komponentů v nanometrické velikosti za cílem vzniku nových vylepšených struktur a vlastností s možností jejich regulace. Vlastnosti nanokompozitů nezávisí pouze na jednotlivých komponentech, ale také na morfologii a mezifázové charakteristice celého kompozitu [5].

Materiály nanokompozitu často sestávají z anorganické látky obsahující organickou komponentu a naopak. Také mohou pojímat dvě nebo více anorganických/organických fází za předpokladu, že alespoň jedna fáze je v nanorozměrech.

Základní koncept nanokompozitních materiálů spočívá v kombinaci nanorozměrných fází s mezi sebou výraznými rozdíly ve struktuře, chemickém složení a vlastností [5].

Nanokompozitní materiál může disponovat odlišnými mechanickými, elektrickými, optickými, elektrochemickými, katalytickými a strukturálními vlastnostmi, než jakými je vybaven každá individuální komponenta. Jejich použití může být multifunkční [4].

Následující členění může poskytnout krátký přehled o různorodosti kompozitů [4]:

- Anorganické nanokompozity (kovové a keramické):
Cílem vytváření anorganických nanokompozitů je získání vysoce efektivních materiálů pro náročné technické aplikace. Disperze kovových částic do keramiky výrazně zlepšuje její mechanické vlastnosti. Takto pokročilé keramické materiály jsou schopni odolat teplotám nad 1500 °C bez jakékoliv degradace a lze je využívat pro konstrukční celky motorů, plynových turbín, výměníků tepla či spalovacích systémů.
- Nanokompozity s polymerní matricí nebo polymerní výztuží:
Polymerní kompozity se uplatňují především v materiálech pro komerční použití, jakými jsou například elastomery pro tlumící prvky, elektrické izolátory, tepelné vodiče a kompozity používané v letectví. Materiály se synergickými vlastnostmi jsou vybírány k vytvoření materiálů s vlastnostmi na míru.
- Přírodní nanobiokompozity, biomimetické nanokompozity a nanokompozity inspirované biologií:
Tyto nanokompozity mohou být zcela anorganické, organické či jejich směsi. Přírodní nanokompozity obsahují biologické struktury v nanorozměrech. Jsou jimi například

bílkoviny, DNA či pavoučí hedvábí. Biomimetické nanokompozity jsou syntetické nanokompozitní materiály, tvořeny procesy napodobujícími biologické procesy. Biologicky inspirované nanokompozity jsou kompozitní materiály, vytvořené bez přímého napodobování či kopírování mechanismu utvářejícího biologický materiál.

Součástí nanokompozitů jsou nanomateriály a nanočástice. Nanomateriály, lze popsat jako materiály, s jedním ze tří rozměrů menším než 100 nm. Pro začlenění do nanočástic je nutné, aby všechny tři rozměry byly menší než 100 nm [6]. Tabulka 1 prezentuje přehled nanočástic:

Tabulka 1 Klasifikace Nanočástic

		Uspořádání		Příklady	
Přírodní	Obsahující uhlík	Biogenní	Organické koloidy	Huminové kyseliny, Fulvinové kyseliny	
			Organismy	Viry	
			Geogenní	Saze	Fullereny
		Atmosférické	Aerosoly	Organické kyseliny	
		Pyrogenní	Jíly	CNT	
				Fullereny	
		Anorganické	Biogenní	Oxidy	Nanoglobule, Nanosféry
				Kovy	Magnetit
			Geogenní	Oxidy	Ag, Au
				Jíly	Oxidy železa
Atmosférické	Aerosoly		Alofany		
Atmosférické	Aerosoly	Mořská sůl			
		Uspořádání		Příklady	
Antropogenní (vyrobené)	Obsahující uhlík	Vedlejší výrobky	Vedlejší produkty při spalování	CNT	
			Modifikované	Jíly	Nanoglobule, nanosféry
				Uhlíková čern	

			Fullereny
			Funkcionalizované CNT, fullereny
		Polymerní nanočástice	Polyethylenglykol (PEG) NP
Anorganické	Vedlejší výrobky	Vedlejší produkty při spalování	Kovy z platinové skupiny
	Modifikované	Oxidy	TiO ₂ , SiO ₂
		Kovy	Ag, železo
		Soli	Fosfáty kovů
		Aluminosilikáty	Zeolity, jíly, keramika

Zdroj: [7]

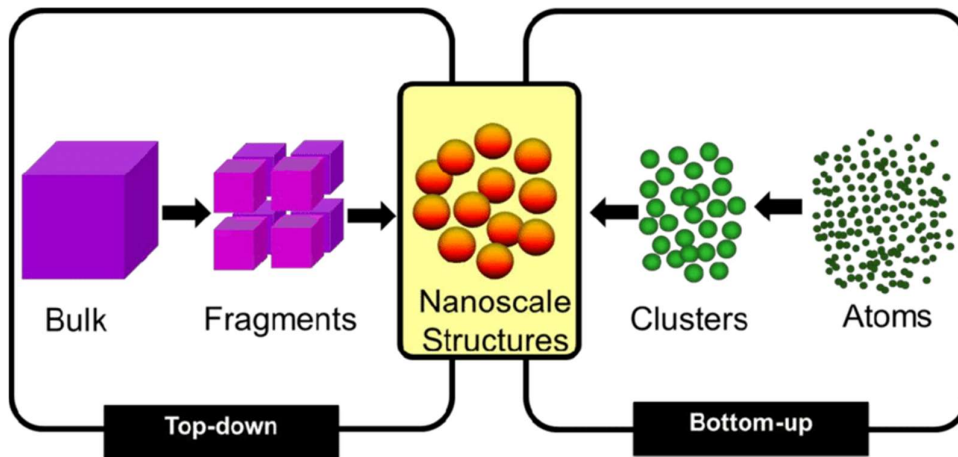
2.2 Nanovýrobní technologie

Cílem nanovýrobních technologií je vyrobit nanočástice, nanostruktury a systémy s přesností nanometrů. Jsou esenciálním krokem při realizaci nanomateriálů a jejich produktů. Díky neustálému úsilí zdokonalování a zefektivnění výroby v oblasti nano, existuje již nespočet metod, které lze uplatnit. Obecně lze rozlišovat mezi dvěma hlavními kategoriemi, způsoby „top-down“ (shora-dolů) a „bottom-up“ (zdola-nahoru). Toto označení popisuje postupy podílející se na tvorbě nanostruktur – zobrazené na obrázku 1 níže.

Jak již název napovídá, způsob „top-down“ používá výchozí objekty větších rozměrů, které jsou následně krok za krokem miniaturizovány. Proces probíhá tak dlouho, dokud není dosažena požadovaná charakteristika a tvar v nanorozměrech.

Způsob „bottom-up“ probíhá opačně. Z molekulárních nebo atomárních komponentů se sestavují komplexnější celky. Objekty jsou stavěny řízeném samouspořádáváním nebo na základě komplexních mechanismů a technologií. Atomy nebo malé molekuly jsou zde stavebními kameny, uskutečňujícími různé pracovní operace na víceúrovňových strukturách. Tato metoda se jeví jako velice nadějná, do budoucna by neměla produkovat žádný výrobní odpad a zamezit plýtvání materiálu [8].

Obrázek 1 Top-down a Bottom-up výrobní metody



Zdroj: [9]

Nano-obrábění (Nanomechanical machining)

Nano-obrábění definuje proces, kdy je z obrobku postupně odebírán materiál až do dosažení konečného požadovaného tvaru součásti. Vzhledem k velikosti součásti probíhá odebírání materiálu pouze po několika atomárních vrstvách. Náleží sem také postupy nanořezání a broušení, které jsou častými výrobními postupy pro vznik supervýkonných funkčních povrchů. Nanořezání lze použít pro obrobení na čisto, je dosažena vysoká přesnost tvarů. Leštění je považováno jako následný krok k získání hladkých tvarů a odstranění stop po předchozích zásazích [8, 10].

Nanolitografie (Nanolithography)

Nanolitografie se zabývá studiem a přípravou nanostruktur, tedy vzory s minimálně jednou laterální dimenzí mezi 1 nm a 100 nm. Byla vyvinutá za cílem realizace průmyslové výroby integrovaných obvodů (ICs) a zařízení z Mikro-Elektrických-Mechanických-Systémů (MEMS). Proces Nanolitografie je neustále zdokonalován, což jej činí atraktivním pro výzkumné oblasti, jako je např. nanomedicína a nanoelektronika. Nanolitografie se dělí do maskové litografie (použitelné pro hromadnou výrobu) a bezmaskové litografie (režim přímého popisu). V těchto metodách je používán energetický svazek – jako např. elektronový svazek nebo fokusovaný iontový svazek, který je vystaven na exponovaný rezist [8, 10].

Nanoobrábění energetickým svazkem (Energy beam machining)

Obrábění energetickým svazkem je dobře známý bezkontaktní způsob obrábění, který může být aplikován téměř na všechny materiály. Energetický svazek je fokusován na tavení nebo odpaření a odstraní nechtěný materiál ze základního materiálu. Jako energetický svazek je nejčastěji používán iontový svazek, laserový svazek a elektronový svazek [8, 10].

Depozice tenkých vrstev a leptání (Deposition and etching)

Depozice, především depozice tenké vrstvy, popisuje jakoukoliv techniku depozice tenké vrstvy materiálu na substrát nebo na předem deponované vrstvy. Tloušťka vrstvy je jen v desítkách nanometrů. Chemické metody depozice vrstev (CVD) a fyzikální metoda depozice tenkých vrstev (PVD) jsou hlavními depozičními metodami. CVD je chemický proces a je používán k výrobě vysoce kvalitních vysoce výkonných pevných materiálů. Často je používán v polovodičovém průmyslu k výrobě tenkých vrstev. Plynná sloučenina se vhání do reakční komory, kde se rozkládá na povrchu podložky. Vrstvy mají jemná zrna, disponují vysokou čistotou a jsou nepropustné [11].

PVD používá fyzikální procesy (odpařování) k odpařování materiálu, který je následně deponován na objekt k povlakování.

Leptání je tradiční proces k odstranění nechráněného povrchu materiálu k vytvoření struktury konstrukce a je nyní dostupný i v nanoškále. Leptání může být rozděleno do mokrého a suchého leptání. Mokrý leptání potřebuje tekutý roztok, v průběhu tohoto procesu dochází k chemickým reakcím mezi leptacím roztokem a povrchem leptaného materiálu [12]. Je to tradiční metoda, jednoduchá, ekonomická [11] ale není vhodná pro výrobu tenkých vrstev. Suché leptání se provádí pomocí bombardování povrchu [11] mnohem více rozpouští, ale má také vyšší náklady. Rozděluje se na reaktivní iontové leptání (RIE – Reactive Ion Etching) kombinované s chemickou cestou, rozptylové leptání a čistě fyzikální IBE (IBE – Ion Beam Etching) [11].

Nanotisk (Nanoprinting)

Nanotisk je specifický aditivní nanovýrobní proces. Díky příchodu elektrohydrodynamického tryskového tisku je možné tisknout za pokojové teploty miniaturní kapičky o vysoké rychlosti, menší, než je samotná tryska. Nanotrysky jsou schopny tisknout více komplexní mikro – nebo

nanostruktury než u ostatních metod. 3D nanotisk tvoří objekt nebo strukturu vrstvou za vrstvou vertikálně a zároveň horizontálně [8, 10].

Samouspořádání (Nanoassembly)

Samouspořádání neboli „self-assembly“ je bottom-up postup. Je vhodný pro výrobu nanostruktur s komplexní 2D nebo 3D geometrií a využívá nekovalentní interakce. Proces samouspořádávání probíhá spontánně a je řízen chemickými nebo fyzikálními interakcemi mezi atomy a molekulami, jakými jsou např. Coulombovi síly, Van der Waalsovi síly, nebo vodíkové vazby. Samotný proces je citlivý na molekulární konfiguraci a chemické a fyzikální prostředí. Velikost základního elementu se může lišit a jsme schopni vytvořit elementy v nanoškále až mikroškále podle potřeb použití [11].

Nanoreplikace (Nanoreplication)

Výroba prvků na nanoškále pomocí replikace je efektivní cesta k vytvoření nanoprvků na površích s funkčními vlastnostmi, jakými jsou: mechanické, biologické, chemické nebo optické. Replikace je definována jako přenos hlavní geometrie na substrát pomocí kopírování hlavní geometrie. Replikace je hlavně implementována v litografii [8, 10].

Sol-gel nanofabrikace (Sol-gel nanofabrication)

Sol-gel proces je implementován na široké škále pro fabrikaci nanostrukturovaných funkčních materiálů na bázi kovových oxidů a slitin. V porovnání s fyzikální, chemickou a plazmatickou depoziční technikou je sol-gel proces velmi cenově efektivní. Sol-gel proces vychází z kombinace primárních kovových prekurzorů v roztoku a depozici prekurzorů na vhodný substrát a následném tepelném zpracování za účelem oxidace a/nebo slinování konečného produktu [8, 10].

3 Udržitelnost jako trend v nanokompozitech

Od dob průmyslové revoluce a nástupu používání přírodních zdrojů, dochází k poškozování životního prostředí mj. z důvodu emise skleníkových plynů, způsobujících nárůst globální teploty a tím i změny klimatu. Změna klimatu je alarmující upozornění, vyžadující dodržování opatření ke snížení emisí. Vytváření ekologicky šetrných a výkonných nanokompozitů se zdá být možným řešením pro zefektivnění alternativních zdrojů pro získání energie. V následující kapitole budou proto představeny nanokompozity pro organické fotovoltaické články, konstruované za účelem zlepšit životní prostředí a životní úroveň.

3.1 Problematika získání energie

Slunce je pro obyvatele země životně důležitou hvězdou. Jedná se o téměř nevyčerpatelný zdroj energie, na němž závisí vůbec nejdůležitější biochemický proces, fotosyntéza.

Slunce vysílá energii v podobě proudu elektromagnetického záření, jeho celkový zářivý výkon je $3,83 \cdot 10^{26}$ W, přičemž na zemi dopadá „jen“ přibližně půl miliardy ($1,7 \cdot 10^{17}$ W). Z tohoto zářivého toku je spotřebováno 0,1 % na fotosyntézu a dalších 51,4 % je odraženo či pohlceno oceány a souší [14]. Nabízí se zde tedy otázka, proč nevyužít tuto energii k tvorbě elektrické energie pro vlastní potřebu, obdobně jako příroda ke tvorbě chemické energie. Již přes desítky let je snaha o co nejefektivnější, nízkonákladové a ekologické fotovoltaické buňky. S nástupem nanotechnologií se nyní zdá, že by mohlo být nalezeno efektivnější řešení, než bylo využíváno doposud. Do hlavní role se zde dostávají organické solární články či organická fotovoltaika.

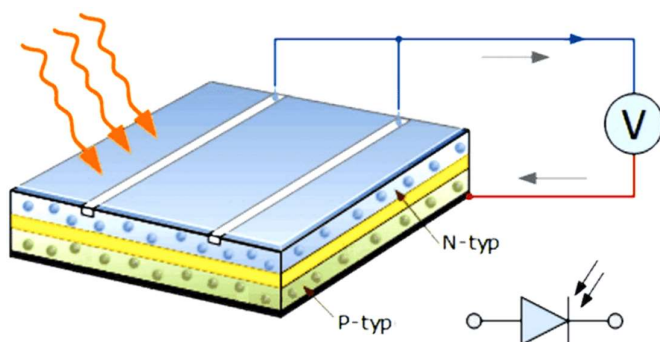
3.1.1 Fotovoltaika a fotovoltaické články

Fotovoltaika je technologie, která využívá sluneční záření pro výrobu elektřiny (stejnoseměrného proudu). Přeměna je možná díky fotoelektrickému jevu na polovodičových fotodiodách – fotovoltaických člancích.

Elektromagnetické záření slunce je kvantováno na fotony. Při průchodu fotonu materiálem dochází k interakci mezi dopadajícím fotonem a materiálem, následně se generuje volný nosič náboje, má-li foton dostatečnou energii. Z atomu materiálu je uvolněn elektron, jeho místo zaujímá díra, která má „kladný“ náboj. Tento jev se nazývá generace páru elektron-díra.

Elektrony i díry se elektrickým polem oddělí a způsobí, že v P-N přechodu vzniká přebytek volných elektronů v oblasti N a v oblasti P přebytek děr. Přebytek nosičů náboje vytváří v materiálu potenciální rozdíl, jenž má za následek vznik elektrického napětí. Pokud jsou spojeny obě elektrody vnějším obvodem, dochází k vyrovnání elektrického náboje a mezi elektrodami protéká elektrický proud [15] – názorné zobrazení na obrázku 2. Tyto články lze následně zapojovat do tzv. fotovoltaických panelů.

Obrázek 2 Princip funkce fotovoltaického článku



Zdroj: [15]

3.1.2 Organické fotovoltaické buňky

V organických fotovoltaických buňkách je absorpčním materiálem slabá (100 nm) vrstva organického polovodičového materiálu, který se nachází mezi dvěma elektrickými kontakty. Světlo absorbované v organické vrstvě tvoří úzce spjaté excitony, které musí být následně disociovány do elektronů a kladně nabitých děr, aby pomocí elektrody mohly tvořit elektrickou energii.

Organické polovodiče, lze vyrobit pomocí sublimace ve vakuu, tiskem z roztoků či nanášením. Odlišně od anorganických polovodičů jsou organické polovodiče tvořeny molekulami, což umožňuje snadnější modifikaci. Výroba je cenově dostupnější z důvodu využití organických materiálů, které jsou v podstatě neomezeným zdrojem.

Tenké vrstvy organických polovodičů mají vysoký absorpční koeficient o $\sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$, pouze 100 nm této vrstvy absorbuje 90 % světla [16]. Účinnost konverze energie (PCE) je důležitým faktorem pro komercializaci, a určuje její fotoaktivní vrstva. Tyto materiály dosahovaly v minulosti limitu 10 % PCE, s vývojem nových materiálů se zde otevírají nové možnosti.

Účinnost konverze energie (PCE) je výstupní výkon (P_{out}) solární buňky, skládající se ze zkratové proudové hustoty J_{sc} , napětím naprázdno V_{oc} a faktorem plnění FF, děleným vstupním výkonem slunečního záření (P_{in}) a následně multiplikován 100 – viz následující vzorec 1:

Vzorec 1 Účinnost konverze energie

$$PCE = \frac{J_{SC} \times V_{OC} \times FF}{P_{in}} \times 100$$

V organické fotovoltaice sestává hlavní aktivní vrstva z organických polovodičů, které obsahují uhlíky. Díky tomu mají polovodiče vysoké absorpční koeficienty a jsou velice flexibilní [17]. Organická fotovoltaika obsahuje donorní a akceptorní materiály. Po separaci excitonu migrují díry a elektrony k anodě a katodě.

Ke zvýšení povrchové oblasti a snížení vzdálenosti excitonů byl vyvinut koncept objemového heteropřechodu (BHJ – bulk heterojunction), kde donory a akceptory jsou deponovány v roztoku sjednoceny do jedné vrstvy. Podařilo se tímto zvýšit účinnost o 10 %. Konvenční silikonové solární buňky disponují účinností přeměny ve výši 20-25 % nicméně pro organickou fotovoltaiku je ke komercializaci důležité překonat bariéru 10-15 %.

Rozdíl v toleranci účinností se vysvětluje především nízkonákladovou výrobou organické fotovoltaiky a její šetrností k přírodě [18, 19].

V případě materiálu hlavními přispěvateli k vyšší účinnosti jsou:

- Napěťová reference bandgap či zakázané pásmo
- Absorpční spektrum
- Absorpční koeficient
- Uspořádání molekul, děr a elektronová mobilita

Nejběžnějšími materiály zkoumanými v souvislosti s vývojem organických fotovoltaických buněk jsou poly(3-hexylthiofen) (P3HT) představující elektronový donor a metylester kyseliny fenyl-C₆₁-máslé (PC₆₁BM) představující elektronový akceptor, tato kombinace má efektivitu 4-6 %.

Intenzivním výzkumem vznikly polymerní donorní konjugáty a fullerénové deriváty, které zvyšují efektivitu k výše uvedeným 10 % [18, 19].

Vysoce efektivní organické donorní materiály

Představeny jsou především donorní materiály, které v posledních 3 letech způsobily průlom ve vývoji materiálů pro organické polovodiče [16, 17].

Polymery na bázi benzodithiofenů a dithieno benzodithiofenů

Popularitu si benzo[1,2-b:4,5-b']dithiofen (BDT) sloužící jako stavební kámen v organických materiálech p-typu získalo především díky jeho vysoké stabilitě a planární molekulární struktuře. Jeho centrální benzenový střed umožňuje umístění různých substituentů, přičemž zůstává planární. Populární BDT polymer, je série PTB7. Tyto polymery obsahují BDT a skupinu thieno[3,4-b]thiofenů (TT) s elektronem odebírajícím substituce fluoru a postranní řetězec 2-ethylhexyl karboxylátu [16, 17].

Novějším typem je PTB7-Th kopolymer, modifikovaný z PTB7 odlišující se zvýšeným absorpční koeficientem ($o 1.0 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$). Při použití s PC₇₁BM jako akceptoru, má PCE 9,35 %. Ještě vyšší PCE 10,12 % bylo dosaženo s 2dimenzionální PTB7-Th strukturou [17].

Polymery podporující π - π interakci

Ukázalo se, že vysoká intermolekulární π - π interakce může být klíčem k získání vysoké efektivity. Příkladem je polymer PBDD4T-2F, který s použitím PC₇₁BM dosáhl PCE o 9,04 %. Těchto výsledků bylo dosaženo díky snížení rotace mezi jednotkami polymeru propojeného s jednoduchými vazbami schopné rotace. Dalším příkladem je polymer poly[2,7-(5,5-bis-(3,7-dimethyl octyl)-5H-dithieno[3,2-b:20,30-d]pyran)-alt-4,7-(5,6-difluoro-2,1,3-benzothiadiazol)] (PDTP-DFBT), který byl optimalizován jako donor v zadní části tandemové buňky. V zařízení sestávající z P3HT:inden-C₆₀ bisadukt a PDTP-DFBT:PC₆₁BM, byl získán certifikovaný PCE o 10.6 % s obdivuhodným V_{oc} o 1.53 V [17].

Malé molekulové donory

V porovnání s polymery nabízejí malé molekuly větší variabilitu a více laditelnou strukturu. Jako příklad může sloužit DTS(PTh₂)₂, které vykazuje PCE o 6,7 % pokud je párováno s PC₇₁BM, a MoOx v anodové mezivrstvě. Nově vyvinutá molekula DR3TSBDT má velice

vysoký absorpční koeficient o $4.26 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ při 586 nm a V_{oc} o 0,92 V při použití akceptorního materiálu PC₇₁BM. Po upravení morfologie byl získán maximální PCE o 9,95 % [17].

Vysoce efektivní organické akceptorní materiály

Fullereny, i přesto, že jsou používány ve většině derivátů, mají svá omezení jako jsou slabá absorpce světla ve viditelném rozsahu spektru, nákladnost výroby a mechanická křehkost. Tyto nevýhody daly impuls ke vzniku bez-fullerenových akceptorů, které se v současné době pohybují již kolem PCE 10 % [16, 17].

Polymery na bázi naftalen-diimidů

Polymery na bázi naftalen diimidů, dále označeny jako NDI, jsou dobře prozkoumány jako akceptorní materiály díky jejich vysoké elektronové mobilitě, vysoké elektronové afinitě a silné absorpci světla ve spektru viditelného světla. Komerčně dostupný je kopolymer N220 na bázi NDI-bithiofenu. Bylo zjištěno, že fluorace a úpravy postranního řetězce jsou důležitými faktory pro vysokou efektivitu. Kopolymery na bázi NDI nejsou tak křehké jako fullereny. Zajímavé jsou buňky PBDTTTPD:P(NDI2HD-T) vykazující lepší mechanické vlastnosti než buňky PC₆₁BM. Disponují 60x vyšším prodloužením před přetržením a 470x vyšší houževnatostí než prokazuje PC₆₁BM. Zdají se být slibnými kandidáty pro komercializaci [17].

Polymery na bázi perylendiimidů

Polymery na bázi perylendiimidů (PDI) byly původně používány jako průmyslová barviva, získaly si ale pozornost jako polovodičové materiály n-typu, mající vysokou účinnost. Vykazují silnou absorpci viditelného světla, laditelné optoelektronické vlastnosti a vysokou hybnost elektronů [17].

Malé molekulové akceptory

Významnějšími představiteli jsou perylendiimidy (PDI) a tetraazabenzodifluoranten diimidy (BFI). PDI vykazovalo významné výsledky při použití jako molekulární akceptor na bázi PDI

dimerů. Jako příklad lze uvést směs PTB7-Th:hPDI4, která získala certifikovanou hodnotu 8,27 %. Stává se tak porovnatelnou s třídou fullerennových akceptorů. BFI je planární molekulární bez-fullerennový akceptor obdobný k PDI [17].

3.1.3 Aktuální akademické poznatky a úspěchy

Liu et al. [20] demonstrují působivé pravděpodobnosti disociace excitonů a dlouhodobou životnost organických fotovoltaických buněk. Byly provedeny výzkumy organických fotovoltaických buněk s variabilní tloušťkou materiálu PBDB-TF:IT-M. Vyrobena 4 cm² PBDB-TF:IT-M organická fotovoltaická buňka s optimální tloušťkou 181 ± 37 nm, vykazovala PCE o 21,2 % pod světlem 500 lux LED (běžně používaným v obchodních centrech, kancelářích apod.). Pod 0,5 % sluncem vykazovala stejná organická fotovoltaická buňka až 10,5 % PCE. Tyto výsledky slibují vhodnou charakteristiku pro rozsáhlou aplikaci používání organických fotovoltaických buněk pro slabé osvětlení. Výzkumy byly provedeny díky stoupajícímu zájmu o organické fotovoltaické články pro slabé osvětlení pro použití v uzavřených prostorech např. pro uzly, které je nutné řídit bezdrátově pro Internet věcí (IoT).

Pulli et al. [21] se zabývají inkorporací solárních článků do technologie chytrých budov pro maximalizaci povrchů schopných produkovat elektřinu. Transparentní fotovoltaické technologie umožňují transformovat okna či elektronická zařízení do zařízení generující elektřinu, aniž by se narušilo jejich původní použití. V případě transparentní fotovoltaiky jsou sledovány tyto faktory:

- Průměrná transmisivita viditelného světla (AVT): určena výběrem průměrné průhlednosti zařízení ve viditelné části elektromagnetického světla (400–700 nm) na základě spektrální citlivosti lidského oka.
- PCE: Účinnost konverze energie

Hlavním cílem je tedy získat vysokou průměrnou transmisivitu viditelného světla, aniž by se narušila účinnost konverze energie. Článek poukazuje mimo jiné na technologie realizovatelné organickými fotovoltaickými buňkami, které se nazývají technologie selektující vlnové délky. Využívají fotoaktivní složení, která upřednostňují ultrafialové záření (UV) a téměř infračervenou (NIR) radiaci. Tato zařízení mají AVT mezi 50-90 %. Sestávají obvykle

z malých organických molekul, nanotrubic, polymerů a solí. V studii od Lunt et al. [22] byly zkoumány organické fotovoltaické články s heteropřechody, absorbující NIR spektrum s AVT o 65 % a PCE o 1,3 % \pm 0,1 %. Buňka obsahovala chlor-alumínium ftalocyaniny (ClAlPc) jako molekulární organické donory a C₆₀ jako akceptor. Anoda buňky byla potažena oxidem india a oxidem cínu (ITO), ClAlPc, C₆₀, bathokuproinem a MoO₃. Katoda obsahovala Ag vrstvu deponovanou termickou evaporací. Testy prokázaly dobrou absorpci v NIR spektru ale téměř nulovou absorpci ve viditelném spektru. Chen et al. [23] následně zkoumali další možnost propojit průhledný solární článek s průhlednou vodivou sloučeninou, schopnou získat energii ze světla částí UV i NIR. Vznikla tak směs z objemového heteropřechodu (BHJ) z polymeru poly(2,6'-4,8-bis(5-ethylhexylthienyl)benzo[1,2-b;3,4-b]dithiophene-alt-5-dibutyloctyl-3,6-bis(5-bromothiophen-2-yl)pyrrolo[3,4-c]pyrrole-1,4-dione) (PBDTT-DPP) zastupující elektronový donor a methylesteru kyseliny fenyloxy-C61-másečné (PCBM) zastupující elektronový akceptor. Tento fotosensitivní substrát prokazoval maximální AVT o 73 % při 550 nm s hodnotou 68 % obsahující celé viditelné spektrum, a také úspěšné hodnoty v NIR části (650–850 nm) [21].

Článek představuje také panely či okna generující energii od společnosti Glass to Power, vyrobené z plexiskla s nanočásticemi používanými pro světelný management z anorganických materiálů jako je silikon. Tyto panely jsou ve skupině 1A (certifikace UNI 10,380). V současné době mají PCE o 3,2 % a stupeň průhlednosti o 80 %. Je zde snaha o dosažení PCE o 5 %. Fotony jsou zde vedeny totálním odrazem k hranám okna, kde jsou transformovány na elektřinu tradičními solárními jednotkami, které jsou umístěny kolem perimetru. Technologie používá nanočástice jako chromofory, odpovědné za absorpci elektromagnetického záření [21].

David et al. [24] představují metodu aplikace strojového učení pro schopnost identifikovat materiál, který vykazuje nejlepší stabilitu a výkonnost. Při zahrnutí této možnosti ve vývoji budoucích materiálů by se podstatně zkrátila doba experimentování a optimalizace. Experiment byl proveden s databází o 1850 položek charakterizující materiály. Data o výkonnosti a stabilitě byly využity pro regresní model sekvenční minimální optimalizace (SMOreg), pro vyhodnocení nejvíce ovlivňujících faktorů pro stabilitu solárního článku a PCE. Efektivitu SMO algoritmu lze kvantifikovat pomocí korelačního koeficientu. Data byla rozříděna do tří různých testovacích podmínek: plný dataset, data související s fotostabilitou a data související s tolerancí kyslíku, vlhkosti a horka.

Kolektiv Nieto-Díaz et al. [25] zdůrazňuje důležitost zlepšení životnosti organických fotovoltaických článků. Hlavním úkolem bylo smísit donor a akceptor s polymerem polymethylmethakrylát (PMMA), k vytvoření ternární směsi s prodlouženou životností. Bylo zjištěno, že tyto ternární směsi mohou mít až dvojnásobnou životnost. Odkazuje se na nedávnou studii Al-Busaidi et al. [26], kde donor poly(3-hexylthiophene) (P3HT) a akceptor PC₆₁BM byly kombinovány s inertním PMMA v běžném rozpouštědle, natož bylo experimentálně prokázáno, že ternární organické fotovoltaické články měly delší životnost, než kontrolní P3HT:PC₆₁BM. Také bylo prokázáno lehké zvýšení PCE pomocí PMMA. Bylo dále zjištěno, že širší PMMA-bohaté oblasti jsou nejefektivnější při prodlužování životnosti organických fotovoltaických článků. Důvodem jejich degradace jsou změny v FF a J_{SC}, také mělké pasti, které mohou vznikat ze stop po vodě, což limituje transport a zvyšuje napětíovou závislost na proudu. Je uvažováno o tom, že voda může být zachycena v širších PMMA-bohatých oblastech, které právě tímto prodlužují životnost.

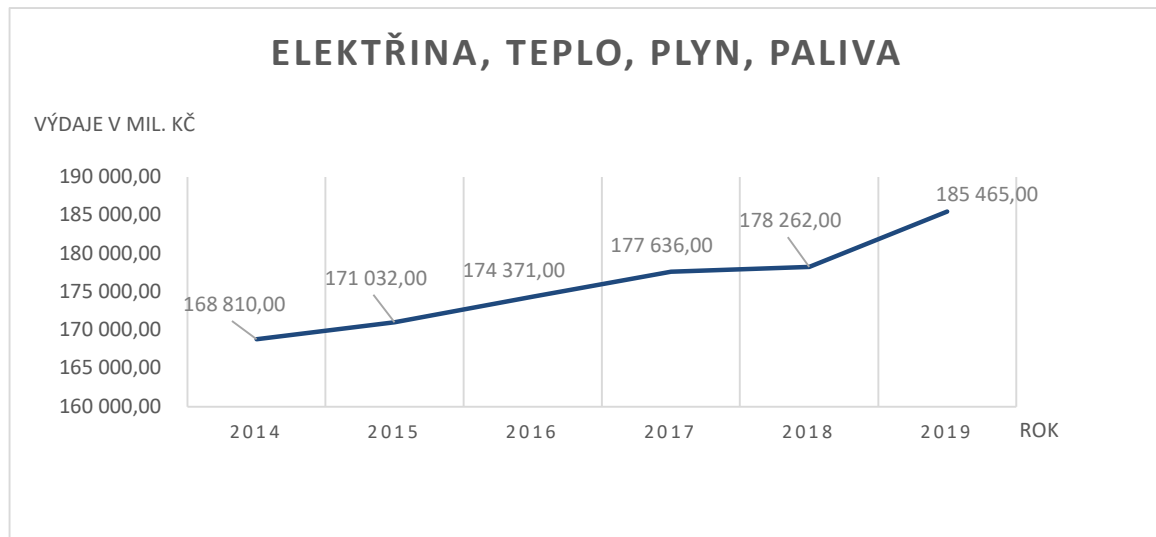
4 Ekonomicko-technická analýza

Tato kapitola se bude zabývat ekonomicko-technickou analýzou fotovoltaických systémů. Vzhledem k tomu, že v této práci uvedené organické fotovoltaické systémy jsou zatím komerčně nedostupné, budou porovnávány dostupné fotovoltaické články z monokrystalického křemíku. Kapitola je rozdělena do dvou částí. Nejprve jsou analyzovány předpoklady pro využití fotovoltaických článků, následně je prezentován rozbor používání v porovnání s komerčnějšími metodami. Na základě rozboru je následně představen odhad potenciálu organické fotovoltaiky. Uvedené ceny a údaje nezahrnují pandemický rok 2020, který výrazně vybočuje od běžných statistických ukazatelů.

Předpoklady pro využití elektrické energie z fotovoltaických elektráren

V České republice žije k 31. prosinci 2019 10,693 mil. obyvatel, z nichž je každý jednotlivec závislý na dodávce elektřiny. Jako cílovou skupinu pro oslovování přechodu na „zelenou elektřinu“ lze počítat obyvatelé v produktivním věku, tedy od 15 do 64 let, kteří tvoří v současné době 64 % z celého obyvatelstva [27]. Průměrný koeficient růstu obyvatelstva je 0,29 %, tato hodnota je celkem zanedbatelná a lze říct, že počet obyvatel se za posledních 6 let výrazně nezměnil. Nicméně oproti tomu se výdaje domácností na konečnou spotřebu elektrické energie neustále zvyšují – jedná se zde o průměrný nárůst o 1,9 % viditelný na tabulce 2:

Tabulka 2 Výdaje na konečnou spotřebu domácností podle účelu v ČR

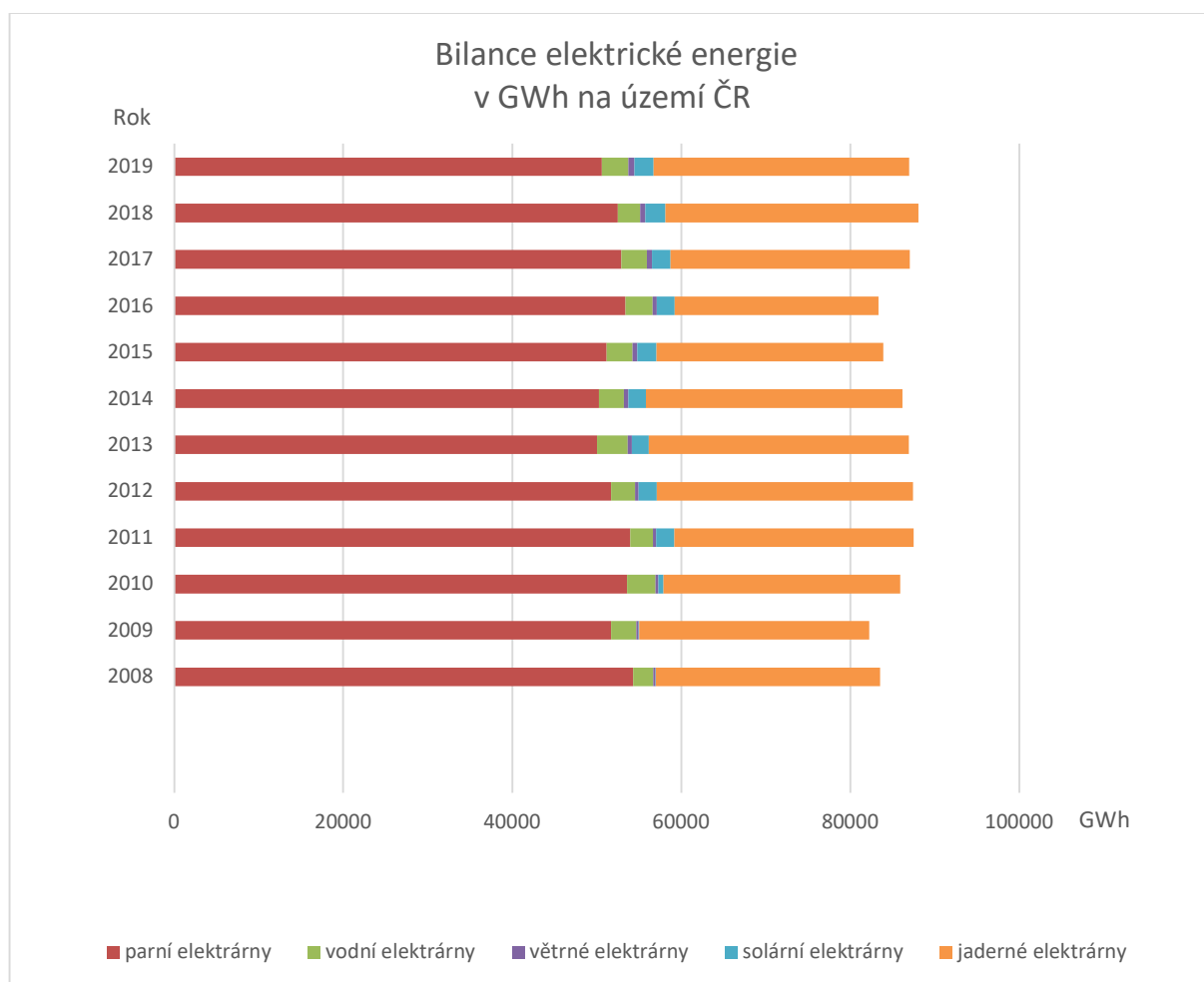


Zdroj: [28]

V porovnání s výdaji leží příjmy domácností spíše ve střednější oblasti, převládající většina se nachází v pásmu příjmu 10 001 Kč – 15 000 Kč na člena domácnosti (39 %), dalších 49,3 % leží v příjmech na člena domácnosti nad těchto výdělčích, nicméně pouze 1,3 % vydělává více než 50 001 Kč. Z tohoto údaje lze vyvodit, že jsou vítána řešení úspornější, s co nejmenší vstupní investicí [29].

Výrazný pokles zaznamenala energie pocházející z tuhých paliv, která v roce 1990 zastávala 50 % z celkových zdrojů energie, nyní je pouze 13 %. Rozšiřuje se oblíbenost dálkově dodávaného tepla, zemního plynu či právě obnovitelných zdrojů (včetně fotovoltaiky). Průměrná spotřeba elektrické energie činí 3 279 kWh/byt na rok [30]. V tabulce 3 jsou uvedeny současné zdroje výroby elektřiny:

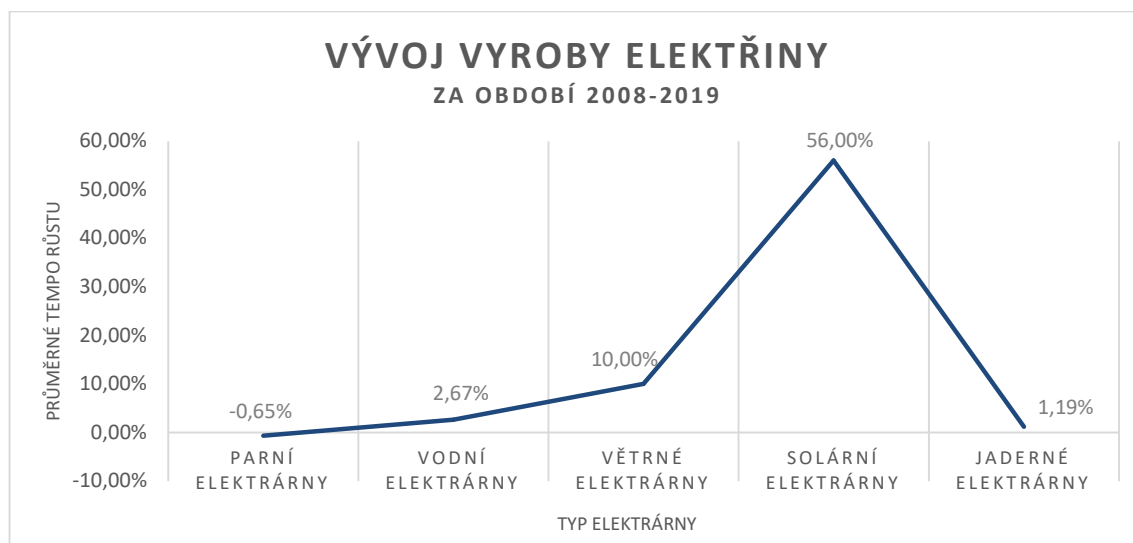
Tabulka 3 Bilance elektrické energie v ČR



Zdroj: [31]

K výše uvedenému grafu bylo vypočteno průměrné tempo růstu pro odhad dynamického vývoje zobrazeného v tabulce 4. Využity byly údaje z roků 2008-2019 pro území ČR:

Tabulka 4 Průměrné tempo růstu výroby elektřiny



Zdroj: [31]

Z tabulky 4 je zřetelný nárůst v rozvoji solárních elektráren, které v roce 2008 vyrobily celkem pouze 13 GWh, nicméně v roce 2019 tato hodnota narostla až na 2 286 GWh. V porovnání s hlavním zdrojem elektřiny, parními elektrárnami je to sice zatím nepatrný údaj – parní elektrárny v roce 2019 vyrobily 50 582 GWh. Nicméně ve výše uvedené tabulce 4 je vidět mírný pokles právě parních elektráren, jejichž rozvoj se spíše zastavuje. Solární elektrárny dále překonaly i další alternativní zdroj, větrné elektrárny, které přitom v roce 2008 měly lepší předpoklady, vyrobily o 232 GWh více energie než solární elektrárny. Z výše uvedených hodnot lze tedy konstatovat, že solární elektrárny zaujímají stále větší podíl na trhu výroby elektrické energie.

Jistý podíl na rozšířeném zájmu o fotovoltaické systémy pravděpodobně nese i program, nyní nazýván „Nová zelená úsporám“ od Ministerstva životního prostředí ČR. Tento program od roku 2009 (s přerušením) poskytuje nevratné dotace pro podporu úspory energie v domácnostech. Vlastníci i stavebníci (FO i PO) mohou žádat o dotace na fotovoltaické systémy pro bytové i rodinné domy [32].

Rozpis příspěvků na dotace fotovoltaických systémů je následný [33]:

- Fotovoltaický systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem (35 000 Kč)

- Fotovoltaický systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700$ kWh.rok-1 (55 000 Kč)
- Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700$ kWh.rok-1 (70 000 Kč)
- Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000$ kWh.rok-1 (100 000 Kč)
- Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 4\,000$ kWh.rok-1 (150 000 Kč)
- Fotovoltaický systém efektivně spolupracující se systémem vytápění a přípravy teplé vody s tepelným čerpadlem (150 000 Kč)
- Fotovoltaický systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000$ kWh.rok-1 (80 000 Kč)

Porovnání ceny fotovoltaiky – modelový příklad

Existuje několik firem, které nabízejí fotovoltaické elektrárny pro rodinné domy. Pro následující model byla vybrána česká firma SolidSun, nabízející několik provedení, dle počtu osob v domě a s volbou ohřevu vody či baterií pro ukládání vytvořené energie. Pro modelový příklad byla vybrána nejdražší varianta, hybridní fotovoltaická elektrárna s nabíjením baterií o výkonu 3,450 kWp pro rodinný dům (dále RD) zobrazena v následující tabulce 5:

Tabulka 5 Nabídka hybridní fotovoltaické elektrárny od firmy SolidSun

Obsah nabídky:	Cena:
<ul style="list-style-type: none"> • 10x fotovoltaický panel Sunergy o výkonu 345 Wp • Jednofázový hybridní měnič o výkonu 3,6 kWp • 2x LiFePo4 baterie o výkonu 4,8 kWh • Hliníková, nerezová konstrukce • Instalační práce 	<p>235 000 Kč (Celková cena)</p> <p>- 105 000 Kč (Dotace)</p> <p>130 000 Kč (Konečná cena)</p>

Zdroj: [34]

Technické údaje o fotovoltaických panelech Sunergy – model CHN 72M(BK) 330-355 W, zvolen model 345 Wp, byly následně porovnány s organickými fotovoltaickými panely uvedenými v této práci – viz tabulka 6:

Tabulka 6 Porovnání fotovoltaických článků

Struktura/Vlastnosti	PBDTTT- EFT- EHIDTBR ¹⁾	PBDTTT- EFT:PC₇₁BM ¹⁾	PTB7: PC₆₁BM ¹⁾	PTB7: PC₇₁BM ¹⁾	Model CHN 72M(BK) 330- 355W ^{2) 3)}
V_{oc} (V)	1,03	0,78	0,74	0,77	46,9
J_{sc} (mA/cm ²)	18,5	15,9	16,3	19,8	28
FF (%)	63	66	66,1	65,3	74,6
PCE (%)	12	8,5	7,88	8,76	17,87

1) [35]

2) Přesné materiálové složení neznámé [37]

3) Chybějící data byla dopočítána pomocí [35]

Zdroj: [36]

Lze konstatovat, že kromě V_{oc} , mají organické fotovoltaiky slibné vlastnosti, které se přibližují hodnotám již komerčně prodávaných neorganických fotovoltaik. Je nutné podotknout, že organické fotovoltaické panely jsou v porovnání s konvenčními velice tenké a v případě komerčního používání by zde mohla být prominuta konstrukce z ocelových rámců, která je pro monokrystalické panely nutná. Obrázek 3 poskytuje představu o rozdílnosti obou fotovoltaik. Pro další porovnání byla dále použita komerční fotovoltaika.

Obrázek 3 Organický fotovoltaický panel vs. křemíkový fotovoltaický panel



Zdroj: [38, 39]

Fotovoltaika v porovnání s plynovým kondenzačním kotlem na RD

Tento odstavec porovnává fotovoltaické systémy s jinak velmi běžnou variantou zdroje tepla, plynového kondenzačního kotle. Druhá varianta byla vybrána vzhledem k její oblíbenosti u RD a také na základě možnosti poskytnutí dotací. Je nutné podotknout, že fotovoltaická elektrárna neslouží pouze jako zdroj tepla. Získanou elektrickou energii lze využít i např. pro domácí spotřebiče. V následující tabulce 7 je zobrazeno porovnání vlastností obou zvolených zdrojů:

Tabulka 7 Porovnání zdrojů na výrobu elektřiny

Ukazatelé	Varianta	
	Fotovoltaický systém SolidSun ¹⁾	Plynový kondenzační kotel THERM 24 KDZN ¹⁾
Cena pořízení: (Celková cena – Dotace)	130 000 Kč (235 000 Kč – 105 000 Kč)	13 599 Kč (38 599 Kč – 25 000 Kč)
Maximální výkon	3,450 kWp	4,9 – 20,7 kW (vytápění)
Spotřeba plynu (zemní plyn)	Nelze aplikovat	0,65 – 2,12 m ³ /h
Průměrná měsíční spotřeba	401,25 kWh/RD	127,41 m ³ /RD
Roční spotřeba	4 815 kWh/RD ¹⁾	1529 m ³ /RD ¹⁾
Měsíční náklady	0 až 916 Kč ¹⁾	1 833 Kč
Roční náklady	0 až 11 000 Kč ²⁾	22 000 Kč ¹⁾
Náklady navíc	-	Revize plynového kotle 1x ročně, ca. 1000 Kč
Životnost	25 let	Neuvádí se

1) Zdroj [34, 40, 41]

2) Průměrné roční náklady na elektřinu 18 000 Kč [40], úspory ve variabilním rozsahu dle počtu slunečních hodin [34]

Porovnání investic a celkových nákladů

Výpočet zobrazený níže na tabulce 8 zahrnuje předpoklady, že vyrobená elektřina z fotovoltaické elektrárny je pouze pro vlastní potřebu bez prodeje přebytků, je počítán provoz 20 let, u fotovoltaické elektrárny jsou dále zahrnuty průměrné měsíční náklady za elektřinu

458 Kč, jejichž hodnota byla stanovena na základě údajů z tabulky 7 výše. Předpokládá se, že tepelné čerpadlo je již součástí rodinného domu.

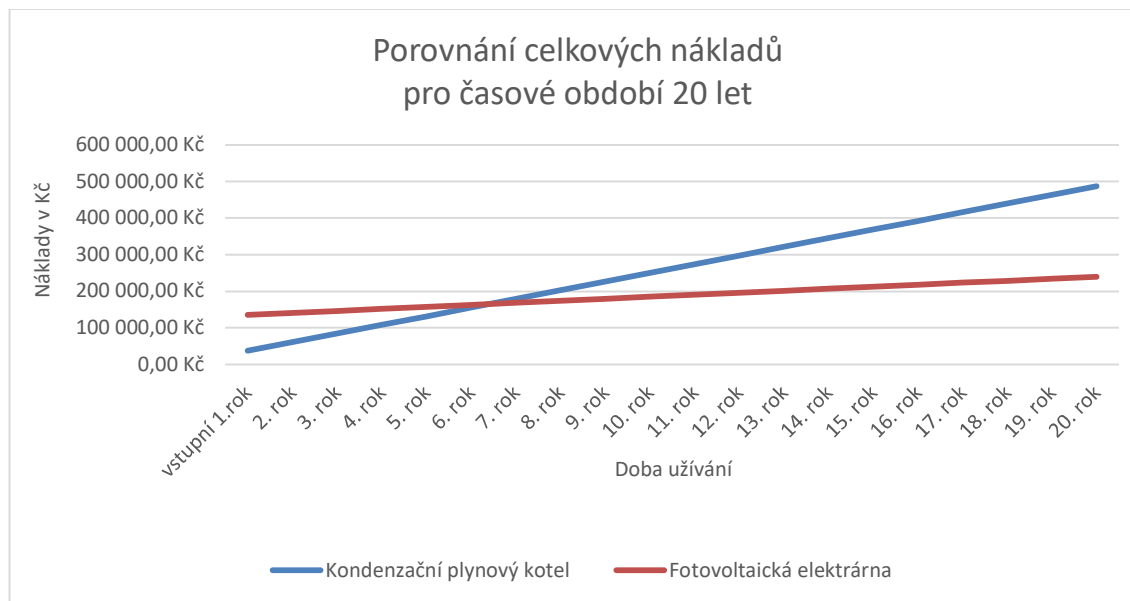
Tabulka 8 Výpočet nákladů

	Kondenzační plynový kotel	Fotovoltaická elektrárna
Vstupní investice	13 599 Kč	130 000 Kč
Náklady za zálohy celkem ¹⁾	439 920 Kč	109 920 Kč
Náklady na údržbu ¹⁾	20 000 Kč	-
Celkem	473 519 Kč	239 920 Kč
Průměrné měsíční náklady	1 973 Kč	458 Kč
Vyrovnaní celkových nákladů	7 let	7 let
	174 599 Kč	168 472 Kč

1) provoz za časové období 20 let

S využitím rozdílů v celkových nákladech lze dále konstatovat, že s fotovoltaickou elektrárnou se splatí po 10–15 letech, dle výše uvedeného nákupu dodatečné dodávky elektřiny v zimních měsících, všechny celkové náklady, na rozdíl od plynového kotle, kde celkové náklady jsou téměř dvojnásobné. Výrazný rozdíl v celkových nákladech lze zaznamenat právě od 7 roku, kde se celkové náklady nejprve scházejí – viz tabulka 9:

Tabulka 9 Porovnání celkových nákladů



Výsledky z vypočtených údajů napovídají, že se fotovoltaické systémy na RD vyplatí. Je zde nutné mít ale na paměti, že výroba elektřiny se výrazně odlišuje v zimních a letních měsících a je nutné odebírat elektřinu z dalšího zdroje, který v zimě zajistí vytápění. Tento dodatečný zdroj je ve výpočtu celkových nákladů zahrnut.

Předpoklady pro vstup na trh organických fotovoltaických článků

Pro posouzení možného odbytu a uplatnění organických fotovoltaických článků je vhodné se seznámit s aktuálními pilotními projekty a společnostmi, které usilují o komercializaci svých inovativních výrobků. Organické fotovoltaické články jsou v současné době testovány pod různými podmínkami na celém světě. Výraznými evropskými zástupci s již patentovanými výrobky jsou společnosti ARMOR solar power films SAS a Heliatek. Společnosti vidí potenciál ve využití organických fotovoltaických fólií na místech, kde nelze umístit běžné fotovoltaické panely. Jedná se především o budovy s oblými či atypickými střechami, s omezenou nosností nebo fasády budov v hustě obydlených oblastech.

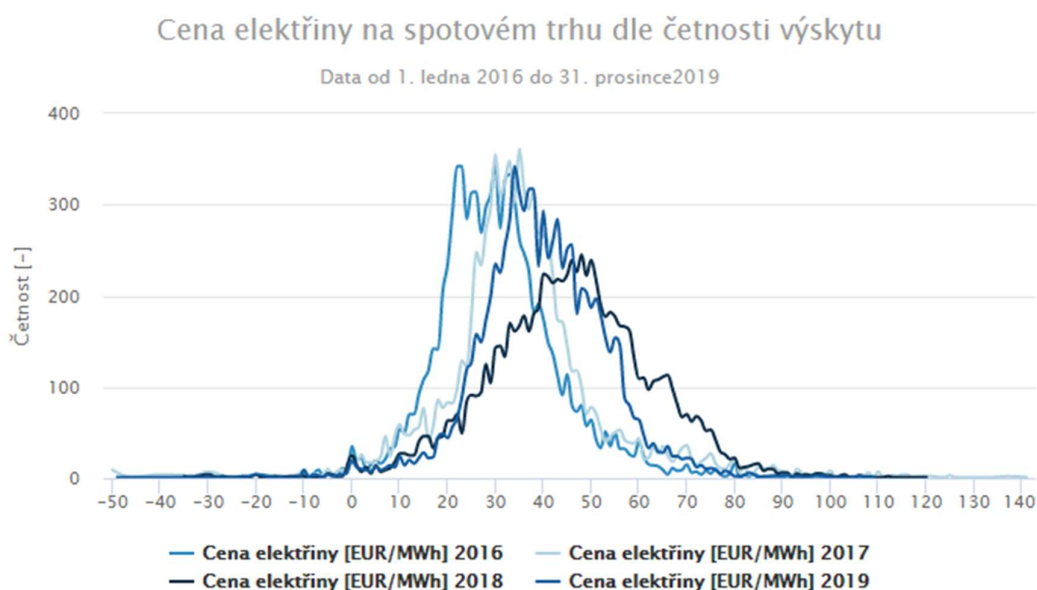
Společnost ARMOR disponuje patentovanou fotovoltaickou fólií ASCA[®] z organických polymerních polovodičů, jejichž přesné materiálové složení není dostupné. Fólie je vyrobena nanotiskem. Hotový výrobek obsahuje až sedm aktivních vrstev, které se tisknou na průhledný vodivý fóliový podklad. Podle datového listu výrobku disponuje výsledná fólie tloušťkou 0,4 mm, váží 450–800 g/m² a má výkon o 40 Wp/m² [42]. V současné době je tato fólie využívána na stínící technice kongresového centra v Nantes, Francii. 41 m² této fólie vygeneruje energii pro nabití až 9 chytrých telefonů. Dalším zajímavým projektem ve spolupráci se zemědělci v blízkosti města Nantes je umístění ASCA[®] fólie do skleníků pro pěstování zeleniny. Cílem je generovanou energii využít pro snížení nákladů mimo jiné za osvětlení a zavlažování. ARMOR dále vytváří i městský nábytek, který poskytuje noční osvětlení či slouží jako nabíjecí stanice pro mobilní telefony [43].

Další výraznou společností je Heliatek se sídlem v Německu. Disponují v současné době patentovaným výrobkem HeliaSol[®], koncipovaným jako nalepovací fotovoltaická fólie. Výrobce neudává přesné materiálové složení. Je uvedena třída účinnosti 50 W a 55 W. Rozměry výrobku jsou objemnější než u konkurence, tloušťka fólie je 1,8 mm a její váha může být až 2 kg/m². Společnost Heliatek své výrobky testuje po celém světě. Za zmínku stojí projekt fólií HeliaSol[®] na větrných mlýnech ve španělském městě Breña. Fólie o celkové ploše 221 m² zde vykazuje výkon o 9,6 kWp [44,45].

5 Zhodnocení výsledků

Výsledky ekonomicko-technické analýzy hovoří celkem jasně pro pořízení fotovoltaických elektráren. Nasvědčuje tomu i průměrný koeficient růstu, který několikanásobně převyšuje koeficienty růstu ostatních zdrojů – alternativních či klasických. Existuje stále více firem, které se zaměřují na instalaci fotovoltaických elektráren a umožňují tak přístupnost pro každou domácnost. Nicméně k přesvědčení instalace fotovoltaické elektrárny nemusí nutně vést touha po ochraně životního prostředí, ceny za elektřinu neustále rostou či jsou nestabilní – viz tabulka 10:

Tabulka 10 Cena elektřiny na spotovém trhu



Zdroj: [46]

Vlastní fotovoltaická elektrárna tak může poskytnout nezávislost a případně pokrýt i spotřebu při výpadku dodávky elektřiny.

Nicméně je nutné podotknout, že Česká republika s maximálně 1200–1600 hodinami/rok spadá do zemí s téměř nejnižší délkou slunečního svitu a převládají výrazné rozdíly v ročních obdobích, které nemohou zajistit používání pouze fotovoltaické elektrárny po celý rok. Nejdůležitější se zdá být vytápění domácností v zimních obdobích, které fotovoltaickými elektrárnami nelze zcela pokrýt. Nadějně by se zde zdálo řešení organických fotovoltaických

článků pro slabé osvětlení či samotná flexibilita organických fotovoltaických článků, umožňující tyto umístit v podstatě kamkoliv.

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo představit literární rešerši na v současné době aktuální téma ochrany přírody pomocí nanokompozitů se zaměřením na organické fotovoltaické články. Tato problematika může být opomíjena vzhledem k současnému rozkvětu nanotechnologií ve všech oborech především v biomedicínských a výpočetních technologiích.

Po úvodní charakterizaci základních pojmů nanotechnologie je představena hlavní část práce, která se věnuje nanokompozitům aplikovaným v organických fotovoltaických člancích. Jsou představeny základní osvědčené donorní a akceptorní materiály poly(3-hexylthiofen) a metylester kyseliny fenyl-C₆₁-máselné. Popisují se podmínky pro komerční úspěšnost kompozitů, jejímž základním ukazatelem je účinnost konverze energie a je uveden aktuální stav v porovnání s již komerčně dostupnou fotovoltaikou. Práce prezentuje nadějně inovativní organické donorní a akceptorní materiály, seznamuje s jejich vlastnostmi a aktuálními certifikovanými hodnotami účinnosti konverze energie. Představitelé donorních materiálů jsou zde polymery na bázi benzodithiofenů a dithieno benzodithiofenů, polymery podporující π - π interakce a malé molekulové donory. Jako akceptorní materiály jsou prezentovány polymery na bázi naftalen-diimidů, polymery na bázi perylendiimidů a malé molekulové akceptory. Následně je poskytnut přehled aktuálních poznatků na akademickém poli se snahou nahlédnout do různých oblastí vývoje práce s organickými fotovoltaickými buňkami. Seznamuje s novými kombinacemi donorních a akceptorních materiálů, nové aplikace ve formě folií či usnadnění selekce materiálů pomocí strojového učení.

V závěrečné části byla představena vlastní ekonomicko-technická analýza vyhodnocující použití dostupných fotovoltaik a jejich přínos pro domácnosti s odpovídající kalkulací, kterou lze přímo aplikovat pro vlastní použití. Dále bylo zjištěno, že většina současných organických fotovoltaických článků prozatím nevyhovuje především napětím naprázdno (V_{oc}). Nastíněny byly rovněž možnosti pro budoucí rozvoj fotovoltaiky v podobě pilotních projektů firem, které se aktivně podílejí na komercializaci organických fotovoltaických fólií na střeších a fasádách budov či v podobě městského nábytku. Poukazuje se tím na obrovský potenciál a širokou škálu využití, které by na trhu mohly pojmout organické fotovoltaické články.

Oporou celé práce jsou vědecké publikace či odborná literatura a data z Českého statistického úřadu. Po zhodnocení uvedených poznatků lze tvrdit, že nanokompozity poskytují neomezené možnosti, nicméně přizpůsobení těchto do reálného světa může přinášet jistá úskalí v podobě

snížených výhodných vlastností či jejich ztráty díky vytváření objemnějších celků než ve výzkumné laboratoři.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] BHUSAN, Bharat. *Springer Handbook of Nanotechnology*. 4rd ed. Germany: Springer-Verlag, 2017. ISBN 978-3-662-54355-9.
- [2] POOLE, Charles P. a Frank J. OWENS. *Introduction to nanotechnology*. Hoboken: Wiley-Interscience, 2003. ISBN 04-710-7935-9.
- [3] PETERSON, C.L. Nanotechnology: from Feynman to the grand challenge of molecular manufacturing. *IEEE Technology and Society Magazine*. 2004, **23**(4), 9-15. ISSN 0278-0097. Dostupné z: doi:10.1109/MTAS.2004.1371633
- [4] AJAYAN, Pulickel M., L. S. SCHADLER a P. V. BRAUN. *Nanocomposite science and technology*. Weinheim: Wiley, c2003. ISBN 35-273-0359-6.
- [5] ÖCHSNER, Andreas, Waqar AHMED a Nasar ALI, ed. *Nanocomposite Coatings and Nanocomposite Materials*. Switzerland: Trans Tech Publications, 2009. ISBN 0-87849-346-8. ISSN 1422-3597.
- [6] Využití nanočástic v dekontaminačních technologiích: současný stav, Tereza Nováková, Marek Šváb, Martina Švábová, Chem. Listy 103, 524-532 (2009)
- [7] NOWACK, Bernd a Thomas D. BUCHELI. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. *Environmental Pollution*. 2007, **150**(1), 5-22. ISSN 02697491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2007.06.006
- [8] BISWAS, Abhijit, Ilker S. BAYER, Alexandru S. BIRIS, Tao WANG, Enkeleda DERVISHI a Franz FAUPEL. Advances in top-down and bottom-up surface nanofabrication. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2012, **170**(1-2), 2-27. ISSN 00018686. Dostupné z: doi:10.1016/j.cis.2011.11.001
- [9] "Top-down" and "bottom-up" synthesis of nanofabrication. In: <https://www.researchgate.net/> [online]. Singapore: Journal of Physics Conference

Series, 2015 [cit. 2020-10-13]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Top-down-and-bottom-up-synthesis-of-nanofabrication_fig1_277574475

- [10] FANG, F.Z., X.D. ZHANG, W. GAO, Y.B. GUO, G. BYRNE a H.N. HANSEN. Nanomanufacturing—Perspective and applications. *CIRP Annals*. 2017, **66**(2), 683-705. ISSN 00078506. Dostupné z: doi:10.1016/j.cirp.2017.05.004
- [11] Základy nanotechnologií. <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/zana1.pdf> [online]. Olomouc: Katedra experimentální fyziky Univerzity Palackého v Olomouci [cit. 2020-10-14]. Dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/zana1.pdf>
- [12] TĚŠÍK, Jan. *PŘÍPRAVA MIKRO- A NANOSTRUKTUR POMOCÍ ROZDÍLNÝCH LEPTACÍCH METOD*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Mgr. Tomáš Šamořil.
- [13] WAN, Caichao, Yue JIAO, Song WEI, Luyu ZHANG, Yiqiang WU a Jian LI. Functional nanocomposites from sustainable regenerated cellulose aerogels: A review. *Chemical Engineering Journal*. 2019, 359, 459-475. ISSN 13858947. Dostupné z: doi:10.1016/j.cej.2018.11.115
- [14] BENEDIKT, Jaroslav. *Sluneční záření jako zdroj energie: INOVACE ODBORNÉHO VZDĚLÁVÁNÍ NA STŘEDNÍCH ŠKOLÁCH ZAMĚŘENÉ NA VYUŽÍVÁNÍ ENERGETICKÝCH ZDROJŮ PRO 21. STOLETÍ A NA JEJICH DOPAD NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ CZ.1.07/1.1.00/08.0010* [online]. esf evropský sociální fond v ČR [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/18_Zaklady-ekologie_48-49/48_IUT/113_Slunecni-energie---Benedikt---P0.pdf
- [15] Zatěžovací charakteristika solárního článku: Fotovoltaický článek. *Remote-LAB GymKT: Vzdálená internetová laboratoř* [online]. Klatovy: Gymnázium J. Vrchlického Klatovy [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <http://remote-lab.fyzika.net/experiment/10/experiment-10-teorie.php?lng=cs>

- [16] HEDLEY, Gordon J., Arvydas RUSECKAS a Ifor D. W. SAMUEL. Light Harvesting for Organic Photovoltaics. *Chemical Reviews*. 2016, **117**(2), 796-837. ISSN 0009-2665. Dostupné z: doi:10.1021/acs.chemrev.6b00215
- [17] VOGELBAUM, Hilary S. a Geneviève SAUVÉ. Recently developed high-efficiency organic photoactive materials for printable photovoltaic cells: a mini review. *Synthetic Metals*. 2017, **223**, 107-121. ISSN 03796779. Dostupné z: doi:10.1016/j.synthmet.2016.12.011
- [18] TOUŠEK, Jiří a Jana TOUŠKOVÁ. Organická fotovoltaika: Jsou organické polovodiče budoucností energetiky? In: *Vesmír* [online]. VESMÍR, 6. 9. 2012 [cit. 2020-11-21]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2012/cislo-9/organicka-fotovoltaika.html>
- [19] HEDLEY, Gordon J., Arvydas RUSECKAS a Ifor D. W. SAMUEL. Light Harvesting for Organic Photovoltaics. *Chemical Reviews*. 2016, **117**(2), 796-837. ISSN 0009-2665. Dostupné z: doi:10.1021/acs.chemrev.6b00215
- [20] LIU, Jiao, Yong CUI, Yunfei ZU, Cunbin AN, Bowei XU, Huifeng YAO, Shaoqing ZHANG a Jianhui HOU. Organic photovoltaic cells for low light applications offering new scope and orientation. *Organic Electronics*. 2020, **85**. ISSN 15661199. Dostupné z: doi:10.1016/j.orgel.2020.105798
- [21] PULLI, Emilio, Elena ROZZI a Federico BELLA. Transparent photovoltaic technologies: Current trends towards upscaling. *Energy Conversion and Management*. 2020, **219**. ISSN 01968904. Dostupné z: doi:10.1016/j.enconman.2020.112982
- [22] LUNT, Richard R. a Vladimir BULOVIC. Transparent, near-infrared organic photovoltaic solar cells for window and energy-scavenging applications. *Applied Physics Letters*. 2011, 98(11). ISSN 0003-6951. Dostupné z: doi:10.1063/1.3567516

- [23] CHEN, Chun-Chao, Letian DOU, Rui ZHU, et al. Visibly Transparent Polymer Solar Cells Produced by Solution Processing. *ACS Nano*. 2012, 6(8), 7185-7190. ISSN 1936-0851. Dostupné z: doi:10.1021/nn3029327
- [24] DAVID, Tudur Wyn, Helder ANIZELLI, T. Jesper JACOBSSON, Cameron GRAY, William TEAHAN a Jeff KETTLE. Enhancing the stability of organic photovoltaics through machine learning. *Nano Energy*. 2020, **78**. ISSN 22112855. Dostupné z: doi:10.1016/j.nanoen.2020.105342
- [25] NIETO-DÍAZ, Balder A., Christopher PEARSON, Zakiya AL-BUSAIDI, Leon BOWEN, Michael C. PETTY a Christopher GROVES. Enhanced lifetime of organic photovoltaic diodes achieved by blending with PMMA: Impact of morphology and Donor. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2021, **219**. ISSN 09270248. Dostupné z: doi:10.1016/j.solmat.2020.110765
- [26] AL-BUSAIDI, Zakiya, Christopher PEARSON, Christopher GROVES a Michael C. PETTY. Enhanced lifetime of organic photovoltaic diodes utilizing a ternary blend including an insulating polymer. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2017, 160, 101-106. ISSN 09270248. Dostupné z: doi:10.1016/j.solmat.2016.10.018
- [27] Počet a věkové složení obyvatel k 31. 12. - územní srovnání. Český Statistický Úřad [online]. [cit. 2020-12-11]. Dostupné z: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt-parametry&z=T&f=TABULKA&katalog=30845&pvo=DEM01&sp=A&skupId=606&evo=v866_%21_VUZEMI97-100_1&c=v3%7E2__RP2014MP12DP31&str=v33
- [28] H000501a Výdaje na konečnou spotřebu domácností podle účelu - národní pojetí (běžné ceny). In: Český Statistický Úřad [online]. [cit. 2020-12-11]. Dostupné z: <http://apl.czso.cz/pll/rocenka/rocenka.presmcasceny>
- [29] Domácnosti celkem v letech 2014 - 2019. In: Český Statistický Úřad [online]. [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/125571069/1600212015.pdf/f1e7f514-650d-4dec-93f9-620de7c3df99?version=1.0>

- [30] Přes polovinu energie protopíme. In: *Český Statistický Úřad* [online]. [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pres-polovinu-energie-protopime>
- [31] Bilance elektrické energie. In: *Český Statistický Úřad* [online]. [cit. 2020-12-11]. Dostupné z: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ENE04&z=T&f=TABULKA&katalog=30835&c=v3~8__RP2019#w=
- [32] Nová zelená úsporám - O programu. *Nová zelená úsporám: Dotace pro vaše lepší bydlení* [online]. Státní fond životního prostředí ČR [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/o-programu/>
- [33] Rodinné domy – zdroje energie. In: *Nová zelená úsporám* [online]. [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zdroje-energie/>
- [34] Solární elektrárna: S nabíjením baterií o výkonu 3,450 kWp. In: *SolidSun* [online]. Frýdek-Místek [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://www.solidsun.cz/fotovoltaicke-elektrarny/elektrarna-s-nabijenim-baterii-358.php>
- [35] Fill Factor. In: *A collection of resources for the photovoltaic educator* [online]. [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/fill-factor>
- [36] AJAYAN, J., D. NIRMAL, P. MOHANKUMAR, M. SARAVANAN, M. JAGADESH a L. ARIVAZHAGAN. A review of photovoltaic performance of organic/inorganic solar cells for future renewable and sustainable energy technologies. *Superlattices and Microstructures*. 2020, **143**. ISSN 07496036. Dostupné z: doi:10.1016/j.spmi.2020.106549
- [37] Solar Trade Platform and Directory of Solar Companies. In: *ENF* [online]. 2005-2020 [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/39478?utm_source=ENF&utm_medium=panel_more_series&utm_campaign=enquiry_product_directory&utm_content=103403

- [38] Typy solárních panelů: Znáte křemíkový, tenkovrstvý nebo organický? In: *E.on solar* [online]. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://www.eon-solar.cz/blog/2-typy-solarnich-panelu-znate-kremikovy-tenkovrstvy-nebo-organicky>
- [39] Organické solární panely trhají rekordy - a konečně jsou odolné proti poškození. In: *Obnovitelně.cz* [online]. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/clanek/818/organicke-solarni-panely-trhaji-rekordya-konecne-jsou-odolne-proti-poskozeni/>
- [40] SPOTEBA PALIV A ENERGIÍ V DOMÁCNOSTECH. In: *Český Statistický Úřad* [online]. [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: https://www.czso.cz/documents/10180/50619982/ENERGO_2015.pdf/86331734-a917-438a-b3c2-43a5414083fc?version=1.4
- [41] THERM 24 KDZN. In: *Thermona* [online]. [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <https://www.thermona.cz/plynové-kotle/plynové-kondenzační-kotle/s-pripojením-na-externí-zasobník/kotel-therm-24-kdzn>
- [42] Die Folie ASCA. ASCA: OPV Films by ARMOR [online]. Nantes: ARMOR solar power films SAS [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://de.asca.com/technische-eigenschaften-der-pv-folie-asca/>
- [43] Projekte. ASCA: OPV Films by ARMOR [online]. Nantes: ARMOR solar power films SAS [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://de.asca.com/projekte/>
- [44] HeliaSol - Die innovative Solarfolie. Heliatek: The future is light [online]. Heliatek [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.heliatek.com/de/produkte/heliasol/>
- [45] Unsere Referenzen: 30+ Pilotprojekte weltweit. Heliatek [online]. Heliatek [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.heliatek.com/de/referenzen/>
- [46] *Cena elektřiny na českém denním trhu se loni stabilizovala, záporné ceny se objevily v 58 hodinách* [online]. In: . [cit. 2020-12-18]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/trh->

s-elektřinou/průmerná cena elektřiny českým denním trhem klesla meziročně 15-
záporné ceny se objevily 58 hodin