



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

TECHNOLOGICKÉ KONCEPTY PRO ČIŠTĚNÍ OCEÁNŮ

THE OCEAN CLEANING TECHNOLOGY CONCEPTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kateřina Jedličková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Gregor, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Studentka:	Bc. Kateřina Jedličková
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Procesní inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Gregor, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Technologické koncepty pro čištění oceánů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

S rozvojem konzumní společnosti dochází k velkému nárůstu odpadů. Zejména rozvojové státy v Asii produkují velké množství odpadů a celkový řetězec není ekonomicky ani environmentálně vyřešen. Zejména se jedná o chybějící zařízení, která by měla odpad zpracovávat (třídít, recyklovat), resp. koncová zařízení (energetické využití). Z tohoto důvodu velká část odpadů končí na skládkách nebo je přímo sypána do řek, z kterých se odpad, zejména plasty, dostává do moří a oceánů.

Již je známých několik konceptů, které problematiku plastů aktivně řeší a snaží se minimalizovat jejich výskyt. Z pohledu diplomové práce bude připravena rešerše, která popíše právě tyto známé koncepty a dokáže je vzájemně porovnat. Dále pak bude navržen alternativní systém, který se zaměří na efektivní řešení, které bude v souladu s environmentálními hledisky.

Cíle diplomové práce:

Rešerše odborných publikací a relevantních zdrojů zabývajících nakládání s plastovým odpadem v řekách, mořích a oceánech.

Porovnání jednotlivých systémů pro zpracování odpadu se zaměřením na plasty.

Informace o produkci plastů.

Ekonomický a technologický návrh systému pro sběr a nakládání s plastem.

Seznam doporučené literatury:

RAJMOHAN K., RAMYA C., SUNITA V., Plastic pollutants: Waste management for pollution control and abatement, Current Opinion in Environmental Science & Health, 2019, (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468584419300121>)

GROSS M., Oceans of plastic waste, Current Biology, Volume 25, Issue 3, 2015, p. 93-96,
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982215000706>

The Ocean Cleanup, Nizozemsko, 2019, <https://theoceancleanup.com/>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavní náplní předkládané diplomové práce je znečištění světových oceánů plastovým odpadem. V úvodní části práce se nachází obecné informace o produkci plastů a plastového odpadu, dále následují údaje o znečištění oceánů plastovým odpadem včetně odhadovaného množství, zdrojů znečištění a složení. Část práce je tvořena představením známých a již realizovaných konceptů, které problematiku plastů v oceánech aktivně řeší, a jejich vzájemným porovnáním. Následuje část zabývající se nakládáním s plastovým odpadem, možnostmi jeho zpracování a využití. Poslední oblastí je návrh alternativního systému, který je zaměřen na efektivní řešení v souladu s environmentálními hledisky. V rámci tohoto návrhu je provedena materiálová a ekonomická bilance.

KLÍČOVÁ SLOVA

Plasty v oceánech, plastový odpad, nakládání s plastovým odpadem, čištění oceánů

ABSTRACT

The main aim of this master's thesis is the world ocean pollution by plastic waste. The introductory part of the thesis contains general information about the production of plastics and plastic waste, followed by data on ocean pollution by plastic waste including the estimated amount, pollution sources, and composition. Part of the thesis consists of the introduction of known concepts that are already actively looking for a solution to marine waste and of their mutual comparison. The following part deals with the plastic waste management, the possibilities of its treatment and utilization. The last area is the draft of an alternative system that is focused on an effective solution in accordance with environmental aspects. Within this draft, a material and economic balance is made.

KEY WORDS

Plastic in the ocean, plastic waste, plastic waste management, ocean cleaning

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JEDLIČKOVÁ, Kateřina. Technologické koncepty pro čištění oceánů. Brno, 2020. Dostupné také z: www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125754. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Jiří Gregor.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Gregora, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. června 2020

.....

Bc. Kateřina Jedličková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jiřímu Gregorovi, Ph.D. za vedení, trpělivost a cenné rady a připomínky při tvorbě této diplomové práce. Dále děkuji své rodině a přátelům za láskyplné zázemí a plnou podporu po celou dobu studia.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	1
SEZNAM TABULEK.....	3
SEZNAM OBRÁZKŮ	5
1 ÚVOD.....	7
2 MOTIVACE	12
3 PLASTY V OCEÁNECH	16
3.1 PROBLEMATIKA MIKROPLASTŮ.....	22
3.2 ODPADKOVÉ SKVRNY V OCEÁNECH.....	24
4 ZNÁMÉ KONCEPČNÍ SYSTÉMY PRO ČIŠTĚNÍ OCEÁNŮ	28
4.1 SYSTEM001/002.....	30
4.2 THE INTERCEPTOR.....	36
4.3 MR. TRASH WHEEL	38
4.4 WASTESHARK	40
4.5 SEABIN V5	41
4.6 THE GREAT BUBBLE BARRIER	44
4.7 OCEAN SAVIOUR	46
4.8 MANTA.....	48
4.9 PLASTIC ODYSSEY	51
4.10 SARGABARRIER, SAGRABOAT A SARGATRILER.....	52
4.11 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ A KONCEPTŮ	54
5 TECHNOLOGICKÝ NÁVRH SYSTÉMU	58
5.1 SBĚR ODPADU Z OCEÁNU.....	59
5.2 ÚPRAVA ODPADU.....	60
5.3 MOŽNOSTI VYUŽITÍ A ODSTRANĚNÍ ODPADU.....	71
5.4 ODSOLOVÁNÍ MOŘSKÉ VODY	84
6 KONCEPČNÍ NÁVRH VLASTNÍHO ZAŘÍZENÍ.....	88
6.1 SBĚR ODPADU – SCÉNÁŘ 1	89
6.2 SBĚR ODPADU – SCÉNÁŘ 2	90
6.3 TECHNOLOGIE A PROCESY MODELOVÉ LODI.....	91

7	EKONOMICKÝ NÁVRH SYSTÉMU.....	97
7.1	SBĚR DLE SCÉNÁŘE 1.....	97
7.2	SBĚR DLE SCÉNÁŘE 2.....	99
7.3	MATERIÁLOVÁ BILANCE PROCESŮ NA PALUBĚ – SCÉNÁŘ 1.....	101
7.4	MATERIÁLOVÁ BILANCE PROCESŮ NA PALUBĚ – SCÉNÁŘ 2.....	107
7.5	EKONOMICKÁ BILANCE CELKOVÉHO KONCEPTU – SCÉNÁŘ 1	108
7.6	EKONOMICKÁ BILANCE CELKOVÉHO KONCEPTU – SCÉNÁŘ 2	116
8	ANALÝZA VÝSLEDKŮ A DOPORUČENÍ NAVRŽENÉ KONCEPCE	119
9	ZÁVĚR.....	127
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	129

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

DDT	dichlordifenyltrichlorethan
EIA	Environmental Impact Assessment
EPS	expandovaný polystyren
EVO	energetické využití odpadu
HDPE	vysokohustotní polyethylen
HRSG	heat recovery steam generator
KO	komunální odpad
LDPE	nízkohustotní polyethylen
MBÚ	mechanicko-biologická úprava
NIR	near infrared (záření blízké infračervenému)
PA	polyamid
PE	polyethylen
PET	polyethylentereftalát
PP	polypropylen
PS	polystyren
PUR	polyuretan
PVC	polyvinylchlorid
RDF	refuse derived fuel
SAE	Spojené Arabské Emiráty
SKO	směsný komunální odpad
SRF	solid recovery fuel

TGBB	The Great Bubble Barrier
UV	ultrafialové
VTOS	Velká tichomořská odpadková skvrna
WWF	World Wildlife Fund

SEZNAM TABULEK

TAB. 1 HUSTOTA JEDNOTLIVÝCH MATERIÁLŮ A JEJICH NEJBĚŽNĚJŠÍ VYUŽITÍ [32]	19
TAB. 2 SWOT ANALÝZA PROJEKTU SYSTEM001/002	35
TAB. 3 SWOT ANALÝZA PROJEKTU THE INTERCEPTOR	37
TAB. 4 SWOT ANALÝZA PROJEKTU MR. TRASH WHEEL	39
TAB. 5 SWOT ANALÝZA PROJEKTU WASTESHARK	41
TAB. 6 SWOT ANALÝZA PROJEKTU SEABIN V5	43
TAB. 7 SWOT ANALÝZA PROJEKTU TGBB	46
TAB. 8 SWOT ANALÝZA PROJEKTU OCEAN SAVIOUR	47
TAB. 9 SWOT ANALÝZA PROJEKTU MANTA	50
TAB. 10 SWOT ANALÝZA PROJEKTU PLASTIC ODYSSEY	52
TAB. 11 SWOT ANALÝZA PROJEKTU SARGABARRIER + PŘISLUŠENSTVÍ.....	54
TAB. 12 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ A KONCEPTŮ URČENÝCH PRO ČIŠTĚNÍ OCEÁNŮ	55
TAB. 13 DĚLENÍ DRCENÍ A MLETÍ V ZÁVISLOSTI NA STUPNI DRCENÍ (MLETÍ) [113].....	61
TAB. 14 HODNOTY VÝHŘEVNOSTI JEDNOTLIVÝCH TYPŮ POLYMERŮ [127].....	73
TAB. 15 PYROLÝZNÍ PRODUKTY, JEJICH SLOŽENÍ A VÝTĚŽEK [112].....	76
TAB. 16 PRODUKTY SPALOVÁNÍ, JEJICH SLOŽENÍ A VÝTĚŽEK [112].....	78
TAB. 17 PŘEHLED NĚKTERÝCH SPOLEČNOSTÍ VĚNUJÍCÍ SE ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ PYROLÝZOU NEBO ZPLYŇOVÁNÍM	80
TAB. 18 PŘEHLED ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ JEDNOTLIVÝCH UVEDENÝCH LODÍ	96
TAB. 19 PRŮMĚRNÉ SLOŽENÍ ODPADU O VELIKOSTI NAD 5 MM PLUJÍCÍHO NA HLADINĚ MOŘÍ A OCEÁNŮ [148].....	98
TAB. 20 ZÁKLADNÍ SLOŽENÍ PLASTOVÉ SLOŽKY ODPADU V OCEÁNECH [149].....	98
TAB. 21 PŘEHLED PRACOVNÍKŮ NA JEDNOTLIVÝCH PRACOVIŠTÍCH (SCÉNÁŘ 1).....	107
TAB. 22 PŘEHLED PRACOVNÍKŮ NA JEDNOTLIVÝCH PRACOVIŠTÍCH (SCÉNÁŘ 2).....	108
TAB. 23 PRŮMĚRNÉ CENY JEDNOTLIVÝCH KOMODIT NA SVĚTOVÝCH TRZÍCH (AKTUÁLNÍ KE KVĚTNU 2020)	109
TAB. 24 STRUČNÝ PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK ROČNÍCH PŘÍJMŮ (SCÉNÁŘ 1).....	111
TAB. 25 PŘEHLED VÝKONŮ JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ NA PALUBĚ TECHNOLOGICKÉ LODI ...	112
TAB. 26 STRUČNÝ PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK ROČNÍCH PROVOZNÍCH NÁKLADŮ (SCÉNÁŘ 1).....	115
TAB. 27 POŘIZOVACÍ NÁKLADY JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ NA TECHNOLOGICKÉ LODI	115
TAB. 28 PŘEHLED A CENA JEDNOTLIVÝCH POLOŽEK INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ (SCÉNÁŘ 1) ..	116
TAB. 29 STRUČNÝ PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK ROČNÍCH PŘÍJMŮ (SCÉNÁŘ 2).....	117
TAB. 30 STRUČNÝ PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK ROČNÍCH PROVOZNÍCH NÁKLADŮ (SCÉNÁŘ 2).....	118
TAB. 31 PŘEHLED A CENA JEDNOTLIVÝCH POLOŽEK INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ (SCÉNÁŘ 2) ..	118
TAB. 32 PŘEHLED VÝSLEDKŮ EKONOMICKÉ BILANCE	124

TAB. 33 PRŮMĚRNÉ NÁKLADY VZTAŽENÉ NA JEDNU TUNU ZPRACOVANÉHO ODPADU A CELKOVÉ ROČNÍ MNOŽSTVÍ ZPRACOVANÉHO ODPADU NA PALUBĚ TECHNOLOGICKÉ LODĚ	125
TAB. 34 SWOT ANALÝZA VLASTNÍHO NAVRŽENÉHO KONCEPTU	126

SEZNAM OBRÁZKŮ

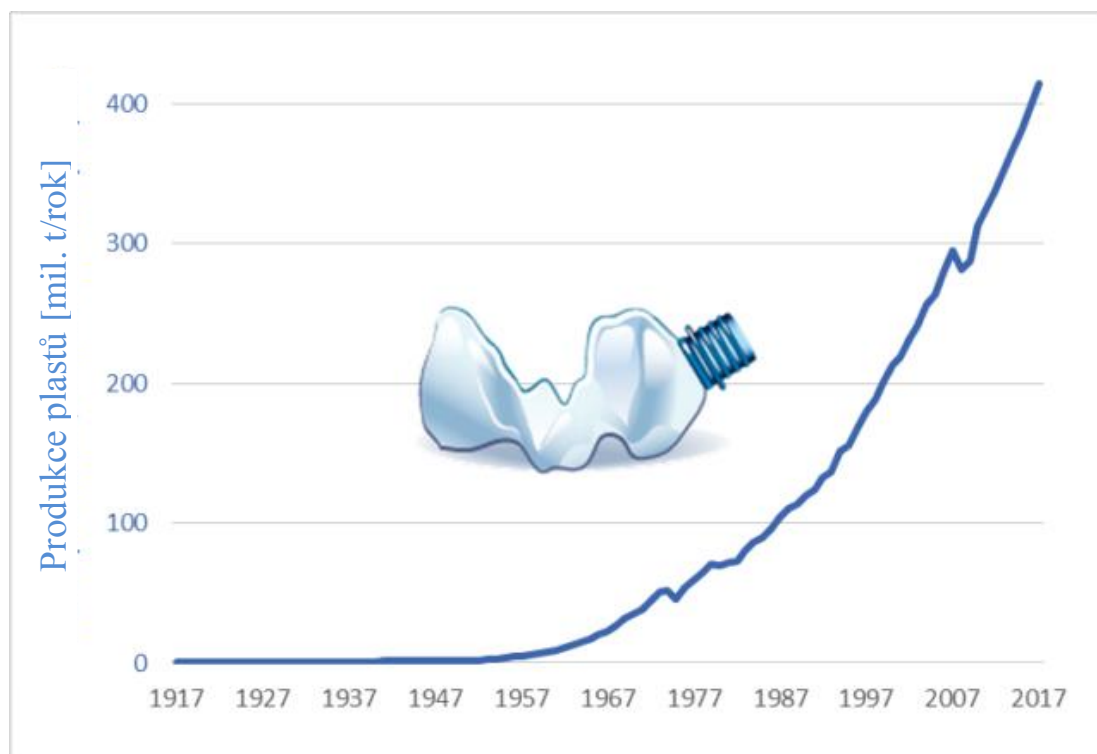
OBR. 1 VÝVOJ CELOSVĚTOVÉ PRODUKCE PLASTŮ (GRAFICKÁ ÚPRAVA Z [5], ZDROJ DAT Z [2])	7
OBR. 2 POROVNÁNÍ PODÍLŮ VYUŽITÍ PLASTOVÉHO ODPADU V EVROPĚ A VE SVĚTĚ (ZDROJ DAT [3] A [4], ZPRACOVÁNÍ VLASTNÍ)	8
OBR. 3 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ POLYMERŮ (ZDROJ DAT [7], ZPRACOVÁNÍ VLASTNÍ)	9
OBR. 4 POROVNÁNÍ SLOŽENÍ PRODUKOVANÝCH PLASTŮ A PLASTOVÉHO ODPADU (ZDROJ DAT [2], ZPRACOVÁNÍ VLASTNÍ)	10
OBR. 5 MAPA S VYZNAČENÝMI POLOHAMI ÚSTÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH ŘEK VČETNĚ JEJICH JEDNOTLIVÝCH PŘÍSPĚVKŮ NA ZNEČIŠTĚNÍ V TUNÁCH ZA ROK [29]	16
OBR. 6 ROZLOŽENÍ VSTUPŮ PLASTOVÉHO ODPADU DO ŘEK DLE KONTINENTU V PRŮBĚHU ROKU [29]	18
OBR. 7 SLOŽENÍ ODPADŮ V OCEÁNECH VZTAŽENÉ K POČTU KUSŮ DLE VÝZKUMU ORGANIZACE COMMON WADDEN SEA SECRETARIAT V LETECH 2009–2014 (ZDROJ DAT [36], ZPRACOVÁNÍ VLASTNÍ)	21
OBR. 8 ZNÁZORNĚNÍ POLOHY VŠECH SEDMI SVĚTOVÝCH ODPADKOVÝCH SKVRN [30]	25
OBR. 9 POLOHA A ROZLOŽENÍ VELKÉ TICHOMOŘSKÉ ODPADKOVÉ SKVRNY [45]	26
OBR. 10 DÁLE PŘEDSTAVENÉ PROJEKTY USPOŘÁDÁNY DLE LOKALITY SBĚRU ODPADU (ZDROJE OBRÁZKŮ [51], [52], [53], [54], [55], [56], [57], [58], [59], ZPRACOVÁNÍ VLASTNÍ)	29
OBR. 11: ZVÝŠENÍ RYCHLOSTI ZAŘÍZENÍ SYSTEM001/B PŘIDÁNÍM NAFUKOVACÍCH BÓJEK [66]	32
OBR. 12: SNÍŽENÍ RYCHLOSTI ZAŘÍZENÍ SYSTEM001/B PŘIDÁNÍM PADÁKU [66]	32
OBR. 13: SCHÉMA ZACHYCOVÁNÍ ODPADU ZAŘÍZENÍM SYSTEM001/B [60]	33
OBR. 14 UKÁZKA ZAŘÍZENÍ THE INTERCEPTOR [51]	37
OBR. 15 UKÁZKA ZAŘÍZENÍ MR. TRASH WHEEL [79]	39
OBR. 16 DRON WASTESHARK PŘI SBĚRU ODPADŮ [53]	40
OBR. 17 UKÁZKA ZAŘÍZENÍ SEABIN V5 NA SOUŠI [86]	42
OBR. 18 ZAŘÍZENÍ SEABIN V5 PŘI ZACHYTÁVÁNÍ ODPADU [87]	42
OBR. 19 PRINCIP FUNKCE TGBB [92]	45
OBR. 20 PŘEDPOKLÁDANÝ VZHLED KONCEPTU OCEAN SAVIOUR [100]	47
OBR. 21 UKÁZKA PLÁNOVANÉHO VZHLEDU PLAVIDLA MANTA [103]	49
OBR. 22 PŘEDPOKLÁDANÝ VZHLED LODI PLASTIC ODYSSEY [110]	52
OBR. 23 UKÁZKA CELÉHO SYSTÉMU SARGABARRIER, SARGABOAT A SARGATRILER [59]	53
OBR. 24 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH KONCEPTŮ DLE DENNÍ KAPACITY ODPADU V KG	56
OBR. 25 HIERARCHIE NAKLÁDÁNÍ S ODPADY [111]	58
OBR. 26 SCHÉMA VYUŽITÍ HIERARCHIE NAKLÁDÁNÍ S ODPADY PŘI VLASTNÍM NÁVRHU	59
OBR. 27 DRTÍCI VÁLCE ČTYŘHRÍDELOVÉHO DRTIČE [114]	63
OBR. 28 PŘEHLED ZAŘÍZENÍ A MOŽNÝCH METOD AUTOMATICKÉHO TŘÍDĚNÍ ODPADU	64
OBR. 29 MAGNETICKÝ BUBEN VÝROBCE SOLLAU [117]	65
OBR. 30 UKÁZKA HVĚZDICOVÉHO TŘÍDÍČÍHO SÍTA (KONKRÉTNĚ SÍTO NA ŠTĚPKU) [118]	66
OBR. 31 OBECNÝ MODEL FRIKČNÍ PRAČKY [120]	69

OBR. 32 UKÁZKA CELKOVÉHO USPOŘÁDÁNÍ ZAŘÍZENÍ EVO VČETNĚ SYSTÉMU ČIŠTĚNÍ SPALIN (KONKRÉTNÍ ZAŘÍZENÍ SAKO BRNO) [128]	74
OBR. 33 OBECNÉ SCHÉMA PYROLÝZNÍHO PROCESU [132]	77
OBR. 34 ZNÁZORNĚNÍ PRINCIPU ODSOLOVÁNÍ PROSTŘEDNICTVÍM VÍCESTUPŇOVÉ DESTILACE [145]	86
OBR. 35 ZNÁZORNĚNÍ PRINCIPU METODY ODSOLOVÁNÍ POMOCÍ KOMPRESY PÁRY [145]	86
OBR. 36 UKÁZKA ZAŘÍZENÍ SARGABOAT A SARGATRILER [146]	89
OBR. 37 PŘÍKLAD MOŽNÉHO USPOŘÁDÁNÍ BARIÉR VČETNĚ POLOHY TECHNOLOGICKÉ LODI V PŘÍPADĚ ZACHYTÁVÁNÍ ODPADU U ÚSTÍ ŘEK	90
OBR. 38 SCHÉMA PLAVIDLA OCEAN SAVIOUR SE ZÁCHYTNÝMI BARIÉRAMI UPEVNĚNÝMI K TRUPU LODI [58]	90
OBR. 39 ZNÁZORNĚNÍ VYUŽITÍ SLOŽEK ODPADU POCHÁZEJÍCÍHO Z OCEÁNU ZPRACOVÁVANÉHO NA TECHNOLOGICKÉ LODI	92
OBR. 40 CELKOVÉ ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA TECHNOLOGIÍ VYUŽITÝCH NA LODI ZPRACOVÁVAJÍCÍCH ODPAD Z OCEÁNŮ A SLANOU VODU	93
OBR. 41 KONJENEROVÁ LOĎ O KAPACITĚ 250 TEU	95
OBR. 42 UKÁZKA EXCELOVÉHO LISTU S VÝPOČTY VZTAHUJÍCÍMI SE KE SBĚRU DLE SCÉNÁŘE 1	99
OBR. 43 UKÁZKA EXCELOVÉHO LISTU S VÝPOČTY VZTAHUJÍCÍMI SE KE SBĚRU DLE SCÉNÁŘE 2	101
OBR. 44 PODÍLY JEDNOTLIVÝCH ZPŮSOBŮ VYUŽITÍ ODPADU Z OCEÁNU	120
OBR. 45 PODÍLY JEDNOTLIVÝCH PRODUKTŮ ZPRACOVÁNÍ OCEÁNSKÉHO ODPADU NA ROČNÍCH PŘÍJMECH (SCÉNÁŘ 1)	121
OBR. 46 PODÍLY JEDNOTLIVÝCH PRODUKTŮ ZPRACOVÁNÍ OCEÁNSKÉHO ODPADU NA ROČNÍCH PŘÍJMECH (SCÉNÁŘ 2)	121
OBR. 47 PODÍL JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ NA SPOTŘEBĚ ELEKTRICKÉ ENERGIE	122
OBR. 48 PODÍL JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK PROVOZNÍCH NÁKLADŮ NA CELKOVÝCH ROČNÍCH PROVOZNÍCH NÁKLADECH (SCÉNÁŘ 1)	123
OBR. 49 PODÍL JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK PROVOZNÍCH NÁKLADŮ NA CELKOVÝCH ROČNÍCH PROVOZNÍCH NÁKLADECH (SCÉNÁŘ 2)	123
OBR. 50 PODÍL JEDNOTLIVÝCH POLOŽEK NA CELKOVÝCH INVESTIČNÍCH NÁKLADECH (SCÉNÁŘ 1)	124

1 ÚVOD

Plasty patří mezi jeden z nejdůležitějších materiálů moderní doby. Hrají v lidských životech důležitou roli zejména pro svoji nízkou hustotu, dobrou odolnost a nízké náklady z hlediska výroby v porovnání s ostatními materiály. Jejich vynikající bariérové vlastnosti, zejména odolnost vůči kyslíku a vlhkosti a biologická inertnost, z nich činí vynikající obalové materiály. Navíc jsou velice univerzální, používají se v domácnostech, kde se staly nepostradatelnými prvky každodenního života lidí, v lékařství, v průmyslu, pro komerční účely i pro mnoho dalších aplikací. Navzdory těmto výhodám disponují jednou velkou nevýhodou, a to je jejich dlouhá doba degradace. Většina typů plastu je totiž biologicky nerozložitelná, tudíž rozklad může trvat až 500 let [1]. Díky výhodným vlastnostem také strmě roste jejich celosvětová výroba, s čímž je úzce spojena i produkce plastového odpadu. Ta je urychlována taktéž rostoucí populací, rostoucí ekonomikou a rychlou urbanizací.

První syntetické plasty se objevily již na počátku dvacátého století, ke strmému nárůstu jejich množství dochází až od jeho poloviny, kdy se začaly plastové materiály hojně využívat i mimo potřeby armády a předčily tak mnoho dalších nepřirodních materiálů. Na základě dat z roku 2017 se uvádí, že za celou dobu existence a používání plastových výrobků jich bylo vyprodukováno 8,3 miliard tun, z toho se již 6,3 miliard tun stalo odpadem [2]. V současné době je stále ještě používáno 25 % všech vyrobených plastů [2]. Přitom v roce 1950 činila produkce pouze 1,5 milionu tuny, oproti tomu v roce 2015 vzrostla na 322 milionů tun [3], dle některých zdrojů dokonce na 407 milionů tun [2], pokud jsou uvažována i textilní a jiná vlákna. Znamená to tedy, že v současné době produkuje lidská populace ročně takové množství plastů, které je ekvivalentní dvěma třetinám její vlastní váhy [4]. Pokud by výroba primárních plastů pokračovala stejným tempem jako doposud, do konce roku 2050 by lidstvo vyrobilo 26 miliard tun nevláknitých plastových výrobků [2]. Názorný vývoj celosvětové produkce plastů v období 1917–2017 je možno vidět na obr. 1.

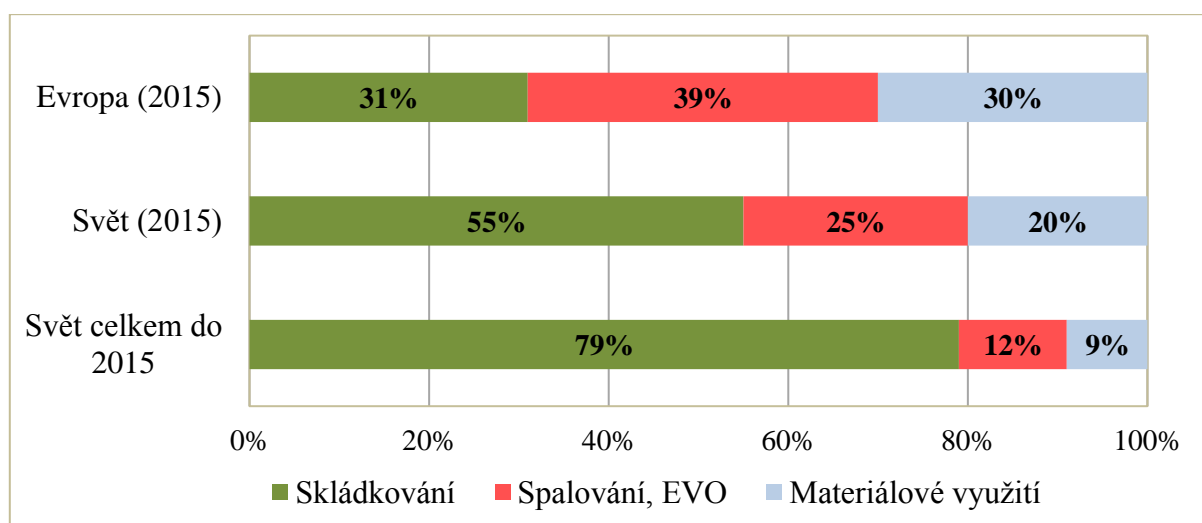


Obr. 1 Vývoj celosvětové produkce plastů (grafická úprava z [5], zdroj dat z [2])

S rostoucí produkcí plastů je úzce spojena i produkce plastového odpadu, jejíž nárůst vykazují velice podobný trend. V roce 2015 bylo vyprodukováno celkem 302 milionů tun plastového odpadu, což odpovídá cca 75 % světové výroby plastů téhož roku. Přitom nakládání s odpady, regulace používání jednorázových i jiných plastů a jejich využití se mezi různými zeměmi světa značně liší. Co se týče využití odpadu, existují tři základní možné scénáře. Prvním z nich je materiálové využití. Tento způsob zpracování spíše opoždí konečné odstranění. Částečně sice snižuje tvorbu dalšího plastového odpadu tím, že nahrazuje primární suroviny, jeho použití však není tak snadné, jak se na první pohled může zdát. Jednotlivé typy plastů jsou často neoddělitelné nebo kontaminované, jejich použití tak není ani technologicky ani ekonomicky výhodné. [2]

Druhým způsobem je tepelné zpracování odpadu. Ačkoliv již existují různé technologie, které dokážou z plastového odpadu extrahovat palivo (např. pyrolýza, zplyňování) doposud bylo prakticky veškeré tepelné zpracování provedeno formou spalování bez nebo s využitím získané energie. Dopady tohoto způsobu zpracování odpadu na životní prostředí a zdraví silně závisí na technologii čištění spalin a na celkovém návrhu provozu zařízení. Jedná se o jediný způsob ze všech tří uvedených, jak odpad odstranit trvale. Posledním možným způsobem zpracování odpadu je poté skládkování, které se stává stále méně žádoucím. [2]

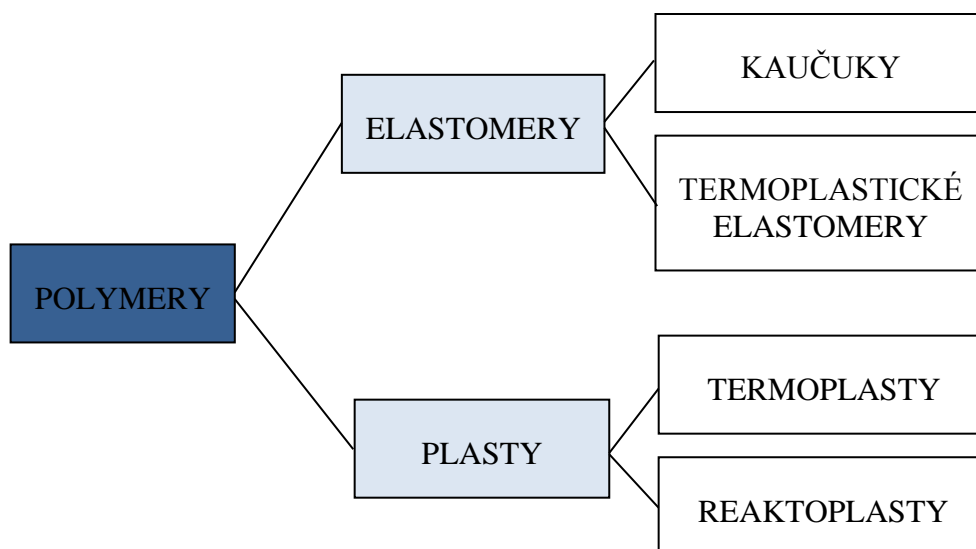
Z celkového množství celosvětově vyprodukovaného plastového odpadu od jeho vzniku ve dvacátém století až dodnes byla převážná většina (79 %) uložena na skládku či pohozena volně do přírody [2]. Pouze malá část odpadu (12 %) byla odstraněna spalováním či energetickým využitím (dále jen „EVO“) nebo dále materiálově využita (9 %) [2]. Dlouhou dobu bylo totiž skládkování jediným využívaným způsobem nakládání s plastovým odpadem. Od roku 1980 se začalo postupně objevovat i spalování, od roku 1990 poté i materiálové využití [4]. V současné době se od skládkování stále více upouští, podíly jednotlivých způsobů využití plastového odpadu se tak každý rok vyvíjejí. Dle dat z roku 2015 bylo celosvětově skládkováno 55 % plastového odpadu, 25 % bylo spalováno či energeticky využito a zbylých 20 % materiálově využito [4]. Co se týče pouze území Evropy, oproti celosvětové statistice se podíly mírně liší. V Evropě byla největší část odpadů spalována či energeticky využita (39 %), zbylá část byla téměř rovnoměrně rozdělena mezi skládkování (31 %) a materiálové využití (30 %) [3]. Porovnání podílů využití plastového odpadu v Evropě a ve světě v roce 2015 společně s podíly celkového využití všech vyprodukovaných plastových odpadů je znázorněno na obr. 2.



Obr. 2 Porovnání podílů využití plastového odpadu v Evropě a ve světě (zdroj dat [3] a [4], zpracování vlastní)

A právě nedostatečně zabezpečené či dokonce nelegální skládky, nedbalé nakládání s odpady, nefungující odpadové hospodářství, ale i stále rostoucí světová výroba a spotřeba plastů, používání jednorázových předmětů, a navíc dlouhá životnost plastového materiálu jsou důvody akumulace plastových odpadů v oceánech, jejíž problematikou se zabývá tato diplomová práce. Pro úplnost je následně uvedeno krátké představení plastů a jejich základní rozdělení, podrobněji se tomuto tématu, včetně vlastností jednotlivých typů plastů a nakládání s nimi věnuje bakalářská práce [6] téhož autora.

Název „plasty“ pochází z řeckého slova „plastikos“, což znamená „formovat, tvarovat“ [1]. Často bývá mylně považován za synonymum pojmu polymery. Ve skutečnosti je hierarchie zcela opačná. Polymery jsou chemické látky tvořené organickými makromolekulárními řetězci, díky kterým vykazují neobvykle širokou škálu vlastností [7]. Dělí se na dvě velké skupiny: elastomery, a právě zmiňované plasty [7]. Tyto dvě skupiny jsou rozlišovány dále dle obr. 3. Pro všechny skupiny polymerů platí, že jsou často míchány s dalšími vlastnosti vylepšujícími složkami, které se nazývají aditiva. Tyto přísady zahrnují umělá plniva pro vyztužení plastových vláken a pro zabránění rozpadu, retardéry hoření a různé druhy změkčovadel nebo barviv [1].



Obr. 3 Základní dělení polymerů (zdroj dat [7], zpracování vlastní)

Elastomery jsou vysoce elastické polymery, které lze snadno vratně deformovat bez vzniku porušení. Dominantní podskupinou jsou zejména kaučuky, ze kterých se vyrábí pryže. Naproti tomu u plastů způsobuje namáhání trvalé deformace, většinou se jedná o tvrdé a křehké materiály. Plasty se dále rozlišují dle chemické struktury a vlastností z ní vyplívajících na dvě velké podkategorie: termoplasty a reaktoplasty (někdy také nazývané jako termosety nebo pryskyřice). U reaktoplastů dochází při zahřátí k nevratnému síťovému zpevnění, materiál se tak stává dále netavitelný a netvarovatelný. Vyznačuje se však vysokou chemickou i tepelnou odolností, tvrdostí a tuhostí. K reaktoplastům se řadí například fenol-formaldehydová pryskyřice, epoxidová pryskyřice a polyuretan (dále jen „PUR“). [7]

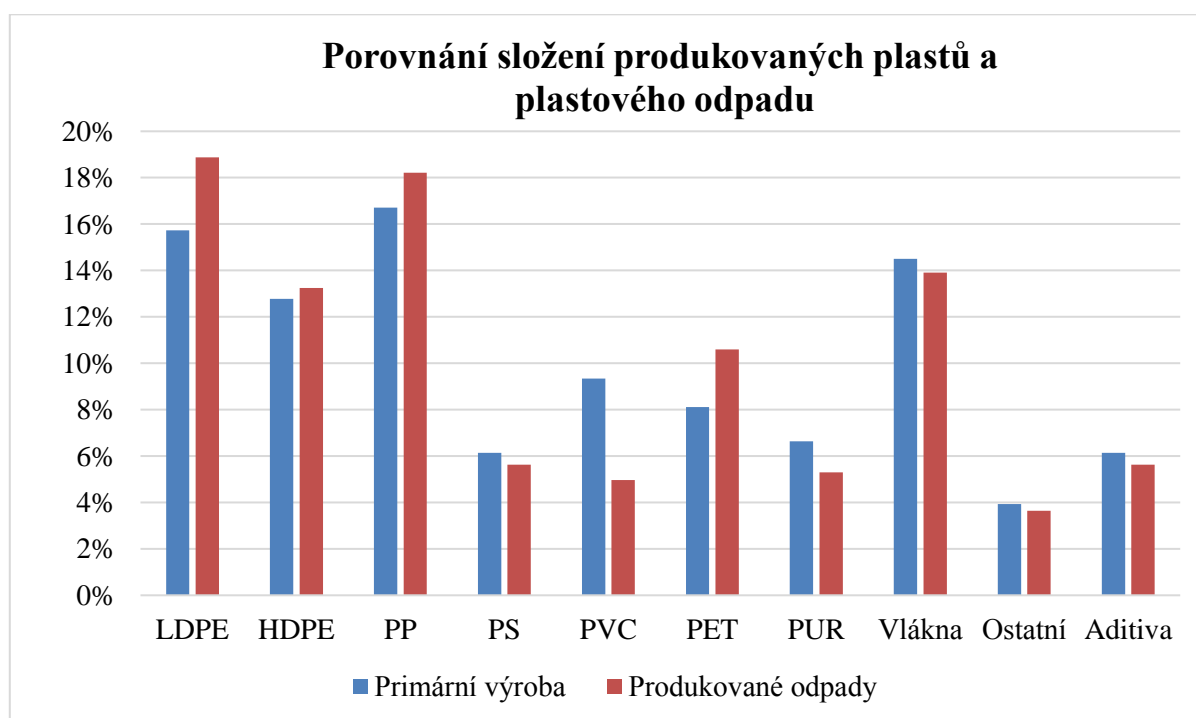
Termoplasty jsou naopak polymery se slabými vazbami v molekulách. Po zahřátí je lze snadno tvarovat, používají se jako materiály pro nádoby, podlahové krytiny, kreditní karty, kožerčovná vlákna atd. Při zahřívání se nemění jejich chemická struktura, proces ohřevu a následného tuhnutí lze teoreticky opakovat bez změny do nekonečna. Typickými představiteli termo-

plastů jsou nejběžnější obalové materiály – polyethylen (dále jen „PE“), včetně jeho vysokohustotní (dále jen „HDPE“) i nízkohustotní (dále jen „LDPE“) varianty, polyvinylchlorid (dále jen „PVC“), polypropylen (dále jen „PP“), polystyren (dále jen „PS“), expandovaný polystyren (dále jen „EPS“), polyethylentereftalát (dále jen „PET“) atd. [7]

Samostatnou skupinu polymerů tvoří biologicky rozložitelné plasty. Jsou to takové materiály, které je možno rozložit působením bakterií nebo řas na vodu, oxid uhličitý a biomasu (případně metan). Nejčastěji se jedná o materiály na bázi přírodních polymerů, tedy celulózy, škrobu a apod. Po rozkladu mohou sloužit jako komposty. [1]

Co se týče druhů plastů a jejich četnosti v primární produkci plastových výrobků, největší zastoupení má PE (29 %) a PP (17 %), následovaný polymerovými vlákny (14 %), dále pak PVC, PET, PUR a PS (každý <10 %). Těchto sedm uvedených skupin společně představuje 90 % všech vyrobených plastů. Přibližně 42 % nevláknitých plastů je použito pro výrobu obalů, převážně se jedná o PE, PP a PET. Druhým největším spotřebitelským sektorem je s 19 % využitých nevláknitých plastů stavebnictví, které spotřebovává 69 % veškerého produkovaného PVC. [2]

Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma největšími spotřebitelskými sektory je v odlišné době využití plastových výrobků – zatímco většina obalových plastů se stává odpadem ještě týž rok, kdy byly vyrobeny, stavební plasty jsou v systému zachovávány průměrně jedno desetiletí. To je důvodem, proč například v roce 2015 bylo 42 % nevláknitých plastů spotřebováno pro výrobu obalů a 19 % ve stavebnictví, avšak 54 % nevláknitých obalových plastů se stalo odpadem, zatímco ve stavebnictví činil tento poměr pouze 5 %. Podobně PVC představovalo 11 % výroby nevláknitých plastů, ale 6 % produkce plastových odpadů. Skladba plastových odpadů se oproti primární výrobě v případě většiny materiálů lehce liší, rozdíly jsou však v řádu jednotek procent. Porovnání složení produkovaných plastů a plastového odpadu včetně vláken je zřejmé z obr. 4. [2]



Obr. 4 Porovnání složení produkovaných plastů a plastového odpadu (zdroj dat [2], zpracování vlastní)

Na úvod je také třeba zmínit, že nejen data a odhady související s produkcí a složením plastů a plastového odpadu, ale také související se zdroji a množstvím plastového odpadu vstupujícího do oceánů či se v něm již vyskytujícího se dle různých autorů často značně rozcházejí. To je dáno zejména různými způsoby zjišťování těchto hodnot, některé výzkumy využívají počítačového modelování, některé upřednostňují vytváření vzorků a jejich následnou analýzu apod. Rozdíly mohou být způsobeny i odlišným pojetím problematiky, část studií může například uvažovat pouze odpad od určité velikosti. V některých oblastech dokonce nejsou aktuální data doposud známá. Problematika znečištění oceánů plastovým odpadem je totiž poměrně mladé a zejména aktuální téma, které se neustále rozvíjí. V této diplomové práci je tedy snahou uvádět data ověřená z různých výzkumů odlišných autorů a organizací, případně relevantní intervaly hodnot a odhady.

2 MOTIVACE

Oceány pokrývají více než 70 % povrchu Země a obsahují 97 % veškeré vody [8]. Pro život na planetě mají nezastupitelnou funkci. Poskytují útočiště živočichům i rostlinám, zajišťují lidstvu obživu, umožňují cestovat i přepravovat. Jsou rovněž nezbytným zdrojem kyslíku, pomáhají absorbovat emise oxidu uhličitého a zajišťují přirozenou regulaci klimatu. Na oceánech a jejich bohatství závisí obživa i živobytí cca tří miliard lidí [9]. I přes všechny tyto důležité úkoly jsou světové oceány každým rokem více a více znečišťovány.

Kromě znečišťování sužují světové oceány i další problémy. Důsledkem globálního oteplování dochází k odtávání ledovců a tím ke zvyšování hladiny oceánů, které se navíc stále více urychluje. Ve 20. století se hladina navýšila celkem o 15 cm, předpoklad této změny ve 21. století (pokud by stávající situace pokračovala) je 1 m [10]. Na vině je mimo jiné vysoká produkce skleníkových plynů, která má rovněž vliv na vzestup teploty moří, zvýšení kyselosti a úbytek kyslíku ve vodě [10]. Tyto změny poté mají dopad na ekosystémy v oceánech. Kromě globálního oteplování je zásadním problémem i neudržitelný rybolov, který vede k úbytku mořských ryb a dalších živočichů, jejichž populace se nestačí přirozeně obnovovat.

První zprávy o plastovém znečištění oceánů se objevily již na počátku sedmdesátých let minulého století, kdy nevzbuzovaly příliš velkou pozornost vědců ani veřejnosti [11]. V následujících desetiletích se s rostoucím počtem dat a údajů o důsledcích tohoto znečištění dostávala problematika stále více do podvědomí. V dnešní době se již tomuto problému věnuje nespočet organizací, vědeckých týmů, dobrovolníků a dalších subjektů, které mají zájem se podílet na eliminaci znečištění. Současný stav si tuto pozornost zasluhuje.

Organizace OSN označila nastalou situaci za „planetární krizi“. V oceánu neexistuje jediná oblast, která by nebyla odpadem zasažena. Při výzkumech byl nalezen plastový odpad i na dně nejhlubšího místa na Zemi v Mariánském příkopu, konkrétně se jednalo o jednorázovou igelitovou tašku. Rovněž v oblasti nejpouštěnějšího místa na Zemi, kterým je Point Nemo, vzdálený od nejbližší obydlené oblasti 2 700 km, byla vědci stanovena koncentrace odpadu 26 kusů na metr krychlový. Smutnou zajímavostí také je, že nejznečištěnějším místem na světě je neobydlený korálový ostrov uprostřed Tichého oceánu (který je zároveň přírodní rezervací zapsanou na seznamu světového dědictví UNESCO), Hendersonův ostrov, na kterém bylo objeveno 18 tun plastového odpadu. [12]

Hlavní problém plastů je kromě jejich velkého výskytu také fakt, že nepodléhají přirozenému rozkladu [13]. Jejich trvanlivost a odolnost, která je při jejich aktivním používání žádoucí, se stává nežádoucí a škodlivou pro přírodu. Plasty pouze degradují vlivem slunečního záření, působením mořské vody a dalších vlivů, tudíž se rozpadají na menší a menší kousky – tzv. mikroplasty [13]. Pojmem mikroplasty jsou označovány malé částice plastů o délce menší než 5 mm, které mohou být jednak účelně vyráběny již v této velikosti nebo mohou vzniknout rozpadem větších plastových předmětů (např. odpadu nebo námořních zařízení) [14]. Jedním z ne zcela očividných problémů mikroplastů je přítomnost poměrně velkého hydrofobního povrchu, který je schopen absorbovat organické chemikálie a další sloučeniny obsažené ve vodě [14]. V mořském prostředí je tento jev běžný, neboť tyto kontaminanty jsou většinou taktéž hydrofobní, a proto se k plastům snadno vážou [1]. Plasty totiž, jak by se mohlo zdát, nejsou inertním materiálem, naopak mohou obsahovat hned několik toxických chemikálií, které způsobují chronické respirační poruchy a jiné zdravotní problémy [1]. Jedná se například o polychlorované bifenyly, polycyklické aromatické uhlovodíky nebo dichlordifenyltrichlorethan (dále jen

„DDT“), kterým byly prokázány toxické a karcinogenní účinky [15]. Takto znečištěné mikroplasty se navíc dále často stávají součástí potravinového řetězce [14].

Problémy způsobené odpady v oceánech jsou aktuální v různých oblastech. Například pro mořské živočichy představuje odpad riziko hned v několika směrech. Mohou být zraněni nebo potenciálně i usmrceni následkem zamotání se do odpadu, zejména tedy do rybářských sítí, plastových tašek, fólií apod. Dále mohou být ohroženi při požití odpadu, který poté zabírá místo v jejich žaludcích, a tak se živočichové cítí plni a přestávají přijímat přirozenou potravu, tudíž umírají na následek podvýživy [16]. Rovněž mikroplasty se často smísí s fytoplanktonem, který je potravou drobných mořských živočichů. Tito drobní živočichové jsou dále potravou větších živočichů apod. A tak se mikroplasty z oceánů pohybují vzhůru v potravinovém řetězci až ke člověku [13]. Také ostré kousky odpadu mohou živočichům způsobit vnitřní zranění. Odpad může přispívat i k šíření invazivních druhů živočichů a rostlin, jako jsou různé druhy řas, svižonožci, krabi apod [16]. Ti následně mohou vyhubit druhy původní a tím způsobit nerovnováhu ekosystému [16].

Celkem je plastovým odpadem ohroženo téměř 700 různých živočišných druhů [17]. Plastové částice byly při výzkumu nalezeny u 60 % mořských ptáků, 100 % mořských želv, které je zaměňují za potravu a rovněž u 25 % ryb koupených na trzích s mořskými plody po celém světě [18]. Pro mořské želvy je plastový odpad velkou přítěží i z hlediska hnízdění. Znečištěné pláže totiž znesnadňují přístup k vhodnému hnízdišti [19]. Pro vylíhnutá želví mláďata je poté odpad velkou překážkou při cestě z hnízda do moře [19].

Odpad může být rovněž nebezpečím pro oceánská plavidla. Často je těžké jej pod hladinou spatřit, proto může dojít ke srážkám, jejichž výsledkem je nákladné poškození lodí. Nebezpečím jsou zejména rybářské sítě, které mohou být namotány do lodního šroubu a které mohou ucpávat různé přírůdky [16]. Podobný problém může odpad způsobovat také v městských kanalizačních systémech, kde blokováním kanalizačních cest mohou být zvyšovány rizika záplav [20].

Plastový odpad má rovněž negativní ekonomický vliv na cestovní ruch a rybolov. Ztráty způsobené těmito faktory se vyčísľují na 259 až 695 milionů eur ročně (6,8 až 18,2 miliard Kč) [21]. Dle výzkumu společnosti „Deloitte“ prováděného společně s organizací „The Ocean Cleanup“ zapříčinil plastový odpad v oceánech a řekách 87 pobřežním státům náklady ve výši 6 až 19 miliard dolarů (140 až 443 miliard Kč). Tyto náklady souvisí zejména se ztrátami v oblasti rybolovu, cestovního ruchu a rovněž výdajů na čištění řek, přístavů a pobřeží. Sama společnost označuje získané hodnoty za konzervativní, neboť některé faktory, jako například dopad na oceňování nemovitostí v pobřežních oblastech nebo vliv na lidské zdraví a ekosystémy, nebyl do výzkumu kvůli nedostatku dostupných dat zahrnut. [22]

Oceány však neohrožují pouze odpady, ale také znečištění způsobené dusíkem, který se do oceánů dostane prostřednictvím nedostatečně čištěných odpadních vod anebo díky používání umělých i organických hnojiv v zemědělství. Dusík poté v oceánech přispívá k rozrůstání rostlin a hubení živočichů. Přesycení živinami rovněž vede ke vzniku tzv. „mrtvých zón“, neboli oblastí s příliš nízkou hladinou kyslíku pro řadu vodních organismů. [23]

Řešení však není jednoduché. Vědci se shodují, že čištění oceánů může někdy nadělat více škody než užitku. Například při čištění mikroplastů by se mohl neúmyslně odstraňovat také plankton, který je důležitým prvkem potravního řetězce mořských živočichů, a který je důležitou součástí fotosyntézy na Zemi [24]. Nejeefektivnější řešení by tedy bylo předejít tomu,

aby se odpad do oceánů vůbec dostal. Ve stávající situaci je však tato myšlenka téměř nereali-zovatelná, tudíž je potřeba se na aktivním čištění oceánu podílet.

Problémem jsou v této oblasti zejména nejednotné postupy a omezení různých států. U rozvojových států v Asii produkujících velké množství odpadů například často chybí zaří-zení, která by byla schopna odpad zpracovávat případně odstraňovat. Z toho důvodu končí značná část odpadů na skládkách případně je přímo sypána do řek, odkud se již snadno dostává do moří a oceánů. Řešení problému znečištění plastovým odpadem mělo však ještě donedávna pro Asii, jakožto největšího světového producenta plastového materiálu i odpadu, malou prio-ritu. Přitom asijské země, konkrétně Čína, Filipíny, Indonésie, Thajsko, Indie a Vietnam, se podílí na celkovém znečištění oceánů 50 %. [1]

V současné době však již i asijské země podnikají systematické kroky k omezení znečiš-tování. Například v roce 2017 Čína zakázala import neprůmyslového plastového odpadu [1]. Stejný plán mají do budoucna i Vietnam a Thajsko, kteří chtějí rovněž zablokovat přísun plas-tového odpadu na svá území [1]. Taiwan se naopak chystá zakázat produkci jednorázových plastů jako například kelímků a dalšího nádobí do roku 2030 [1]. S podobným návrhem přišla na začátku tohoto roku také Čína, která by chtěla dosáhnout zákazu používání jednorázových plastových sáčků na tržnicích již od roku 2022 a jednorázových plastových obalů od roku 2025 [25].

Podobné opatření je připravováno také v Evropě. Evropský parlament schválil od roku 2021 zákaz prodeje jednorázových plastových výrobků, konkrétně příborů, talířů, brček, vato-vých tyčinek a tyček k balónkům. Jedná se tedy o jednorázové plasty, ke kterým je dostupná alternativa z jiných materiálů. Zákaz se týká také polystyrenových krabic na jídlo z restaurací a nádob na potraviny a nápoje vyrobených z expandovaného polystyrenu. [21]

Dle Evropského parlamentu je také cílem dosáhnout do roku 2030 recyklace veškerých použitých plastových obalů [3]. Prostředkem k dosažení tohoto stavu by mělo být zavedení povinnosti použití určitého množství recyklovaného materiálu v nových plastových výrobcích, motivace snížením DPH na recyklované produkty, zákaz některých jednorázových plastů a po-dobně [3]. Situace je nyní o to komplikovanější právě kvůli zakazu vývozu do Číny. V samotné Evropě je totiž poptávka po recyklovaném materiálu velmi nízká, pohybuje se kolem 6 % z cel-kové poptávky po plastech [3]. Polovina plastů určených k recyklaci je vyvážena mimo země Evropské Unie, což je důsledkem zejména nedostatečné kapacity, technologických omezení zařízení pro zpracování odpadu a také finanční nevýhodnosti [3]. V porovnání s výrobou z nové suroviny nemohou recyklované výrobky v současné době konkurovat kvalitou ani cenou. Jen pro názornost, v roce 2016 bylo vyrobeno a prodáno celosvětově více než 480 miliard PET lahví [12]. Z toho pouze polovina byla recyklována a jen 7 % z recyklovaného materiálu bylo použito na výrobu lahví nových [12]. Proto je nyní zásadním problémem najít jiné vhodné vy-užití tohoto odpadu tak, aby jej co nejméně končilo na skládkách, ať už evropských nebo asijských, ze kterých je cesta do oceánů velmi snadná.

I kdyby se však do oceánů následkem zavedení účinných opatření žádný další odpad ne-dostal, stále zůstává otázkou, co s odpadem, který již v mořích a oceánech akumulovaný je. Tou se v současné době zabývá hned několik různých organizací. Vyvíjí koncepty, které pro-blematiku plastů v oceánech a dalších vodách aktivně řeší a snaží se minimalizovat jejich vý-skyt. Cílem této diplomové práce je podat ucelený přehled o problematice plastů v oceánech, včetně základních informací o množství, složení a zdrojích plastového odpadu. Součástí je také představení jednotlivých známých konceptů a jejich vzájemné porovnání. Druhá část práce se věnuje návrhu alternativního systému pro sběr a nakládání s odpadem z oceánů a tvorbu jeho

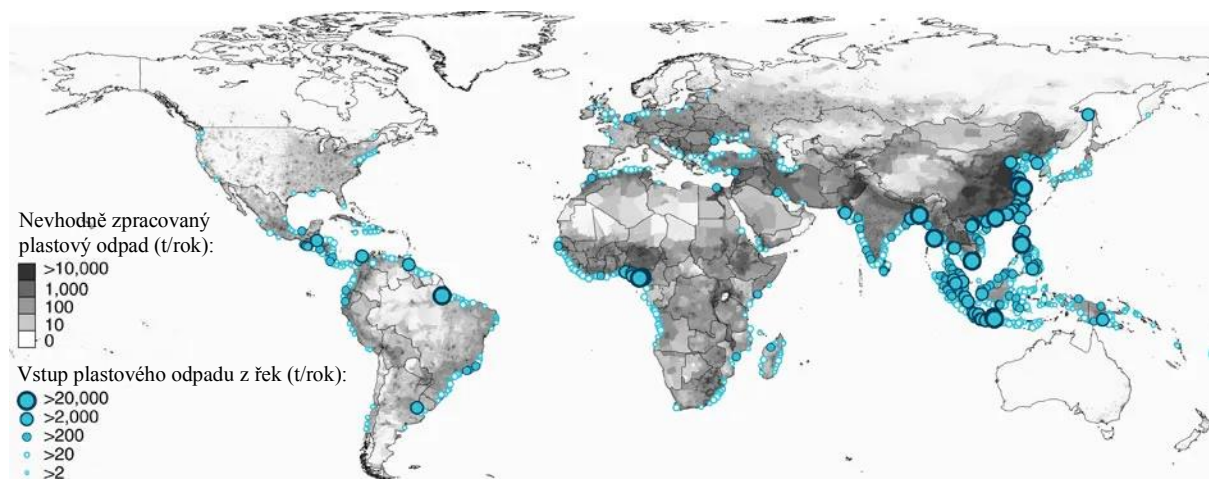
technicko-ekonomického modelu, důraz je kladen především na efektivní řešení v souladu s environmentálními hledisky. V rámci návrhu je provedena i rešerše použitých technologií a zařízení určených pro zpracování plastového odpadu. Konkrétní cíle práce, kterých má být dosaženo, jsou stručně uvedeny v následujících bodech:

- rešerše odborných publikací a relevantních zdrojů zabývajících se nakládáním s plastovým odpadem v řekách, mořích a oceánech
- porovnání jednotlivých systémů pro zpracování odpadu se zaměřením na plasty
- informace o produkci plastů
- ekonomický a technologický návrh systému pro sběr a nakládání s plastem

3 PLASTY V OCEÁNECH

Odpadu v oceánech každým dnem přibývá. Již nyní se v nich nachází více než 150 milionů tun a každým rokem vzroste toto množství zhruba o dalších 4,8 až 12,7 milionů tun plastového odpadu [21]. Dle [13] činí přírůstek každý rok kolem 10 % z celkové světové produkce plastů. Odpad se dostává do oceánů z příbřežních i vnitrozemských oblastí (tzv. pozemní zdroje) a díky činnostem vykonávaným přímo na moři, ke kterým patří lodní doprava, pobřežní průmysl a rybolov. Pozemní zdroje jsou velice rozmanité, zahrnují různé druhy průmyslu, zemědělství, cestovní ruch, nedostatečně zabezpečené skládky, ale i domácnosti. Obecně pochází větší část odpadu v oceánech právě z pozemních zdrojů, ze kterých se dostává především díky účinkům větru, prostřednictvím povrchových odtoků či následkem přírodních katastrof [26]. Dle Světového fondu na ochranu přírody (dále jen „WWF“) pochází z pozemních zdrojů 80 % odpadů [27].

Největší podíl na znečišťování oceánů mají řeky [28]. Odhadem se z řek do oceánů dostane každý rok 1,15 až 2,41 milionů tun plastů [29]. Z toho 70 % se potopí ke dnu a zbylých 30 % plave [29]. Dle jiného zdroje [30] má menší hustotu než voda více než 50 % tohoto množství. Většina odpadu přitéká do oceánů z 10 velkých řek protékajících nejhustěji obydlenými oblastmi s chybějícím odpadovým hospodářstvím [29]. Jedná se o dvě africké řeky – Nil a Niger, a dále 8 řek asijských – Jang-c’-ťiang, Indus, Žlutá řeka, Chaj-che, Ganga, Perlová řeka, Amur a Mekong (uvedené sestupně dle množství odpadu, které do oceánů dopraví) [29]. Dvě třetiny odpadu (67 %) pocházejícího z vodních toků vstupují do oceánu ze 20 nejvíce znečišťujících řek, za jejichž znečištěním stojí 21 % světové populace [29]. Navíc, 90 % odpadu vstupujícího do oceánu z řek pochází ze 122 nejvíce znečišťujících toků. Z tohoto množství se 103 nachází v Asii, 8 v Africe, 8 v Americe a pouze jedna v Evropě [29]. Polohy ústí znečišťujících řek na světové mapě s jejich jednotlivými příspěvky na znečištění v tunách za rok lze pro názornost vidět na obr. 5.



Obr. 5 Mapa s vyznačenými polohami ústí znečišťujících řek včetně jejich jednotlivých příspěvků na znečištění v tunách za rok [29]

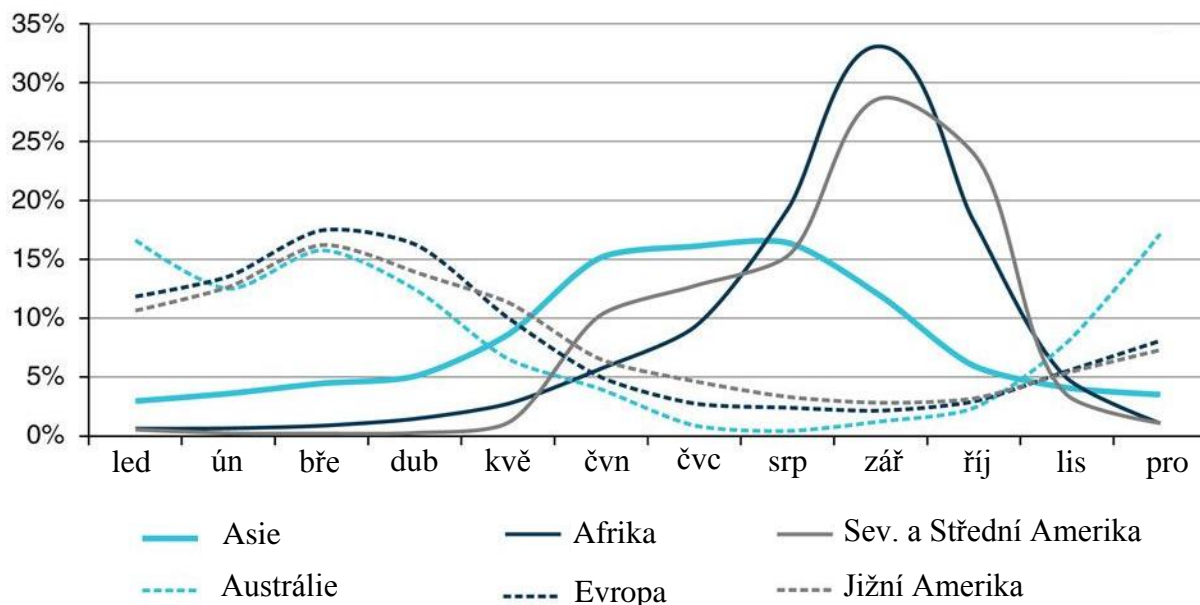
Co se týče pouze asijských řek, ty přinášejí do oceánů 86 % odpadů z celkového ročního množství. Tento fakt je způsoben zejména vysokou hustotou obyvatelstva a s tím spojenou produkcí odpadů a taktéž silnými obdobími dešťů. Roční množství odpadu přivedené do oceánu asijskými řekami se tedy odhaduje na 1,21 milionů tun. Ze zbývajících 14 % pochází 7,8 %

z Afriky, 4,8 % z Jižní Ameriky, 0,95 % ze Střední a Severní Ameriky, 0,28 % z Evropy a zbývajících 0,02 % z australsko-tichomořského regionu. [29]

Výzkumy zaměřené na množství plastů v řekách byly zahájeny teprve nedávno, proto není tato problematika příliš detailně prozkoumána. Studie většinou využívají různé typy měření a odběru vzorků, mezi které patří například využití sítí, využití vlečných sítí typu manta, bariéry na hladinách řek nebo vizuální sledování a počítání plujícího plastového odpadu. Již sesbíraná existující data však čelí dalšímu problému, a to je jejich nesourodost, jelikož jsou často vykazována v různých formátech a při různých podmínkách, což znemožňuje jejich vzájemné porovnání v čase nebo mezi různými řekami. Studie jsou poté většinou prováděny na řekách v Evropě či Severní Americe, kde není znečištění přítomné v takovém rozsahu, jako v řekách asijských. [28]

Od března do prosince roku 2018 probíhala výzkumná mise zaměřená na složení a distribuci plastového odpadu a jeho proměnnost v čase ve vietnamské řece Saigon, která je 45. nejznečištěnější řekou na světě a zároveň 5. nejznečištěnější ve Vietnamu [28]. Bylo zjištěno, že množství odpadu plujícího v řece se výrazně mění v závislosti na konkrétním měsíci v roce. V průběhu desetiměsíčního testování 21 % odpadu proplulo pozorovanou oblastí v prosinci, zatímco v červenci a srpnu se jednalo pouze o 4 % z celkového množství [28]. Toto zjištění však nelze aplikovat globálně. Ba naopak, dle jiného výzkumu celosvětově vstupuje do řek 74,5 % odpadu v období mezi květnem a říjnem, kdy maxima je dosaženo v srpnu a minima v lednu [29]. V Asii totiž rozdílné roční období mezi severní a jižní polokoulí vytváří dva odlišné monzunové režimy, které mají na množství plastů vstupujících do řek přímý vliv [29]. Velká část nejvíce znečišťujících řek podléhá indickému a východoasijskému monzunu, které se vyskytuje v období červen až září [29]. Menší část, včetně řeky Saigon poté podléhá jihovýchodoasijskému letnímu monzunu v období listopad až březen [29].

Při pohledu na celosvětové vstupy odpadů do řek nejsou však relativní odchylky měsíčních vstupů z Asie oproti ostatním kontinentům výrazné, neboť se díky dvěma různým monzunovým režimům vzájemně vyrovnávají. V případě ostatních kontinentů vykazují vstupy odpadů z řek dva různé průběhy: v Africe a Severní a Střední Americe dochází k největšímu nárůstu vstupů od června do října, zatímco v Evropě, Austrálii a Oceánii se tento nárůst vyskytuje od listopadu do května. Rozložení vstupů plastového odpadu do řek dle kontinentů v průběhu roku lze vidět na obr. 6. [29]



Obr. 6 Rozložení vstupů plastového odpadu do řek dle kontinentu v průběhu roku [29]

Dalším zdrojem odpadu jsou také přírodní pohromy. Jako příklad lze uvést tsunami v japonské provincii Tohoku, které ji zasáhlo v roce 2011. Odhaduje se, že při této události se do oceánu dostalo 4,5 milionů tun odpadů a sutin, což odpovídá okolo 10 až 20 % celkového množství odpadů, které se v roce 2011 do oceánu dostalo. Za cca 28 % odpadů vstupujících do oceánů je poté zodpovědný rybolov a lodní doprava. [31]

Obecně, více než polovina odpadu přitom pochází od pěti největších znečišťovatelů, kterými jsou Čína, Indonésie, Filipíny, Thajsko a Vietnam. V těchto státech většinou nefunguje organizovaný svoz odpadu, a tak jej lidé odhazují na nejrůznějších místech, mimo jiné i v blízkosti pobřeží a řek, odkud se již snadno dostává do oceánů. [12]

Dle výzkumu Marcuse Eriksena a jeho týmu z institutu „Five Gyres“ (Los Angeles, USA), který zkoumal distribuci plastového odpadu v oceánech po celém světě, bylo zjištěno, že i když zdroje plastového odpadu v oceánech (včetně hustě obydlených oblastí a hlavních lodních přepravních tras) se nachází spíše na polokouli severní, množství plastů akumulující se v oceánských vírech na severní polokouli je řádově stejné, jako množství odpadu akumulující se ve vírech na polokouli jižní. To je dle autorů studie způsobeno jednak vyplavováním odpadu na plážích (které je na severní polokouli častější), a za druhé rychlejším rozpadem na menší a menší fragmenty, než se dosud předpokládalo. [14]

Po vstupu do oceánu, ať už z jakéhokoliv výše zmíněného zdroje, vykazují odpady různé chování dle svých fyzikálních vlastností. Jednou z nejdůležitějších je v tomto ohledu hustota. Obecně platí, že pokud je hustota daného materiálu menší než hustota mořské vody, je odpad schopný se vznášet na hladině. Běžně se hustota plastů pohybuje dle konkrétního typu od 900 do 1 390 kg/m³. Hustota mořské vody je v intervalu 1 020 až 1 029 kg/m³ v závislosti na teplotě a salinitě konkrétní oblasti, která se liší dle geografické polohy i hloubky vody. Pokud je však hustota plastového materiálu vyšší než hustota mořské vody, neznamená to automaticky potopení daného předmětu. Často jsou totiž předměty naplněny vzduchem, který je nadnáší. Na jejich vztlak mají také vliv vodní proudy a turbulence. Proto lze například PET lahev nalézt jak plující na hladině, tak i potopenou na mořském dně. Podobně i v opačném případě, tedy pokud

je hustota plastového materiálu nižší než hustota mořské vody, může být například vlivem biou-sazování odpad potopen. Konkrétní hustoty jednotlivých materiálů včetně jejich nejběžnější podoby z hlediska odpadů lze nalézt v tab. 1. [32]

Tab. 1 Hustota jednotlivých materiálů a jejich nejběžnější využití [32]

Materiál	Aplikace	Hustota (kg/m³)
PE	Tašky, obaly, uzávěry lahví	910–950
PP	Lano, pásy, víčka potravin	900–920
EPS	Boxy na jídlo, plováky, kelímky	1 010–1 050
PS	Jednorázové nádobí	1 040–1 090
PVC	Fólie, potrubí,	1 160–1 300
Polyamid (dále jen „PA“) nebo nylon	Rybářské sítě, lana	1 130–1 150
PET	Lahve, pásy, textil	1 340–1 390
Polyesterová pryskyřice se skelnými vlákny	Textil, části lodí	>1 350
Acetát celulózy	Cigaretové filtry	1 220–1 240

V roce 2014 byla provedena sedmiměsíční výzkumná plavba plavidla označeného názvem „Tara“ po Středozezemním moři. Při ní bylo odebráno více než 300 vzorků a taktéž byly zkoumány různé aspekty plastového odpadu i mikroplastů jako například jejich distribuce nebo dopad na živočichy a životní prostředí. Z poznatků této expedice je zřejmé, že odpad, který není řádně recyklován, spalován či skládkován pravděpodobně dříve či později skončí v oceánu. Plasty s vyšší hustotou, než je hustota mořské vody (např. PVC) poté často sedimentují poblíž břehů, ze kterých byly do oceánu distribuovány. Většina sypkých plastů (např. z PP či PE) je však schopna plout na hladině a je unášena do otevřeného oceánu. Tento plující odpad má poté tendenci se shromažďovat v oceánských vírech. Co se děje s takto shromážděným odpadem dále je otázka mnoha výzkumů, možností je však hned několik: [14]

- plastový odpad se rozpadne na malé částice (mikroplasty)
- vlivem biologického zanášení se odpad potopí pod hladinu a usadí se (hustota se se zvyšujícím zanášením také zvyšuje)
- je pozřen mořskými živočichy, a tak se dostává do potravního řetězce

Co se týče složení odpadů v mořích a oceánech, nejčastější složkou je plastový odpad [15]. Dle výzkumu [33] dokonce plastový odpad představuje 99,9 % plovoucího odpadu. Nachází se zde velká škála plastů – od rybářského vybavení po mikroplasty [16]. Velká část je z PE nebo PP, podstatnou část tvoří také opuštěné rybářské vybavení, tedy rybářské sítě a lana (dle [33] nejméně 46 %). Dále se jedná zejména o mikroplasty, které z pohledu objemu zaujímají 94 % všech odpadů [30]. Plastové fólie, které za normálních okolností na pevnině tvoří okolo 37 % PE a PP odpadu, bývají nalezeny jen zřídka [33]. Vědci se domnívají, že fólie a ostatní plovoucí plasty s nestálým poměrem objemu ku povrchu se nikdy nedostanou na hladinu, jelikož rychle klesají ke dnu vlivem biou-sazování a působením mikroskopických částic, které je zatěžují [33].

Složení a množství odpadů v oceánech je zpravidla určováno třemi způsoby [34]:

- **prostřednictvím průzkumů pláží**
- **pomocí počítačových simulací na základě vzorků posbíraných v různých oblastech (nejčastější způsob)**
- **pomocí odhadů množství odpadu vstupujícího do oceánu**

Co se týče prvního uvedeného způsobu, dle článku Evropského parlamentu [21] patří mezi nejčastěji se povalující odpad na pláži následující předměty:

- láhve a víčka
- nedopalky
- tyčinky z vatových čistítek do uší
- obaly od chipsů a sladkostí
- hygienické potřeby
- igelitové tašky a sáčky
- jednorázové příbory, míchátko a brčka
- jednorázové pohárky a víčka
- balónky a držátka na balónky
- obaly na potraviny a krabice z rychlého občerstvení

Lze tedy předpokládat, že podobné složení plastového odpadu se vyskytuje také v mořích a oceánech. Více vypovídající jsou průzkumy prováděné přímo v konkrétních oblastech moří a oceánů. Například oceánograf Marcus Eriksen se svým týmem podnikli v letech 2007 až 2013 celkem 24 expedic, kdy zkoumali množství i složení odpadů ve všech šesti odpadkových skvrnách a také při pobřeží Austrálie a v Bengálském zálivu. Z jejich rozsáhlého výzkumu vychází odhad, že v oceánech se celkem nachází nejméně 5,25 bilionů částic odpadu vážících dohromady 268 940 tun. Ze získaných dat byl dále vědci vytvořen model distribuce odpadů dle čtyř velikostních kategorií a jejich hustota. Tento oceánografický model předpokládá, že množství plastového odpadu vstupujícího do oceánu závisí na třech hlavních proměnných: hustotě obyvatelstva, námořní aktivitě a odtoků povodí. [35]

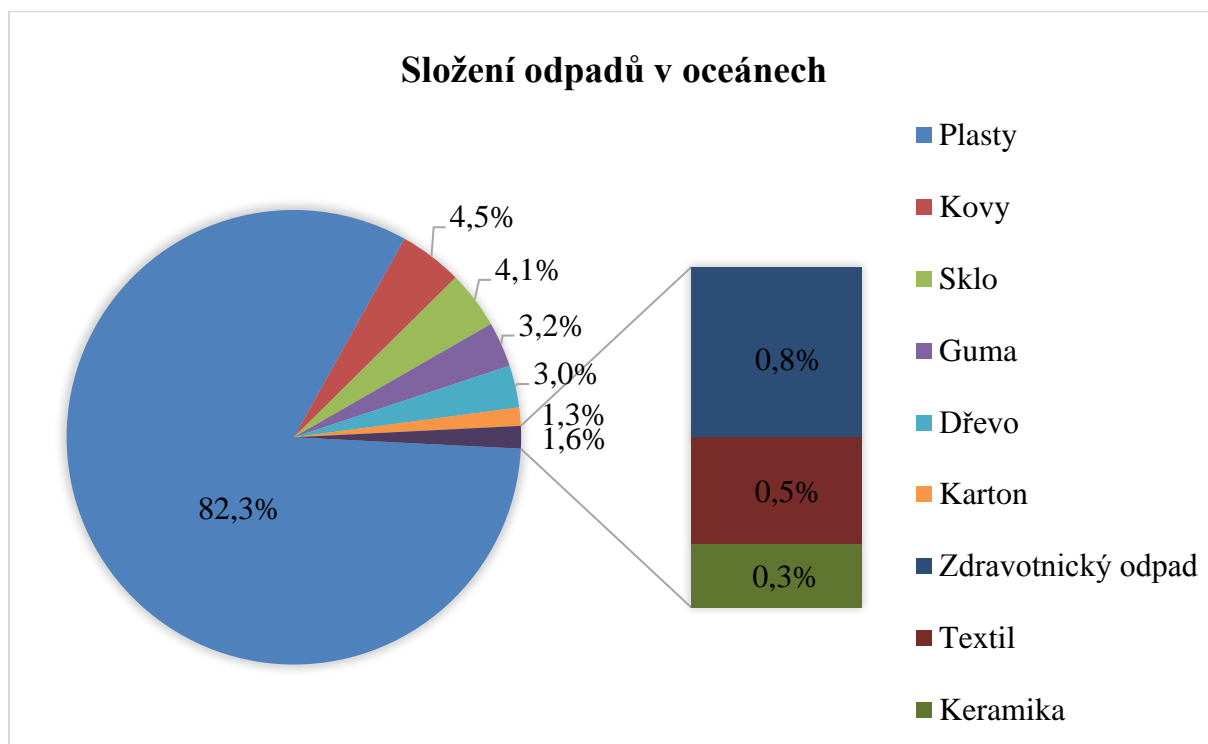
Výsledky výzkumu ukázaly, že v oceánech na severní polokouli se vyskytuje 55,6 % částic a 56,8 % objemu odpadů, tedy více než na polokouli jižní. Na jižní polokouli obsahuje oblast v Indickém oceánu více odpadu (z pohledu počtu částic i objemu), než je dohromady v odpadkových skvrnách na jihu Atlantického a na jihu Tichého oceánu. Je poměrně zajímavým faktem, že na obou polokoulích se vyskytuje podobné množství odpadu, i když na severní polokouli do oceánů vstupuje podstatně více odpadu než na polokouli jižní. To může znamenat, že odpad se dokáže pohybovat snadněji mezi oceánskými víry a polokoulemi, než se původně předpokládalo. [35]

Při tomto výzkumu byly plastové odpady rozděleny dle velikosti do čtyř kategorií [35]:

- **malé mikroplasty (0,33 až 1 mm)**
- **velké mikroplasty (1,01 až 4,75 mm)**
- **mesoplasty (4,76 až 200 mm)**
- **makroplasty (nad 200 mm)**

Bylo zjištěno, že 58,3 % váhy makroplastů je tvořeno opuštěnými rybářskými bójkami. Dále obě skupiny mikroplastů zaujímají 92,4 % z celkového počtu částic. V celkovém přehledu je tedy 75,4 % váhy odpadů tvořeno makroplasty, 11,4 % mesoplasty, 10,6 % většími mikroplasty a 2,6 % menšími mikroplasty. Minimálně tedy 233 400 tun velkých kusů odpadů pluje oceány po celém světě. [35]

Kromě plastového odpadu se v oceánech nachází i další materiály, které však společně tvoří spíše menšinu. Jedná se o dřevo, kovy, kartony, zdravotnický odpad, textil, keramiku, sklo a další. Kromě těchto složek plují v oceánech také odumřelé části mořských řas a jiného rostlinstva i další přírodní materiály, které nebývají do statistik zahrnovány. Konkrétní procentuální zastoupení daných složek se liší dle různých autorů, většina se však shoduje na podílu plastového odpadu větším než 60 %. Například složení dle výzkumu organizace „Common Wadden Sea Secretariat“, který sledoval podíl jednotlivých složek v letech 2009–2014 lze vidět na obr. 7. Dle něj plastový odpad tvoří 82,3 %, zbylá procenta jsou rozdělena mezi ostatní výše jmenované složky, žádná se však nepodílí na složení více než 4,5 %. Procenta jsou v tomto případě vztažena k počtu analyzovaných kusů, což však není pro účely této diplomové práce údaj zcela vypovídající. S tímto složením se pouze s drobnými rozdíly ztotožňuje také program sledování plážového odpadu OSPAR [37], který zkoumal složení odpadů v letech 2002–2008 podél jižního pobřeží Severního moře. Dle tohoto programu náleží 75,3 % plastovému odpadu, 8,3 % dřevu, 5,4 % sklu a zbytek je rozdělen mezi ostatní uvedené složky [37]. Rozdíly lze přisuzovat zejména odlišnému časovému období výzkumů.



Obr. 7 Složení odpadů v oceánech vztažené k počtu kusů dle výzkumu organizace Common Wadden Sea Secretariat v letech 2009–2014 (zdroj dat [36], zpracování vlastní)

Složení odpadů uváděné v procentech vztažených k počtu analyzovaných kusů odpadu může být značně zavádějící. Například v případě plastů nebo skla, které se většinou oproti ostatním kategoriím odpadu vyskytují v podobě drobných kousků, může být takto uvedené složení

značně nadhodnoceno. Tento způsob kvantifikace odpadu je však uváděn v drtivé většině studií, neboť rámcová směrnice Evropské Unie o mořské strategii vyžaduje při monitorování odpadu v mořském prostředí jednotlivé počty předmětů povinně, zatímco hmotnostní složení pouze doporučuje. [38]

Hmotnostní složení odpadu v oceánech bylo vyhodnoceno například na základě monitorování odpadu na plážích podél pobřeží Číny, Japonska, Koreji a Ruska probíhajícího v letech 2007–2008. Z tohoto průzkumu vyplývá, že 63 % hmotnosti tvoří plasty, 17 % dřevo a zbylých 20 % je téměř rovnoměrně rozděleno mezi ostatní složky, nejmenší podíl má papír. Pro porovnání, stejný průzkum provedl i kvantifikaci odpadu dle počtu kusů, kde plasty tvořily 71 %. To dokazuje, že rozdíly mezi jednotlivými způsoby popisu složení odpadu nejsou naprosto odlišné, nejsou si však ani rovny. [39]

3.1 Problematika mikroplastů

Jak již bylo zmíněno dříve, velkou hrozbu pro mořskou faunu představují mikroplasty. Ty mohou být jednoduchým způsobem rozděleny na primární a sekundární. Primární mikroplasty jsou takové plastové částice, které již byly vyrobeny a používány ve velikosti mikroplastů, tedy pod 5 mm, kdežto sekundární mikroplasty jsou produktem degradačních mechanismů působících na větší kusy předmětů či odpadů. Zdrojem primárních mikroplastů jsou například malé kuličky používané v kosmetických přípravcích (peelingy, sprchové gely, opalovací krémy), částice užívané jako abraziva v mnoha průmyslových odvětvích a v loděnicích, plastové pelety sloužící jako surovina pro výrobu dalších předmětů nebo materiály pro 3D tisk. [26]

Sekundární mikroplasty jsou důsledkem rozpadu či opotřebovávání větších plastových předmětů, jejich podíl se odhaduje na 69 až 81 % z celkového množství mikroplastů v oceánech [40]. Plastové materiály totiž degradují a ztrácí své počáteční vlastnosti, rychlost této změny je závislá na fyzikálních, chemických i biologických podmínkách, kterým jsou vystaveny [32]. Degradace se projevuje ve ztrátě mechanické integrity, zkřehnutí a vede až k rozpadu na stále menší částice [32]. Jedná se o chemickou změnu, při které se výrazně snižuje průměrná molekulová hmotnost materiálu [11]. Mechanická integrita plastů závisí vždy na jejich vysoké molekulové hmotnosti, proto jakýkoliv významný rozsah degradace materiál nevyhnutelně oslabuje [11]. Degradované plasty se poté stávají dostatečně křehkými, aby se rozpadly na drobné okem neviditelné fragmenty [11]. I tyto fragmenty dále podléhají degradaci. Degradace může probíhat v důsledku několika možných činitelů [11]:

- biodegradace (působení živých organismů)
- fotodegradace (působení slunečního záření)
- tepelná degradace (působení vysokých teplot)
- hydrolýza (reakce s vodou)

Tepelná degradace, která probíhá za velmi vysokých teplot se v přírodě přirozeně neobjevuje. U běžných druhů plastů vystavených oceánskému prostředí má největší podíl fotodegradace, kdy je hlavním činitelem ultrafialové záření (dále jen UV záření). Rychlost degradace primárních i sekundárních mikroplastů je na UV záření silně závislá. Po zahájení může určitou dobu probíhat i bez vystavení záření pouze za přítomnosti kyslíku. Ostatní typy degradačních procesů jsou řádově pomalejší než fotodegradace. Hydrolýza pak není obvykle ve slané vodě významným mechanismem. [11]

Obecně je UV záření materiál nejvíce vystavován zejména v rovníkových oblastech [32]. Degradace vlivem UV záření však probíhá mnohem rychleji u plastového odpadu a předmětů povalujících se na pláži než u stejných plujících na hladině [11]. To je důsledkem zejména nižších teplot a nižší koncentrace kyslíku ve vodním prostředí než na vzduchu [11]. Nižší teplota rychlost reakce zpomaluje [11]. Jakmile se tedy částice potopí hlouběji pod vodní hladinu či jsou pokryty biologickými povlaky, expozice UV záření se výrazně sníží, současně také s teplotou a hladinou kyslíku [32]. To způsobuje velmi pomalou následnou degradaci [32]. Stejný efekt mohou mít také UV stabilizátory, které jsou do plastových materiálů přidávány ve formě aditiv [11]. Z těchto důvodů jsou často nalezeny na mořském dně nepoškozené plastové objekty jako například PET lahve [32]. Dalším degradačním faktorem je mechanické poškození vlivem abraze např. při pohybu vln či při tření o písčité či kamenité podloží na pobřeží [32].

Primární i sekundární mikroplasty se do moří a oceánů dostávají často prostřednictvím vodních toků. Například v domácnostech jsou i přes mnohá upozornění často splachovány vlhčené ubrousky a hygienické potřeby, z nichž se uvolňují vlákna příliš malá na to, aby byla zachycena v čističkách odpadních vod [27]. Stejná mikrovlákna se uvolňují také při praní syntetických oděvů a jiných textilií v pračkách [27]. Tato vlákna tedy projdou čističkou a dostávají se dále do vodních toků [27]. Do kanalizací a vodních toků se díky srážkám dostávají také mikročástice z kaučuku pocházející z pneumatik různých vozidel, které se rovněž označují pojmem mikroplasty, ačkoliv se formálně nejedná o plasty ale o elastomery. Pneumatiky se mechanicky opotřebovávají a vytváří právě tyto částice [27]. Odhadované množství částic vznikajících v důsledku opotřebování pneumatik činí 1 až 1,4 kg na osobu ročně [32].

Po vstupu do vodního prostředí se plující mikroplasty dále často mísí s různými druhy planktonů o stejné velikosti. Zkoumáním vzorků elektronovým mikroskopem bylo zjištěno, že i na drobných kouscích plastového materiálu existuje bohatá diverzita různých druhů, přičemž žádný z nich nedominuje a všechny jsou rovnoměrně zastoupeny. Některé z těchto druhů, například rozsivky, ulpívají na povrchu plastů a iniciují bioušazování, které je poté příčinou následné sedimentace. Díky tomu je množství mikroplastů v sedimentech vyšší než množství plovoucích ve vodě. V plastovém materiálu byly rovněž nalezeny kolonie bakterií, z nichž některé patřily ke druhům, které se účastní degradace uhlovodíků v mořích a často bývají přítomny také při vzniku ropných skvrn v mořích. Elektronová mikroskopie navíc ukázala, že řada těchto bakteriálních buněk žije v mikroskopických otvorech, které přesně odpovídají jejich velikosti a tvaru, což může znamenat, že si bakterie tyto otvory samy vybudovaly degradací polymeru. Tato pozorování, která dokazují možný mikrobiální rozklad polymerních materiálů, však nejsou dosud zcela ověřena. [14]

Součástí skupiny mikroplastů jsou také nanoplasty, tedy plastové částice menší než 100 nm [26]. Těm byla prozatím věnována pouze malá pozornost, a to zejména z důvodu obtíží při spolehlivé detekci a analýze těchto částic ve vzorcích [26]. Dosavadní studie však naznačují, že s klesající velikostí zpravidla roste početnost částic, tudíž by do budoucna mohla být i problematika nanoplastů důležitým tématem [41]. Nanoplasty jsou totiž schopny procházet buněčnými membránami, jejich účinek na buňky a tkáně je však doposud neznámý [26].

Znečištění mikroplasty není pouze problémem moří a oceánů, ale také sladkovodních útvarů včetně těch, které slouží jako zdroje pitné vody [41]. Výskyt mikroplastů byl dokázán již v mnoha vodních útvarech napříč kontinenty. Například byla zkoumána jejich přítomnost a chování ve Velkých jezerech ve Spojených státech a také v italském jezeře Garda, kdy v obou lokalitách byla prokázána [14]. Navíc bylo pozorováno, že stejně jako v případě moří a oceánů mají mikroplasty tendenci hromadit se v určitých pobřežních oblastech v závislosti na směru

větru a proudění vody [14]. Některé další studie se zaměřily na přítomnost mikroplastů v potravinách a balených nápojích, i zde byla potvrzena [41]. Dalo by se tedy konstatovat, že mikroplasty se staly nevědomou součástí života většiny lidí na Zemi. Z celkového pohledu jsou však výzkumy zaměřené na mikroplasty spíše v začátcích.

I v České republice je výskyt mikroplastů aktuálním tématem. Ústav pro hydrodynamiku Akademie věd České republiky potvrdil v roce 2018 přítomnost mikroplastů v surové i upravené pitné vodě ve všech vzorcích získaných ze tří různých úpraven vody [41]. Koncentrace mikroplastů v surové vodě dosahovala 1 500 až 3 600 částic na litr surové vody, v případě upravené vody se jednalo o 340 až 630 částic [41]. Většinu částic (95 %) však tvořily mikroplasty menší než 10 μm , dominantními složkami přitom byly běžné obalové materiály – PET, PP a PE [41]. V souvislosti s tímto výzkumem se vyjádřil také Státní zdravotní ústav ČR, který „nadále nepovažuje tento jev za významný zdravotní problém, protože dosud neexistují žádné vážné indicie, že by tato expozice představovala pro člověka zdravotní riziko“ [42]. Dle tohoto vyjádření by v případě významného výskytu škodlivých látek navázaných na mikroplastových částicích byla jejich přítomnost detekována při rutinní kontrole kvality vody [42]. Každý rok se na přítomnost těchto látek analyzuje cca 6 000 vzorků pitné vody v celé ČR, pouze v jednotkách případů je však překročena limitní hodnota [42].

3.2 Odpadkové skvrny v oceánech

V médiích jsou často v souvislosti se znečištěním oceánů zmiňovány tzv. odpadkové skvrny. Tímto pojmem jsou označována místa s největší koncentrací odpadů v oceánech, nejsou však brány v úvahu ústí řek a příbřežní oblasti. O těchto místech je často hovořeno jako o „kontinentech“ či „ostrovech“. Tato označení by mohla evokovat představu pevných ostrovů na hladině oceánu, avšak opak je pravdou. Odpadkové skvrny jsou totiž z velké části tvořeny mikroplasty plujícími převážně pár metrů pod hladinou, tudíž nejsou vidět ani na satelitních snímcích. Ke kumulaci odpadu zde dochází díky setkávání mořských proudů, které se stáčíjí pod vlivem rotace Země a vytváří obrovský vír. Dostředivá síla poté stahuje odpad směrem ke středu víru, který je tak koncentrován. [43]

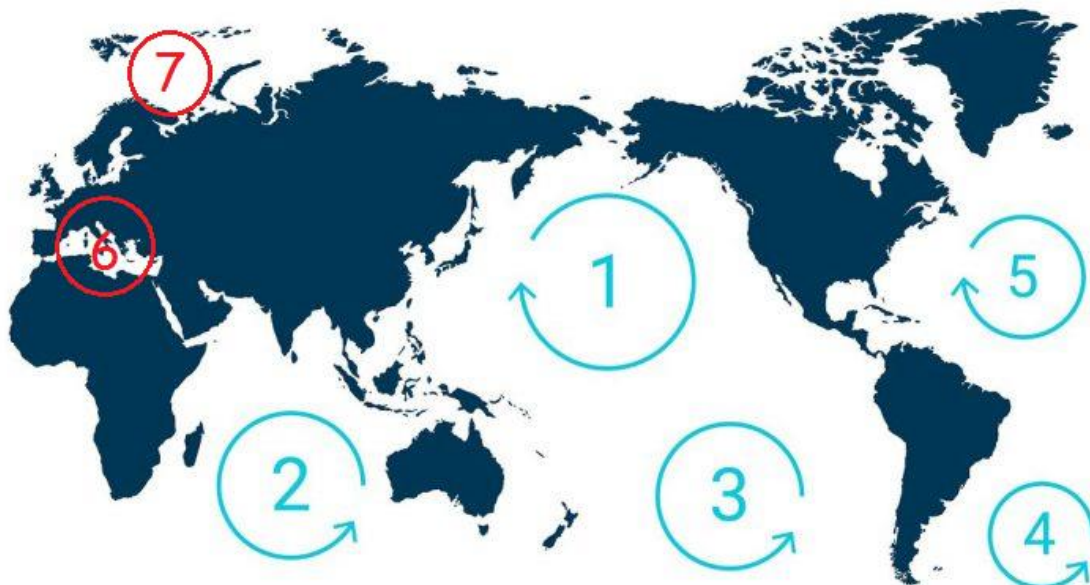
Kromě mořských proudů a větru ovlivňuje víry (a tedy i pohyb odpadů) také tzv. Ekmanova spirála. Tento jev objasňuje rychlost a směr pohybu vody v různých hloubkách. Ekmanova spirála vzniká v důsledku působení větru a Coriolisovy síly. Voda je tedy vanoucím větrem uvedena do pohybu, přičemž směr jejího toku je právě vlivem Coriolisovy síly odchylen o 45° doprava (na severní polokouli) nebo doleva (na jižní polokouli) od směru větru. Pohyb povrchové vrstvy vody uvádí do pohybu další vrstvy pod ní, a tak je přenášena vodním sloupcem energie větru, která postupně klesá s rostoucí hloubkou. S klesající energií větru klesá i rychlost proudu a zvětšuje se zakřivení pohybu. Tak vzniká výsledný směr pohybu vody, který je v ideálních podmínkách kolmý na směr větru. Na severní polokouli tedy dochází k odchylce od směru větru o 90° doprava, na polokouli jižní o 90° doleva. [15]

Těchto odpadkových skvrn existuje s jistotou pět. Pojetí autorů jednotlivých studií se však v tomto ohledu velice liší, někteří uvádí i skvrnu šestou. Většina se však shoduje na následujících pěti skvrnách:

- odpadková skvrna v severní části Tichého oceánu (1)
- odpadková skvrna v Indickém oceánu (2)
- odpadková skvrna v severní části Atlantického oceánu (5)

- odpadková skvrna v jižní části Tichého oceánu (3)
- odpadková skvrna v jižní části Atlantického oceánu (4)

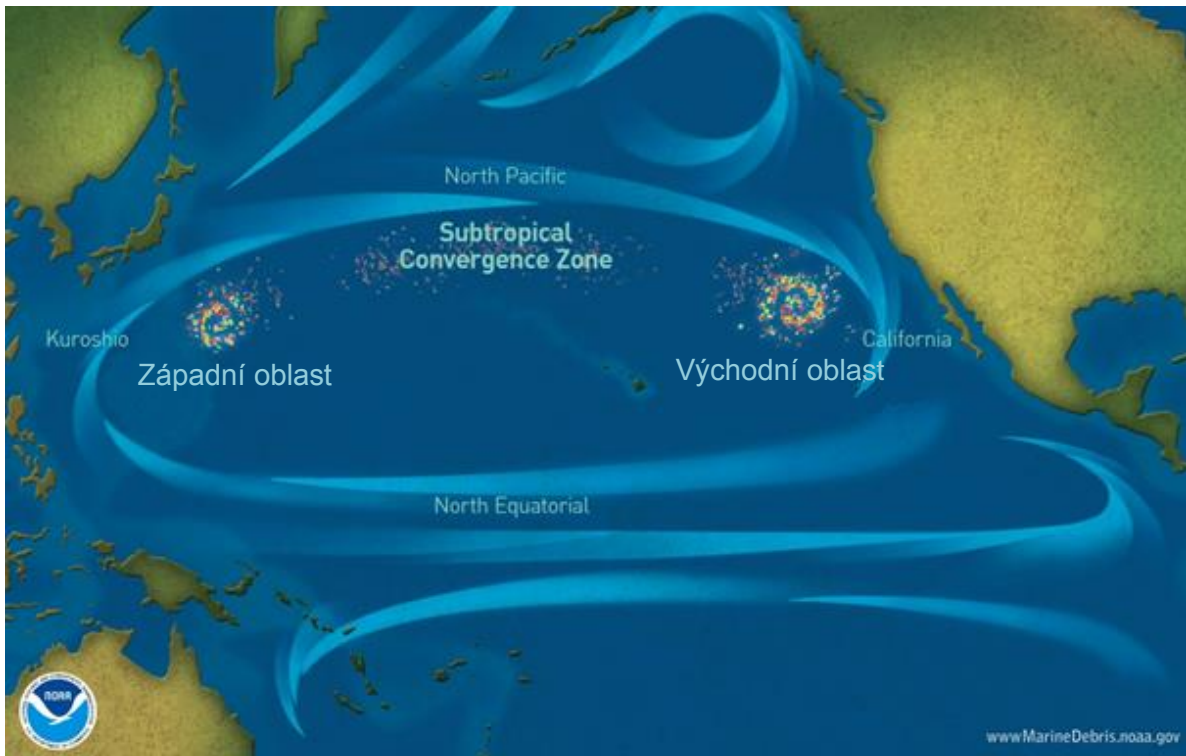
Poloha těchto pěti uvedených skvrn je znázorněna na obr. 8. Někteří navíc přidávají šestou odpadkovou skvrnu ve Středozemním moři (na obrázku pod číslem 6), která se však objevuje pouze určitou část roku. Jiní naopak místo skvrny ve Středozemním moři uvádí vznikající odpadkovou skvrnu v subarktické oblasti Barentsova moře (na obrázku pod číslem 7) [26].



Obr. 8 Znázornění polohy všech sedmi světových odpadkových skvrn [30]

Údaje o velikosti skvrn či množství obsaženého odpadu se dle různých autorů často i výrazně liší. Je třeba brát v úvahu, že výzkum odpadkových skvrn je dynamickou záležitostí převážně posledních 10 let, i když odpadková skvrna v severní části Tichého oceánu byla objevena americkým oceánografem Charlesem Moorem již v roce 1997 [44]. Právě z tohoto důvodu je o ní oproti ostatním skvrnám dostupných nejvíce informací, ať už z hlediska množství odpadů či jejich konkrétní distribuce a složení. Zároveň je na její studium kladen největší důraz, neboť se jedná o největší ze všech odpadkových skvrn.

Velká tichomořská odpadková skvrna (nebo také Velká pacifická odpadková skvrna, dále jen „VTOS“) se nachází, jak již název napovídá, v severní části Tichého oceánu. Konkrétně se skvrna rozprostírá přibližně mezi 20° a 40° severní zeměpisné šířky [15] a 145° západní zeměpisné délky [30]. Její přesná poloha, tvar i hranice se však vlivem mořských proudů a větru neustále mění. Souhrnný název VTOS zastřešuje ve skutečnosti dvě oblasti – menší západní oblast rozkládající se od východu Japonska až po západ Havaje a oblast východní, nacházející se mezi Havajskými ostrovy a Kalifornií, kde se vyskytuje největší odpadková oblast ve světových oceánech [15]. Tyto dvě oblasti jsou spojeny úzkým šest tisíc mil dlouhým proudem s názvem „Subtropical Convergence Zone“, kde se také nachází značné množství odpadů [13]. Rozložení Velké tichomořské odpadkové skvrny lze vidět na obr. 9.



Obr. 9 Poloha a rozložení Velké tichomořské odpadkové skvrny [45]

Po vstupu do oceánu, ať už z jakéhokoliv zdroje, je odpad v této oblasti shromažďován vlivem Severního tichomořského víru, což je pomalu po směru hodinových ručiček se pohybující spirála tvořená mořskými proudy [13]. Této oblasti se rovněž přezdívá „oceánská poušť“, neboť se zde vyskytuje pouze minimum velkých ryb či savců, nachází se zde převážně jen fytoplankton [13]. Konkrétní odhady množství obsaženého odpadu se dle různých zdrojů rozcházejí. Přesná velikost oblasti se totiž určuje velmi těžko, jednak z důvodu neustálého pohybu a růstu množství odpadu, a dále také z důvodu nemožnosti skvrny vidět na satelitních snímcích [43]. Dle [46] skvrna obsahuje asi 80 tisíc tun plovoucího plastu, což odpovídá cca 1,8 bilionu kusů. Dle výzkumu [33] je potom odhadovaná plocha skvrny 1,6 milionů km čtverečních, na níž se nachází nejméně 79 tisíc tun plastů. Obecně odpad pochází nejčastěji ze břehů USA, Kanady, Číny a Japonska [43]. Dle výzkumu [33], 34 % zkoumaných plastů obsahujících štítek „vyrobeno v“ bylo vyprodukováno v Japonsku. Japonština byla také nejvíce vyskytující se jazyk, který byl na odpadcích identifikován (30 %), následována čínštinou (29,8 %).

V letech 2015 až 2016 vědci z organizace „The Ocean Cleanup“ uskutečnili celkem tři výzkumné expedice v této oblasti. V první z nich analyzovali výskyt odpadů v různých hloubkách oceánu. Bylo objeveno, že plasty, které jsou schopné plout, se nachází zejména v prvních pár metrech vodního sloupce pod hladinou. Druhá expedice byla zaměřena na získ vzorků odpadu ze skvrny. Třicet různých plavidel při ní zachytilo přes 1,2 milionů plastových vzorků, které byly dále podrobeny výzkumu. Třetí expedice byla uskutečněna ze vzduchu letadlem létajícím blízko hladiny a snímajícím několika senzory a kamerami plastový odpad. Ze získaných vzorků bylo zjištěno, že 84 % plastů pocházejících z Velké tichomořské odpadkové skvrny obsahuje nejméně jeden typ škodlivých perzistentních, bioakumulativních a toxických látek. [30]

Na jižní polokouli je nejvíce znečištěn Indický oceán, ve kterém pluje více plastů, než v jižní části Atlantického a Tichého oceánu dohromady. Ačkoliv se jedná o druhou největší

znečištěnou oblast, výzkum a data z ní, ale i dalších oblastí, je v porovnání s Velkou tichomořskou odpadkovou skvrnou minimální. Jedena ze studií [47] autorky Mirjam van der Mheen se však distribucí a pohybem odpadů v Indickém oceánu zabývá. Její tým při výzkumu zjistil, že v jižní části Indického oceánu je odpad unášen na jeho západní stranu, kde proplouvá kolem jižní Afriky na jih Atlantického oceánu. Vír oceánských proudů zde totiž těsně omývá jižní cíp Afriky. Plasty se zde tudíž krátce hromadí a poté se přesouvají dále. V oblasti Indického oceánu jsou větry ovlivněny monzunovým asijským systémem, a tak jsou mnohem silnější než ty v Tichém a Atlantickém oceánu. V severní části Indického oceánu je potom odpad akumulován v Bengálském zálivu. Vlivem monsunových větrů a proudů je poté často vyplaven zpět na pobřeží. Tato studie tudíž tvrdí, že v Indickém oceánu se ve skutečnosti odpadková skvrna vůbec nenachází, alespoň ne ve formě jako jsou skvrny ostatní. Odpad je zkrátka rozptýlen na mnohem větší ploše. Konkrétní údaje o koncentracích zatím bohužel nejsou z žádného výzkumu známy. Takto rozptýlený plastový odpad je však mnohem obtížněji zachytitelný než odpady koncentrované do skvrn.

Třetí oblastí je odpadková skvrna v severní části Atlantického oceánu. Ta vzniká v důsledku čtyř hlavních mořských proudů mezi Virginii a Kubou, které posouvají odpad dále právě na sever Atlantiku. Tato skvrna tedy leží na východ směrem od Bermudských ostrovů. Odhadovaná průměrná koncentrace odpadu zde činí 4 000 kusů na čtvereční míli, v některých místech v jádře skvrny však koncentrace dosahuje až 250 000 kusů odpadu na čtvereční míli. [48]

O odpadkové skvrně v jižní části Tichého oceánu není zatím známo mnoho údajů. Jisté je, že se rozkládá v oblasti mezi Austrálií a Jižní Amerikou, její rozloha se odhaduje na 2,6 km². Ve svém jádře disponuje hustotou až 400 000 částic na čtvereční míli. Podobně je na tom z hlediska dostupných údajů také skvrna v jižní části Atlantického oceánu. Ta byla objevena teprve v roce 2017. Jedná se o nejmenší z pěti uváděných skvrn, její rozloha se odhaduje na 0,7 km² a obsahuje asi 2 860 tun plastového odpadu. [44]

Evropě velice blízkou oblastí, je odpadková skvrna ve Středozemním moři o velikosti desítek kilometrů [49]. Ta se periodicky utváří vlivem mořských proudů a zejména větru mezi ostrovy Korsika a Elba [49]. Proudů na severozápadu Středozemního moře totiž unáší odpad podél západního italského pobřeží až právě na úpatí Elby [49]. Odtud se již odpad nemůže pohybovat nikam jinam než skrz korsický kanál, a proto je zde také vyšší koncentrace odpadu než v jiných oblastech Středozemního moře [49]. Skvrna však není stálým jevem, obvykle se vytvoří na pár týdnů až měsíců, například v létě při nepříznivých povětrnostních podmínkách [49]. Většina (95 %) odpadu zde pochází ze břehů Turecka, Španělska, Itálie, Egypta a Francie, což jsou mimo jiné oblíbená letní letoviště, proto také nárůst odpadu v letních měsících [50]. Každé léto tak naroste odpad vstupující do Středozemního moře o 40 % [50]. Na některých místech potom koncentrace odpadů činí až 1,25 milionů kusů na kilometr čtvereční [50]. Toto množství je však z většinové části tvořeno mikroplasty.

4 ZNÁMÉ KONCEPČNÍ SYSTÉMY PRO ČIŠTĚNÍ OCEÁNŮ

V současné době je známo již několik fungujících zařízení i konceptů, které se snaží problematiku plastů v oceánech a dalších vodách aktivně řešit a minimalizovat tak jejich výskyt. Některé tyto projekty se zabývají pouze samotným shromažďováním, některé naopak pouze využitím shromážděného odpadu. Pouze malé množství poté nabízí komplexní řešení daného problému.

Největší mediální pozornost je v současné době směřována na projekty nizozemské neziškové organizace „**The Ocean Cleanup**“¹ v čele s jejich tvůrcem Boyanem Slatem. Zejména oceánský koncept však budí velmi rozporuplné reakce v řadách odborníků i široké veřejnosti. Dle některých je zájem až nezdravě velký a zastiňuje tak jiné, mnohdy i nadějnější projekty, jak uvedl odborník na recyklaci plastů pan Arthur Huang v rozhovoru pro magazín Dezeen². Nicméně díky velké (mimo jiné i finanční) podpoře ze strany veřejnosti je tento projekt jedním z těch, ke kterému jsou již známy první výsledky ověřené praktickým využitím.

K dalším, podstatně menším projektům se řadí například také „**Mr. Trash Wheel**“³, který již několikátým rokem funguje v přístavu amerického města Baltimore. Podobnou technologií, zaměřující se na odpad v přístavech, je také vodní dron vyvíjený nizozemskou společností „**RanMarine Technology**“⁴ s názvem „**WasteShark**“. V současné době jsou tyto drony umístěny v rotterdamském přístavu a také v přístavu Baltimore, ve kterém synergicky pracují s předchozí uvedenou technologií. Na podobném principu je rovněž založen projekt „**Seabin V5**“⁵, rovněž již fungující v mnoha evropských i světových přístavech.

Zcela odlišným projektem a zatím jediným svého druhu je „**The Great Bubble Barrier**“⁶, vyvíjený stejnojmennou organizací. Ten sice využívá k zachytávání odpadu také bariéru, jako některé předchozí uvedené, ale tato bariéra je tvořena vzduchovými bublinkami.

Dalších projektů, které pouze publikovaly své přístupy a návrhy, je celá řada. Patří k nim například projekt společnosti „**YachtMarket**“⁷, který má v plánu výstavbu speciální jachty s názvem „**Ocean Saviour**“⁸. Podobným projektem se zdá být také návrh lodě „**Manta**“ organizace „**The Sea Cleaners**“⁹ nebo i projekt s podporou francouzské vlády „**Plastic Odyssey**“¹⁰.

Projekt organizace „**The Ocean Cleaner**“¹¹, jehož součástí jsou zařízení „**SargabARRIER**“, „**Sargaboat**“ a „**Sargatrailer**“, se poté týká také čištění oceánů, avšak ne primárně od plastového odpadu, nýbrž od nánosů řasy zvané hroznovice. Využívané technologie jsou však velmi podobné předchozím uvedeným, proto je jedna podkapitola na závěr věnována i tomuto již úspěšně fungujícímu projektu. Součástí představení každého projektu je i SWOT analýza, což je základní metoda strategické analýzy. Spočívá v rozboru a hodnocení současného stavu projektů v rámci vnitřního prostředí (silné a slabé stránky) a současné situace okolí, tedy

¹ Dostupné z <https://theoceancleanup.com/>

² Dostupné z <https://www.dezeen.com/2019/05/23/the-ocean-cleanup-failure-great-pacific-garbage-patch-plastic/>

³ Dostupné z <https://www.mrtrashwheel.com/>

⁴ Dostupné z <https://www.ranmarine.io/>

⁵ Dostupné z <https://seabinproject.com/>

⁶ Dostupné z <https://thegreatbubblebarrier.com/en/>

⁷ Dostupné z <https://www.theyachtmarket.com/en/>

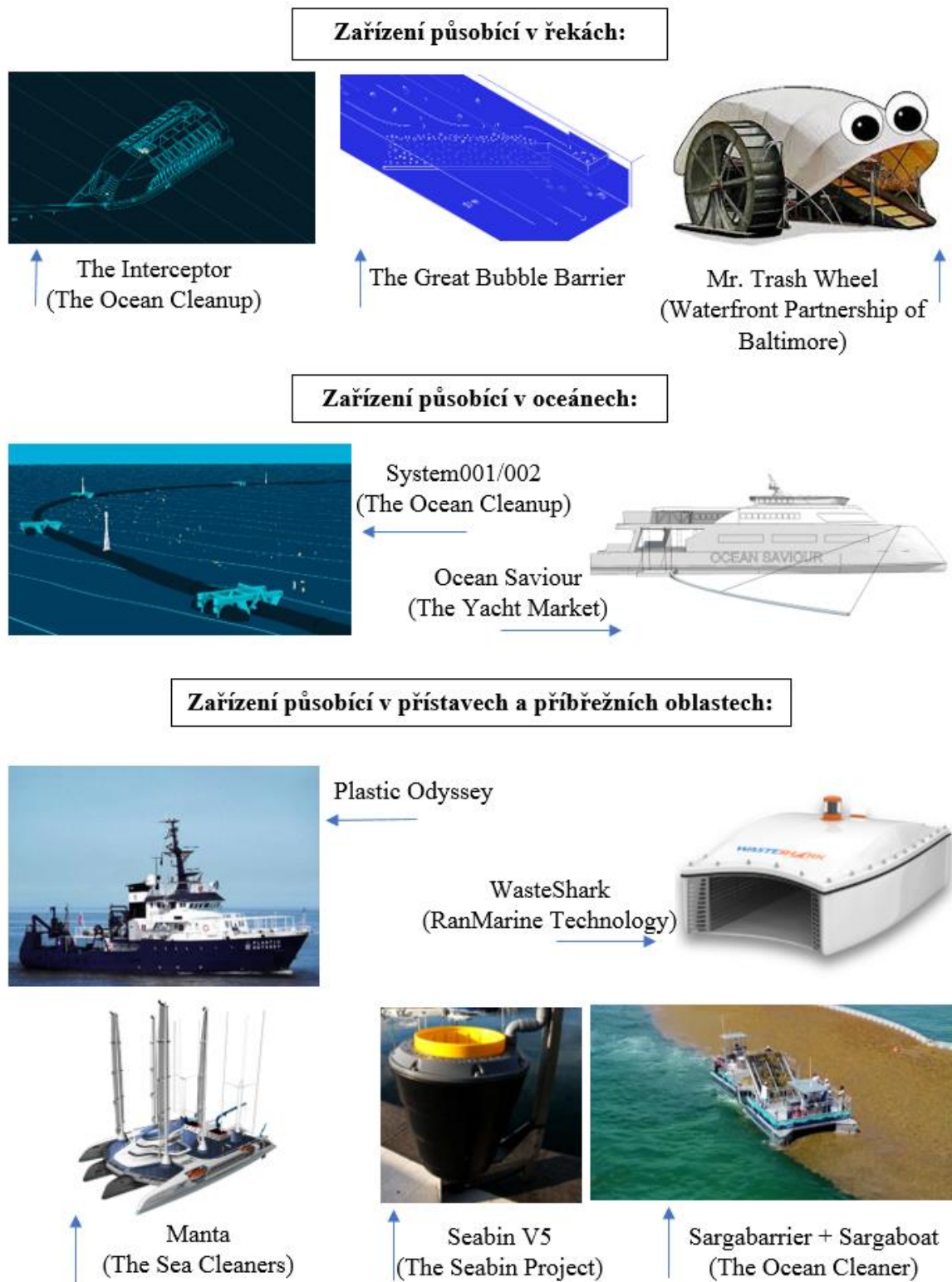
⁸ Dostupné z <https://www.oceansaviour.org/>

⁹ Dostupné z <https://www.theseacleaners.org/en/>

¹⁰ Dostupné z <https://plasticodyssey.org/>

¹¹ Dostupné z <https://www.theoceancleaner.com/>

vnějšího prostředí (příležitosti a hrozby). Pomocí této analýzy je provedeno stručné a jednoduché srovnání. Všechny dále představené projekty jsou dle lokality sběru odpadu uspořádány na obr. 10. V případě, že není v závorce pod názvem zařízení uveden i název organizace, je název organizace shodný s názvem zařízení.



Obr. 10 Dále představené projekty uspořádány dle lokality sběru odpadu (zdroje obrázků [51], [52], [53], [54], [55], [56], [57], [58], [59], zpracování vlastní)

4.1 System001/002

Organizace **The Ocean Cleanup** již od roku 2013 vyvíjí pasivní metodu čištění oceánů využívající pohybu oceánských proudů. Soustředí se zejména na eliminaci odpadu ve Velké tichomořské odpadkové skvrně. Vzhledem k rozsáhlé ploše této skvrny by její čištění konvenčními metodami, tedy pomocí sítí a plavidel, trvalo dlouhou řadu let, a navíc by bylo velice nákladné. Organizace uvádí, že pomocí své technologie je schopna odstranit 50 % odpadu v této skvrně v průběhu 5 let za zlomek nákladů. [60]

První verze tohoto zařízení byla označována názvem „**System001**“. Jednalo se o 600 metrů dlouhý systém trubek o průměru 1,2 m z HDPE s tři metry širokým límcem plující na hladině ohnutý do tvaru písmene U a tvořící tak plovoucí bariéru. Tento systém byl ukotven na zátěžích umístěných několik set metrů pod hladinou. Trubky na hladině se pohybovaly stejným směrem, avšak rychleji než plující odpad, který se zde díky U-tvaru trubek mohl koncentrovat. Takto shromážděný odpad putoval trubicemi do centrálního zásobníku, odkud byl jednou měsíčně odvážen lodí ke zpracování na pevninu. [61]

Celý tento systém využíval k pohybu a natáčení síly vzniklé vlivem větru, vln a proudů, tedy stejných faktorů, jaké působí i na odpad v oceánu. Základní ideou bylo napodobit chování přírody, tedy vytvořit „falešnou“ pobřežní linii, kde by se odpad zachytával. K provozu kamer, senzorů, satelitních antén a dalšího nezbytného vybavení bylo využíváno solárních kolektorů. Celý systém byl tedy zcela nezávislý na externích zdrojích energie. [62]

Cena tohoto zařízení činila 20 mil. € [62]. Po dlouhé fázi výzkumu, počítačových simulací a testování byl tento systém nejprve v září roku 2018 cvičně umístěn do Tichého oceánu, kde bylo po dobu dvou týdnů zkoumáno jeho skutečné chování před samotným umístěním do cílové oblasti. Důraz byl kladen zejména na pět následujících klíčových bodů [63]:

- instalace do tvaru písmene U
- dostatečná rychlost pohybu ve vodě
- schopnost reorientace při změně směru větru nebo vln
- rozpětí v ustáleném stavu
- žádné vážné poškození v průběhu testu

Prvního bodu bylo dosaženo bez problémů během dvou dnů. Taktéž čtvrtý bod, tedy rozpětí tvaru U bylo uspokojivé u všech pokusů, které byly uskutečňovány při různých podmínkách (různá orientace systému, různé proudění vody). Schopnost reorientace (třetí bod) byla úspěšně prověřována ve třech různých směrech: při 45°, 90° a 180°. Systém následoval změny směru větru a přeorientoval se ze všech tří poloh. Navíc byl potvrzen předpoklad, že se silnějším větrem je reorientace mnohem efektivnější. [63]

Aby zařízení fungovalo správně, musí se plovoucí bariéra pohybovat rychleji, než zachycovaný plastový odpad (druhý bod). Tento bod nemohl být v testovací fázi dostatečně ověřen, neboť koncentrace odpadů v cílové lokalitě je mnohem vyšší, než byla koncentrace při testování, což zásadně ovlivňuje také povrchové proudy. Při testování navíc nebyl zachycován odpad, ale bójky vybavené GPS technologií, aby bylo možno sledovat jejich přesný pohyb v systému. [63]

Posledním sledovaným bodem bylo poškození. Z celkového pohledu nedošlo během testování k žádnému významnějšímu poškození. I po testu bylo zařízení stále funkční, avšak na

límci plujícím pod hladinou byly nalezeny ještě před samotným zahájením testování trhliny, které byly způsobeny během přepravy. Oprava však nebyla kvůli špatné přístupnosti možná, proto proběhl test i s poškozeným límcem. Během zkušební doby pak již nedošlo k dalšímu rozšíření trhlin. [63]

Na základě úspěšného testování bylo tedy rozhodnuto umístit **System001** do oblasti VTOS. Sem zařízení úspěšně doplulo a bylo nainstalováno 16. října 2018. Během jeho čtyřměsíčního působení zde vyvstalo několik zásadních nedostatků, které znemožňovaly původní záměr projektu. Zároveň však byly úspěšně potvrzeny některé jiné domněnky vývojářů. Byla znovu potvrzena schopnost zařízení setrvat v konfiguraci ve tvaru U, úspěšná byla i reorientace se změnou směru větru a proudění. Taktéž byla potvrzena vysoká koncentrace odpadů ve VTOS v porovnání s jinými oblastmi oceánu. Biologové přítomní při provozu rovněž neshledali žádný negativní dopad na životní prostředí. [64]

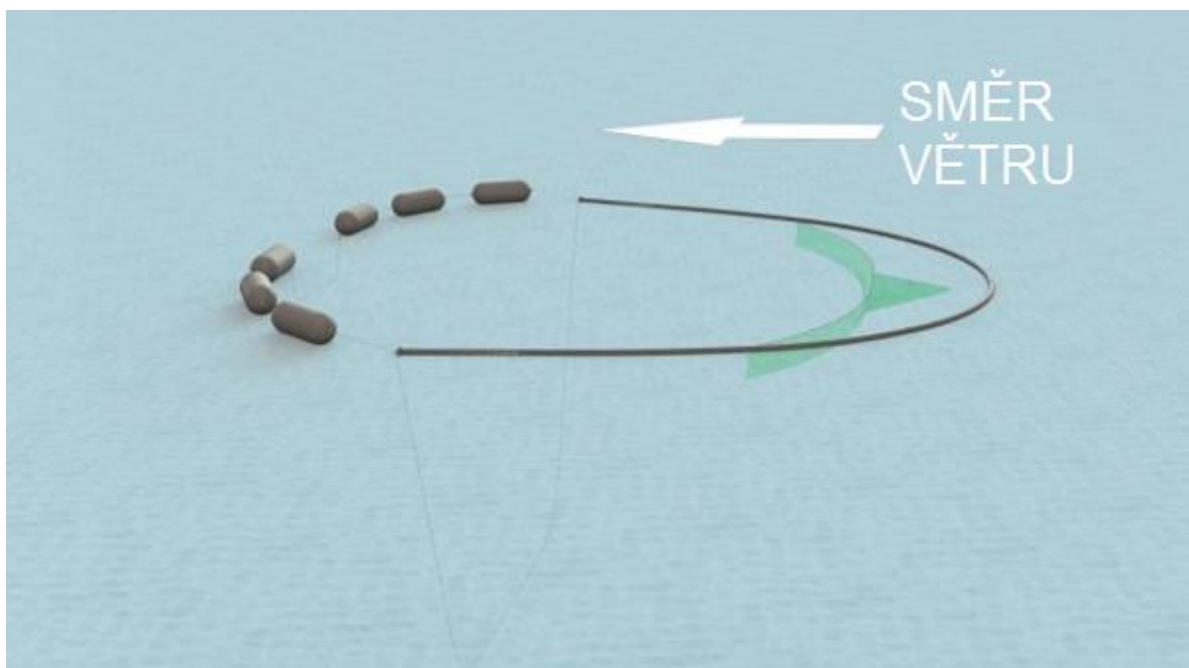
Co se týče nedostatků, jednalo se zejména o dva velké problémy [64]:

- systém nebyl schopen zadržet odpad, který shromáždil
- zařízení utrpělo strukturální poruchu, což způsobilo odpojení 18metrové části bariéry od zbytku systému

V důsledku těchto problémů bylo zařízení přemístěno zpět na pevninu, kde bylo podrobeno detailní analýze. Na základě této analýzy byly objasněny důvody vzniku výše zmíněných zásadních problémů. Co se týče úniku shromážděných plastů, sesbíraná data ukázala, že původní předpoklady o silách působících na bariéru i plující odpad byly silně podhodnoceny, a tudíž rovnováha sil v systému byla jiná, než se očekávalo. Z těchto důvodů se odpad pohyboval rychleji a zařízení pomaleji, než se původně předpokládalo, a tak docházelo k úniku. Z tohoto zjištění vyplynula nutnost zrychlit pohyb celého zařízení. Strukturální porucha poté vznikla v důsledku únavy materiálu způsobenou koncentrací napětí ve svarových bodech v rybinových spojích. [64]

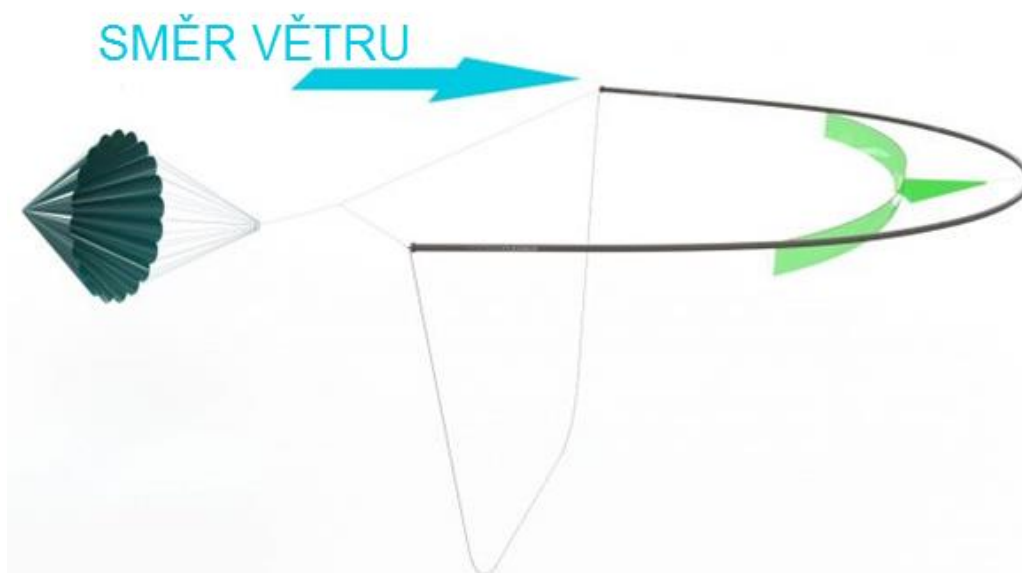
Na základě předchozích chyb a zjištění byl tedy představen modifikovaný koncept s názvem „**System001/B**“. Ten vyrazil na cestu do testovací oblasti 18. června 2019. Zásadními konstrukčními rozdíly, kterými se liší od původního zařízení **System001** a jejichž funkčnost byla při této příležitosti testována, byly zejména možné zrychlení systému pomocí bójek nebo zpomalení pomocí kotvy ve formě padáku, různé druhy límců pod hladinou, přidání tzv. „korokové linie“ a úprava zatížení působícího na HDPE potrubí. Celé zařízení bylo také oproti předchozí verzi menší (160 metrů délky) a modulární. [65]

Původní klíčový nedostatek zařízení **System001**, tedy neschopnost zadržovat zachycené plasty, byl odstraňován dvěma různými cestami. Tou první bylo přidání velkých nafukovacích bójek, které byly upevněny na konce trubice ve tvaru U. Touto úpravou byla zvětšena plocha, na níž působí síly větru, čímž bylo dosaženo vyšší rychlosti celého systému. [66] Schéma této varianty lze vidět na obr. 11.



Obr. 11: Zvýšení rychlosti zařízení **System001/B** přidáním nafukovacích bójek [66]

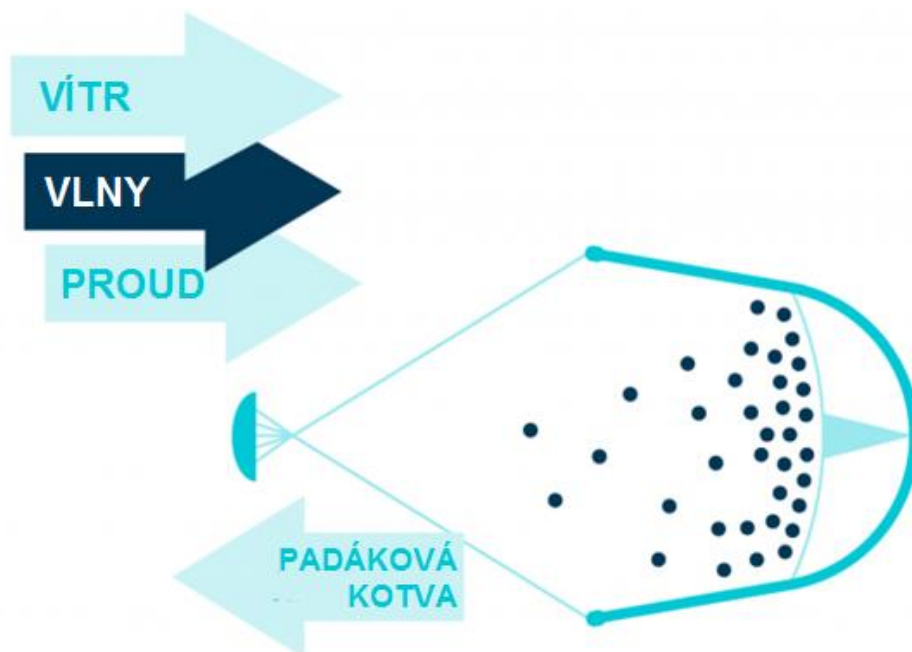
Druhým způsobem bylo naopak zpomalení celého systému přidáním velkého padáku o průměru 20 metrů, který se choval jako kotva a zároveň udržoval v důsledku hydrodynamického odporu pomalejší rychlost, než byla rychlost plujícího odpadu, který tak byl v systému zachycován. Natočení celého systému vůči směru pohybu tak bylo opačné než v případě první varianty. [66] Schéma tohoto řešení je zobrazeno na obr. 12.



Obr. 12: Snížení rychlosti zařízení **System001/B** přidáním padáku [66]

V obou těchto případech bylo přítomno také další vylepšení oproti verzi **System001** – přidání tzv. „korkové linie“ (na obrázcích výše označena zelenou barvou). Tato korková linie je tvořena plovoucími bójkami a nachází se před systémem trubek, čímž zabraňuje jejich nežádoucímu přetížení. Díky její přítomnosti byl pozorován pouze minimální únik odpadu, čímž bylo systému umožněno zachycovat plastový odpad ještě účinněji. [67]

Během testování bylo zjištěno, že zpomalení pomocí kotvy s padákem vykazuje nejstabilnější výsledky, co se týče zachycování a následného zadržování plastů [65]. Taktéž úprava působícího zatížení byla vhodnou prevencí před strukturálními poruchami [65]. Kromě velkých kusů plastového odpadu včetně opuštěného rybářského vybavení systém úspěšně zachytil i mikropasty až do velikosti 1 mm [67]. Schéma názorně vystihující princip zachytávání odpadu tímto systémem je možno vidět na obr. 13.



Obr. 13: Schéma zachycování odpadu zařízením *System001/B* [60]

Na základě těchto výsledků obou předchozích systémů se organizace **The Ocean Cleanup** rozhodla začít vyvíjet třetí vylepšený koncept s názvem „**System002**“. Vývoj by měl být zaměřen zejména na zvětšení velikosti celého zařízení, autonomní navigaci po VTOS, a nakonec odolnost vůči mořskému prostředí po dobu několika let působení i při silných bouřích. [65]

Oblastí VTOS neprochází žádná významná obchodní lodní trasa, přesto je však v plánu každé budoucí zařízení pro všechny případy vybavit lucernami, radarovými reflektory, navigačními signály, GPS a antikolizními majáky. [60]

Dle organizace je bezpečí a ochrana mořských živočichů a životního prostředí na nejvyšší příčce v žebříčku priorit. Již v průběhu prvního testování zařízení **System001** proto byla provedena rozsáhlá 116denní pozorování možného dopadu zařízení na okolní prostředí. Během této doby nebylo objeveno žádné narušování oceánského ekosystému ani zapletení či uvěznění mořských druhů do systému. Do budoucna má organizace v plánu dále provádět výzkumy v této oblasti. [60]

Co se týče využití shromážděného odpadu, po převozu na pevninu má organizace v plánu využívat odpad materiálově. Mimo jiné chce z tohoto materiálu vyrábět také reklamní produkty, které však budou udržitelné, atraktivní a zároveň 100% recyklovatelné. Konkrétní podobu těchto produktů a jejich cenu plánuje organizace představit v září roku 2020. Výtěžek z jejich prodeje však poputuje na další výzkum ohledně znečištění oceánů a také na jeho samotné odstraňování. [68]

Po rozmístění těchto systémů do každého velkého oceánského víru, kde dochází ke koncentraci odpadů, v kombinaci s redukováním odpadu do oceánu přicházejícím by měl být tento projekt schopen do roku 2040 odstranit 90 % plastů v oceánech. [60]

Odborníci přes znečištění oceánů jsou však často k tomuto projektu skeptičtí. Z anonymního průzkumu [69] prováděného portálem „Southern Fried Science¹²“ mezi 15 různými odborníky z akademické, průmyslové i vládní sféry dokonce vyplývá, že 60 % odborníků má o projektu velké pochybnosti a dalších 25 % označilo projekt za „špatný nápad“. Přitom často poukazují na finanční náročnost celého projektu, jehož výsledky jsou nejasné. Eben Schwartz z organizace „California Coastal Commission¹³“ tvrdí, že závazek organizace **The Ocean Cleanup** o vyčištění 90 % odpadů do roku 2040 „je zavádějící a v nejlepším případě bude vyčištěno jen velmi malé procento odpadu, který se nachází na hladině“. [69]

Další obavy se týkají ohrožení mořských živočichů. Všichni dotazovaní odborníci jsou přesvědčeni, že koncept nebude schopen shromažďovat odpad bez toho, aniž by ohrozil mořskou faunu, neboť pasivní zařízení není schopno rozpoznat, zda zachytává plastový odpad či mořského živočicha. Na to však reagovala Lonneke Holierhoek, hlavní provozní ředitelka projektu. Dle její odpovědi bude pokračovat výzkum interakce zařízení s mořskými živočichy (soustředěný na želvy a savce) pomocí kamer, akustických senzorů i prostého pozorování. Navíc poznamenala, že celé zařízení je jasně zbarveno, tudíž jej mohou živočichové snadno zahlédnout. Je také vyrobeno z materiálu, který minimalizuje bioursazování. Připouští však, že by zařízení mohlo ohrozit některé mořské druhy, pozitivní dopad by však měl převážit ten negativní. [69]

Navíc, tento systém se velmi podobá tzv. zařízení pro agregaci ryb, což je jeden z mnoha nástrojů používaných při rybolovu na volném moři, který slouží ke koncentraci pelagických druhů do malé oblasti. Živočichové, kteří vystupují v potravním řetězci jako kořist mají tendenci se pro svou ochranu seskupovat pod plovoucími strukturami, kam je poté dravci přirozeně následují. Plovoucí bariéra tedy nebude mít za následek pouze zamezení migrace, ale rovněž bude přitahovat právě pelagické druhy živočichů. To by mohlo mít v dlouhodobém měřítku za následek změnu migračních vzorců různých živočichů. Kromě toho, živočichové seskupení blízko tohoto zařízení budou vystaveni vyšší koncentraci plastových částic, která může narušit jejich krmné návyky a tím i zvýšit jejich úmrtnost. [70]

Odborníci poté dále kritizují nevěnování pozornosti částicím menším než 1 cm, které dle většiny jsou mnohem nebezpečnější, než částice o rozměrech větších než 1 cm. Odstranění větších kusů může některým druhům mořských živočichů pomoci, pro ryby a většinu ptáků jsou však malé částice mnohem nebezpečnější. [69]

Žádný z oslovených odborníků poté nepovažuje strategii zachycování odpadu v otevřeném oceánu za nejlepší řešení [69]. Za mnohem přínosnější považují samotnou prevenci před vstupem odpadu do oceánu, tedy zachytávání přímo u zdroje, tedy v přístavech, v příbřežních oblastech a u ústí řek [69]. Účinnější prevencí je také samotné omezení vzniku plastového jednorázového odpadu – tedy tašek, jednorázového plastového nádobí, brček, obalů a podobně [71].

Další obavou je poté životnost celého konceptu, která může být ohrožena jednak vlivem koroze, která se v oceánském prostředí projevuje velmi agresivně, nebo dále vlivem silných

¹² Dostupné z <https://www.southernfriedscience.com/>

¹³ Dostupné z <https://www.coastal.ca.gov/>

větrů, vln a hlavně bouří. V případě porušení konstrukce by se poté sama plovoucí bariéra určená k zachytávání odpadů stala nežádoucím odpadem. [71]

Podstatným problémem je rovněž využití již shromážděného plastu z oceánu. Organizace **The Ocean Cleanup** chce takto sesbíraný odpad využívat materiálově na pevnině. Otázkou zůstává, zda bude mezi zpracovateli o tento materiál zájem, neboť i čistá, vyčištěná, kvalitní a nedegradovaná druhotná surovina pocházející ze sběrů na pevnině často hledá těžko uplatnění. Platí tvrzení, že nabídka značně převyšuje poptávku. Plastová směs pocházející z oceánů je působením UV záření a solí značně znehodnocena, často je také kontaminována jinými nebezpečnými látkami. Navíc, většina sesbíraného odpadu je tvořena malými kousky, u kterých je velice těžko rozpoznatelné, o který druh plastu se jedná. Při rozlišení musí být použity spektrografické metody. [71]

Na konci roku 2019 byl z Velké tichomořské odpadkové skvrny převezen první zachycený odpad na pevninu do přístavu ve Vancouveru. Boyan Slat při této příležitosti uspořádal tiskovou konferenci, na které zároveň oznámil vývoj nové vylepšené verze **System002**, která již byla zmíněna výše. Celkem bylo za dobu působení zařízení **System001/B** od září do prosince roku 2019 shromážděno a sesbíráno 60 velkých pytlů, každý o objemu 1 m³, celkem se tedy jedná o 60 m³ odpadu¹⁴. SWOT analýza tohoto projektu je provedena v tab. 2. [68]

Tab. 2 SWOT analýza projektu **System001/002**

Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none"> ➤ dlouholetý a důkladný výzkum problematiky ➤ jedno z mála řešení zabývající se odpadkovými skvrnami ➤ nezávislost zařízení na externích zdrojích energie 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ dlouhá doba vývoje zařízení ➤ projekt neřeší mikroplasty ➤ vzhledem k době výzkumu prozatím pouze malé praktické výsledky ➤ rozporuplné názory vědců ohledně vlivu na životní prostředí
Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none"> ➤ velká pozornost v médiích ➤ spolupráce se zařízeními stejné organizace operujícím v řekách ➤ celosvětový růst zájmu o problematiku znečištění oceánů a řek 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ slabá poptávka po produktech vyrobených z plastového odpadu z oceánů ➤ problematika znečištění oceánů a řek je poměrně mladým odvětvím

¹⁴ Do tohoto množství nejsou započítány odpady, které byly sesbírány již dříve pro účely výzkumu složení odpadů ve skvrně.

4.2 The Interceptor

Současně se zařízením určeným pro zachytávání odpadů v oceánu vyvíjí také organizace **The Ocean Cleanup** od roku 2015 i systém určený pro čištění řek s názvem „**The Interceptor**“. Veřejnosti byl však tento projekt odtajněn až na podzim roku 2019. Dle slov Boyana Slata byl tento projekt držen v tajnosti zejména kvůli nežádoucímu vnějšímu tlaku veřejnosti a možným falešným očekáváním. [72]

Na začátku vývoje byly testovány v reálném prostředí řeky Zuidland v Nizozemí celkem tři různé varianty zachytávání odpadu v řekách. První spočívala v průtoku vody klecí, kde byl odpad zachycován. Druhá poté ve vyzdvihování odpadu s použitím nízkoenergetického systému. Poslední varianta využívala pásového dopravníku, který vynášel odpad z vody. Na základě tohoto testování bylo rozhodnuto dále vyvíjet koncept využívající právě poslední zmíněnou variantu. A tak vznikl první prototyp zařízení **The Interceptor**. [72]

Tento systém využívá pro veškerý pohon i napájení baterií pouze solární energii, energii proudu řeky. Je zcela autonomní. Skládá se z dlouhé bariéry umístěné od jednoho břehu řeky k samotnému zachytnému zařízení, které má podobu katamaránu o velikosti 8 x 24 x 5 metrů, ukotvenému k říčnímu dnu. Princip funkce spočívá v navedení odpadu plujícího po proudu řeky pomocí bariéry na pásový dopravník uvnitř zařízení. Po pásovém dopravníku se dále odpad pohybuje vzhůru ven z vody. Poté putuje do jednoho z šesti kontejnerů o velikosti 8,3 m³, které se nachází na oddělitelném říčním člunu a jejichž naplněnost je sledována senzory. Celková kapacita kontejnerů tedy činí 50 m³. Po naplnění kontejnerů pošle zařízení signál lokálnímu operátorovi, který se dostaví na místo sběru, odpluje s člunem, na kterém se nachází kontejnery, ke břehu a zde odpad přeloží do jiných kontejnerů, které poté putují do lokálních zařízení na zpracování odpadu. Prázdné kontejnery na říčním člunu se poté vrací zpět do provozu. Díky bateriím je systém schopný pracovat 24 hodin denně. [73]

Kapacita tohoto zařízení je na průměrně líně tekoucích řekách 50 t odpadu denně, při optimální účinnosti a rychlosti toku se tato hodnota může vyšplhat teoreticky až na 100 t denně [73]. Organizace má v plánu umístění těchto zařízení na 1 000 nejvíce znečištěných řek na světě do roku 2025 [73]. V současné době jsou tato zařízení používána na dvou místech. První je umístěno na řece Cengkareng v Jakartě v Indonésii, druhé poté na řece Klang v Malajsii, která patří mezi padesát nejvíce znečišťujících řek na světě [73]. V blízké době je plánováno rovněž umístění ve Vietnamu, Dominikánské republice, Thajsku i Los Angeles (USA) [74].

Co se týče možné kolize s říční dopravou, jsou zařízení **The Interceptor** vždy umístovány pouze po dohodě s příslušnými místními orgány a vládami s uvážením všech pravidel a regulací. Navíc, nezabírají celou šířku říčního koryta, tudíž umožňují průplav i ostatním plavidlům. [74]

Nabízí se i otázka možného vlivu na říční život a jeho ohrožení. Dle vyjádření organizace **The Ocean Cleanup** je každé umístění zařízení vyhodnocováno pomocí metody EIA (Environmental Impact Assessment, v překladu Posouzení dopadů na životní prostředí). Dle dosažených výsledků je ve všech lokalitách, kde se **The Interceptor** nachází jeho dopad na životní prostředí zanedbatelný. [74]

Za hlavní nedostatek tohoto konceptu je však považováno využití shromážděného odpadu. Ten je totiž předáván do lokálních sítí zpracovávající odpady. V zemích s nejznečištěnějšími řekami však většinou fungující systém odpadového hospodářství přítomný vůbec není.

V současné době organizace stále pracuje na výzkumu a vylepšení tohoto konceptu. Poslední verzi zařízení již však lze zakoupit, jeho cena činí 700 000 € (v přepočtu asi 17,5 mil. Kč) [75]. Tato částka by však měla dle slov výrobců s rostoucí výrobou postupně klesat. Zařízení **The Interceptor** je možno vidět na obr. 14. SWOT analýza projektu je provedena v tab. 3.



Obr. 14 Ukázka zařízení **The Interceptor** [51]

Tab. 3 SWOT analýza projektu **The Interceptor**

Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none"> ➤ dlouholetý a důkladný výzkum problematiky ➤ nezávislost zařízení na externích zdrojích energie ➤ řešení znečištění přímo u zdroje ➤ fungující, ověřená technologie 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ projekt neřeší mikroplasty ➤ pouze řešení sběru odpadu z řek, ne však jeho využití (velký nedostatek)
Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none"> ➤ spolupráce se zařízeními stejné organizace operujícím v odpadkových skvrnách 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ problematika znečištění oceánů i řek je poměrně mladým odvětvím

Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none"> ➤ první projekt svého druhu již fungující v problematických oblastech Asie ➤ celosvětový růst zájmu o problematiku znečištění oceánů a řek 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ nezájem místních zpracovatelů o shromážděný odpad ➤ nevyvinuté odpadové hospodářství v lokalitách sběru

4.3 Mr. Trash Wheel

Na podobném principu jako předchozí uvedené zařízení je založen i projekt „**Mr. Trash Wheel**“, který byl však uveden do provozu dříve, a to v květnu roku 2014. Na rozdíl od zařízení **The Interceptor** nepůsobí v řekách, ale v přístavu amerického města Baltimore v Marylandu, který se nachází poblíž ústí řeky Patapsco River. [76]

Pohyb plujícího odpadu je také usměrňován systémem bariér, které navádějí odpad až ke vstupu do zařízení. Bariéry jsou opatřeny 60 cm dlouhou „sukní“, která zamezuje podplutí odpadu nacházejícího se těsně pod hladinou. Odpad dále putuje na pásový dopravník, který je poháněn primárně energií proudu vody. K pohybu využívá dvě kola o průměru 4 metrů. V případě nedostatečného proudu je pak využíváno čerpadel, která jsou napájena pomocí solárních panelů, a která čerpají vodu na oběžná kola. Dopravník se pohybuje velice pomalu, avšak je schopen vyzvednout i objemný a těžký odpad, jako jsou kmeny stromů, matrace či pneumatiky. Z vrcholu dopravníku poté putuje odpad do kontejneru umístěného na samostatné lodi. Jakmile je kontejner naplněn, je obsluhou nahrazen za prázdný. Posbíraný odpad je dále částečně tříděn a využit materiálově, většina je však energeticky využita pro výrobu elektřiny. [77]

V případě, že by bylo zařízení použito ve vodách s vyšší koncentrací odpadu, bylo by schopno shromáždit až 23 tun odpadu denně [76]. Co se týče již vyloveného odpadu, nejčastěji se (co se týče počtu kusů) jedná o cigaretové nedopalky, jednorázové kelímky, lahve a plastové tašky [78].

V současné době se v provozu nachází celkem tři tato zařízení, zbylé dvě disponují názvem „**Professor Trash Wheel**“ a „**Captain Trash Wheel**“. Z hlediska funkce se tato tři zařízení nijak neliší, odlišný je pouze jejich vzhled. Tento projekt je totiž typický svým veselým designem, jak lze vidět na obr. 15. Za celou dobu svého provozu (tedy od května 2014 do února 2020) shromáždila zařízení 1 356 tun odpadu, který by jinak skončil v zálivu Chesapeake nebo eventuálně až v Atlantickém oceánu. [78]



Obr. 15 Ukázka zařízení **Mr. Trash Wheel** [79]

Odborníci se k tomuto zařízení staví velice pozitivně, často jej označují za první skutečně proveditelný vynález na redukci plastů v oceánu [76]. Do budoucna je v plánu umístit zařízení i v Los Angeles. Dle tvůrců tohoto konceptu je zařízení schopno pracovat téměř v jakýchkoliv prostředích, problémem by mohly být pouze zamrzlé vodní hladiny. Umístění do oceánu se však neplánuje, dle slov Johna Kelletta, jednoho z vývojářů, jsou odpady ve volném oceánu příliš rozptýleny, tudíž je nejefektivnějším řešením je zachytit ještě před tím, než se do něj dostanou. [80]

Cena tohoto zařízení je 700 000 \$ (v přepočtu asi 16 mil. Kč) [81]. Jeho provoz poté každý rok stojí cca 100 000 \$ (2,3 mil. Kč), čímž jsou myšleny zejména náklady na obsluhu a možné opravy [81]. SWOT analýza projektu je provedena v tab. 4.

Tab. 4 SWOT analýza projektu **Mr. Trash Wheel**

Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none"> ➤ řešení znečištění přímo u zdroje ➤ fungující, ověřená technologie se stabilními výsledky v mnoha lokalitách ➤ zabezpečené využití odpadů ➤ veselý vzhled zařízení přitahující pozornost 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ projekt neřeší mikroplasty ➤ vysoké náklady na provoz ➤ poměrně prostorově náročné řešení, což může být problémem zejména v menších přístavech

Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none"> ➤ celosvětový růst zájmu o problematiku znečištění oceánů a řek ➤ mediální obliba projektu ➤ spolupráce s vodním dronem WasteShark 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ problematika znečištění oceánů i řek je poměrně mladým odvětvím ➤ velká konkurence v oblasti zařízeních pracujících v přístavech

4.4 WasteShark

Dalším známým konceptem je dron vyvíjený nizozemskou společností **RanMarine Technology** s názvem **WasteShark**. Toto zařízení se řadí spíše k menším oproti předchozím uvedeným, jeho rozměry dosahují 1,6 x 0,46 x 1,1 metrů při váze 45 kg [53]. Principem funkce je zjednodušeně řečeno „vysávání“ odpadu z vody. Zařízení je pojmenováno po žraloku obrovském, neboť pracuje na stejném principu, jako tato paryba získává potravu [82]. Žralok obrovský totiž pohlcuje plankton a drobné korýše, aniž by se pohyboval, tedy kořist je jednoduše nasávána do jeho dlouhých plochých čelistí [82]. Dron **WasteShark** stejným způsobem nasává odpad do svých vnitřních prostor. Jedná se zejména o plasty, mikroplasty a jiný plující odpad [53]. Zařízení je schopno pracovat na jedno nabití až 10 hodin denně, za kterých dokáže posbírat až 200 litrů odpadu, což odpovídá asi 500 kg [53]. Shromážděný odpad je poté předáván lokálním zpracovatelům, kde je recyklován [53].

Zařízení zároveň také sleduje a ukládá informace o vlastnostech okolní vody, jako je hloubka vody, teplota, hodnota pH, množství amoniaku, chloridů a dusičnanů, údaje o salinitě a mnoho dalších. Může být řízeno jak manuálně pomocí dálkového ovládání (typ M), tak prostřednictvím předem naprogramované trasy pomocí mapy na iPadu (typ A). Výrobci uvádí, že je vhodné jej používat zejména v přístavech, na řekách a kanálech, kde je viditelné v souladu s námořními zákony. Také uvádí, že zařízení je neškodné rybám, které se dronu vyhýbají podobně jako plachetnicím a jiným lodím. [53] Tento dron je možno vidět na obr. 16.



Obr. 16 Dron **WasteShark** při sběru odpadů [53]

V současné době jsou tyto drony umístěny v rotterdamském přístavu a také v přístavu Baltimore, kde synergicky pracují se zařízením **Mr. Trash Wheel** (zmíněno dříve) [82]. Rovněž se nachází na březích Spojených arabských emirátů, konkrétně v Dubaji [83]. V březnu roku 2019 bylo také testováno na březích Velké Británie v Devonu, kde se plánuje jeho využití [84]. Společnost **RanMarine Technology** prozatím nemá v úmyslu používat tento dron na otevřených vodách, neboť věří, že odstraňováním odpadu v přístavech může zastavit znečišťování přímo u zdroje [82].

Cena tohoto zařízení se pohybuje v přepočtu okolo 392 000 Kč za ručně ovládaný model, za autonomní verzi uživatel zaplatí cca 530 000 Kč [83]. SWOT analýza tohoto projektu je provedena v tab. 5.

Tab. 5 SWOT analýza projektu **WasteShark**

Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none"> ➤ řešení znečištění přímo u zdroje ➤ kompaktní řešení, jednoduchá manipulace ➤ zařízení dokáže zaznamenávat informace o vlastnostech okolní vody 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ neřeší využití posbíraného odpadu ➤ nutnost nabíjení po 10 hodinách ➤ nenápadné zařízení, které lze v přístavu snadno přehlédnout při pohybu větších lodí
Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none"> ➤ celosvětový růst zájmu o problematiku znečištění oceánů a řek ➤ spolupráce s technologií Mr. Trash Wheel 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ problematika znečištění oceánů i řek je poměrně mladým odvětvím ➤ velká konkurence v oblasti zařízeních pracujících v přístavech

4.5 Seabin V5

Zcela odlišným konceptem je zařízení s názvem **Seabin V5** vyvíjené od roku 2015 organizací se stejným názvem „**The Seabin Project**“, jejíž zakladateli jsou Pete Ceglinski a Andrew Turton. Původní myšlenka vzniku tohoto projektu se odvíjela od úvahy, proč nepoužívat odpadkové koše, jak je známe z pevniny, i ve vodách. Postupem času se poté projekt vyvinul v komplexní výzkumnou, technologickou i vzdělávací iniciativu. [85]

Zařízení **Seabin V5** je určeno pro zachytávání plujících odpadů, makro i mikroplastů až do velikosti 2 mm, olejů, paliv, organického materiálu (listy, řasy) a detergentů. Ve své podstatě se jedná o skimmer z HDPE (podobný, jako je využíván např. u běžných zahradních bazénů), který čerpá znečištěnou vodu do speciálního vaku uvnitř zařízení, kde je odpad zachytáván. Kapacita tohoto vaku, vyrobeného ze 100 % recyklovatelného plastu, je 20 kg odpadu. Cirkulaci vody zajišťuje ponorné čerpadlo s kapacitou 25 000 l/h a výkonem 500 W, které je přímo napájeno ze sítě 110 V nebo 220 V. Voda zbavená nežádoucích odpadů a příměsí poté putuje zpět do svého původního prostředí. [54] Zařízení je možno vidět na obr. 17 a obr. 18.



Obr. 17 Ukázka zařízení Seabin V5 na souši [86]



Obr. 18 Zařízení Seabin V5 při zachytávání odpadu [87]

Toto zařízení je určeno pro umístění v přístavech, kotvištích, jachtařských klubech a podobných místech, kde na rozdíl od otevřeného oceánu nehrozí tak silné vlny a bouře, které by jej mohly poničit [85]. Pro správnou funkci nesmí maximální rychlost proudící vody přesáhnout 4 uzly (2 m/s) [88]. Taktéž je na těchto místech snadný přístup k potřebné elektrické energii. Výrobce doporučuje umístit do jednoho přístavu 2 až 6 zařízení, v závislosti na konkrétních podmínkách [88].

Jedno zařízení **Seabin V5** je schopno denně zachytit odhadem až 3,9 kg odpadu, což činí 1,4 tun za rok. Průměrně se však tato hodnota pohybuje spíše okolo 1,5 kg/den v závislosti na počasí a stupni znečištění vody, tedy okolo 0,5 t/rok. Výrobci doporučují kontrolovat zařízení dvakrát denně a vyprazdňovat jej dle potřeby. Nejméně jednou měsíčně je však zařízení potřeba vyprázdnit a vyčistit, aby byla zaručena jeho správná funkce. [54]

Shromážděný odpad je poté využit dle potřeb klienta zařízení provozujícího. Organizace však doporučuje materiálové využití, v krajním případě využití energetické. [88]

Váha prázdného zařízení je 55 kg, rozměry 500 x 500 x 1 800 mm [89]. Tyto rozměry jsou zároveň limitující pro velikost zachytávaného odpadu. Příliš objemné kusy odpadu, které přesahují rozměry zařízení totiž nelze tímto systémem zachytávat, což by se dalo označit za hlavní nevýhodu tohoto projektu [90]. Plastové záchytné vaky jsou na více použití, není tedy nutno při každém vyprazdňování používat nový vak [89]. Provozní náklady na jedno zařízení činí cca 3 \$ (přibližně 75 Kč) denně [88].

V současné době je po celém světě umístěno celkem 860 těchto zařízení [85]. Cena jednoho kusu je 3 300 € (přibližně 83 000 Kč) [90]. Nejvíce jich je umístěno zejména v Evropě, lze je však najít i na březích Asie, Austrálie, USA a v některých státech střední Ameriky. Průměrné množství odpadu zachyceného dohromady všemi zařízeními za den činí 3 612,8 kg [85]. K 20. únoru 2020 bylo pomocí těchto zařízení zachyceno přes 617 tun odpadu [85].

Zařízení je možno rovněž používat pro účely pořizování vzorků mikroplastů o velikosti 2 až 5 mm ve vodách. Ve výzkumu společnosti **The Seabin Project** byl porovnáván nejčastěji používaný vědecký postup pořizování vzorků (tedy pomocí vlečné sítě) a postup s využitím lehce modifikovaného zařízení **Seabin V5**. Po vyhodnocení obě metody vykazovaly téměř stejné vzorky mikroplastů. Navíc, monitorování a vzorkování se zařízením **Seabin V5** je levnější a časově účinnější než standardní metody, jelikož pracuje 24 hodin denně bez nutnosti obsluhy. [91]

V současné době pracuje organizace na vývoji záchytných vaků, které by byly schopny zachytávat i menší částice, než 2 mm [91]. SWOT analýza celého projektu je provedena v tab. 6.

Tab. 6 SWOT analýza projektu **Seabin V5**

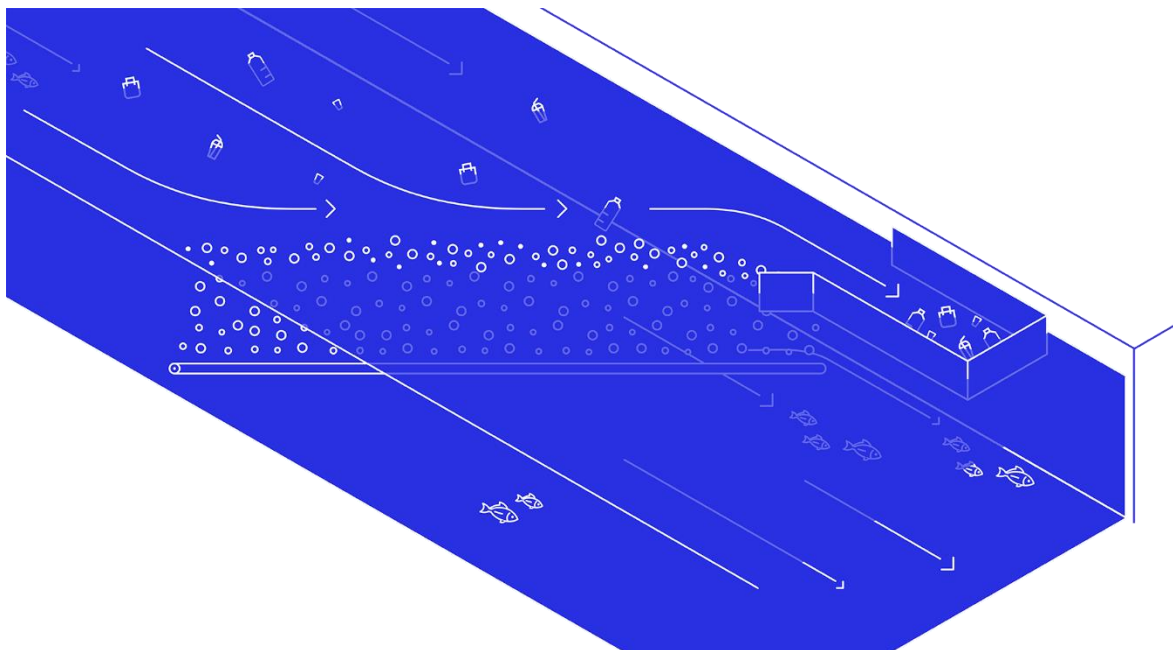
Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none"> ➤ řešení znečištění přímo u zdroje ➤ kompaktní řešení, jednoduchá manipulace ➤ zařízení je schopno zachycovat i mikroplasty 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ nutnost napájení el. energií ➤ nevhodné pro objemné kusy odpadu, které se do zařízení nevejdou ➤ využití možné pouze v přístavech, nelze aplikovat do řek či oceánů

Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none"> ➤ lze jej využít i pro pořizování reprezentativních vzorků odpadu ➤ úspěšně fungující projekt, mnoho zařízení umístěných po celém světě 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ neřeší využití posbíraného odpadu
Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none"> ➤ celosvětový růst zájmu o problematiku znečištění oceánů a řek ➤ v oblasti zachytávání mikroplastů nemá téměř žádnou konkurenci na trhu 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ problematika znečištění oceánů i řek je poměrně mladým odvětvím ➤ velká konkurence v oblasti zařízení pracujících v přístavech

4.6 The Great Bubble Barrier

The Great Bubble Barrier (dále jen „**TGBB**“) je projekt stejnojmenné nizozemské organizace sídlící v Amsterdamu. Jedním z cílů tohoto projektu je vývoj tzv. bublinové bariéry, která slouží k zachycování odpadu plujícího v řekách a kanálech, ale která je zároveň neškodná vodním živočichům i rostlinám a nijak neomezuje lodní provoz. Důraz je také kladen na zvyšování povědomí o problematice plastového znečištění a na jeho výzkum a monitorování. Tento projekt funguje od roku 2017. [55]

Hlavním prvkem zařízení **TGBB** je děrovaná trubka z PVC vyztužená ocelovými lany umístěná diagonálně po celé šířce na dně koryta řeky, kde je připevněna betonovými bloky [92]. Do této trubky je kompresorem přiváděn vzduch, který proudí směrem vzhůru zpět na hladinu [92]. Při proudění působí na odpad pohybující se pod hladinou řeky, který vynáší vzhůru [92]. Poté je díky diagonálnímu umístění systému využito přirozeného proudu vody v řece k vedení odpadu do zachytného systému nacházejícího se u břehu, kde je odpad shromažďován [92]. Dále pak odpad slouží pro výzkum [93]. Společnost však neustále hledá také vhodné kreativní použití těchto plastů tak, aby bylo zvýšeno povědomí o problematice znečištěných řek a oceánů [93]. Schéma znázorňující princip funkce tohoto zařízení lze vidět na obr. 19.



Obr. 19 Princip funkce **TGBB** [92]

Kromě zachycení odpadu disponuje toto zařízení i dalšími vedlejšími benefity jako např. díky proudění vzduchu dochází ke zvýšení okysličení vody, které má pozitivní vliv na ekosystém a zabraňuje růstu nežádoucích řas a sinic. Velkou výhodou je také univerzálnost tohoto zařízení z hlediska rozměrů, kdy může být snadno zkráceno či naopak rozšířeno a uzpůsobeno pro libovolné rozměry koryta. Z tohoto důvodu je vhodné jak pro použití do velkých řek, tak i do malých kanálů. [92]

Z výsledků výpočtů Výzkumného ústavu Deltares vyplývá, že zařízení **TGBB** je schopno zachytit přibližně 70-80 % odpadu plujícího na hladině a 50 % odpadu pod hladinou [93]. Minimální rozměr odpadu, jaký je zařízení schopno zachytit je 1 mm a vyšší [93]. Problematické poté mohou být odpady pomalu se pohybující po dně řeky, ty jsou tímto zařízením pouze těžko zachytitelné [93]. Kapacita zařízení činí 42 t odpadu ročně [94].

Co se týče efektu bublin na vodní živočichy, organizace tvrdí, že většina druhů jednoduše propluje skrz bubliny bez problémů. Nicméně i přesto je pro průplav vodních živočichů vyhrazen prostor pod zachytným systémem nebo pod samotnou trubicí. Ekologický dopad zařízení je poté vždy pečlivě zhodnocen. [93]

V listopadu roku 2017 prošlo zařízení prvním čtyřtýdenním testováním v plném rozsahu a v reálných podmínkách na nizozemské řece IJssel, které bylo úspěšné [95]. Bariéra dlouhá 200 m zachytila v průměru 86 % všech testovaných materiálů a částic [95]. Na základě tohoto úspěšného testování probíhala následující půlrok (leden až květen 2018) kampaň na financování instalace první stálé bariéry [96]. Díky těmto prostředkům, prostředkům získaným za vítězství v celosvětové soutěži Postcode Lotteries Green Challenge v srpnu 2018 i v dalších jiných soutěžích a mimo jiné i díky podpoře tohoto projektu EU [97] byla na podzim roku 2019 bariéra umístěna v Amsterdamu na jednom z kanálů [96]. Zde by měla setrvat a zachytávat odpad další dva roky [98].

V současné době probíhá výzkum vlivu bariéry na mikroplasty o velikosti 0,02 až 0,5 mm [96]. Tímto výzkumem chce organizace dále rozvíjet možnosti využití zařízení **TGBB**

a jeho dopad na životní prostředí [96]. V rámci zkoumání tak byla 16 m dlouhá bariéra instalována v čističce odpadních vod ve Wervershoofu. Výsledky by měly být známy v polovině roku 2020 [95]. Organizace rovněž plánuje rozšířit tento systém do Asijských zemí [96]. SWOT analýza projektu je uvedena v tab. 7.

Tab. 7 SWOT analýza projektu **TGBB**

Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none"> ➤ řešení znečištění přímo u zdroje ➤ rozměrově univerzální řešení ➤ velice jednoduchá konstrukce ➤ zařízení je schopno zachycovat i mikroplasty ➤ naprosto bezpečné zařízení z hlediska životního prostředí a ekologie 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ nutnost dodávky vzduchu kompresorem ➤ vhodné využití odpadu je teprve hledáno ➤ možné ucpávání otvorů trubky
Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none"> ➤ celosvětový růst zájmu o problematiku znečištění oceánů a řek ➤ unikátní technologie, která nemá na trhu obdoby ➤ podpora EU, úspěchy v mnoha soutěžích 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ problematika znečištění oceánů i řek je poměrně mladým odvětvím ➤ otázka exportu zařízení na zahraniční trhy mimo Nizozemí

4.7 Ocean Saviour

Ocean Saviour je projekt dvou zakladatelů portálu **YachtMarket**, kterými jsou Richard Roberts a Simon White [99]. Ti společně s mnoha světovými architekty a designéry jachet pracují na konceptu první energeticky soběstačné 70 m dlouhé třípalubové jachty určené pro lokalizaci, sběr a recyklaci odpadu z oceánů [100]. Veřejnosti byl tento koncept představen na podzim roku 2018 [101].

Shromažďování odpadu by mělo být vykonáváno prostřednictvím plovoucích bariér na bocích plavidla ukotvených ke trupu lodi. Takto zachycený odpad by dále měl být pásovým dopravníkem přepravován z hladiny na palubu, kde by byl po sledu základních technologických operací (drcení, mletí) plazmově zplyňován. Tímto způsobem by byl odpad kompletně odstraněn s minimální produkcí emisí. Vyprodukovaný plyn by byl později používán k pohonu plavidla, čímž by byla zaručena jeho energetická soběstačnost. [100]

Jako nejstabilnější a nejúspěšnější variantu typu lodi vybral projektový tým katamarán. Otevřená spodní paluba by sloužila jako hlavní pracovní oblast plavidla, kde by docházelo ke zpracování odpadu. V případě nepříznivého počasí by ji bylo možné zastřešit sklápěcími roletami. Prostřední paluba by se skládala ze dvou 12 m dlouhých kontejnerů, jejichž obsahem by

byly výzkumné laboratoře, případně ubytovací prostory pro posádku a rovněž skladovací prostory. Ve třetím podlaží by se měla nacházet řídicí místnost, hlavní prostory pro posádku a také přistávací plocha pro vrtulníky. Celkem by se na palubě mělo nacházet 18 kajut pro až 64 osob. Předpokládaný vzhled tohoto plavidla lze vidět na obr. 20. Důraz je dle vývojářů kladen zejména na správnou funkci a cenovou dostupnost, nikoli na vnější vzhled. [100]



Obr. 20 Předpokládaný vzhled konceptu Ocean Saviour [100]

Množství odpadu zpracovaného tímto zařízením za den by se mělo pohybovat okolo 5 tun. Tato hodnota však závisí na mnoha faktorech, jakými jsou zejména vzdálenost od přístavů, pracovní oblast plavidla, velikost instalovaných zachytných bariér a podobně. Za rok provozu by se tedy mohlo jednat až o dvě kilotuny odpadu. [99]

Vývojáři v současné době pracují na nalezení vhodného partnera v oblasti poskytování plazmové technologie [100]. Taktéž se soustředí na získání finančních prostředků od investorů pro realizaci [102]. Kdy by měl začít celý projekt fungovat i v praxi zatím není jasné, organizace žádné bližší informace neuvádí (údaj ke dni 29. 2. 2020). SWOT analýza tohoto konceptu je provedena v tab. 8.

Tab. 8 SWOT analýza projektu Ocean Saviour

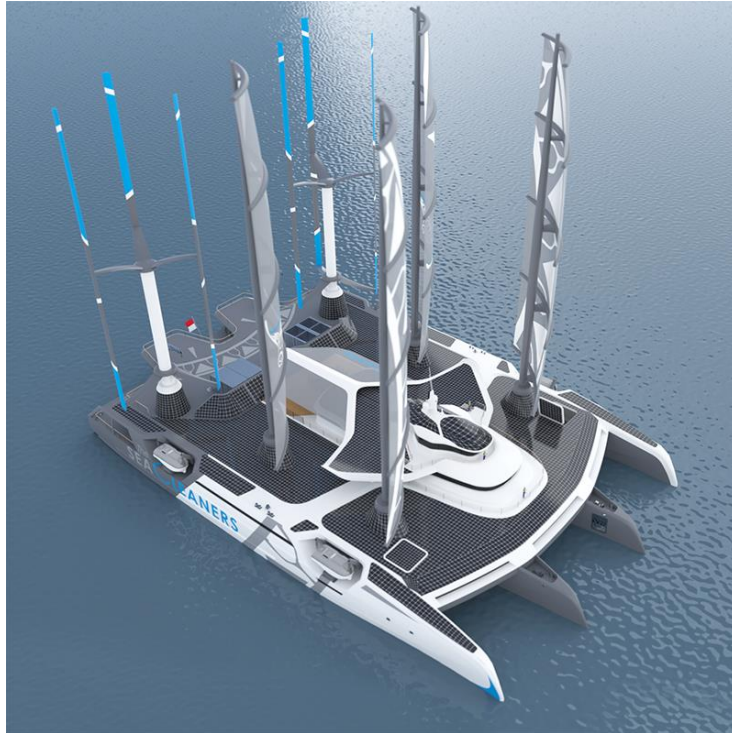
Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none"> ➤ energeticky soběstačné řešení ➤ jasné využití posbíraného odpadu pro výrobu paliva ➤ zpracování odpadu přímo na palubě lodi ➤ výzkum znečištění oceánů přímo na palubě lodi 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ prozatím neověřené řešení, není jasné, zda bude způsob sběru dostatečně účinný ➤ projekt neřeší mikroplasty

Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none"> ➤ celosvětový růst zájmu o problematiku znečištění oceánů a řek ➤ důraz vývojářů na cenovou dostupnost 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ problematika znečištění oceánů i řek je poměrně mladým odvětvím ➤ hledání vhodného investora, trh nabízí mnoho možností k investicím

4.8 Manta

Podobným projektem se zdá být také návrh lodě zvané **Manta** organizace **The Sea Cleaners**. Toto plavidlo by mělo být poháněno pouze pomocí větru opírajícího se do plochy plachet o velikosti 2 500 m², energie získané ze dvou větrných turbín o celkovém výkonu 500 kW, solární energie pocházející z 2 000 m² solárních panelů o výkonu 100 kW a energie získané ze spalování nasbíraného odpadu (500 kW). Využívalo by tedy pouze obnovitelné zdroje energie za účelem minimalizace uhlíkové stopy a zároveň maximalizace energetické soběstačnosti. Nevyužitá energie by byla ukládána do 100 tun baterií. [103]

Plovoucí odpad shromažďovaný přímo pod trupem lodi by odtud měl být dopravníky přemísťován na palubu, kde dojde k manuálnímu třídění. Příliš velké kusy plovoucího odpadu by byly vyzdvihnuty pomocí jeřábu. Tak by vznikly celkem 4 odpadní proudy – plastový odpad, kovy, neznečištěné organické materiály a potenciálně nebezpečný odpad. Neznečištěné organické odpady budou vráceny zpět do oceánu. Ostatní tři proudy by poté měly být slisovány do balíků o objemu 1 m³, které by po naplnění kapacity lodi, která činí 600 m³ (odpovídá 250 tunám odpadu), měly být přepraveny a dále zpracovány na souši. Odpad, který by nebylo možno využít materiálově, by byl po dalším zpracování využíván energeticky přímo na palubě. Konkrétně by se jednalo o proces pyrolýzy, zplyňování nebo katalytické depolymerace. Součástí tohoto plavidla by měla být i vědecká laboratoř, kde by tým 12 vědců zkoumal složení a množství odpadů získané během sběru a také jejich geologickou polohu a dopad na ekosystémy i lidské zdraví. [103] Plánovanou podobu lodi **Manta** lze vidět na obr. 21.



*Obr. 21 Ukázka plánovaného vzhledu plavidla **Manta** [103]*

Klíčovými parametry návrhu, na které klade organizace zvlášť velký důraz, jsou [104]:

- optimální velikost lodi tak, aby disponovala velkou skladovací kapacitou, ale zároveň nebyla příliš těžká
- použití pouze ověřených technických zařízení a systémů určených pro mořské prostředí (kvůli ochraně před korozi)
- maximální možná automatizace, s čím je spojená redukce počtu členů posádky a operátorů
- integrace všech systémů a procesů a jejich koordinovaný provoz

Dle organizace by se na palubě mělo nacházet maximálně 40 osob, z nichž 12 až 15 by zajišťovalo navigaci a řízení lodi, 13 až 16 osob by zastávalo funkci operátorů při sběru a zpracování odpadu. Zbýlých 12 míst by bylo vyhrazeno pro vědce a ostatní návštěvníky lodi. Jedna plavba by trvala přibližně 30 až 60 dní v závislosti na hustotě znečištění dané oblasti a dostupnosti obnovitelných zdrojů energie (vítr a sluneční záření). Za rok by tak loď byla schopna zpracovat 10 000 tun odpadů. [104]

Prioritními oblastmi sběru jsou místa blízko pobřeží, zálivy, ústí nejvíce znečištěných řek a také oblasti znečištěné přírodními katastrofami [105]. Obecně by se daly tyto oblasti označit za místa s vysokou koncentrací odpadu. Oblasti budou vybírány na základě satelitních snímků a také dat shromážděných ostatními organizacemi zabývajícími se touto problematikou [105]. Co se týče vlivu na mořské živočichy, loď bude vybavena ultrazvukovým systémem, který bude ryby a jiné mořské živočichy udržovat v dostatečné vzdálenosti [104].

Podobně jako většina ostatních projektů, i tento počítá pouze s odstraňováním makroplastů plujících na hladině, tudíž mikroplasty nejsou u tohoto řešení brány v potaz. Organizace

argumentuje tím, že včasným zachycením větších kusů plujícího odpadu lze předejít jeho rozpadnutí na malé částičky a jejich následné potopení. [103]

První základní návrhové studie tohoto projektu byly provedeny v roce 2019 [106]. Ve stejném roce byly finalizovány technické požadavky a vybrány konkrétní technologie a dodavatelé. V letošním roce by měla organizace pokračovat s prací na detailních návrhových studiích a na konstrukčních plánech [106]. Dokončení celého projektu a první výprava lodi je naplánována na rok 2023 [106]. Organizace doufá, že výsledky tohoto konceptu přesvědčí další organizace nebo vlády k nákupu vlastních lodí **Manta** [104]. Jejich cílem je dosáhnout flotily 50 plavidel do roku 2050 [104]. K odstranění současného množství odpadů v oceánech by však byly potřeba stovky celoročně pracujících plavidel [104].

Organizace se kromě vývoje tohoto plavidla podílí i na šíření všeobecného povědomí o problematice znečištění oceánů a provádí výzkumy k tomuto tématu [106]. SWOT analýza projektu je provedena v tab. 9.

Tab. 9 SWOT analýza projektu *Manta*

Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none"> ➤ energeticky soběstačné řešení ➤ výzkum znečištění oceánů přímo na palubě lodi ➤ zpracování odpadu přímo na palubě lodi ➤ maximální automatizace všech procesů a z toho vyplývající redukce členů posádky ➤ ultrazvukový systém pro udržování živočichů v bezpečné vzdálenosti od plavidla 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ prozatím neověřené řešení, není jasné, zda bude způsob sběru dostatečně účinný ➤ projekt neřeší mikroplasty ➤ závislost na vhodném počasí, aby bylo možné využít neobnovitelné zdroje energie
Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none"> ➤ celosvětový růst zájmu o problematiku znečištění oceánů a řek ➤ v oblasti získávání energie využití moderních dostupných technologií ➤ specifický design lodi 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ problematika znečištění oceánů i řek je poměrně mladým odvětvím ➤ hledání vhodného investora, trh nabízí mnoho možností k investicím ➤ nezájem trhu o druhotnou plastovou surovinu

4.9 Plastic Odyssey

Expedice a zároveň také stejnojmenné plavidlo **Plastic Odyssey** je francouzský projekt podpořený i francouzskou vládou. Cílem tříleté expedice je s tímto plavidlem navštívit přes 30 různých přístavů po celém světě (převážně však v Asii, Africe a Jižní Americe), kde budou zkoumány lokální zvyky a potřeby spojené s používáním plastových obalů a výrobků a jejich následným zpracováním. Dalším cílem je zahájení výstavby malých místních jednotek na zpracování odpadu. Třetím, vedlejším cílem je také získání investorů a podnikatelů pro další financování. [107]

Na zadní části lodi se budou testovat různé technologie zpracování odpadu, které budou zároveň sloužit jako ukázka pro jejich možné využití na pevnině [100]. Odpad tak bude využit jednak materiálově a také zpracován procesem pyrolýzy [100]. Tento projekt ovšem nemá za cíl aktivně zneškodňovat plasty plující v oceánech, nýbrž chce odpad zpracovávat ještě, než stihne zasáhnout životní prostředí. Přední část bude poté věnována jako inspirace pro design hotelových pokojů, moderních kuchyní, restaurací apod [100]. Také budou představeny ekologické alternativy pro jednorázové obaly v konkrétních oblastech [100]. Všechna tato řešení budou poté inspirovat podniky, které chtějí snížit svůj dopad na životní prostředí [100]. Rovněž budou pořádány vzdělávací akce cílené na zvyšování povědomí o problematice znečištění oceánů pro širokou veřejnost [107].

Během expedice by odpad vyprodukovaný na pevnině a uložený na otevřených skládkách měl být nejprve manuálně tříděn. Ze směsi by tak byly odděleny neplastové složky (kovy, sklo apod.) a následně by došlo k rozdělení do 7 základních kategorií plastu. Odpad z PET a PVC organizace nemá v plánu dále zpracovávat, proto by byl stlačen do balíků a prodán specializovaným zpracovatelům. Ostatní složky by prošly kontrolou kvality, kde by byly odděleny degradované kusy odpadů. Takto připravený proud by dále putoval procesem drcení, promývání, odstředování a sušení. Závěrečnou operací by bylo extrudování do tvaru cihel, tyčí, trubek a dalších. Odpad, který by nebyl dostatečně kvalitní by pak byl zpracován pyrolýzou. Získaný produkt by sloužil jako palivo pro pohon lodě i zařízení na palubě. [108]

Technologie představené na palubě této lodi budou založeny na již existujících, fungujících a osvědčených technologiích, které však budou přizpůsobeny tak, aby byly mobilní, cenově dostupné a rovněž snadno vyrobitelné a opravitelné. [108]

V roce 2018 začaly probíhat první výzkumy ohledně tohoto konceptu. Na podzim roku 2019 již představila organizace 40 m dlouhou výzkumnou loď vyrobenou v roce 1975, která již dříve sloužila jako výzkumné plavidlo oceánografů, přesto však bude ještě upravena pro účely této expedice. Kompletní přestavba a instalace všech technologií a zařízení lodi by měla trvat do června 2020. Výsledný předpokládaný vzhled lodi je zobrazen na obr. 22. Celá expedice by poté měla odstartovat v říjnu téhož roku ve Středomoří. Následovat by měly v roce 2021 zastávky v Africe a Jižní Americe, dále by měla pokračovat v roce 2022 v asijských přístavech a Pacifiku, a nakonec v roce 2023 ukončit svoji cestu opět v Africe. [109] SWOT analýza tohoto konceptu je provedena v tab. 10.



Obr. 22 Předpokládaný vzhled lodi **Plastic Odyssey** [110]

Tab. 10 SWOT analýza projektu **Plastic Odyssey**

Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none"> ➤ multifunkčnost ➤ zpracování odpadu přímo na palubě lodi ➤ důraz na cenovou dostupnost technologií, snadnou vyrobiteľnost a opravitelnost 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ neřeší odpad již vyskytující se v oceánech, ale odpad v přístavech a pobřežních oblastech pevniny ➤ projekt je ve fázi výstavby, zatím neověřené výsledky ➤ projekt neřeší mikroplasty
Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none"> ➤ celosvětový růst zájmu o problematiku znečištění oceánů a řek ➤ podpora francouzské vlády ➤ inspirace hotelů a restaurací 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ problematika znečištění oceánů i řek je poměrně mladým odvětvím ➤ hledání vhodného investora, trh nabízí mnoho možností k investicím ➤ nezájem trhu o výrobky z druhotné plastové suroviny

4.10 SargabARRIER, SAGRABOAT a SARGATRILER

Poměrně zajímavým projektem je projekt organizace **The Ocean Cleaner**. Zaměřuje se také na znečištění oceánů, ale ne primárně na znečištění plastovým odpadem, nýbrž na znečištění invazivním druhem chaluhy hroznovice (latinsky *Sargassum*). Tyto hnědé řasy sice poskytují útočiště některým mořským živočichům, ale zároveň přináší také spoustu problémů. Například

ohrožují život korálových útesů, neboť blokují průchod slunečních paprsků. Také jsou nebezpečné pro želvy, delfíny a další mořské savce, neboť jim brání k přístupu na hladinu. Rovněž jsou škodlivé pro lidstvo. Tyto řasy totiž často omývají pláže turistických oblastí, kde vytváří páchnoucí povlaky, čímž ohrožují turistický ruch v těchto oblastech. Uvolňující se sírové sloučeniny navíc napomáhají degradaci kovových objektů na pobřeží. Silná vrstva rovněž znemožňuje rybolov. [59]

Projekt spočívá ve shromáždění této řasy pomocí plovoucích bariér **SargabARRIER** již na moři. Tyto bariéry kromě hroznovice shromažďují i další biologický a plastový plovoucí odpad. Jsou tvořeny jemným pletivem, který nepředstavuje žádné riziko pro mořské živočichy a zároveň dobře odolává silným vlnám, neboť se chová jako síto. Ukotveny mohou být k libovolným povrchům a typům mořského dna. Během sezony hurikánů či v případě údržby lze bariéru snadno rozebrat. Je odolná vůči UV záření. [59]

Po shromáždění je směs sklizena speciálním plavidlem **Sargaboat**, což je snadno ovladatelný dvoumetrový katamarán, který je lehký a odolný. Jeho součástí je pásový dopravník, po kterém jsou řasy s odpadem přepravovány z hladiny na palubu plavidla **Sargatrailer**, autonomního přívěsu vybaveného motorem. Následně jsou řasy převezeny na pevninu a recyklovány. Celý systém je schopen zachytit a zpracovat více než 550 t za 8 hodin denně. Z recyklátu mohou být vyráběny hnojiva, velmi bohaté komposty, bioplyn, kosmetika, přísady do jídla, potravinové doplňky a podobně. [59]

Tento projekt již úspěšně funguje na březích Mexika a Dominikánské republiky. Ukázkou celého systému při nakládání shromážděné řasy lze vidět na obr. 23. SWOT analýza je provedena v tab. 11.



Obr. 23 Ukázka celého systému SargabARRIER, Sargaboat a Sargatrailer [59]

Tab. 11 SWOT analýza projektu *SargabARRIER* + příslušenství

Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none"> ➤ odolné zařízení vůči vlnám i UV záření ➤ jednoduchá konstrukce ➤ již funkční, ověřené zařízení v několika různých státech 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ projekt řeší primárně biomasu, není přímo zaměřen na plastový odpad ➤ využití biomasy není součástí dodávaného řešení ➤ omezené možnosti umístění kvůli lodní dopravě
Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none"> ➤ celosvětový růst zájmu o problematiku znečištění oceánů a řek ➤ rozvoj cestovního ruchu ➤ slabá konkurence na trhu 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ problematika znečištění oceánů i řek je poměrně mladým odvětvím ➤ omezená oblast působení (pouze oblast Karibiku, Mexika)

4.11 Porovnání jednotlivých zařízení a konceptů

Ačkoliv vykazují jednotlivé zařízení a koncepty popsané v podkapitolách výše některé společné znaky, žádné z nich se nedají označit za přímo totožné. Pro účely porovnání byl vytvořen v tab. 12 stručný přehled, kde jsou uvedeny základní informace o jednotlivých zařízeních a konceptech.

Do této tabulky však nejsou zahrnuty poslední dva zmíněné projekty, tedy expedice **Plastic Odyssey** a projekt organizace **The Ocean Cleaner**. V případě **Plastic Odyssey** nepochází využívaný odpad z řek, přístavů či oceánů, ale z otevřených skládek na pobřeží. Tento přístup je bezpochyby prospěšný z hlediska prevence před dalším znečišťováním oceánů a jiných vod, avšak z hlediska této diplomové práce neřeší podstatnou část problematiky týkající se vhodného způsobu shromažďování a sběru odpadu již rozptýleného ve vodách. Projekt organizace **The Ocean Cleaner** sice shromažďování i sběr řeší, primárně se však soustředí na nánosy řasy hroznovice, nikoli plastového odpadu.

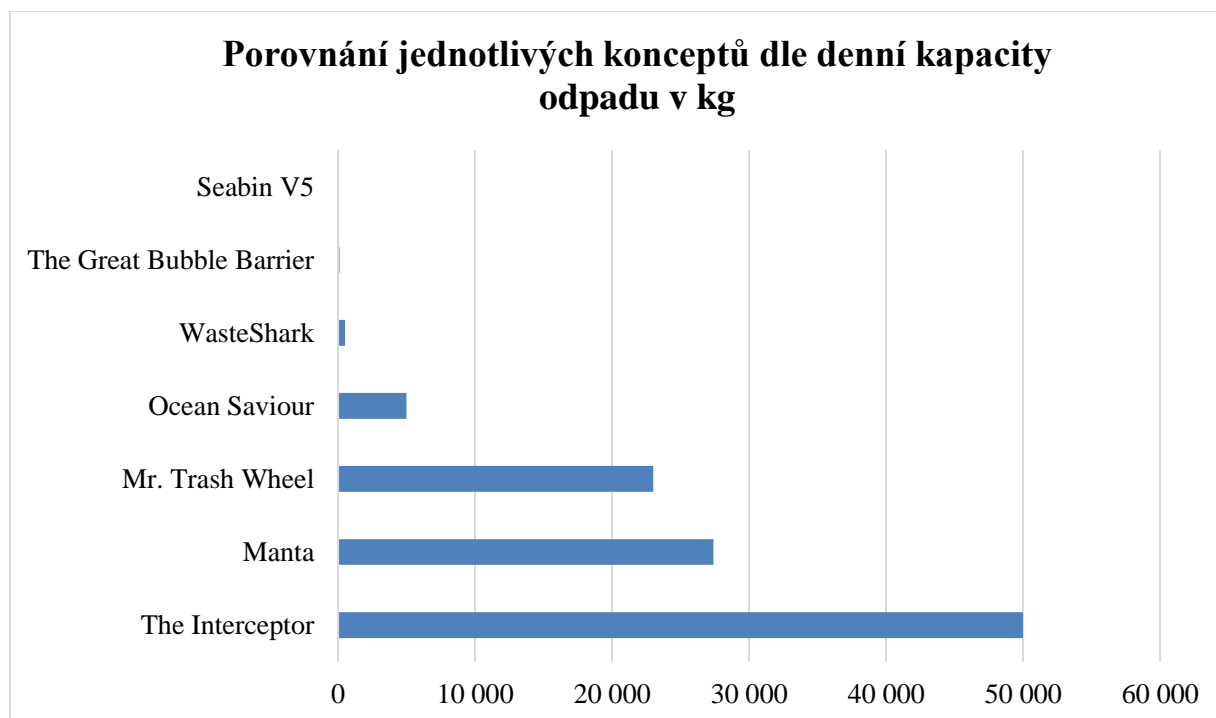
Tab. 12 Porovnání jednotlivých zařízení a konceptů určených pro čištění oceánů

	System 001/002	The Interceptor	Mr. Trash Wheel	WasteShark	Seabin V5	The Great Bubble Barrier	Ocean Saviour	Manta
Rok vzniku konceptu	2013	2015	2014	2016	2015	2017	2018	2019
Vývojová organizace	The Ocean Cleanup	The Ocean Cleanup	Waterfront Partnership of Baltimore	RanMarine Technology	The Seabin Project	The Great Bubble Barrier	TheYacht Market.com	The Sea Cleaners
Oblast působení	oceán	řeky	přístavy	přístavy	přístavy	řeky a kanály	oceány	příbřežní oblasti, ústí řek a zálivy
Lokalita výskytu	VTOS	Indonésie, Malajsie	USA	Nizozemí, USA, SAE, Velká Británie	po celém světě	Nizozemí	-	-
Princip zachytávání a sběru	plovoucí bariéra	dopravníkový pás	dopravníkový pás	vodní dron	skimmer	bublinová bariéra	plovoucí bariéry a dopravníkový pás	dopravníkový pás
Kapacita	neuveďeno	50 t/den	23 t/den	500 kg/den	3,9 kg/den	115 kg/den	5 t/den	27,4 t/den
Využití odpadu	materiálové využití	navrácení lokálním zpracovatelům	energetické využití	navrácení lokálním zpracovatelům	dle přání zákazníka	výzkum	zplyňování – palivo	materiálové a energetické využití
Stav vývoje zařízení	již fungující, další verze ve vývoji	již fungující	již fungující	již fungující	již fungující	již fungující	ve vývoji	ve vývoji
Cena (Kč)	500 mil.	17,5 mil.	16 mil.	392–530 tis.	83 tis.	neuveďeno	neuveďeno	neuveďeno

Z tab. 12 jasně vyplývá, že většina porovnávaných projektů (75 %) se soustředí na sběr odpadů v místech jejich vyšší koncentrace, tedy v řekách, kanálech, přístavech a oblastech při pobřeží. Jejich cílem je tak odpad zachytit přímo u zdroje, dříve, než se stihne rozptýlit do otevřeného oceánu. Pouze dva projekty, **Ocean Saviour** a **System001/002**, si kladou za cíl sběr odpadu na otevřeném oceánu, z toho první zmíněný je zatím pouze ve fázi vývoje, v případě druhého se v současné době vyvíjí nová, vylepšená verze.

Co se týče hlavních principů zachytávání a sběru odpadů, v polovině sledovaných projektů je využíváno dopravníkového pásu, který odpad vynáší ven z vody. Kromě dopravníků je mnohdy využíváno i různých typů bariér, ať už se jedná o plovoucí bariéry z plastu jako v případě zařízení **System001/002** a **Ocean Saviour** nebo poněkud netypické bariéry ze vzduchových bublin jako v případě zařízení **TGBB**. Dopravníky, bariéry a případně jejich vzájemná kombinace tedy tvoří nejčastější variantu shromažďování a sběru.

Z hlediska kapacity sesbíraného odpadu za den jsou posuzovaná zařízení velice různorodá. Největší kapacitou disponuje s 50 tunami denně zařízení **The Interceptor** následované konceptem **Manta**, jehož kapacita je téměř poloviční. U tohoto konceptu se však jedná pouze o předpokládaný údaj, který se později při reálném provozu může značně lišit. Srovnatelnou kapacitu jako koncept **Manta** má i zařízení **Mr. Trash Wheel**. Za střední zařízení z hlediska kapacity lze považovat s 5 tunami odpadu denně koncept **Ocean Saviour**. Ostatní zkoumaná zařízení se s kapacitou v jednotkách až stovkách kg za den řadí spíše k menším. U zařízení **System001/002** nebylo možno tento údaj dohledat. Přehledné porovnání dle denní kapacity posbíraného odpadu je znázorněno na obr. 24.



Obr. 24 Porovnání jednotlivých konceptů dle denní kapacity odpadu v kg¹⁵

¹⁵ Denní kapacita konceptu Seabin V5 činí 3,9 kg pro jedno zařízení, TGBB dosahuje denní kapacity 115 kg a WasteShark 500 kg denně.

S kapacitou je úzce spojena i cena zařízení. Není tedy překvapujícím faktem, že zařízení **Seabin V5** s nejmenší kapacitou je zároveň zařízením nejlevnějším. Naopak nejdražším zařízením je **System001/002**. U zatím vyvíjejících se konceptů a rovněž u zařízení **TGBB** výrobce cenu neuvádí.

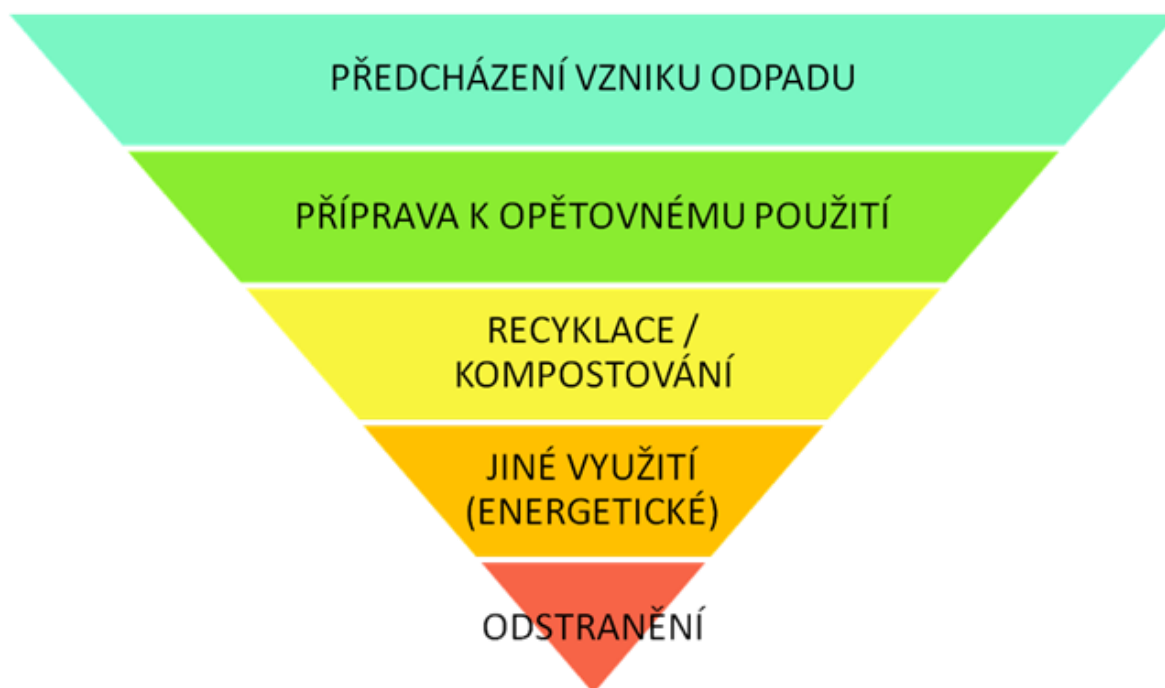
Velice různorodým kritériem je následné využití získaného odpadu. Čtvrtina projektů se problematikou využití odpadu nezabývá a navrácí jej lokálním zpracovatelům, což může být zejména v oblastech se slabým nebo žádným odpadovým hospodářstvím diskutabilním krokem. Zbylé projekty využívají odpad materiálově či energeticky. V případě **TGBB** je odpad prozatím využíván pro výzkum.

Při pohledu na roky vzniku všech projektů lze konstatovat, že je v posledním desetiletí problematika znečištění oceánu a její možné řešení velmi aktuálním tématem. Lze také předpokládat, že v následujících letech bude tento trend pokračovat a budou představeny další koncepty.

5 TECHNOLOGICKÝ NÁVRH SYSTÉMU

Jedním z vytyčených cílů této práce je navrhnout vlastní alternativní systém sběru odpadu z oceánu, včetně jeho následného zpracování a využití. Vzhledem ke složení oceánského odpadu se tento návrh zaměřuje na zpracování plastů, které tvoří jeho většinu (konkrétní odhady se dle různých studií liší, viz výše v kapitole 3). První část této kapitoly je věnována představení jednotlivých možností sběru a následné úpravy plastového (i jiného) odpadu, jako je drcení, třídění, praní či sušení. Dále jsou krátce představeny jednotlivé možnosti jeho využití či odstranění, kterých existuje široká škála, ne všechny jsou však pro odpad pocházející z oceánu použitelné. Druhá část kapitoly se poté věnuje konkrétním vybraným technologiím vlastního návrhu, včetně krátké rešerše dostupných lodí vhodných pro dané účely.

V této souvislosti je vhodné uvést, že v rámci odpadového hospodářství (ať už se jedná o jakýkoliv druh odpadu) je dle směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 98/2008 o odpadech zavedena hierarchie nakládání s odpady, viz obr. 25.

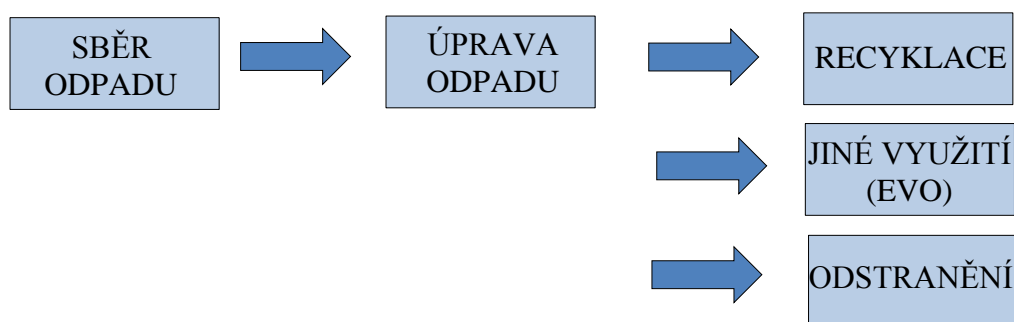


Obr. 25 Hierarchie nakládání s odpady [111]

Tato hierarchie určuje prioritu jednotlivých postupů při nakládání s odpady. Každá z uvedených metod má však v hierarchii své důležité místo a smysl. Pro různé druhy odpadů jsou vhodné různé metody nakládání, jednotlivé metody tedy nelze „nadřazovat“ těm ostatním. Maximální důraz je kladen na předcházení vzniku odpadů. To v praxi spočívá, z pohledu výrobců, ve vhodném návrhu daného produktu s ohledem na hospodárnost procesu, minimalizaci vzniku odpadu a maximalizaci využití primární suroviny. Pokud již odpad vznikne, je následujícím krokem příprava k opětovnému využití, tedy například vhodná úprava výrobního procesu tak, aby bylo možné do něj vzniklý odpad ihned znovu zapojit. Do této kategorie nakládání se řadí např. i opětovné používání vykoupených skleněných lahví, využívání obnošeného textilu pro účely charity apod. Pokud to není možné, přichází na řadu recyklace (neboli v tomto smyslu materiálové využití) případně kompostování. Tyto dva způsoby mají vždy, když je to zejména ekonomicky možné, přednost před ostatními způsoby využití odpadu, což je ve většině případů

využití energetické. Pokud nelze odpad využít žádným z těchto uvedených způsobů, dostává se na řadu poslední kategorie nakládání, což je konečné odstranění odpadu nejčastěji skládkováním či prostým spalováním. [112]

Z pohledu problematiky této diplomové práce není možno využít prvních dvou postupů hierarchie. Odpad, který se v oceánech a dalších vodách nachází již vznikl, proto z logiky věci nelze jeho vzniku předejít. Lze však předejít dalšímu každodennímu znečišťování vhodnou osvětou široké veřejnosti, omezením produkce plastového odpadu, správným nakládáním s odpadem zejména v oblastech, kde není odpadové hospodářství dostatečně či vůbec vyvinuto apod. Opětovné použití by pak mohlo být možné například v případě opuštěného rybářského vybavení, které by nebylo významně poškozeno a ovlivněno pobytem v oceánu. Jakou část oceánského odpadu tyto nepoškozené předměty tvoří není přímo známo, z celkového pohledu se však bude jednat pouze o velice malé množství. Z hlediska hierarchie nakládání s odpady bude tedy uvažována a dále popsána zejména recyklace/kompostování a jiné využití případně odstranění, jak je naznačeno ve schématu na obr. 26.



Obr. 26 Schéma využití hierarchie nakládání s odpady při vlastním návrhu

5.1 Sběr odpadu z oceánu

Prvním krokem úspěšného čištění oceánů od odpadu je jeho efektivní shromáždění a sběr. Obecně lze systémy shromažďování a sběru odpadu rozdělit do následujících skupin:

- pomoci plovoucích bariér
- prostřednictvím vodních dronů
- přímé zachytávání na technologických lodích

První uvedený způsob, tedy plovoucí bariéry jsou pasivním řešením shromažďování odpadu. Mohou se pohybovat vlivem mořských proudů a větru volně po hladině oceánu jako například dříve představené zařízení **System001** (dynamické řešení), druhou možností jsou bariéry pevně ukotvené na požadovaném místě (statické řešení). Bariéry mohou být tvořeny plastovými plováky (nejčastěji z PE) spojenými gumovými hadicemi či dutými PE trubkami. Další variantou jsou nafukovací hadice, které se používají mimo odpad také pro zachytávání ropných skvrn a dalšího znečištění. Bariéry jsou obvykle ohnuty do tvaru písmene „U“, na jehož vnitřní straně se odpad akumuluje.

Výhodou plovoucích bariér jsou nulové energetické požadavky na samotný proces shromažďování. Pokud je bariéra vhodně umístěna, odpad je v ní zachytáván samovolně působením přírodních sil (větru, vodních proudů, mořských vln). Další výhodou je také téměř neomezená

velikost zachytávaného odpadu, bariéry jsou schopny zachycovat jak malé mikročástice, tak i objemné kusy odpadu. Jsou rovněž velice modulární záležitostí, jejich záchytný rozsah může být snadno upraven přidáním či odebráním dalších segmentů. Nevýhodou je nutnost samostatného řešení sběru shromážděného odpadu. V praxi to obvykle znamená, že po určitém časovém období shromažďování připluje do oblasti loď, na kterou je odpad naložen a odvezen ke zpracování, které probíhá většinou na pevnině.

Druhou možností, která kombinuje shromažďování i sběr odpadu, jsou vodní drony, které představují širokou škálu zařízení. Může se například jednat o autonomní malá plavidla, jako výše představené zařízení **Waste Shark**, jejichž pohyb lze předem naprogramovat případně i řídit online. Tyto drony plují po hladině a sbírají odpad do síta či koše umístěného pod hladinou, svým způsobem „filtrují“ znečištěnou vodu, kterou proplouvají. Tato varianta dronů je oproti jiným pohodlná, avšak velmi nákladná, navíc s malými rozměry plavidel je spojena i menší kapacita zachytávaného odpadu. Rovněž není vhodná pro objemné kusy odpadů, které svou velikostí mnohdy přesahují velikost celého zařízení. Nevýhodou je také omezená doba provozu, která závisí na výdrži baterie zajišťující energii pro dané zařízení, proto také nemohou pracovat příliš daleko od přístavu či pobřeží, případně od větších lodí, na kterých by mohly být znovu nabit.

Finančně méně nákladnou variantou jsou menší lodě (zpravidla o takové velikosti, aby zde mohl být umístěn minimálně jeden standardní kontejner) kormidlované člověkem nebo i pracující autonomně na stálém stanovišti, které kombinací bariér a dopravníků shromažďují odpad na své palubě. To je i případ dříve popsaných zařízení **Mr. Trashwheel** či **The Interceptor**. Funkce těchto zařízení je velice jednoduchá – plovoucí odpad je naváděn pomocí bariér na pásový dopravník, který je poháněn pohybem okolní vody. Z dopravníku poté odpad putuje do předem připravených kontejnerů na palubě. Ke shromažďování i sběru tedy dochází současně, po naplnění kapacity jsou kontejnery obvykle převezeny na pevninu ke zpracování a nahrazeny kontejnery prázdnými. Zařízení tak mohou pracovat kontinuálně, 24 hodin denně. Tato varianta tedy kombinuje výhody předchozích uvedených způsobů – ke sběru i shromažďování využívá pouze přírodních sil, tedy energii proudu vody, větru či případně solární energie. Z hlediska kapacity se poté řadí ke středním zařízením.

Třetí možností shromažďování a sběru odpadů plujících na hladině oceánů je přímé použití větších technologických lodí, jako jsou například dříve představené koncepty plavidla **Manta** nebo **Ocean Saviour**. Tato varianta v podstatě kopíruje principy zachytávání odpadu vodními drony, pouze ve větším měřítku. Lodě tedy mají obvykle větší skladovací kapacitu, často navíc dochází k úpravě či případnému využití přímo na palubě, čímž je také snižován objem odpadu. Díky tomuto faktu mohou plavidla fungovat i delší dobu bez kontaktu s pevninou, tedy mohou pracovat i ve vzdálenějších oblastech a na volném oceánu.

5.2 Úprava odpadu

Druhým krokem po úspěšném shromáždění a sběru odpadu je jeho úprava. Ta obvykle předchází některé následné způsoby konečného využití. Jedná se o drcení, třídění, praní a sušení odpadu. Ne vždy je pro následující technologie potřeba, aby proud odpadu prošel všemi těmito úpravami. Některé způsoby nevyžadují žádné úpravy, jiné naopak důkladné provedení všech uvedených.

5.2.1 Drcení

První operací po shromáždění odpadu je zpravidla jeho drcení. Shromážděný odpad z moří, oceánů a pobřeží je tvořen velkým množstvím různorodých předmětů a částic o široké škále velikostí. Proto je třeba tuto odpadovou směs homogenizovat čili vhodným způsobem zmenšit velikost částic na požadovaný rozměr, což je hlavním účelem drcení, případně mletí. K dalším účelům patří rovněž dosažení optimálního velikostního složení směsi pro daný technologický proces, objemové zmenšení pro dopravu či skládkování, získání nových povrchů a zároveň tedy také získání větší mezifázové plochy a podobně [113].

U drcení obecně platí, že ke zmenšení jakékoliv částice je potřeba silové působení, kterým je částice namáhána [113]. Způsoby namáhání jsou rozděleny do čtyř následujících skupin [113]:

- mechanické namáhání způsobené statickými silami (tah, tlak, střih, ohyb)
- dynamické namáhání způsobené nárazem do pevné části zařízení či nárazem do jiných částic
- mechanické namáhání vyvolané okolním prostředím (nejčastěji při rozptýlení částic v tekutém prostředí)
- namáhání vyvolané jinou formou energie (např. tepelná energie, chemické působení apod.)

V případě drcení plastového odpadu se jedná nejčastěji o kombinaci prvního a druhého uvedeného způsobu namáhání. Odpad je tedy drcen nejen silami tlakovými a střihem, ale rovněž vzájemným kontaktem s ostatními částicemi. Poměry jednotlivých způsobů nelze exaktně stanovit, během procesu drcení se mohou i významně měnit [113].

Zařízení určená pro zmenšování velikosti částic se nazývají drtiče a mlýny. Rozdíl mezi těmito dvěma pojmy spočívá v konečné velikosti zpracovávaného materiálu. Mezní hodnotou je velikost 1,25 mm [113]. V případě, že je konečná velikost produktu větší než 1,25 mm, jedná se o drcení a zařízení jsou nazývána drtiči [113]. Pokud je produkt menší než 1,25 mm, poté se jedná o mletí a mlýny [113]. Princip činnosti obou zařízení je většinou velice podobný, liší se pouze konstrukčním provedením.

Při zmenšování velikosti částic je důležitou veličinou stupeň drcení (mletí). Stupeň drcení je definován jako poměr velikosti částic vstupního materiálu vůči velikosti produktu [113]. Čím vyšší tato hodnota je, tím více klesá výkon zařízení [113]. Dle hodnoty stupně drcení lze zavést podrobnější dělení drcení a mletí, viz tab. 13. V případě plastového odpadu se jedná o střední až jemné drcení.

Tab. 13 Dělení drcení a mletí v závislosti na stupni drcení (mletí) [113]

Název operace	Velikost částic produktu [mm]	Stupeň drcení (mletí)
Hrubé drcení	125 a větší	2 až 6
Střední drcení	25 až 125	10 až 15
Jemné drcení	25 a menší	10 až 40

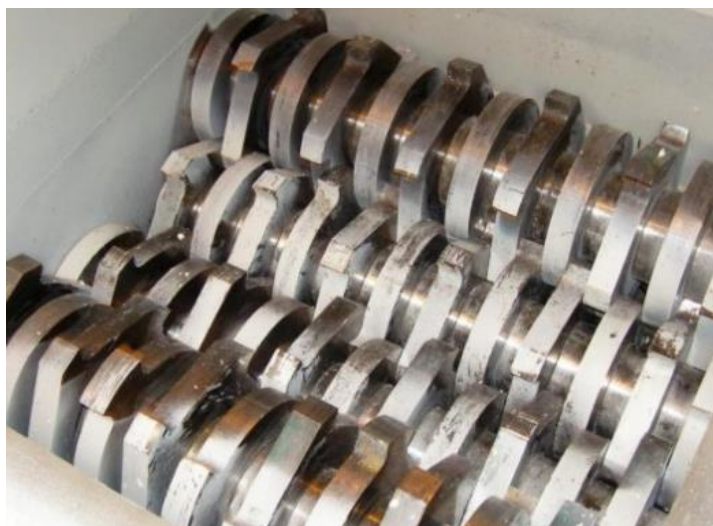
Název operace	Velikost částic produktu [mm]	Stupeň drcení (mletí)
Mletí	1,25 a menší	5 až 40
Jemné mletí	0,08 až 1,25	10 až 300
Velmi jemné mletí	0,08 a menší	100 až 1 000

Podle působící síly lze drtiče rozlišit na statické (se statickým působením síly) a dynamické (s dynamickým působením síly) [113]. Ty lze dále dle konstrukčního řešení rozdělit do následujících skupin [113]:

- statické:
 - drtiče čelistové
 - drtiče kuželové
 - drtiče válcové
- dynamické:
 - drtiče s přímým úderem – kladivové, nožové, frézové
 - drtiče s nepřímým úderem – odrazové
- drtiče speciální

Dále budou krátce představeny pouze drtiče válcové a drtiče s přímým úderem, neboť právě tyto dva typy jsou pro drcení odpadu používány nejčastěji. Válcové drtiče se skládají z jednoho (jednohřídelové), dvou (dvouhřídelové) či více (čtyřhřídelové apod.) protiběžných válců, které mohou být buď hladké, nebo profilované. Podstata drcení spočívá ve všech případech ve vtahování částic do drtícího prostoru vlastní hmotností materiálu, třením nebo mechanickým způsobem [113]. Válcové drtiče disponují jednoduchou konstrukcí, provozní spolehlivostí a snadnou ochranou proti poškození [113]. Jsou používány zejména pro střední a jemné drcení.

V případě jednoválcových (jednohřídelových) drtičů je materiál drcen mezi jedním otáčejícím se válcem a statickou čelistí [113]. Při použití při zpracování odpadu je odpad nejčastěji drcen mezi břity upevněnými na rotoru a pevným statorovým ostřím ve tvaru hřebene [114]. Pod pracovním prostorem je často umístěno síto, které definuje velikostí svých otvorů výstupní velikost nadrceného materiálu [114]. V případě dvouválcových a víceválcových zařízení je materiál drcen přímo mezi válci otáčejícími se obvykle se stejnou frekvencí [113]. U dvouhřídelových drtičů je materiál drcen mezi segmenty uchycenými na dvou hřídelích, které materiál principiálně stříhají, přičemž velikost výstupní směsi je závislá především na charakteru vstupu, šíři segmentů a vzdáleností segmentů od sebe [114]. Hřídele jsou poháněny přes převodovky jedním nebo dvěma elektromotory, případně hydromotory [114]. Mohou být vybaveny také přítlačným hydraulickým zařízením, které zajišťuje přítlačení vstupujícího odpadu mezi drtící segmenty [114]. Pro drcení odpadu s velkým objemem se využívá drtičů čtyřhřídelových, viz obr. 27.



Obr. 27 Drtíci válce čtyřhrádelového drtiče [114]

Druhým typem drtičů využívaných při zpracování odpadu jsou drtiče s přímým úderem, kterých je rozlišováno hned několik druhů. Jedná se o drtiče kladivové, nožové a frézové, které se liší pouze tvarem pracovního nástroje. Ve všech případech je materiál drcen působením rázů nástroje, který se otáčí, přičemž rychlost materiálu je nulová [113]. Obvykle se využívají zařízení se třemi a více řadami pracovních nástrojů vedle sebe. Obecně se tento typ drtičů používá jak pro hrubé, tak i střední a jemné drcení, hodnota stupně drcení nabývá 40 až 60 [113].

Komplikací při použití při vyšších obvodových rychlostech jak 30 m/s může být prašnost, kvůli vzniku ventilátorového efektu [113]. Ve středu rotoru je totiž nasáván vzduch, který poté s prachovými částicemi opouští drtič s rychlostí odpovídající obvodové rychlosti. K zabránění této skutečnosti se v pracovním prostoru při drcení prašného materiálu udržuje podtlak pomocným ventilátorem [113].

5.2.2 Třídění

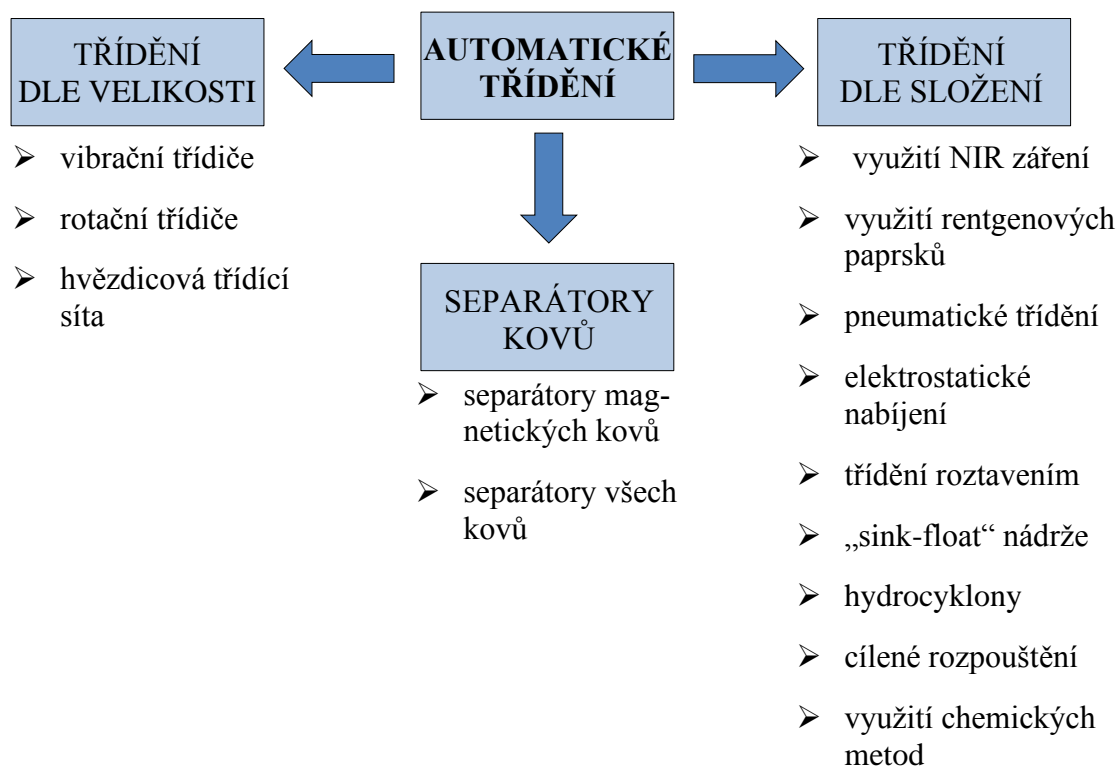
Po rozdrcení vstupní směsi odpadů následuje jeho třídění. Tento sled operací platí pouze v případě, že je využíváno principů třídění mechanického, tedy při použití automatických třídících zařízení. V případě využití třídění manuálního, tj. s lidskou obsluhou by bylo pořadí operací opačné, tedy třídění by bylo následováno drcením. Ruční třídění drceného odpadu v podobě plastových vloček by totiž nebylo možné realizovat. Obecně lze způsoby třídění plastového odpadu rozdělit do následujících skupin a podskupin [115]:

- manuální
- automatické
 - za sucha
 - NIR záření, rentgenové záření, laser
 - pneumatické třídění
 - mechanické třídění
 - třídění pomocí bodů tání
 - za mokra
 - hydrocyklony

- „sink-float“ nádrže
 - cílené rozpouštění
 - chemické
- kombinované

Automatické třídění odpadu

V oblasti automatického třídění odpadu existuje hned několik využívaných principů, které se dají i vzájemně kombinovat. Často je také využíváno různých přídatných menších zařízení pro dosažení co nejvíce homogenní směsi vytríděných proudů. Přehled dále popsaných zařízení a metod je znázorněn na obr. 28.



Obr. 28 Přehled zařízení a možných metod automatického třídění odpadu

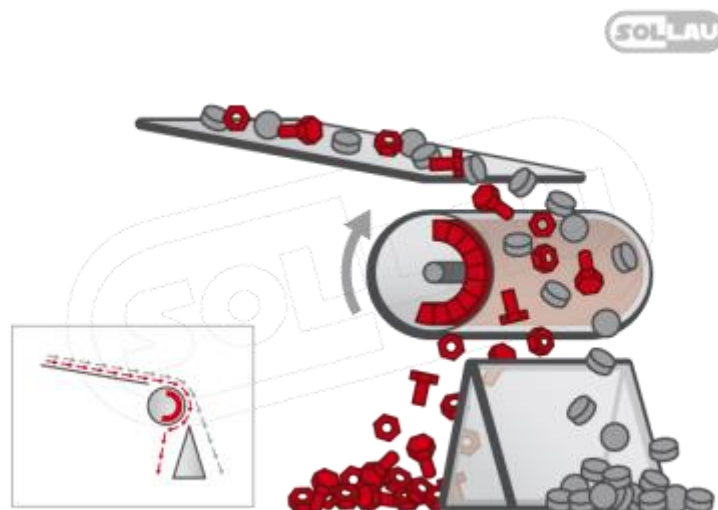
Příkladem menšího pomocného zařízení jsou separátory kovů. Separátory kovů tvoří obvykle jakýsi „první stupeň“, kterým vstupní proud prochází. Jejich úkolem je odstranění, případně detekce kovových příměsí ze sypkého nebo i kusového materiálu [116]. Separátory kovů jsou obvykle děleny na dvě velké skupiny, a to separátory magnetických kovů a separátory všech kovů [116].

Hlavní pracovní částí separátoru magnetických kovů je permanentní magnet, dříve byl hojně využíván i elektromagnet [116]. Síla magnetu je obvykle volena s ohledem na výšku vrstvy materiálu na pásu a technologické potřeby přesnosti separace. Jeho šířka je poté závislá na šířce dopravního pásu. Použití je velice jednoduché, jediným potřebným předpokladem je vytvoření nemagnetické zóny v místě instalace (nepřítomnost kovových částí dopravníku) [116]. Samotné zařízení je obvykle umístěno nad nebo za dopravní pás, na kterém je směs odpadů přepravována. Existuje hned několik způsobů použití a umístění tohoto zařízení.

Jedním z nich je závěsný stacionární separátor. Ten je vhodný použit v případech, kde lze zajistit pravidelnou lidskou obsluhu, tedy na dostupných místech, neboť dle potřeby je nutno magnet ručně očistit od zachycených kovových příměsí [116]. Kovové magnetické materiály jsou při průchodu pod magnetem jednoduše zachyceny díky zde vytvořenému magnetickému poli. Tato zařízení jsou často vybavena retraktem, což je nerezový plech v dolní části magnetu, který po ručním stažení mimo osu zbaví magnet zachycených kovů [116].

V aplikacích, kde není možný přístup obsluhy pro očištění je řešením přeběhový princip magnetu [116]. V tomto uspořádání je magnet umístěn uvnitř samostatného dopravníku, jehož pás zajišťuje vynesení kovů mimo dopravní cestu hlavního proudu odpadu [116].

V případě vysoké vrstvy vstupního materiálu na páse a zároveň pro materiál tvořený menšími částicemi než 5 cm je vhodné použít bubnový separátor [116]. Ten slouží k nepřetržité a zcela automatické separaci kovů ze sypkých hmot bez nutnosti přerušování výrobního cyklu [117]. Princip spočívá v umístění bubnového separátoru za dopravník. Srdcem magnetického bubnu je sestava magnetických jader ve tvaru půlměsíce, kolem níž se otáčí vnější část bubnu z nerezové oceli s lištovými unašeči [117]. Kovové magnetické příměsi v proudu odpadu jsou poté zachycovány na povrchu bubnu, který opouští až za osou bubnu, kde magnetické pole díky půlměsíčovému tvaru magnetů již neúčinkuje [117]. Kovové příměsi jsou tedy zachycovány do připravené sběrné nádoby, případně na dopravník, zatímco ostatní nekovový odpad putuje přímo dále. Schéma tohoto principu je znázorněno na obr. 29.



Obr. 29 Magnetický buben výrobce Sollau [117]

Další možností jsou detektory magnetických a zároveň i nemagnetických kovů využívající cívky zabudované do dopravní cesty a dále vyhodnocovací automatiky [116]. I zde je důležitý předpoklad vytvoření nemagnetické zóny na dopravníku. Pod dopravníkový pás je umístěn spodní díl cívky, mezi tuto cívku a rub dopravníkového pásu je umístěna nekovová podložka, po které se pás pohybuje [116]. Při průchodu kovové částice je rozladěn rezonanční obvod systému, což je pokynem k odstavení dopravníku, k reverzaci dopravníku nebo k rozsvícení indikační žárovky [116]. V této situaci je nutný zásah obsluhy, která kovovou příměs odstraní. V případě automatického odstraňování kovových příměsí je využíváno vylučovače kovů.

Pro třídění materiálu dle velikosti se dále využívají různé druhy třídičů se sítí. Konkrétní druh a velikost stroje se obvykle volí dle charakteru tříděného materiálu, jeho množství, požadavku zákazníka na výstupní složení a podobně [118]. K nejnámějším typům patří třídiče vibrační, rotační a hvězdicová třídící síta [118]. Každé z těchto zařízení bude krátce představeno pro dotvoření uceleného přehledu o možnostech při třídění.

Při třídění odpadů s požadavkem na velkou hodinovou kapacitu třídiče a také pro třídění vlhkých a lepivých směsí se používají aktivní hvězdicová třídící síta. Tato zařízení jsou složena ze soustavy hřídelí, na nichž se nachází gumové nebo kovové třídící hvězdice. Materiál je volen dle zatížení zařízení. Hvězdice se poté otáčejí ve směru toku materiálu a jsou poháněny soustavou ozubených kol pomocí řetězu. Vstupní směs je tím pádem rozdělena na menší frakci, než je rozteč třídících hvězdic, která propadne dolů, a větší kusy odpadů, které postupují dále po vrchu třídiče k výsypu nadsítné frakce. Jednotlivé hvězdice o různých velikostech lze rovněž navzájem skládat tak, že pomocí jednoho pohonu je vstupní materiál roztříděn na několik velikostí frakce. Zařízení je doporučeno pro velikost frakce od 10 do 250 mm pro materiály typu dřevo, komunální odpad (dále jen „KO“), tvrdé plasty a podobně. Ukázku hvězdicového třídícího síta lze vidět na obr. 30. [118]



Obr. 30 Ukázka hvězdicového třídícího síta (konkrétně síto na štěpku) [118]

Pro nelepivé materiály jsou poměrně přesným řešením třídění dle velikosti vibrační třídící síta. Princip třídění se velice podobá předchozím zmíněným hvězdicovým sítům. I zde může být vytvořena vícesíťová varianta uspořádání, kdy jedno zařízení dokáže vyprodukovat hned několik velikostních frakcí. Oproti hvězdicovým sítům jsou vibrační schopna oddělit materiál již od velikosti 1 mm. Při použití u mírně lepivých materiálů lze zařízení doplnit „oklepovými koulemi“, které zajistí průběžné čištění plochy síta před zanesením. Materiál a velikost otvorů síta jsou obvykle voleny dle tříděného materiálu a požadavku na výstupní frakci/frakce. [118]

Pro směsi větších kusů odpadů je často využíváno aplikace „prstových“ vibračních třídičů. U těchto zařízení je odpad posunován po třídících mřížkách, které jsou naskládány v klesající kaskádě. [118]

Posledním typem zařízení pro třídění odpadu dle velikosti jsou třídiče rotační. Principem tohoto druhu třídění je posun odpadní směsi uvnitř rotujícího bubnu, jehož plášť je na obvodu osazen síty. Tyto třídiče existují i ve dvoububnovém provedení, při kterém dokáží vytřídit odpadní materiál na tři výstupní frakce. Hlavní výhodou tohoto principu třídění je možnost použití i pro lepidlo a znečištěné odpady, neboť omíláním o stěny bubnu a vzájemným omíláním o ostatní tříděný materiál jsou shluky odděleny bez zanášení třecích ploch. Kromě využití pro odpady se dá tento typ zařízení použít i v aplikaci pro písky, štěrky, dřevní štěpky, stavební směs a jiné. [118]

Velmi moderní metodou třídění odpadu dle složení jsou metody využívající NIR záření, což je zkratka pro „near-infrared“, volně přeložitelné jako „záření blízké infračervenému“. Rovněž je tato metoda nazývána jako spektroskopie odpadů. Spočívá v ozáření plastového odpadu paprsky o vlnové délce 600 až 2 500 μm [115]. Rychlost identifikace je tedy velmi vysoká. Po vystavení tomuto záření odrážejí různé plasty různé spektrum paprsků zpět a různé absorbují, dle toho může být přesně identifikováno, o jaký konkrétní druh plastu se jedná [115]. Nevýhodou této metody je nemožnost použití v případě tmavě zbarvených plastů [115].

Na podobném principu jako NIR záření je postaveno také třídění pomocí rentgenových paprsků. Plastový odpad je opět vystaven záření, tentokrát rentgenovému, a opět je zkoumána odezva [115]. V případě rentgenu však jde o vlastnosti vycházející z organické povahy polymerů, na rozdíl od NIR, kde jde spíše o jednotlivé ionty [115]. Většinou je tato technologie používána při třídění PVC, neboť právě chlorové atomy v PVC jsou velice snadno detekovatelné.

V obou případech (NIR i rentgen) je odražené záření detekováno a vyhodnocováno spektrálními kamerami, které zároveň zaznamenávají i polohu zkoumaného odpadu na dopravníku, po kterém se odpad pohybuje [119]. Tyto kamery vyhodnotí, o jaký materiál se jedná a stanoví, zda konkrétní plastový kousek volně spadne do bližší nádoby (případně na bližší dopravník) nebo bude proudem vzduchu odhozen do nádoby vzdálenější (na vzdálenější dopravník) [119]. Systém může fungovat také obráceně čili jedna část odpadu je po opuštění dopravníku srážena proudem vzduchu na jiný dopravník (nebo do nádoby) a druhá část padá volným pádem na vzdálenější dopravník (nebo do vzdálenější nádoby).

Poněkud netradičním způsobem je poté pneumatické třídění. Při pneumatickém třídění jsou plastové vločky (nutné počáteční zpracování – drcení) přiváděny vertikálně do proudu vzduchu, což způsobuje, že lehčí částice jsou odděleny od těch těžších, tudíž odpad je rozdělován na základě odlišné hmotnosti [115].

Rovněž elektrostatickým nabíjením plastového odpadu může být dosaženo separace. Tato metoda rozlišuje plastový odpad dle rozdílu v elektrostatických nábojích [115]. Materiál se nechá volně padat skrz elektrické pole vytvořené mezi dvěma paralelními sadami opačně nabitých elektrod [115]. Plasty jsou poté rozdělovány podle elektrického náboje, který mají [115]. Výhodou této metody je, že mohou být tříděny i špinavé odpady a rovněž odpady s podobnou hustotou, jako je například PE a PP [115].

Další metodou používanou pro třídění plastového odpadu je třídění roztavením. Tato metoda je vhodná pouze pro dvousložkové směsi odpadů. Předpokladem také je, aby tyto dvě složky měly rozdílnou teplotu tání. Dvousložková směs plastového odpadu se tedy pohybuje

na válcovém pásu, jehož válce jsou vyhřívány [115]. Vlivem tepelné adheze jsou částice plastového odpadu s nižší teplotou tání změkčeny a přichyceny k válcům, čímž se oddělí od nenaťavené složky [115].

K tzv. metodám za mokra se řadí použití „sink-float“ nádrží. Tato metoda je založena na rozdílné hustotě plastových materiálů. Odpad se umístí do tekutiny, jejíž hustota se pohybuje mezi hustotou oddělovaných materiálů, což způsobí pokles složek s vyšší hustotou, a naopak vyplutí složek s nižší hustotou [115]. Pro plasty s vyšší měrnou hmotností se obvykle používá jako pracovní tekutina voda [115]. Výhodou této metody je snadné spojení s dalším zpracováním, například mletím za mokra [115]. Nevýhodou naopak může být nízká čistota vytríděného materiálu, malá rychlost separace, obtížná kontrola a podobně [115].

Další metodou prováděnou za mokra je použití hydrocyklonů. Tato technika je založena na principech dostředivého zrychlení a jeho působení na částice plastové směsi [115]. Do kónického válcového tělesa naplněného kapalinou (hydrocyklon) je tangenciálně přiváděna vstupní směs plastů [115]. Energie tlaku tekutiny, unášející plasty, je převedena do rotačního pohybu, který způsobuje relativní pohyb materiálu suspendovaného v kapalině, což umožňuje oddělení rozdílných plastů [115]. Tato zařízení jsou vhodná zejména pro směsi o velikosti částic do 6 mm o přibližně stejném tvaru [115].

Poslední uvedenou metodou je cílené rozpouštění. Principem je dávkové rozpouštění směsi plastů pomocí rozpouštědel, kdy dojde k oddělení směsi právě díky rozdílné rozpustnosti plastů v různých organických rozpouštědlech [115]. Výhodou této metody je opět možnost oddělení i znečištěných směsí, nevýhodou je naopak velké množství potřebných použitých rozpouštědel, které však bývají recyklovány a znovu využity [115].

Mezi metody chemické se řadí hydrolýza, glykolýza a kombinace těchto možností, hydroglykolýza [115]. Při všech těchto uvedených způsobech se jedná o změnu polymerních molekul plastů zpět na monomery [115]. Tyto ne příliš často využívané metody již hraničí spíše s konečným využitím odpadu, chemickou recyklací.

Manuální třídění odpadu

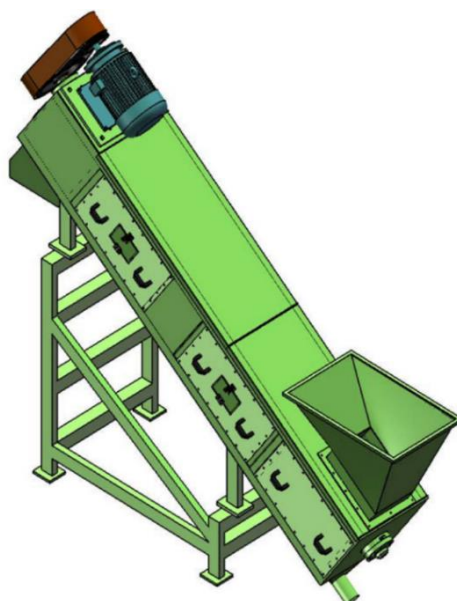
Manuální třídění spočívá ve vizuální identifikaci odpadu na dopravníkovém pásu operátorem. Jeho výhoda spočívá v současné identifikaci dle tvaru, barvy i materiálu v jednom okamžiku. Je užitečné zejména pro třídění dostatečně velkých kusů odpadů, jinak by nebylo časově realizovatelné a výhodné. Tento způsob je poměrně náročný na pracovní sílu a v mnoha případech není ekonomicky životaschopný kvůli nižší kapacitě zpracovaného materiálu. Nevýhodou je také přítomnost lidských chyb. Nicméně se jedná o relativně levnou metodu, která je i v této době často využívána.

5.2.3 Praní

Dalším krokem pro již vytríděný nadrcený plastový odpad může být propírání ve frikčních pračkách, kde je odpad zbaven nežádoucích nečistot. Frikční pračky se používají k mytí špinavých nebo jinak kontaminovaných plastových vloček (například lepidlem na etikety lahví apod.) s využitím tření. Jejich hlavními částmi jsou vysokorychlostní voděodolná hřídel s mycími lopatkami a samotná síťová čistící komora [120]. Průměr otvorů síta je různý v závislosti na typu a stupni kontaminace [121]. Důležitou součástí je rovněž vstupní potrubí určené pro vstříkávání čisté vody, která může být čerstvá nebo recyklovaná (vlastní vodní hospodářství) [121].

Frikční pračky jsou obvykle tvořeny nakloněným válcovým žlabem s rychloběžnými mycími lopatkami, které zajišťují nejen čištění, ale i odvodnění plastových vloček [122]. Rychlé rotace totiž způsobují rozpad a odstranění kontaminujících látek [123]. Hřídel mycích lopatek je umístěna na každé straně v ložisku a je obklopena sítí z nerezové oceli [122].

Znečištěné plastové vločky a čistá voda jsou přiváděny obvykle do dolní části válcového žlabu. Otáčením mycích lopatek jsou vločky čištěny a zároveň transportovány směrem nahoru, kde se nachází výstup čistého materiálu [122]. Také vzájemným třením vloček o sebe dochází k čištění. Nečistoty a voda odchází skrz jemná síta a jsou odváděny pryč mimo vyčištěnou směs odtokem na spodním konci žlabu [122]. Díky vstřikování vody zároveň dochází k automatickému čištění sít a prevenci zanášení [123]. Frikční pračky jsou vyráběny také v horizontální variantě, která pracuje na stejném principu, pouze není nakloněna. Obecný model nakloněné frikční pračky je možno vidět na obr. 31.



Obr. 31 Obecný model frikční pračky [120]

5.2.4 Sušení

Důležitou součástí zpracování odpadu je také sušení. To může být další operací následovanou po praní, v případě odpadu pocházejícího přímo z oceánu může být tato operace zařazena i po třídění případně již po drcení. Plastový materiál, který na první pohled vypadá jako suchý, je mnohdy plný vlhkosti absorbované například z okolního vzduchu. Jeho vysušením lze dosáhnout mnohem lepší kvality následného produktu případně procesu. Je nutné vzít v úvahu, že ani přesušení není nejlepší variantou. Pokud je materiál sušen příliš dlouhou dobu, případně při příliš vysoké teplotě, může dojít ke změně barevného pigmentu, což například při následném materiálovém využití není žádoucí a může negativně ovlivnit výsledný produkt [124].

Obvykle je požadovaný průtok vzduchu pro sušení uváděn $0,06 \text{ m}^3$ horkého suchého vzduchu za minutu pro každý kilogram zpracovaného materiálu za hodinu [125]. Minimální průtok pro zajištění dobrého rozdělení vzduchu je pak bez ohledu na kapacitu doporučen $2,8 \text{ m}^3/\text{min}$ [125]. Sušení plastového materiálu může probíhat v pěti různých typech zařízení [124]:

- odvlhčovací sušičky

- rotorové sušičky
- nízkotlaké, případně vakuové sušičky
- sušička se stlačeným vzduchem
- horkovzdušné sušičky

Odvlhčovací sušičky jsou určeny pro eliminaci vlhkosti v plastovém materiálu před jeho použitím v dalších procesech. Přiváděný vzduch je zahříván na požadovanou teplotu a přiváděn nejprve přes lože se sušícím činidlem a poté do sušící komory násypky obsahující vlhký materiál, který má být vysušen [124]. Horkým vzduchem je z materiálu odváděna vlhkost, vlhký nasycený vzduch je z násypky odváděn a znovu sušen, aby poté mohl být znovu využit v procesu sušení.

Sušící činidlo však má omezenou schopnost zadržovat vlhkost, proto se čas od času musí regenerovat [124]. Pro tyto účely se obvykle používají dvouvěžové sušičky nebo regenerační sušičky, které v případě, že lože dosáhne své maximální kapacity zadržování vlhkosti, proud vzduchu automaticky přepnou a ten poté prochází druhým ložem s činidlem [124]. Zatímco je používáno lože druhé, to první je regenerováno zahříváním, čímž je odváděna nahromaděná vlhkost [124]. Tento proces se může opakovat.

Druhým typem zařízení určeného pro sušení jsou **rotorové sušičky**. Ty mají konstantní rosný bod na rozdíl od předchozích zmíněných, kde rosný bod začíná velmi nízko a zvyšuje se při saturaci lože se sušícím činidlem [124]. Regulace rosného bodu je hlavním znakem tohoto typu sušiček, které umožňují volbu rosného bodu vhodného pro zpracováváný materiál, díky čemuž je vyloučeno přesušení materiálu [124].

Rotorové sušičky využívají rotujícího kola, které průběžně přivádí suché sušidlo do pracovního prostoru, kde dochází zároveň i k regeneraci již vlhkého sušidla [124]. Odvlhčovací sušičky regenerují sušidlo při teplotě 320 °C, zatímco u rotorové činí tato teplota 140 °C [124]. Díky nižší regenerační teplotě je poté možno ušetřit až 40 % energie oproti ostatním typům sušiček [124]. Tato hodnota závisí na výrobci sušiček. Tento typ sušiček nepotřebuje ke svému provozu chladicí vodu ani stlačený vzduch [124].

Další typ, **nízkotlaké sušičky a vakuové sušičky** urychlují proces sušení plastového materiálu, neboť za sníženého tlaku se snižuje i bod varu vody [124]. Vlhkost je tak rychle odpařena ze zahřátého materiálu. Uvádí se, že tyto druhy sušiček vysuší materiál za jednu šestinu času, který by na stejnou operaci potřebovala sušička založená na konvenčních způsobech sušení [124]. Rovněž jsou v případě tohoto typu sušičky ušetřeny provozní i investiční náklady díky nepřítomnosti sušidla [124].

Velmi kompaktní a lehký typ sušiček co se váhy týče jsou poté **sušičky se stlačeným vzduchem** [124]. Obecně je tato metoda používána spíše pro menší kapacity a výkony [124]. Tento typ zařízení pracuje na velmi podobném principu jako odvlhčovací sušičky, tedy rovněž je jeho součástí lože se sušícím činidlem. Rozdíl spočívá v proudu vzduchu, v případě sušiček se stlačeným vzduchem je proud vytvářen právě působením stlačeného vzduchu, zatímco u odvlhčovacích sušiček je tok vytvářen elektricky poháněnými dmychadly [124].

Posledním typem jsou **horkovzdušné sušičky**, jež se řadí k nejstarším, nejjednodušším a zejména nejlevnějším zařízením. Jsou koncipovány tak, aby odstraňovaly povrchovou vlhkost materiálu a zároveň přehřívaly materiál před dalším zpracováním, což je zvláště užitečné, pokud byl materiál skladován venku v chladu a je ke zpracování přiveden do tepla [124]. Jejich

hlavními částmi je dobře izolovaná násypka, připojené dmychadlo a topení. Princip činnosti je velice jednoduchý – horký vzduch je vháněn skrz materiál a výstupní vlhký vzduch je poté vypouštěn do atmosféry [124].

Ať již se jedná o jakýkoliv výše uvedený typ sušičky, obvyklé problémy při provozu mohou být následující [125]:

- špatný proud vzduchu způsobený ucpanými filtry
- vzduch procházející pouze středem náplně, není rozptýlen
- znečištění suchého vzduchu okolním mokřím vzduchem
- nedostatek chladícího vzduchu vracejícího se do lože (vzduch by měl mít teplotu pod 65 °C)
- snížená účinnost sušidla způsobená opotřebením nebo znečištěným sušidlem
- nefunkční regenerační ohříváč

5.3 Možnosti využití a odstranění odpadu

Způsobů, jakými lze využít případně odstranit plastový odpad existuje celá řada, i když se jedná oproti ostatním materiálovým proudům o poměrně mladé odvětví. Obecně lze metody využití a odstranění pevných odpadů rozdělit na [1]:

- termické a chemické metody
 - spalování
 - EVO
 - pyrolýza
 - zplyňování
- fyzikální metody
 - materiálová recyklace
 - foto-oxidační metody
 - řízená UV degradace
- biologické metody
 - kompostování
 - anaerobní digesce
 - fermentace

Chemické metody jsou metody založené na postupném chemickém rozkladu polymerů na oligomery (polymery složené pouze z několika strukturních jednotek), případně i na monomerní jednotky s následným chemickým zpracováním takto získané druhotné suroviny [126]. Termické metody jsou poté metody využívající zvýšených teplot. Často se tyto dvě skupiny metod vzájemně překrývají, například v případě pyrolýzy či zplyňování se jedná zároveň o chemické i termické metody. Ne vždy však určitý způsob využití či odstranění spadá do obou těchto kategorií. To je například případ spalování či energetického využití odpadu, které se řadí pouze k termickým metodám. Naopak existují také pouze čistě chemické metody, solvolýza, reesterifikace apod [126].

Pojmem solvolýza je označován proces založený na rozkladu účinkem vybraných nízkomolekulárních látek. Používá se zejména při chemické recyklaci PA, PET nebo polyuretanů. Podstatou solvolýzy je obrácení vratné polykondenzační reakce opačným směrem, tedy dosažení odbourávání monomerních jednotek z řetězců polymeru. Například při zpracování PET se využívá působení methanolu, který odpadní PET rozloží na ethylenglykol a methylester tereftalové kyseliny, který se dále využívá pro výrobu nového materiálu. Reesterifikace je poté proces, při kterém dochází rovněž k rozkladu na směs oligomerů, které jsou dále využity jako surovina pro výrobu pryskyřic, nátěrových hmot a dalších materiálů. [126]

Společnou výhodou chemických a termických metod je zejména nenáročnost na kvalitu a čistotu vstupního plastového odpadu, na rozdíl například od materiálové recyklace [126]. Nevýhodou jsou poměrně vysoké investiční náklady na technologické zařízení [126]. Navíc, v případě čistě chemických metod lze prakticky tento způsob využívat pouze v podmínkách chemického průmyslu ve spojení s již existujícím procesy (např. polymerační jednotkou) [126]. Čistě chemické metody také nejsou doporučovány při použití ve velkém měřítku, neboť při nich sice zaniká plastový odpad, vzniká však velké množství chemického odpadu, jehož odstranění není snadné [1]. U čistě termických metod by se za nevýhodu dalo považovat poměrně složitě a někdy také velice nákladné čištění vzniklých spalin [1].

Druhou kategorií metod jsou metody fyzikální, které probíhají bez přítomnosti chemické reakce. Zde patří k nejčastěji využívaným způsobům materiálové recyklace, při které vzniká druhotná surovina ve formě drtě či granulátu, která může být dále přidávána k primární čisté surovině a využita při výrobě nových plastových předmětů. Kromě materiálové recyklace patří do této skupiny metod i řízená UV degradace nebo foto-oxidace, jež však nejsou příliš hojně využívány. [1]

Třetí kategorií jsou metody biologické. Při těchto procesech je odpad zneškodňován bez produkce vedlejších toxických produktů. K těmto metodám se řadí kompostování, anaerobní digesce nebo fermentace. Tyto metody jsou často využívány spíše pro zpracování biologicky rozložitelného odpadu, případně směsi odpadů, pro proud téměř čistě plastového odpadu nemají valný význam. [1]

Dále existují metody, které není možno do výše zmíněných základních kategorií zařadit, neboť stojí na jejich pomezí. Jedná se například o mechanicko-biologickou úpravu odpadu, která jak již název napovídá, spadá částí pod fyzikální a částí pod biologické metody. Samostatnou kategorií pak tvoří také často diskutované skládkování. Konkrétní způsoby využití a odstranění, které jsou při nakládání s plastovým odpadem významné a prakticky nejvíce využívané jsou dále představeny podrobněji v jednotlivých podkapitolách.

5.3.1 Energetické využití odpadu

Odpadní plasty, které nelze (či se nevyplatí) využít znovu materiálově je vhodné zhodnotit alespoň energeticky. Zařízení EVO je proces, při kterém je využíván energetický obsah odpadů k výrobě energie ve formě elektřiny nebo tepla, případně obou současně (kogenerace) [112]. Z chemického hlediska se jedná o vysokoteplotní oxidaci spalitelných materiálů obsažených v odpadech, která se koná za teplot až do 1 200 °C [112]. Co se týče paliva, lze spalovat různé druhy i skupenství odpadů. Výhodou tohoto způsobu využití navíc je, že odpad nemusí být před procesem nijak upravován, lze takto využít i surový odpad [1]. Po dosažení spalovací teploty dochází k termické řetězové reakci a samovolnému hoření bez potřeby přídavku dalších paliv [112]. Podmínkou je však dostatečná výhřevnost odpadu a přísun kyslíku. Uvádí se, že vhodný stechiometrický poměr vzduch/palivo se pohybuje mezi 1,2 až 2,5 v závislosti na konkrétní

konstrukci spalovacího prostoru a na skupenství paliva [112]. V případě směsi plastového odpadu není obvykle problém s nízkou hodnotou výhřevnosti – ve srovnání s jinými palivy má vysoký energetický obsah, navíc je i snadno spalitelný [127]. Jakost paliva je přitom dána třemi hlavními parametry – obsahem hořlaviny, popelovin a vody [112]. Pro ukázkou jsou hodnoty výhřevnosti jednotlivých typů polymerů uvedeny v tab. 14.

Tab. 14 Hodnoty výhřevnosti jednotlivých typů polymerů [127]

Druh plastu	PE	PP	PVC	PS	PET	PA
Výhřevnost (MJ/kg)	43,3	44	18-26	44	23	30

Celý proces zařízení EVO na pevnině probíhá ve většině případů, kdy je zpracováván směsný komunální odpad (dále jen „SKO“) resp. zbytkový KO, následovně: do zásobníku odpadu je vsypáván odpad přivezený svozovými vozidly. Zde je odpad následně polypovým drápkem jeřábu homogenizován a přemísťován do násypky jednotlivých kotlů, odkud se již dostává do procesu spalování [128]. Odpad v kotli poté hoří samovolně, bez přidávání dalších paliv, pouze s přívodem spalovacího vzduchu [128]. Přídavných paliv (nejčastěji zemního plynu) je potřeba pouze v případě spalování nevýhřevných složek (pod 5 MJ/kg) či při zahájení spalovacího procesu (nastartování technologie) [112]. Spalovaný odpad postupně prochází fází ohřevu, sušení, zplyňování, oxidace (neboli hoření) a dohořívání [128]. Při spalování je třeba dodržet následující základní podmínky [112]:

- dostatek spalovacího vzduchu (již zmíněno)
- dostatek tepla – nutné k ohřevu odpadu na zápalnou teplotu
- dostatečná teplota hoření – nesmí klesnout v prostoru spalovací komory pod 800 °C kvůli zápalné teplotě sazí (700 až 750 °C)
- dostatečné zdržení spalin v pásmu vysokých teplot – potřebné k vyhoření látek, minimálně 2 sekundy při teplotě 850 °C (při obsahu chloru v palivu do 1 % hm.) nebo při teplotě 1 100 °C (při obsahu chloru v palivu nad 1 % hm.), povinné dle legislativy – *Vyhláška č. 415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší* [129]

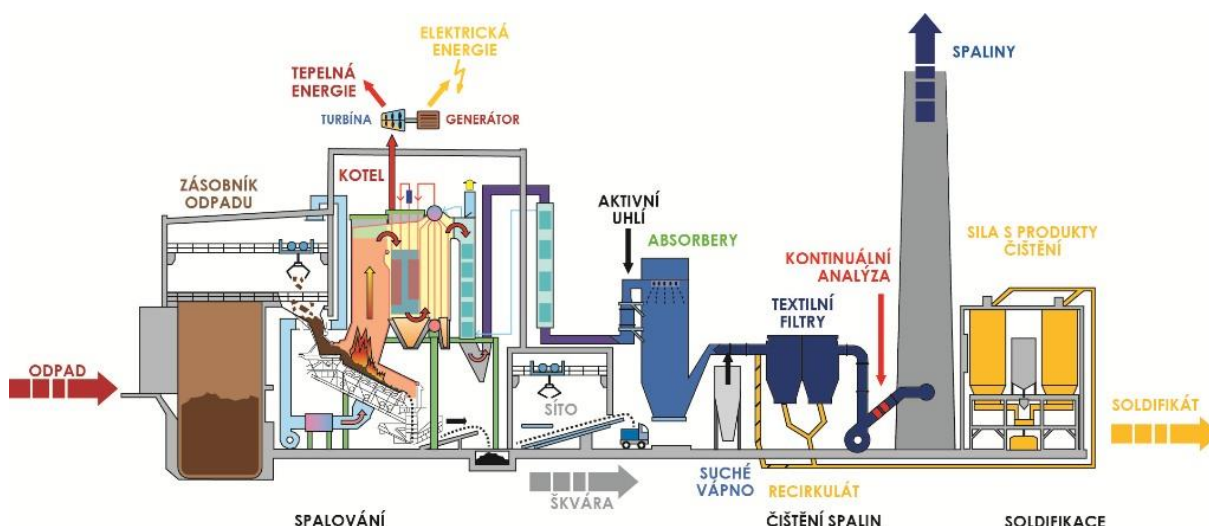
Vzniklé horké spaliny putují dále systémem a předávají svou energii vodě a vodní páře prostřednictvím výměníků tepla v sekci označované zkratkou HRSG (z anglického „heat recovery steam generator“). Vzniklá přehřátá pára poté postupuje vnitřním parním okruhem až na turbínu, kde je její energetický obsah převeden na kinetickou energii, která je dále v generátoru převedena na elektřinu. Nízkotlaká pára je následně z kondenzována a ve formě horké vody dodávána do teplovodní sítě v rámci centrálního zásobování teplem (případně ochlazená a již dále nevyužita). Systém generování elektřiny a dodávky tepla je však různý v závislosti na typu použité turbíny. [112]

Vzniklé spaliny se skládají převážně z vodní páry, oxidu uhličitého, dusíku a zbytkového kyslíku ze vzduchu. V závislosti na složení spalovaného odpadu a také na provozních podmínkách spalovacího procesu se ve spalinách vyskytují také škodliviny ve formě oxidu uhelnatého (produkt nedokonalého spalování), chlorovodíku, fluorovodíku, bromovodíku, oxidů síry, oxidů dusíku, těkavých organických látek, polychlorovaných bifenylů, dioxinů, těžkých kovů,

tuhých znečišťujících látek (saze, dehet) a podobně. Na jednu tunu spalovaného odpadu přitom připadá cca 4 500 až 6 000 m³ vyprodukovaných spalin. [112]

Nezbytnou součástí každého zařízení EVO je vzhledem ke vzniklým škodlivinám systém čištění spalin, který slouží k odstranění škodlivin ze spalin pomocí mechanických a chemických způsobů. Obvykle jsou systémy čištění spalin uspořádány do několika stupňů. Každý stupeň přitom může být tvořen širokou škálou zařízení, k těm nejpoužívanějším se řadí například usazovací komory, cyklonové odlučovače a multicyklony, elektrostatické odlučovače, rukávcové filtry, katalytické filtry, suchá i mokrá vypírka či selektivní nekatalytická nebo katalytická redukce. [130]

Tuhým zbytkovým produktem zařízení EVO je škvára (neboli také popel), která obvykle představuje 25 až 30 % hmotnosti z celkové hmotnosti produktů spalování [112]. Po ochlazení a úpravě ji lze použít jako přísadu do betonu případně jako technické zabezpečení skládek nebo stavební materiál [128]. Dalšími tuhými produkty jsou popílek unášený proudem spalin ze spalovací komory, struska, prach z filtrů a materiály z čištění spalin [112]. Ukázkou celkového uspořádání zařízení EVO včetně systému čištění spalin lze vidět na obr. 32.



Obr. 32 Ukázkou celkového uspořádání zařízení EVO včetně systému čištění spalin (konkrétní zařízení SAKO Brno) [128]

Pro spalování SKO se v současných zařízeních na EVO využívají roštové pece s pohyblivými i nepohyblivými rošty. Tato technologie je po světě velice rozšířená, její hlavní výhodou je jednoduchost a možnost zpracovávat odpad o různých rozměrech. Používá se zejména pro spalování KO. V případě kapalných a pastovitých odpadů a kalů je časté použití rotačních pecí, což jsou vyžděné pomalu se otáčející válce s mírným sklonem. Pomalé otáčení způsobuje neustálé promíchávání odpadu a zároveň zlepšuje jeho kontakt se vzduchem. Tento typ pecí se úspěšně používá i pro spalování nebezpečných odpadů. Doba zdržení je v tomto případě zpravidla 30 až 60 minut při teplotách kolem 1 100 °C. Často využívaným typem pece je také pec fluidní. Ta se skládá z lože ze zrnitého materiálu (písek, popel), který je fluidizován proudem vzduchu. Shora nebo ze strany fluidní vrstvy jsou kontinuálně přiváděny spalované odpady. Proces spalování tak probíhá velmi intenzivně v celé fluidní vrstvě. Při použití tohoto typu pece je doporučeno upravit odpad na maximální velikost 50 mm. Výhodou je nízká tvorba oxidů dusíku a oxidu uhelnatého, možnost společného spalování tuhých, kapalných i plynných odpadů, malý objem spalin, dobré promíchávání apod. Dalším typem používaných pecí jsou pece etážové (zejména pro spalování kalů) a pece muflové (spalování zdravotnického odpadu, kalů,

barev a laků). Kromě odpadu pak lze také upravená alternativní paliva. Jejich výhoda tkví v konstantní výhřevnosti, díky čemuž je možné snížit přebytek spalovacího vzduchu až o 50 % oproti spalování odpadů. [112]

Dle agentury pro ochranu životního prostředí USA je zařízení EVO mnohem lepší volbou než skládkování nejen z hlediska hierarchie nakládání s odpady, ale také díky desetkrát větší produkci energie v porovnání s výrobou energie ze skládkového plynu. Navíc z dlouhodobého pohledu je i přes vyšší investiční náklady zařízení EVO levnější, a to především právě díky prodeji získané energie a kovů. Navíc z ekologického hlediska zařízení EVO produkuje mnohem menší množství skleníkových plynů oproti skládkování. Pro demonstraci, pokud by v ČR byl veškerý odpad směřující na skládky využit energeticky, vzniklo by o cca 9 milionů tun ekvivalentu CO₂ méně. Nevýhodou zařízení EVO jsou tedy poměrně vysoké investiční a provozní náklady, nezbytnost kvalifikované obsluhy a složité systémy zachycování škodlivin ze spalin. [112]

5.3.2 Pyrolýza a zplyňování

Pyrolýza i zplyňování se řadí k procesům s omezeným přístupem kyslíku. Jedná se o tepelnou přeměnu uhlíkatých materiálů na produkty, kterými mohou být plyny, dehet, koks a popel, jejichž složení závisí zejména na vstupní surovině a parametrech samotného procesu. Od zařízení EVO se liší zejména tím, že využívají nejen energetickou, ale také chemickou hodnotu odpadů. [112]

Rozdíly mezi pyrolýzou a zplyňováním spočívají především v teplotě, při které se proces koná a také v přítomnosti zplyňovacích médií. V praxi je však často složité je od sebe vzájemně rozeznat, pyrolýzní procesy se vyskytují i při zplyňování, a naopak plynné reakce charakteristické pro zplyňování probíhají i při pyrolýze. Společné výhody pyrolýzy a zplyňování oproti zařízení EVO jsou zejména [112]:

- využití chemické energie odpadu
- menší požadavky na čištění spalin (méně znečištěné spaliny)
- nižší provozní náklady

Ke společným nevýhodám se řadí potřeba poměrně homogenního upraveného vstupního paliva, relativně obtížné řízení a regulace procesů, menší zkušenosti s provozem ve srovnání se zařízením EVO a v neposlední řadě také menší kapacita využívaného odpadu. [112]

Pyrolýza

Pyrolýza je způsob termochemické konverze, kdy je pevné palivo zpracováváno v inertním prostředí bez přítomnosti oxidačního činidla (např. kyslíku, vody či oxidu uhličitého) [1]. Jedná se o endotermní děj, kterému je třeba energii dodávat [112].

Pyrolýzní proces se obvykle koná ve dvou stupních, zejména v případě využití nebezpečných odpadů. V prvním stupni dochází k ohřevu odpadu při teplotách 450 až 700 °C a uvolňování plynů. Ve druhém stupni jsou vzniklé plyny spalovány ve spalovací komoře při teplotách 900 až 1 300 °C, doba zdržení přitom závisí na konkrétním složení paliva. Výsledným produktem tohoto procesu je pyrolýzní plyn, pyrolýzní olej a tuhý koks. Pro představu, při spalování KO se výhřevnost vzniklého pyrolýzního plynu pohybuje v intervalu 5 až 15 MJ/mN³, v případě pyrolýzy upraveného výhřevnějšího paliva se tyto hodnoty blíží až ke 30 MJ/mN³. Pyrolýzní

plyn lze využít např. jako palivo pro motory a turbíny. To stejné platí i pro pyrolýzní olej. Přehled základních produktů pyrolýzy, jejich složení a výtěžek jsou uvedeny v tab. 15. [112]

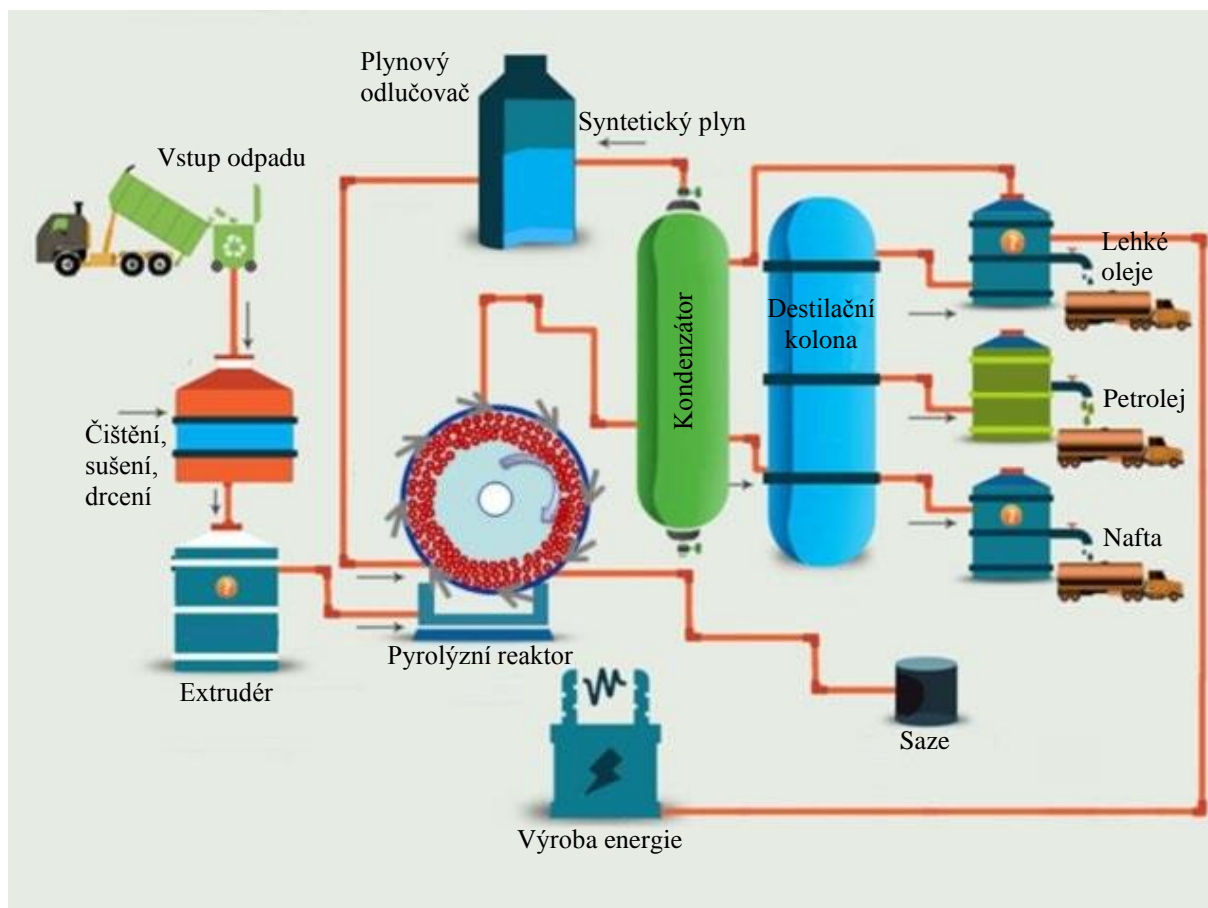
Tab. 15 Pyrolýzní produkty, jejich složení a výtěžek [112]

Název produktu	Složení	Výtěžek ¹⁶ (% hm. vstupní suroviny)
Pyrolýzní plyn	směs vodíku, methanu, oxidu uhelnatého a uhličitého a dalších těkavých látek	20–50
Pyrolýzní olej	směs dehtu, oleje, vody a organických látek (alkoholy, fenoly, uhlovodíky)	20–50
Tuhý koks	koksovitý materiál s příměsí kovů, skla, písku apod.	10–50

Existují dva druhy pyrolýzního procesu, tzv. rychlá a pomalá pyrolýza [1]. Rychlá pyrolýza je používána pro maximální produkci plynné a kapalně složky, tudíž poskytuje především tepelný užitek [131]. Probíhá při teplotách mezi 450 a 900 °C [131]. Pomalá pyrolýza, též známá jako karbonizace, která probíhá při teplotách 400 až 600 °C, se využívá k produkci dřevěného uhlí [131].

Konkrétní uspořádání pyrolýzního procesu se obvykle liší dle výrobce. Na obr. 33 je zobrazeno obecné uspořádání procesu s využitím poměrně inovativního typu reaktoru s rotačním ložem. Jak již bylo uvedeno dříve, v rámci stacionárních zařízení, odpad je nejprve svezem a upraven, prochází procesem drcení, čištění a sušení. Poté se již prostřednictvím extrudéru dostává do pyrolýzního reaktoru, kde probíhá pyrolýza dle principů popsanych výše. Pyrolýzních reaktorů existuje hned několik druhů, kromě reaktoru s rotačním ložem se může jednat např. o míchané reaktory, šnekové reaktory nebo reaktory s fluidním ložem. Pro pyrolýzu plastů se často využívají právě poslední zmíněné. Přímo z reaktoru je oddělována tuhá fáze ve formě sazí. Plynná fáze putuje z reaktoru dále do kondenzátoru, kde dochází k její kondenzaci. Zde se směs rozdělí na dva proudy – kapalně a plynně. Kapalně proud neboli pyrolýzní olej, putuje dále do destilační kolony, kde je rozdělen na lehké oleje, petrolej a naftu, které lze po následných úpravách používat jako standardní paliva. Plynně proud z kondenzátoru, který je tvořen nekondenzovatelnými plyny je dále využíván jako zdroj energie, ať už pro samotný proces nebo pro externí děje. [132]

¹⁶ Přibližné hodnoty při zpracování biomasy nebo upraveného výhřevného paliva. Plasty a pryže poskytují větší výtěžek ve prospěch oleje a plynu.



Obr. 33 Obecné schéma pyrolýzního procesu [132]

Zplyňování

Zplyňování se používá pro termochemickou přeměnu fosilního nebo uhlíkového paliva na plynné palivo nazývané syntézní plyn. Obvykle následuje po pyrolýzním procesu, při kterém vznikají tuhé produkty, které jsou dále procesem zplyňování přeměněny na plyn. Teploty se přitom pohybují mezi 800 až 1 100 °C. Na rozdíl od pyrolýzy se v případě zplyňování jedná o exotermní proces. [112]

Při zplyňování pomocí vzduchu je produktem nízkovýhřevný plyn s výhřevností 4–7 MJ/m³, při zplyňování kyslíkem vzniká středně výhřevný plyn s výhřevností 10–18 MJ/m³. V obou případech je složení podobné, skládá se z oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého, vodíku, metanu, vody a stopového množství inertních plynů a vyšších uhlovodíků. Může být dále využit pro výrobu energie ve formě elektřiny nebo tepla a také jako chemická surovina. Přehled základních produktů zplyňování a jejich složení a výtěžek jsou uvedeny v tab. 16. [112]

Tab. 16 Produkty spalování, jejich složení a výtěžek [112]

Název produktu	Složení	Výtěžek (% hm. vstupní suroviny)
Syntézní plyn	oxid uhelnatý, oxid uhličitý, vodík, metan, voda a stopové množství inertních plynů a vyšších uhlovodíků	30–60
Kapalina	dehet, olej	10–20
Pevná frakce	popel obsahující netěkavé látky a další anorganické složky	30–50

Zplyňování se často v praxi využívá při konverzi uhlí na syntézní plyn, v oblasti odpadového hospodářství se zatím nejedná o příliš rozšířenou technologii. Zplyňovat lze přitom i biomasu, průmyslové odpady a čistírenské kaly. [112]

Rešerše společností zabývajících se pyrolýzou a zplyňováním

Ačkoliv nejsou pyrolýza a zplyňování tak rozšířenou formou využití odpadu jako se objevuje u zařízení EVO, přesto existuje celosvětově nespočet společností, které se touto problematikou aktivně zabývají a vyvíjí ji. Každá z nich se zaměřuje na jiný typ vstupního odpadu, z něhož vznikají produkty o různých vlastnostech.

Ze světových společností se jedná například o „Biomass Technology Group¹⁷“. Ta se, jak již název napovídá, věnuje zpracování biomasy prostřednictvím rychlé pyrolýzy, při které vzniká produkt ve formě bio-oleje [131]. Celý proces je charakteristický vysokým výtěžkem, cca 60 až 75 % vstupní suroviny je přeměněno na olej [131]. Vstupní surovinou přitom mohou být různé druhy biomasy jako například dřevo, sláma, drůbeží trus, energetické plodiny apod [131]. Ačkoliv se jedná o nizozemskou firmu, tato technologie je v plném měřítku v současné době provozována v Malajsii, kde disponuje kapacitou 2 t/h zpracované biomasy (v tomto případě slupek od ovoce) [133]. Produkce oleje poté činí 1,2 t/h [133]. V blízké budoucnosti má být také vystavěna podobná jednotka v Nizozemí, která by měla dosáhnout kapacity až 5 t/h zpracované biomasy [133].

KO, nemocniční odpad, průmyslový odpad i kaly zpracovává švýcarská společnost „WPP Energy¹⁸“. Nesoustředí se však na výsledný produkt, ale zejména na co největší snížení objemu nežádoucího odpadu a na výrobu energie. Snížení objemu odpadu při tomto procesu je přibližně 100:1 až 200:1 dle druhu zpracovávaného odpadu. Tímto způsobem je možno zpracovat 2 až 400 t/den (dle konkrétního zařízení) a vyrábět až 35 MWh energie. Zbytkovým produktem je inertní tuhý materiál, který lze využít jako součást stavebních materiálů. [134]

Významným zpracovatelem komunálních i průmyslových odpadů procesem zplyňování je norská společnost „ENERGOS¹⁹“. Ta vyrábí z odpadu syntézní plyn, který je následně využíván pro výrobu tepla v práním kotli (pára o parametrech 23 bar a 380 °C), případně i k výrobě

¹⁷ Dostupné z <https://www.btgworld.com/en>

¹⁸ Dostupné z <https://wppenergy.com/>

¹⁹ Dostupné z <http://www.energoss.com/>

elektřiny [135]. V současné době provozuje tato společnost sedm různých zařízení v Norsku, Německu a Velké Británii [136]. Jejich kapacita se pohybuje od 30 000 t/rok po 78 000 t/rok [136].

Další společností je „Sepco Industries²⁰“ sídlící v Thajsku. Tato společnost se podílí ve spolupráci s univerzitou v Chulalongkornu na vývoji pyrolýzních jednotek již od devadesátých let minulého století. V současné době nabízí svůj nejnovější model s kapacitou 20 tun zpracovaného plastového odpadu denně při vzniku 15 000 litrů pyrolýzního oleje, který dále slouží jako nízkouhlíkové vysoce kvalitní palivo použitelné pro pohon nízkorychlostních dieslových motorů. Výrobce doporučuje využívat proud plastového odpadu bez PVC a bez PET (kvůli jeho nízké výhřevnosti) nadrcený na velikost do 80 mm. V Thajsku je toto palivo po další úpravě úspěšně používáno pro pohon autobusů, bez úpravy poté pro pohon průmyslových a zemědělských strojů. [137]

Plastový odpad i pryže procesem pyrolýzy zpracovává rovněž i švýcarská společnost „Greenlina²¹“. Vyrábí jednotky o kapacitě dle konkrétního přání zákazníka, výstupem jsou saze (>10 % hm. vstupního odpadu) použitelné do filtrů, na stavbu cest, výrobu pneumatik apod., dále pyrolýzní olej (20–70 % hm. vstupního odpadu), ze kterého lze úpravou získat naftu a také nekondenzovatelné plyny, které jsou likvidovány spalováním přímo při procesu a vytváří tak zdroj energie. Jednotlivé uvedené výtěžky se mohou měnit v závislosti na složení vstupního odpadu. [138]

Využitím plastového odpadu se zabývá také společnost s příhodným názvem „Plastic Energy²²“ sídlící v Londýně. Podobně jako ostatní provozy, zpracovává LDPE, HDPE, PP a PS. Z nich vyrábí olej, který poté atmosferickou destilací upravuje na naftu, lehký olej a syntetický plyn, který je dále používán jako zdroj energie v procesu. Celý proces probíhá formou tepelné anaerobní konverze, což je však principiálně velice podobný postup jako v případě pyrolýzy. V současné době společnost provozuje dvě jednotky ve Španělsku, jejich kapacity nejsou z oficiálních webových stránek dostupné. [139]

Dalším zpracovatelem je francouzská společnost „Biogreen²³“. Ta má v oblasti pyrolýzní techniky velice široké pole působnosti – zpracovává jak plastový odpad, tak biomasu, kaly, upravená paliva i pryže, navíc se kromě pyrolýzy zabývá i dalšími procesy využití odpadu (zplyňováním, karbonizací), které lze všechny provádět ve stejné modulární kontejnerové jednotce. Kapacita zpracovaného odpadu závisí na konkrétním materiálu a požadavcích zákazníka, společnost nabízí hned několik různých modelů. Pro plastový odpad však uvádí kapacitu 5 až 12 t/den zpracovaného odpadu. Celková účinnost je přitom uváděna mezi 80 až 95 %. Produktem je v případě orientace na pyrolýzu pyrolýzní olej (40 % hm. vstupního odpadu), v případě orientace na zplyňování syntézní plyn (až 95 % hm. vstupního odpadu). Ve všech případech je podmínkou vstupní odpad o maximální velikosti 30 mm s obsahem vlhkosti do 10 %. [140]

Ke zpracovatelům čistě plastového odpadu a pryže se řadí i indická společnost „AP-Chemi²⁴“, která provozuje více než 30 jednotek po celém světě s celkovou kapacitou 75 t/den. Výstupním produktem jejich pyrolýzního procesu je zejména olej (5 až 25 % hm. vstupního

²⁰ Dostupné z <https://www.sepcoindustries.com/>

²¹ Dostupné z <https://green.it1585.ch/>

²² Dostupné z <https://plasticenergy.com/>

²³ Dostupné z <http://www.biogreen-energy.com/>

²⁴ Dostupné z <https://www.pyrolysisplant.com/>

odpadu), ze kterého lze následnou úpravou získat vazelíny a lubrikační oleje, a standardní pyrolýzní olej (30 až 90 % hm. vstupního odpadu), ze kterého lze následnou rafinací získat další ušlechtlejší paliva, případně jej lze energeticky využít ihned a získat tak 2,5 kWh z každého litru oleje. Kapacita zpracovaného odpadu není na stránkách výrobce uvedena. [141]

Poslední zde uvedenou zahraniční společností je čínská „Beston Machinery²⁵“. Ta se zabývá využitím pryže, biomasy a v neposlední řadě také plastového odpadu. Nabízí celkem čtyři různé modely pyrolýzních jednotek ve třech různých provedeních – vsázkové provedení, polo-kontinuální provedení a kontinuální provedení. Vsázkové provedení zahrnuje dvě jednotky o kapacitách 6 nebo 8–10 t/den. Polokontinuální provedení má pouze jednu variantu o kapacitě 15–20 t/den zpracovaného odpadu. Kontinuální provedení má kapacitu nejvyšší, 20–24 t/den. Hlavním produktem je jako ve většině ostatních zařízení pyrolýzní olej. Jeho výtěžek je různý v závislosti na složení odpadního proudu, pohybuje se však mezi 70 až 90 % hm. vstupního odpadu. Výhodou oproti ostatním technologiím je i možnost zpracování PVC. [142]

V České republice se pyrolýzou KO zabývá společnost „LBG Moravia²⁶“. Produkt může být orientován v závislosti na nastavení technologie na plynné nebo kapalné palivo vhodné k dalšímu energetickému využití [143]. Společnost bohužel na svých stránkách neuvádí maximální možnou kapacitu, jakou je schopna dodat, ale pouze minimální, která činí 8 000 t/rok [143]. Kromě této společnosti operuje na českém trhu také mnoho dalších, např. „TARPO²⁷“ či „Air Technic²⁸“. Obě tyto společnosti se prioritně věnují zpracovávání biomasy a dřevní štěpky, což není pro tuto diplomovou práci přínosem. Ze světových zpracovatelů biomasy pyrolýzou či zplyňováním poté lze jmenovat společnost „Renergi²⁹“, „Avello Bioenergy³⁰“ nebo „BTG-BTL³¹“. Přehled společností věnující se zpracování odpadů pyrolýzou nebo zplyňováním, které byly představeny výše včetně původu, paliva, které zpracovávají, a produktu, který je výstupem, je uveden v tab. 17.

Tab. 17 Přehled některých společností věnující se zpracování odpadů pyrolýzou nebo zplyňováním

Název společnosti	Původ	Palivo	Produkt	Kapacita zpracovaného odpadu
Biomass Technology Group	Nizozemí	biomasa (dřevo, sláma, drůbeží trus, energetické plodiny, slupky)	bio-olej (1,2 t/h)	2 t/h (max.)
WPP Energy	Švýcarsko	KO, nemocniční, průmyslový odpad, kaly	až 35 MWh energie	400 t/den (max.)

²⁵ Dostupné z <https://bestonpyrolysisplant.com/>

²⁶ Dostupné z <https://www.lbgmoravia.cz/>

²⁷ Dostupné z <http://www.tarpo.cz/>

²⁸ Dostupné z <http://www.airtechnic.cz/>

²⁹ Dostupné z <http://renergi.net/>

³⁰ Dostupné z <http://www.avellobioenergy.com/>

³¹ Dostupné z <https://www.btg-btl.com/en>

Název společnosti	Původ	Palivo	Produkt	Kapacita zpracovaného odpadu
ENERGOS	Norsko	KO a průmyslový odpad	plynné palivo	dle zařízení 30 000 až 79 000 t/tok
Sepco Industries	Thajsko	plastový odpad	pyrolýzní olej (15 000 l/den)	20 t/den
Greenlina	Švýcarsko	plastový odpad a pryže	pyrolýzní olej	dle zákazníka
Plastic Energy	Velká Británie	plastový odpad a pryže	olej (dále upravovaný na naftu)	neznámá
Biogreen	Francie	biomasa, plastový odpad, kaly, paliva	pyrolýzní olej (40 % hm. vstupního odpadu), případně syntézní plyn (až 95 % hm. vstupního odpadu)	5 až 12 t/den (v případě plastového odpadu)
APChemi	Indie	plastový odpad	vazelíny a lubrikační oleje, pyrolýzní olej (30 až 90 % hm. vstupního odpadu)	neznámá
Beston Machinery	Čína	plastový odpad, pryže, biomasa	pyrolýzní olej (70 až 90 % hm. vstupního odpadu)	6 až 24 t/den
LBG Moravia	ČR	KO	plynné a kapalné palivo	8 000 t/rok (min.)

5.3.3 Materiálová recyklace

Materiálová recyklace jinak označována také jako materiálové využití je proces, při kterém se z plastového odpadu stává nový výrobek. Během tohoto procesu neprobíhá žádná chemická reakce, jedná se čistě o fyzikální děj. Plastový odpad je zahříván do podoby taveniny nebo do elastického stavu a následně tvářen a zchlazován. Dle výsledného výrobku potom může být materiálová recyklace rozdělena na primární a sekundární. Při primární materiálové recyklaci se z odpadu stává výrobek stejné či podobné kvality, jako byl původně. Recyklovaný materiál je tedy upraven na jemnou frakci a poté přimícháván k čisté nové směsi, se kterou společně vstupuje do procesu zpracování. [127]

Sekundární materiálovou recyklací vzniká výrobek, který je svými vlastnostmi a využitím odlišný od výrobku původního. Tohoto postupu se využívá často u zpracování směsných plastových nebo méně kvalitních odpadů. Vznikají tak například podlahové krytiny či podklady

koberců, rámy oken, zatravnovací dlaždice, odpadkové koše, zahradní nábytek, protihlukové stěny, pytle či střešní krytiny. Společnou výhodou primární i sekundární recyklace je úspora nových neobnovitelných surovin. [127]

Prvním a nejdůležitějším krokem materiálové recyklace je vytrídění jednotlivých složek plastového odpadu. Tento krok zásadně ovlivňuje ekonomiku celého zpracování, neboť ta je mimo jiné závislá právě na kvalitě a „čistotě“ vstupního materiálového proudu. V praxi většina stacionárních dotřídňovacích linek třídí plastový odpad dle uplatnitelnosti na trhu. Standardní dělení většinou bývá:

- PET, který se dále dělí dle jednotlivých barev (typicky modrá, zelená a mix)
- duté plastové obaly (HDPE + PP)
- fólie (LDPE + HDPE)
- směsný plast

Po vytrídění následuje drcení odpadu, kdy se materiál rozdrťí na drobné vločky nebo granule, které se dále promývají ve vodě (flotační nádrž), kde jsou zbaveny nežádoucích zbytků, jako jsou zbytky potravin, lepidla a dalších nečistot. Čisté vločky, drťe a granule poté dále slouží jako surovina pro primární či sekundární recyklaci, jak je uvedeno výše. [144]

Na trhu je největší zájem o PET, právě tento materiál bývá v největší míře zužitkován. Z použitých PET lahví tak lze například vyprodukovat lahve nové, i když se v současné době od této metody (tzv. Bottle-To-Bottle recyklace) spíše ustupuje. Při ní je vstupní PET materiál nejprve standardně rozdrčen, vymyt a vysušen, poté je taven při teplotě kolem 280 °C. Vzniklá tavenina je filtrována vysokým tlakem přes keramický filtr, čímž jsou odstraněny zbylé nečistoty. Po ochlazení vzniká regranulát, tedy výchozí polotovar určený pro vyfouknutí nové PET lahve. Někdy přistupuje také k tzv. recyklaci zvlákňováním, která se využívá v textilním průmyslu. Čistý, vysušený materiál je v tomto procesu roztaven a vytvarován v textilní vlákno, ze kterého jsou poté tvořeny různé druhy oděvního textilu či koberců, spacáků apod. Po uplynutí životnosti již však není možné tento textil dále recyklovat, musí být poté likvidován jako běžný nerecyklovatelný odpad. [144]

Poměrně jednoduchým způsobem lze recyklovat i EPS. Předpokladem je opět čistý a kvalitní materiál. Samolepky, izolepa nebo potisky nejsou v tomto případě považovány za znečištění, problémem je naopak obarvený EPS, neboť barviva snižují kvalitu recyklátu. Problematický je také EPS ze stavebnictví, který často obsahuje různá aditiva a zpomalovače hoření, což materiálovou recyklaci zcela znemožňuje. Pouze barvivy znečištěný materiál lze využít např. k lehčení betonů. Neznečištěný materiál se dále drťí na granulát, ze kterého mohou být znovu vyráběny nové produkty, např. izolační materiály budov. [144]

Problematickou složkou nejen z hlediska materiálové recyklace je PVC. Tento materiál totiž obsahuje mnoho různých druhů stabilizátorů, plniv a maziv, zajištění jednodruhovosti vstupní suroviny je tak téměř nemožné. Jedním z mála případů, kdy se k materiálové recyklaci přistupuje je u zpracování plastových oken a podobných odpadů ze stavebnictví. Takový proud odpadu je nejprve zbaven ostatních materiálů, dále je rozdrčen na malé částice a vzniklá drť putuje k odprašovacímu zařízení, kde jsou od sebe odděleny PVC a pryžové částice. PVC drť lze poté znovu použít k výrobě rámu plastových oken. Odhaduje se, že až 40 % rámu oken je vyrobeno z recyklátu. Podobným způsobem lze recyklovat také PVC potrubí nebo podlahovin. [144]

Ač se může zdát materiálová recyklace jako nejefektivnější využití vzniklého plastového odpadu, často je komplikovaná a v některých případech dokonce neproveditelná. To je způsobeno hned několika skutečnostmi. Plastový odpad je velmi heterogenní směs složená z širokého sortimentu materiálů, které jsou navíc často i vzájemně neoddělitelně kombinovány, popřípadě kombinovány i s jinými neplastovými materiály. To je značnou komplikací, neboť materiálová recyklace vyžaduje jako vstup čistý jednodruhový odpad se známým a jednoznačným složením, navíc produkováný v dostatečné kvalitě i kvantitě. Čím je požadována vyšší kvalita výrobku, tím lépe by měl být použitý odpad upraven. Navíc, ne všechny druhy plastových materiálů materiálově recyklovat lze. Příkladem mohou být reaktoplasty, u kterých dojde při opětovném zahřátí k síťovému zpevnění a materiál je dále pro recyklaci nepoužitelný. Vhodné nejsou ani elastomery. [127]

Překážkou materiálové recyklace je v mnoha případech ekonomika. Samotný proces je poměrně jednoduchou záležitostí, ekonomicky výhodné využití vzniklého regranulátu však již nikoliv. To je mimo jiné ovlivněno i cenou ropy. V případě, že cena ropy a s tím úzce spojená i cena primárních surovin pro výrobu plastů klesne pod určitou hodnotu, nevyplatí se výrobcí nahrazovat primární surovinu tou druhotnou. Poptávka po druhotné surovině je tak v průběhu roku poměrně nestálou záležitostí. [144]

Při rozhodování o využití plastového i jiného odpadu prostřednictvím materiálové recyklace je třeba zvážit veškeré ekonomické i ekologické aspekty. Z ekonomického pohledu nelze pominout cenu nahrazovaných primárních surovin, v případě zpracování na pevnině vliv dotací, dále také porovnání spotřeby energie při zpracování druhotných a primárních surovin, potřebu pracovních sil a vliv na přepravní náklady. [7]

5.3.4 Mechanicko-biologická úprava

Mechanicko-biologická úprava odpadu (dále jen „MBÚ“) není způsob využití vhodný pro proud čistě odpadního plastu, používá se zejména pro SKO. Jedná se o kombinaci mechanických (síta, magnety) a biologických metod (kompostování, anaerobní digesce), jejichž produktem je tuhé alternativní palivo a kompost/digestát. [112]

Prvním krokem při MBÚ je mechanická úprava odpadu, která se skládá z drcení a následného prosévání odpadu přes síta. Přitom jsou z odpadního proudu pomocí magnetů separovány kovy, které jsou ekonomicky využitelné. Touto úpravou je oddělena lehká, vysoce výhřevná frakce sloužící k výrobě tuhého alternativního paliva, v zahraničí označovaného zkratkou RDF (refuse derived fuel) či SRF (solid recovered fuel). Toto palivo musí mít výhřevnost v intervalu 11 až 25 MJ/kg a velikost částic do 300 mm. Nejčastěji bývá využíváno ve spolupráci s cementárnami, cihelnami, uhelnými elektrárnami nebo ve vysokých pecích. Podsítný zbytek složený z biologických složek a inertního odpadu bývá dále podroben procesu kompostování nebo anaerobní digesce. Kompost může být dále standardně používán, je však méně kvalitní než komposty z jiných zdrojů (zahradní odpad, parkový odpad). Vzniklý digestát poté putuje na skládky odpadu, disponuje však mnohem menším objemem, než by měl odpad, který by nebyl procesem MBÚ zpracován. [112]

Výhodou MBÚ je flexibilita celého procesu, díky které lze snadno reagovat na změnu množství či složení vstupního odpadu. MBÚ nelze považovat za alternativu EVO nebo skládkování. Jedná se spíše o určitě zefektivnění těchto procesů. Nevýhodou MBÚ je, že výstup je možno spalovat pouze ve speciálně upravených jednotkách. Poptávka po tomto palivu tudíž není vysoká, mnohdy končí na skládkách. V ČR v současné době žádné zařízení určené pro

MBÚ případně využití vzniklých produktů nefunguje. Prakticky je tato technologie využívána hlavně v Německu, Rakousku, Itálii, Polsku a Finsku. [112]

5.3.5 Skládkování

Skládkování odpadu je dle hierarchie nakládání s odpady nejméně preferovaná varianta. Některé druhy odpadů se však nevyplatí případně ani nelze využívat jinak. Skládkování je plánovitě zavážení odpadu na skládku, kde je odpad dále hutněn a pravidelně překrýván vrstvou inertního materiálu (zeminy). Často je takto odstraňován nebezpečný odpad, který nemá jiné využití. Uvnitř skládky dále probíhají biologické, chemické i fyzikální procesy, které vedou k rozkladu odpadů za vzniku výluhů (znečištěná kapalina odcházející spodní částí skládky) a plynů. Aby nedošlo ke kontaminaci podzemních vod, je nutné vybudovat při vzniku skládky kvalitní těsněné podloží s drenážním systémem, který výluh odvádí. Vzniklé plyny jsou rovněž zachytávány, případně lze jejich vzniku předcházet odstraněním nebo stabilizací biologicky rozložitelných podílů. Každá skládka musí být navíc vybavena monitorovacím systémem, kterým jsou procesy uvnitř sledovány, včetně složení výluhů, podzemních vod i vznikajících plynů. [112]

Dle složení odpadu se dělí skládky do tří skupin – skládky inertního odpadu, skládky ostatního odpadu a skládky nebezpečného odpadu. Dle umístění mohou být nadúrovňové, tedy budované nad úroveň dosavadního terénu, podúrovňové, tedy budované do přirozené nebo uměle vytvořené prohlubně (včetně již nefungujících dolů) či svahové, které využívají přírodního úbočí. Jak již bylo zmíněno výše, základem každé skládky je především kvalitně provedené těsnění (zejména v případě nebezpečného a ostatního odpadu), které brání průsaku nebezpečných výluhů do okolního prostředí. První vrstvu tvoří většinou minerální těsnění s malou propustností, na které navazuje druhá vrstva v podobě HDPE fólie o minimální tloušťce 1,5 mm. Proti poškození odpadem se fólie překrývá vrstvou textilie a pneumatik prosypávaných jemnozrnným materiálem. Zvláště nebezpečné a toxické odpady bývají navíc skladovány ještě v sudech či kontejnerech zalitých do betonu. [112]

Neméně důležitou součástí skládky jsou kompaktory, tedy čelní kolové nakladače s hmotností okolo 30 tun, sloužící k co největšímu stlačení odpadu. Smyslem stlačování je maximální využití kapacity skládky, vytvoření optimálních podmínek a snížení úletu lehkých odpadů v důsledku povětrnostních vlivů. [112]

Po naplnění kapacity jsou skládky uzavřeny konečným překryvem. Úkolem tohoto překryvu je vytvořit nepropustnou bariéru a zároveň zabránit průniku srážkové vody tělesem skládky. Překryv tvoří vrstva písku, dále několik vrstev geotextilie, těsnících fólií apod. Důležitou součástí je i plynová drenáž, která zabraňuje hromadění skládkového plynu, které by mohlo způsobit výbuch. Uzavřená skládka musí být kontrolována a monitorována ještě minimálně následujících 30 let. [112]

5.4 Odsolování mořské vody

Součástí vlastního návrhu je kromě zpracování odpadu i odsolování mořské vody a přidávání minerálů za účelem výroby pitné vody. Dle „United Nations Environment Programme³²“ (program OSN pro životní prostředí) bude v průběhu příštích padesáti let akutní nedostatek pitné

³² Dostupné z <https://www.unenvironment.org/>

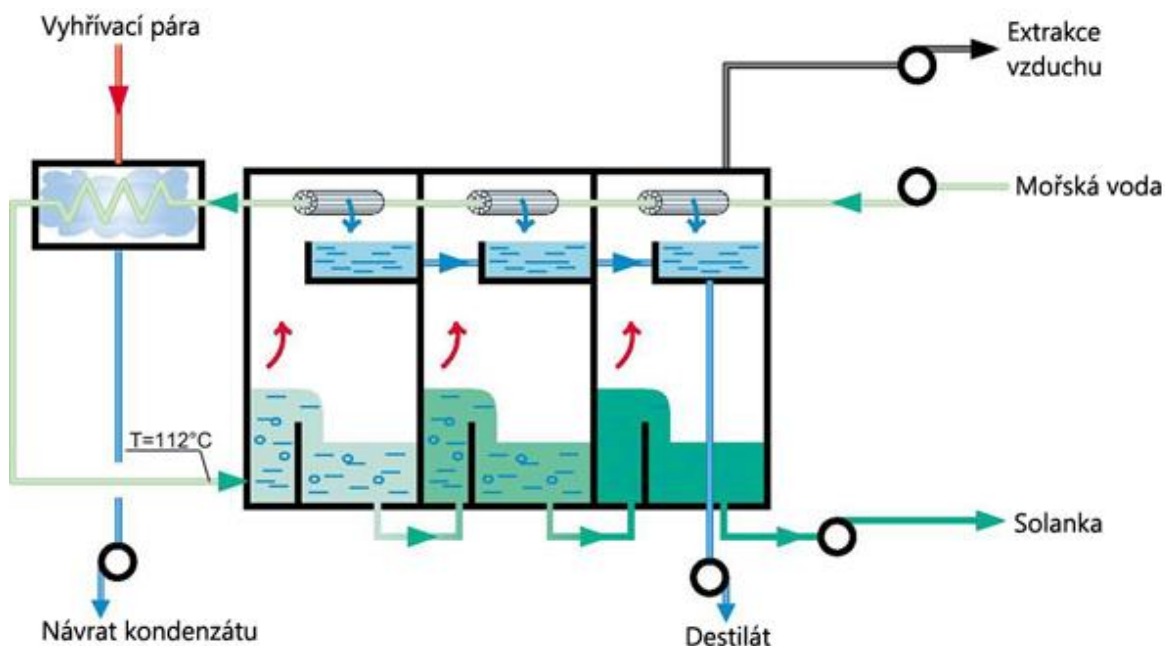
vody aktuální pro téměř 3 miliardy obyvatel [145]. Dá se tedy očekávat, že pitná voda se stane velmi ceněnou komoditou.

Pro odsolování vody, případně i pro čištění sladké vody obsahující nežádoucí příměsi, lze využít následující způsoby [145]:

- destilace
- komprese páry
- reverzní osmóza
- vymrazování
- elektrodialýza
- iontová výměna

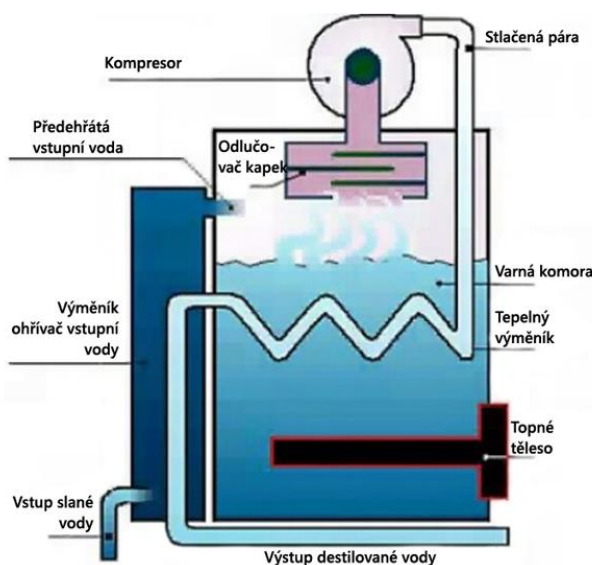
Nejběžnější, nejstarší a zároveň energeticky nejnáročnější metodou je destilace. Slaná voda je zahřívána, čímž dochází k přeměně z fáze kapalné do fáze plynné. Netěkavé příměsi v podobě solí přitom zůstávají ve stejném stavu. Vzniklá pára je oddělována od stávající směsi a ochlazena, čímž je získána voda bez příměsí. Vzhledem k vysokému výparnému teplu je na destilaci jednoho litru vody potřeba cca 0,7 kWh energie, což je několikanásobně více než v případě ostatních metod. S oblibou se tato metoda používá tam, kde je k dispozici dostatek tepla. Nejčastěji se s ní lze setkat právě na lodích. [145]

Snížení energetické náročnosti odsolování destilací lze dosáhnout při využití vícestupňové destilace. Tato metoda využívá kromě dodávaného tepla i teplo uvolněné kondenzací vodní páry. V praxi to vypadá tak, že je zařízení tvořeno několika za sebou řazenými destilačními komorami, kdy v každé následující komoře je vždy nižší tlak než v komoře předcházející. Jelikož bod varu je na tlaku závislý (se snižujícím se tlakem se rovněž snižuje), kondenzující voda z předcházející komory, která je zachytávána a odváděna, přivádí k varu vodu v komoře následující. Na tomto principu pracují i některá velká odsolovací zařízení (např. Al Khobar IV v Saudské Arábii, které produkuje 272 000 m³ pitné vody denně). Počet destilačních stupňů je však omezen teplotním gradientem mezi odpařující se a kondenzující kapalinou – uvádí se, že maximální počet použitelných stupňů je 40. Princip vícestupňové destilace je znázorněn na obr. 34. [145]



Obr. 34 Znáornění principu odsolování prostřednictvím vícestupňové destilace [145]

Na podobném principu jako vícestupňová destilace je založena i metoda odsolování pomocí komprese páry. I v tomto případě je využito kondenzační teplo k přivedení odsolované kapaliny k varu, tlak však není snižován v celém prostoru jedné komory, ale naopak je vzniklá vodní pára stlačována kompresorem, čímž je zvyšována teplota rosného bodu páry nad teplotu bodu varu slané roztoku. Na začátku celého procesu je tedy slaná voda přivedena pomocí topného tělesa k varu. Jakmile je varu dosaženo, je spuštěn kompresor, který stlačuje vznikající páru tak, aby bylo dosaženo vyšší teploty rosného bodu, než je teplota bodu varu roztoku v nádobě. Pára, která z procesu odchází, navíc předává své teplo prostřednictvím výměníku tepla do kapalného roztoku, který je tím pádem udržován ve varu. V dalším výměníku pak již zkonzenzovaná odsolená voda o teplotě kolem 100 °C předává teplo čerstvé vstupující slané vodě. Tím je dosaženo poměrně vysoké účinnosti zařízení. Princip metody odsolování kompresí páry je znázorněn na obr. 35. [145]



Obr. 35 Znáornění principu metody odsolování pomocí komprese páry [145]

Velice oblíbenou metodou je i reverzní osmóza, která využívá rozdílů ve velikosti částic v roztoku. Základním prvkem je v tomto případě polopropustná membrána, která má takové rozměry otvorů, aby molekuly vody mohly bez problému projít, ionty solí (které jsou větší) však skrze membránu neprojdou. V principu se tedy jedná o nádobu rozdělenou membránou na poloviny, kdy na jednu polovinu je přiváděna slaná voda a z poloviny druhé je poté kontinuálně odváděna voda odsolená. Aby nedocházelo ke zpětnému pronikání vody do slaného roztoku, musí být tlak nad slaným roztokem zvýšen o hodnotu tzv. osmotického tlaku (tedy pro mořskou vodu asi o 3 MPa). Z hlediska energetické náročnosti je reverzní osmóza velmi výhodnou metodou. Používá se hojně pro malé laboratorní aplikace i pro zisk pitné vody na ostrovech a v pouštních oblastech. [145]

Ne příliš často využívanou metodou odsolování je využití vymražování, kdy je voda odělována pomocí krystalizace při zamrznutí. K dalším metodám patří také elektrodialýza (odstranění iontů solí z roztoku pomocí elektrického proudu), která se využívá spíše pro čištění odpadních vod a iontová výměna. [145]

Ať už je k odsolení vody použita jakákoliv výše uvedená metoda, pokud je takto upravená voda určena ke konzumaci, je nutné do ní přidat potřebné minerály. Jedná se zejména o kationty vápníku a hořčíku plus anionty chloru a fluoru. Dlouhodobá konzumace vody bez takto přidaných minerálů má na lidské tělo škodlivé účinky. [145]

6 KONCEPČNÍ NÁVRH VLASTNÍHO ZAŘÍZENÍ

Důležitou součástí předkládané diplomové práce je návrh vlastního alternativního systému shromažďování, sběru a následného využití odpadu z oceánu. Je rozdělen na dvě části – technický návrh, tedy obecnou volbu daných technologií a jejich uspořádání, a ekonomický návrh, který zahrnuje ekonomickou a materiálovou bilanci s výběrem konkrétních použitých zařízení. V obou částech je kladen důraz na:

- respektování hierarchie nakládání s odpady
- environmentálně přijatelné řešení s co nejmenším negativním dopadem na životní prostředí
- ekonomickou rentabilitu
- všestranné použití v různých podmínkách a lokalitách

Právě kvůli mobilitě a všestrannému použití bylo rozhodnuto umístit veškeré technologie spojené s úpravou a využitím odpadu na technologickou loď, podobně jako např. v případě konceptu **Ocean Saviour** či plavidla **Manta**, což má oproti umístění na pevninu mnoho výhod. Mobilita lodi umožňuje přesouvat se mezi lokalitami s největší koncentrací odpadu bez nutnosti výstavby nových zařízení, tedy jakmile je daná lokalita dostatečně vyčištěna a setrvání v ní již není žádoucí, loď se může přesunout do nové lokality (vzdálené i tisíce kilometrů), což by v případě zázemí na pevnině nebylo snadné. Navíc, celý proces může probíhat i na otevřeném oceánu daleko od pobřeží (např. v odpadkových skvrnách) případně v přibřežních neosídlených oblastech bez nutnosti častého kontaktu s pevninou. Pokud by v odlehlých oceánských oblastech probíhal pouze sběr odpadu, který by byl následně převážen na pevninu ke zpracování, ekonomická rentabilita celého projektu by výrazně poklesla kvůli nákladům na přepravu. V případě přírodních pohrom s dopadem na znečištění oceánu by pak celé plavidlo mohlo být rychle přesunuto do postižené oblasti, kde by snižovalo množství odpadu unikajícího do volného oceánu, čímž by zabraňovalo nežádoucímu zvětšování odpadkových skvrn. Drobným bonusem při umístění na lodi je také možnost představení způsobů nakládání s odpadem v přístavech po celém světě, což by bylo přínosem zejména v oblastech s omezeným či zcela nevyvinutým odpadovým hospodářstvím, kde by plavidlo mohlo sloužit jako zdroj inspirace. Na lodi by tak v případě potřeby bylo možné zpracovávat i pevninský odpad. Nevýhodou umístění na lodi je pak omezená velikost a váha jednotlivých zařízení a také omezený počet osob, které mohou na lodi současně pracovat a zařízení obsluhovat.

Druhým důležitým rozhodnutím byla volba způsobu shromažďování a sběru odpadu nacházejícího se v oceánech. Vlastní návrh shromažďování a sběru se soustředí zejména na odpad plující na hladině oceánu případně vznášející se do 1 m hloubky pod hladinou. Nepokrývá tedy problematiku odpadu na mořském dně ani vznášející se ve větších hloubkách. Rovněž klade důraz na záchyt mesoplastů, makroplastů a obecně odpadů z různých materiálů o rozměrech v jednotkách, desítkách či stovkách cm, čímž sice není vyloučen i záchyt mikroplastů, jeho sběr však není prioritou. V rámci vlastního návrhu jsou uvažovány dva různé scénáře shromažďování a sběru odpadů, a to:

- scénář 1 – stacionární poloha lodi s několika samostatnými plovoucími bariérami ve své blízkosti, umístěnými v místě vysoké koncentrace odpadů
- scénář 2 – aktivně se pohybující loď zachytávající plovoucí odpad při svém pohybu

6.1 Sběr odpadu – scénář 1

Na základě provedeného srovnání již fungujících projektů bylo zvoleno modifikované řešení inspirované projektem organizace **The Ocean Cleaner** zabývajícím se shromažďováním a sběrem řasy hroznovice. Toto vlastní řešení kombinuje využití statických plovoucích bariér ke shromažďování a vodních dronů ke sběru odpadu. Statické bariéry v podobě nafukovacích hadic, případně dutých hadic s plováky a se sukni zabraňující podeplutí by byly rozmístěny v oceánu tak, aby využívaly přirozených mořských proudů, působení vln a síly větru nad hladinou k zachycování odpadu. Každá z bariér, sestávající se z několika segmentů o vhodné délce dle konkrétního místa výskytu, by byla pevně zakotvena na obou svých koncích tak, aby zbylou částí mohla vytvořit charakteristický tvar písmene U. Zde by byl odpad působením výše uvedených sil shromažďován. V jedné lokalitě by takto mohly být umístěny až desítky bariér kooperativně zachytávajících odpad. Jednalo by se vždy o místa s nejvyšší koncentrací odpadu, což zahrnuje:

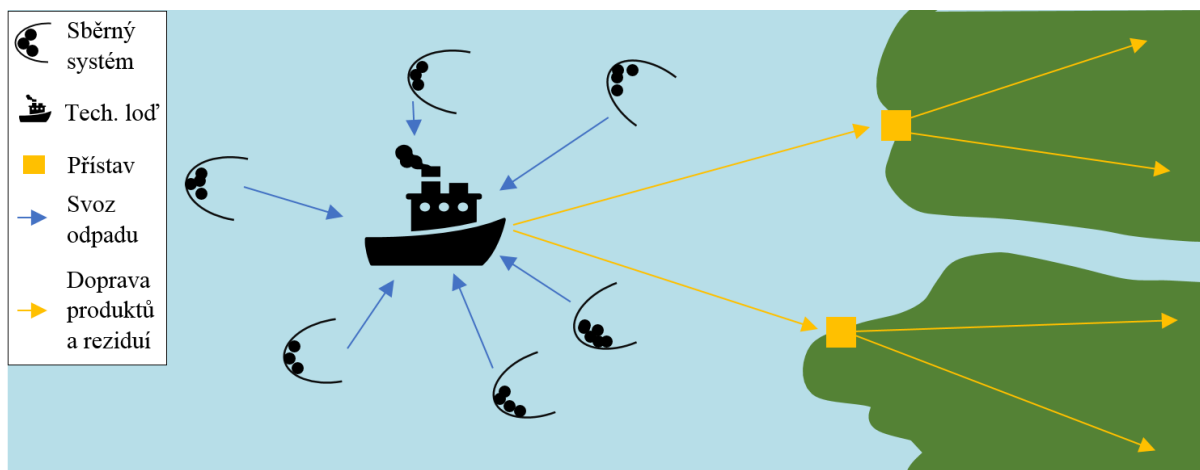
- lokality blízko ústí řek
- příbřežní lokality okolo hustě osídlených oblastí
- odpadkové skvrny

V blízkosti takto rozmístěných bariér by byla ukotvena technologická loď, na které by docházelo k úpravě a využití odpadu. Její ideální poloha by byla uprostřed umístěných bariér, případně v co nejkratší vzdálenosti od nich. Shromážděný odpad z bariér by byl dále prostřednictvím pásového dopravníku umístěném na pomocném plavidle naložen do kontejnerů a po naplnění jejich kapacity převezen k technologické lodi, na kterou by byly plné kontejnery vyzdvihnuty konzolovým případně mobilním jeřábem umístěným na palubě. Odebrané plné kontejnery by pak byly nahrazeny prázdnými, aby bylo možné dále pokračovat ve sběru odpadu, zatímco by se přivezený odpad zpracovával. Základní provozní principy pomocné lodi by se velice podobaly zmiňovaným zařízením **Sargabot** a **Sargatrailer**, které jsou zobrazeny na obr. 36. Na rozdíl od těchto zařízení by byl odpad nakládán přímo do kontejnerů, ne na palubu pomocné lodi. Rovněž část určená pro posádku a řízení lodi by byla více chráněna před vlivy počasí i mořské vody. Obecný princip funkce by však zůstal zachován.



Obr. 36 Ukázka zařízení **Sargabot** a **Sargatrailer** [146]

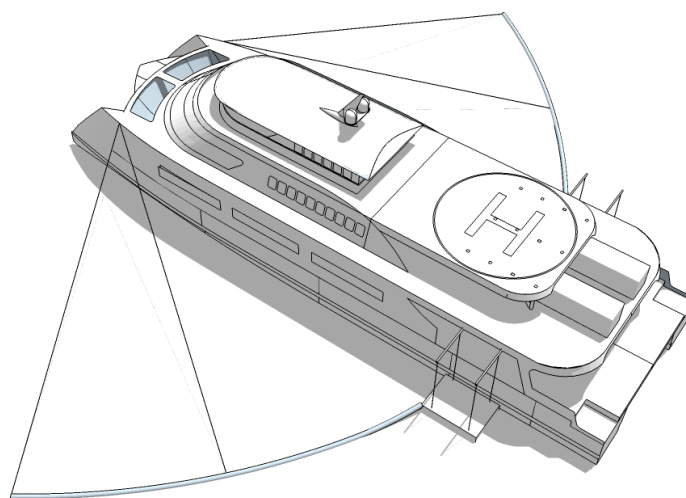
Příklad možného celkového uspořádání bariér včetně polohy technologické lodi v případě zachytávání odpadu u ústí řek lze vidět na obr. 37. Je třeba zdůraznit, že tato konfigurace není pevně daná, vždy je nutné nejprve důkladně prostudovat předpokládané směry proudění vody v konkrétní lokalitě a dle zjištěných poznatků rozmístit bariéry tak, aby fungovaly co nejefektivněji. Celý systém navíc nesmí překážet lodní dopravě.



Obr. 37 Příklad možného uspořádání bariér včetně polohy technologické lodi v případě zachytávání odpadu u ústí řek

6.2 Sběr odpadu – scénář 2

Druhou možností shromažďování a sběru odpadu je zachytávání přímo za aktivního pohybu technologické lodi, která by rovněž poskytovala zázemí pro zpracování a využití odpadu jako v případě předchozího scénáře, navíc by však sloužila i jako aktivní prvek shromažďování a sběru, kdy by nebylo potřeba žádných dalších pomocných plavidel. Samotná technologická loď by se tak v případě obou scénářů lišila jediným konstrukčním prvkem – bariérou ukotvenou přímo k trupu lodi, která by rozšiřovala celkový záchytný rozsah. Vzhled a princip funkce této bariéry by byl inspirován dříve zmíněným plavidlem **Ocean Saviour**, jehož schéma lze vidět na obr. 38.



Obr. 38 Schéma plavidla **Ocean Saviour** se záchytnými bariérami upevněnými k trupu lodi [58]

Na rozdíl od tohoto plavidla by se však nejednalo o katamarán, ale o loď se standardním trupem (rešerše vhodných lodí je součástí této kapitoly). Odpad zachycený na obou stranách lodí by byl vyzdvižen na palubu pomocí jeřábu, kde by byl umístěn do kontejnerů, ze kterých by putoval dále do procesu zpracování a využití. Loď by působila zejména na volném oceánu v oblasti odpadkových skvrn, její použití v příbřežních oblastech by ovšem bylo také možné.

6.3 Technologie a procesy modelové lodí

Proces úpravy a zpracování odpadu by byl pro obě varianty sběru shodný. Jakmile by byl odpad vyzdvižen na palubu technologické lodí, začal by proces jeho úpravy. Vstupní směsný proud odpadu by nejprve byl podroben manuálnímu třídění. To by probíhalo na páse vybaveným magnetickým separátorem, z proudu by tak byly snadno odděleny magnetické kovy, které by byly dále skladovány a ekonomicky zhodnoceny při prodeji na pevnině. V průběhu manuálního třídění by byly z proudu odpadu odděleny také nemagnetické kovy (např. hliník), které lze využít stejně jako předchozí uvedené kovy magnetické, a nepoškozené a nedegradované plastové předměty, které lze využít materiálově. Při současné situaci na trhu popsané výše bylo rozhodnuto oddělovat pouze nepoškozené PET lahve všech barev, rozdělené na proud čirého a směsného materiálu. Oba proudy by byly skladovány stejně jako kovy k pozdějšímu ekonomickému zhodnocení na pevnině. Takto protříděný proud odpadu by dále pokračoval procesem drcení, čímž by byl rozměrově homogenizován. Drcení je rovněž nutnou podmínkou pro následující proces mechanického třídění. V tomto kroku by byl odpad rozdělen na dva hlavní proudy, a to proud vhodný pro pyrolýzní zpracování a proud pro EVO.

Z výše uvedených poznatků vyplývá, že pyrolýzní reaktory jsou ve většině případů určeny pro biomasu případně pro specifické plastové složky odpadů. V případě odpadu pocházejícího z oceánu by nebylo využití biomasy vhodné, skládá se z odumřelých řas a jiných mořských rostlin, navíc není předpokládána ani dostatečná kapacita, která by se pro zavedení procesu pyrolýzy biomasy vyplatila. Jiná situace je v případě plastového odpadu, který má v oceánu většinové zastoupení. Z tohoto důvodu by byl proud skládající se zejména z PE a PP oddělený při mechanickém třídění dále prán, sušen a následně použit právě pro tyto účely. Hlavní produkt pyrolýzního procesu, tedy pyrolýzní olej, by byl dále skladován ve k tomu určených nádržích. Část produkovaného oleje by poté byla použita pro energetické potřeby lodí, druhá část by byla prodávána na pevnině. Vedlejší produkt v podobě tuhých zbytků by byl dále míchán s upraveným proudem určeným pro zařízení EVO. Proud vznikajících nekondenzovatelných plynů by byl znovu využit při pyrolýzním procesu případně likvidován spalováním na fléře.

Druhý proud odpadu oddělený mechanickým tříděním složený ze zbytkových složek, tedy nevyhovujících plastových materiálů, bioodpadu, dřeva, textilu, papíru apod. by prošel procesem sušení a následně by byl využit energeticky. Teplo vzniklých spalin by bylo ve výměníku tepla předáno do proudu termálního oleje, který by byl dále použit jako zdroj tepla v obytných částech lodí nebo zdroj tepla pro další procesy. Již nevyužitelné spaliny by byly dále společně se spalinami z procesu pyrolýzy čištěny a odváděny lodním komínem. Tuhé zbytky v podobě popela a produktů čištění spalin by byly dále skladovány v kontejnerech a zneškodňovány na pevnině.

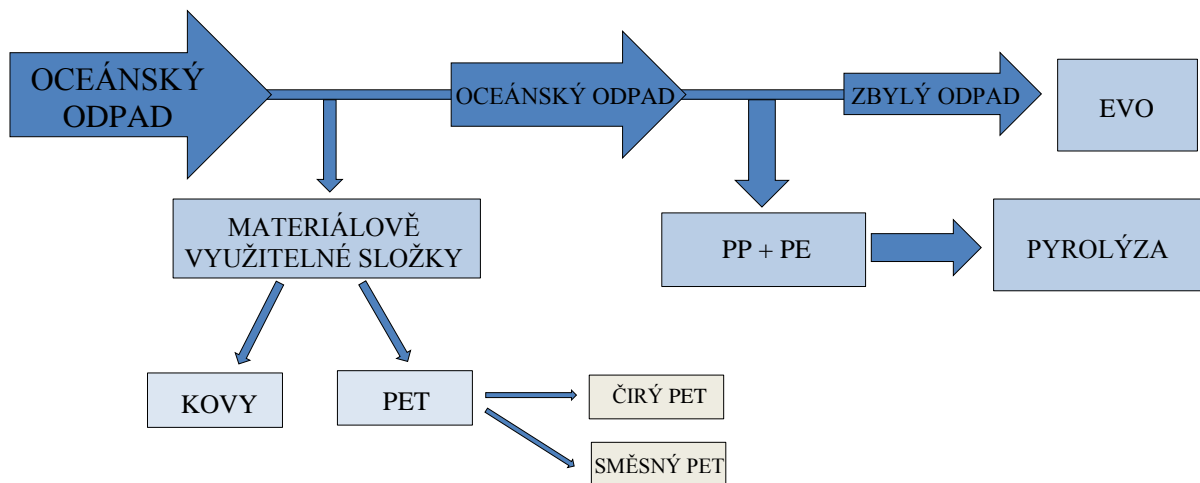
Třetí významnou technologií na palubě lodí by byla odsolovací jednotka, která by využívala principů vícestupňové destilace. Jako ohřevné médium při vypařování by byl používán termální olej z předchozího popsaného procesu EVO. Stejně tak by byl ochlazený proud termálního oleje po předání tepla do tohoto i dalších procesů využit i pro následné chlazení páry

vyprodukované v odsolovací jednotce. Odsolená vody by pak mohla být využívána pro promývání odpadu při procesu praní, jako chladicí voda v některých procesech případně po přidání potřebných minerálů i jako pitná voda pro posádku. V případě působení plavidla v oblasti s nedostatkem pitné vody by takto mohla být produkována i pitná voda pro místní obyvatelstvo. Zisk pitné vody procesem odsolování již funguje v mnoha státech ve velké míře, např. v Izraeli i dalších zemích v oblasti Perského zálivu [147].

Výstupními produkty ze všech procesů probíhajících na palubě technologické lodi, které by se daly ekonomicky zhodnotit na pevnině, by byly zejména:

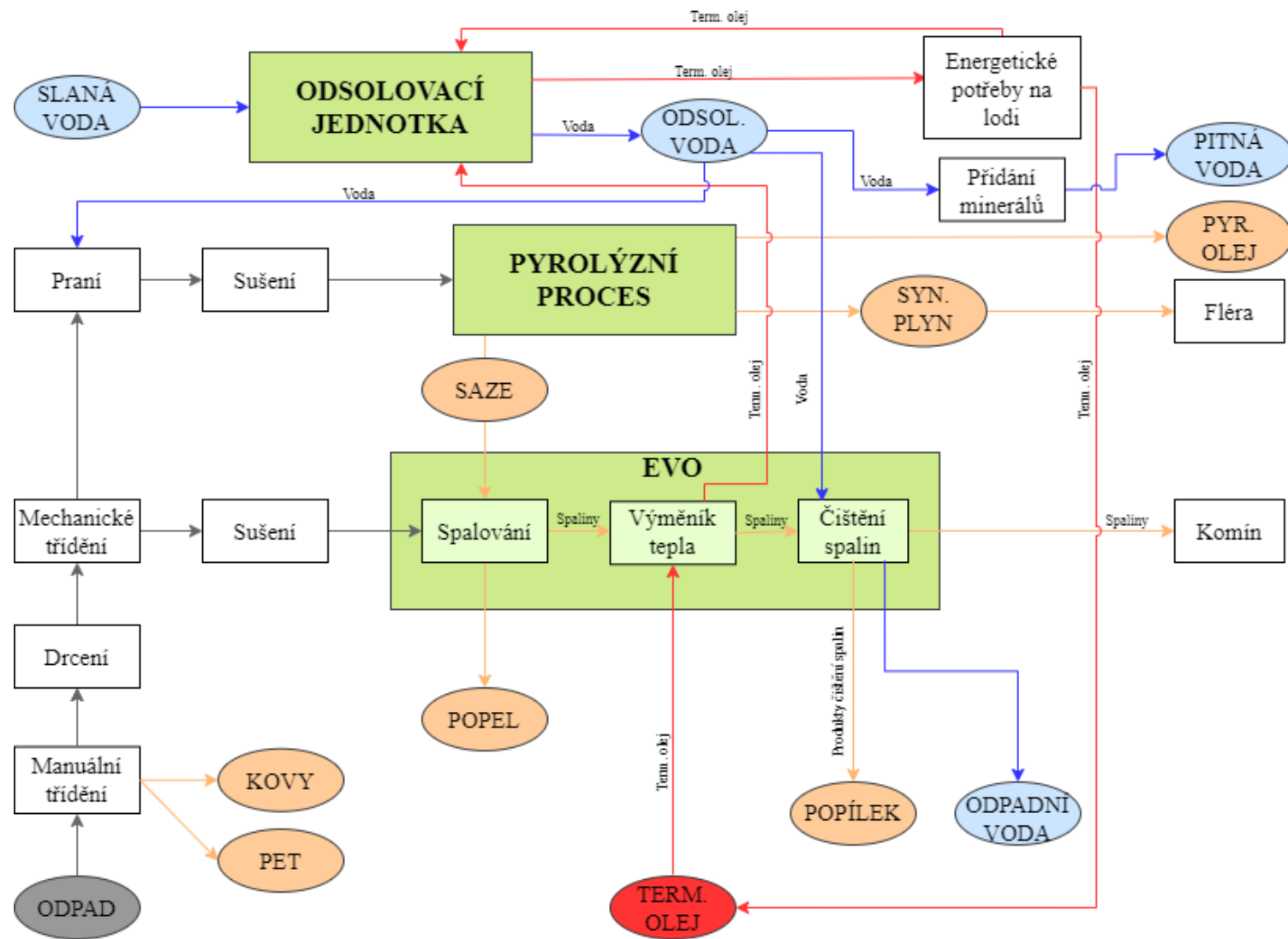
- **kovy**
- **čirý PET**
- **směsný PET**
- **pyrolýzní olej**
- **pitná voda**

Odpad z oceánu by tak byl využit dle diagramu na obr. 39.



Obr. 39 Znárodnění využití složek odpadu pocházejícího z oceánu zpracovávaného na technologické lodi

Celkové zjednodušené schéma výše popsaných technologií je poté možno vidět na obr. 40.



Obr. 40 Celkové zjednodušené schéma technologií využitých na lodi zpracovávajících odpad z oceánů a slanou vodu

6.3.1 Rešerše lodí

Jak je zřejmé z předchozího textu, důležitým prvkem návrhu je technologická loď. Z tohoto důvodu byla provedena krátká rešerše vhodných plavidel, která jsou dostupná na světovém trhu. Za stěžejní parametry při výběru konkrétního modelu byly považovány:

- velikost lodě
- typ lodě
- provozní náklady
- investiční náklady
- přítomnost jeřábu na lodi
- celková vybavenost lodě

Všechny tyto parametry spolu ve většině případů úzce souvisí. S velikostí lodě se pojí celková kapacita zpracovávaného odpadu. Čím je loď větší, tím více odpadu je schopna pojmout do svých skladovacích prostor a tím více mohou být zařízení odpad upravující a zpracovávající prostorově náročnější. To souvisí také s typem lodě, která může mít jedno či více pater a palub současně. Zjednodušeně se dá konstatovat, že čím větší loď je, tím vyšší jsou také investiční náklady, které se odvíjí také od stáří lodě, výrobce, vybavenosti atd. Co se vybavenosti týče, jedná se v tomto případě zejména o prostory pro ubytování posádky a také o jeřáb určený pro manipulaci s odpadem, případně s kontejnery. V případě absence jednoho i obou těchto prvků není plavidlo vyřazeno z výběru, přítomnost tohoto vybavení je jednoznačně výhodou, ale ne nutnou podmínkou. Prostory pro posádku lze zajistit obytnými kontejnery, taktéž jeřáb lze zakoupit a instalovat samostatně.

Pro účely této diplomové práce nebyla prioritou maximální velikost plavidla, ohled byl brán na celkovou kombinaci vybraných parametrů. Zejména při shromažďování a sběru odpadu dle scénáře 2 by příliš velká loď nebyla kapacitně plně využita. Jelikož pro oba scénáře je navrhována stejná technologická loď, musel být mezi těmito parametry zvolen vhodný kompromis.

Na základě výše uvedených kritérií tedy bylo vybráno následujících 5 různých plavidel. Na světovém trhu lze zakoupit mnoho druhů lodí, od tankerů, rybářských lodí a trajektů až po lodě výzkumné. Pro účely zpracování odpadů z moří a oceánů přímo na palubě je však potřeba nejen velký skladovací prostor, ale také dostatečně velká plocha pro umístění potřebných technologií. Z tohoto důvodu je vhodným řešením využití lodí nákladních a kontejnerových. V případě druhých uvedených jsou veškeré technologie umístěny ve standardních kontejnerech, což umožňuje velice modulární a variabilní uspořádání celého systému.

Prvním z představených plavidel a zároveň nejmenším z vybraných je výzkumná loď³³ vyrobená roku 1974, která byla rekonstruována v roce 1994. Tato loď disponuje rozměry 57 x 10 m (délka x šířka) a ponorem 3,75 m. Dle výrobce je možné tuto loď používat dále jako výzkumnou, pro přepravu lidí nebo nákladu i pro armádní účely. Maximální hmotnost nákladu není uvedena. Její výhodou je již přítomná odsolovací stanice, zařízení pro čištění odpadních vod a jeřáb o nosnosti 3 t. Ubytovací kapacita lodi činí 40 osob ve 24 kajutách, součástí je i velká jídelna a moderní kuchyně. Na hlavní palubě se dále nachází heliport a úložné prostory

³³ Dostupné z https://www.oceanmarine.com/detail.cfm?175ft%2DResearch%2FSupply%2DVesel%2D%2D%2D15095&product_id=15087&category_current=1&category_current_sub=42

pro náklad. Loď je schopna se pohybovat rychlostí 11 uzlů, tedy v přepočtu cca 20 km/h. Cena tohoto plavidla činí 398 000 \$ (cca 10 mil. Kč).

Druhým plavidlem je nákladní loď³⁴ vyrobená roku 1980 o rozměrech 96 x 15 m a ponoru 3,2 m. Tato loď disponuje hned několika úložnými kapacitami v různých částech, celkem se jedná o 155 TEU (pozn. ekvivalent objemu jednoho standardního 6,1 m dlouhého kontejneru). Stávající ubytovací kapacita je vhodná pro 12 osob (8 kajut). Rychlost lodi udávaná výrobcem činí 13 uzlů, tedy cca 24 km/h. Plavidlo nedisponuje žádnými jeřáby. Cena je 1,2 mil. \$ (30,1 mil. Kč).

Třetím plavidlem je novější model kontejnerové loď³⁵ vyrobený roku 2010. Délka této loď je 96 m a šířka 15,8 m, ponor při plném naložení 4,1 m. Celková nákladní kapacita je 3 673 t, ekvivalentně 250 TEU. Ubytovací kapacitu, přítomnost jeřábů ani rychlost plavby výrobce neuvádí. Cena činí 1,55 mil. \$ (36,7 mil. Kč). Tuto loď je možno vidět na obr. 41.



Obr. 41 Konjenerová loď o kapacitě 250 TEU

Čtvrtým plavidlem je multifunkční loď³⁶ vyztužená speciálně pro velmi těžký náklad vyrobená v roce 2012. Její rozměry činí 111 x 16,5 m, ponor 6 m. Maximální hmotnost nákladu dosahuje 6 069 t, ekvivalentně 333 TEU. Ubytovací kapacity jsou určeny pro 11 osob. Toto velice moderní plavidlo se pohybuje rychlostí 12,5 uzlů, tedy cca 23 km/h. Jeho součástí je mimo jiné i výměník tepla s termálním olejem. Cena se od předchozích uvedených plavidel řádově liší, činí 8,8 mil. \$ (220,9 mil. Kč).

Pátou a poslední uvedenou je nákladní loď³⁷ z roku 1997 o rozměrech 100 x 16,2 m a ponoru 5 m. Celková nosnost lodi (DWT) je stanovena na 5 053 t, celková kapacita činí 372 TEU. Toto plavidlo je vybaveno dvěma nákladními jeřáby o nosnosti 40 a 35 t. Maximální rychlost

³⁴ Dostupné z https://www.oceanmarine.com/detail.cfm?300ft%2DSteel%2DCargo%2DVessel%2D14549&product_id=14549&category_current=9&category_current_sub=55

³⁵ Dostupné z <http://www.seaboats.net/250-teu-container-ship-for-sale-xidp1443808.html>

³⁶ Dostupné z <http://www.seaboats.net/110m-multipurpose-vessel-gearless.-xidp670073.html>

³⁷ Dostupné z <https://horizonship.com/ship/100m-geared-mpp-372-teu-general-cargo-ship-1997-dwt-5053/?measure=2>

dosahuje 15,5 uzlů, tedy 28 km/h, doporučená rychlost s ohledem na spotřebu paliva je však 12 uzlů (cca 22 km/h). Cena je 1,8 mil. \$ (45,2 mil. Kč).

Základní parametry všech uvedených plavidel jsou uvedeny níže v tab. 18. Z údajů získaných rešerší lze zformovat obecnou představu o parametrech a příslušných investičních nákladech technologické lodě. Pro další úvahy a výpočty v následujících kapitolách je vybrána loď č. 2.

Tab. 18 Přehled základních parametrů jednotlivých uvedených lodí

Lod' č.	Typ lodě	Rok výroby	Rozměry (d x š x ponor)	Ubytovací kapacita (osob)	Jeřáb	Cena (\$)	Cena (Kč)
1	výzkumná	1974	57 x 10 x 3,75 m	40	3 t	398 tis.	10 mil.
2	nákladní	1980	96 x 15 x 3,2 m	12	ne	1,2 mil.	30,1 mil.
3	kontejnerová	2010	96 x 15,8 x 4,1 m	-	-	1,55 mil.	36,7 mil.
4	multifunkční	2012	111 x 16,5 x 6 m	11	-	8,8 mil.	220,9 mil.
5	nákladní	1997	100 x 16,2 x 5 m	-	40 t a 35 t	1,8 mil.	45,2 mil.

7 EKONOMICKÝ NÁVRH SYSTÉMU

Druhou důležitou částí vlastního návrhu je materiálová a ekonomická bilance obou scénářů, která je provedena v programu MS Excel. Na základě provedené materiálové bilance a jejich výsledků jsou vybrána konkrétní zařízení pro zpracování a využití odpadu o požadovaných kapacitách a parametrech. Společně s údaji o ceně plavidla a příslušenství, provozních nákladech a příjmech z prodeje produktů je vyhodnocena ekonomická bilance celého systému. Obě tyto bilance jsou pro každý scénář zvlášť popsány v následujících podkapitolách.

7.1 Sběr dle scénáře 1

Hlavním výstupem tohoto stejnojmenného listu v programu MS Excel, který se nachází jako druhý v pořadí, je celková kapacita zachyceného plovoucího odpadu samostatnými statickými bariérami. Za výchozí hodnotu výpočtu je uvažován roční vstup odpadu do oceánu řekou Mekong, která se řadí mezi dvacet nejznečištěnějších řek na světě. Tato řeka byla pro výpočty vybrána zejména z důvodu dostupných dat a také výhodného zeměpisného umístění, neboť protéká oblastí jihovýchodní Asie (konkrétně např. státy Čína, Thajsko, Laos, Vietnam), kde je na trhu dostatečný zájem o produkty vzniklé na palubě technologické lodi, čímž je zaručeno jejich uplatnění.

Dle dostupných odhadů [29] a výzkumů přináší řeka Mekong ročně do oceánu 22 800 tun odpadů za rok. Jedná se o střední uváděnou hodnotu odhadu, kdy minimální hodnota činí 18 800 t/rok a maximální hodnota 37 600 t/rok [29]. Tyto hodnoty označují celkové množství odpadu, tedy jak na hladině řeky, tak i po celé délce vodního sloupce i na dně. Jak již bylo zmíněno výše v kapitole 3, z celkového množství odpadu v řekách se 70 % potopí ke dnu a zbylých 30 % plave [29]. Roční množství plovoucího odpadu pocházejícího z řeky Mekong je tak stanoveno dle rovnice (1).

$$C_{Mekong,sur} = C_{Mekong,tot} \cdot p \quad (1)$$

$C_{Mekong,sur}$ [t/rok] – množství plovoucího odpadu pocházejícího z řeky Mekong

$C_{Mekong,tot}$ [t/rok] – celkové střední množství odpadu vstupujícího do oceánu řekou Mekong

p [-] – obecný podíl plovoucího odpadu v řekách

Výsledkem rovnice (1) je hodnota 6 840 t/rok plovoucího odpadu. Ta je teoretickým maximálním ročním vstupem, které jsou plovoucí bariéry schopny zachytit při 100% pokrytí a účinnosti. Pro účely této práce je však uvažována hodnota účinnosti 70 %, neboť není reálné pokrýt celou šířku ústí řeky bariérami, které navíc nepracují dokonale s absolutní přesností. Hlavní výstup této části, tedy celková hodinová kapacita zachyceného plovoucího odpadu je vypočítána dle rovnice (2).

$$C_{waste,1} = \frac{C_{Mekong,sur} \cdot \eta_b}{(365 \cdot 24)} \quad (2)$$

$C_{waste,1}$ [t/h] – celková kapacita zachyceného odpadu bariérami (dle scénáře 1)

η_b [-] – účinnost záchytu odpadu bariérami

Výsledkem rovnice (2) je 0,55 t/h zachyceného odpadu, což je velmi důležitá výchozí hodnota do dalších částí materiálové i ekonomické bilance procesů na palubě technologické

lodě. Neméně důležité pro následné výpočty je i procentuální složení odpadu v oceánech, které se rovněž nachází na stejném listu Excelu, jako dříve uvedené výpočty. Data o složení pochází z portálu LITTERBASE [148], který se zabývá rozsáhlou problematikou oceánského odpadu, kdy sumarizuje a průměruje výsledky různých výzkumů a publikací z mnoha lokalit, čímž vytváří ucelená průměrná data o složení vhodná právě pro účely této práce. Ta jsou na portále rozdělena dle velikosti (do a nad 5 mm) a také dle výskytu (na dně, vznášející se ve vodním sloupci, na hladině, na plážích). Ve výpočtech je dále využito průměrné složení odpadu o velikosti nad 5 mm plujícího na hladině moří a oceánů pocházejícího z celkem 1 068 lokalit a 120 různých publikací. Toto použité hmotnostní složení je uvedeno v tab. 19.

Tab. 19 Průměrné složení odpadu o velikosti nad 5 mm plujícího na hladině moří a oceánů [148]

SLOŽENÍ ODPADU NA HLADINĚ OCEÁNŮ		
Plast	87,01	[% hm.]
Ostatní + smíšený odpad	6,56	[% hm.]
Dřevo	3,16	[% hm.]
Rostliny, bio-složky	1,06	[% hm.]
Papír, karton	0,81	[% hm.]
Sklo, keramika	0,56	[% hm.]
Kovy	0,38	[% hm.]
Textil	0,24	[% hm.]
Rybářské potřeby (neplastové)	0,22	[% hm.]
SUMA	100	[% hm.]

Kromě obecného složení odpadu je důležité znát i základní složení samotné plastové složky odpadů v oceánech. Zde jsou provedena dvě drobná zjednodušení. Za prvé, použitá data se týkají obecně veškerého odpadu v oceánech, tedy ne pouze části plující na hladině. Za druhé, do skupiny „ostatní“ se řadí i plastový odpad tmavé barvy, který nebylo možno NIR metodami při výzkumu identifikovat. Toto složení je uvedeno v tab. 20.

Tab. 20 Základní složení plastové složky odpadu v oceánech [149]

DETAILNÍ SLOŽENÍ PLASTOVÉHO ODPADU		
PE	44	[% hm.]
PP	14	[% hm.]
PET	14	[% hm.]
PS	5	[% hm.]
PVC	5	[% hm.]
Ostatní	18	[% hm.]
SUMA	100	[% hm.]

Na všechna výše uvedená data dále navazují materiálové i ekonomické bilance procesů probíhajících na palubě technologické lodě, které jsou provedeny v následujících listech Excelu a popsány níže v podkapitolách 7.3 a 7.5. Ukázkou excelového listu s výpočty vztahujícími se ke sběru dle scénáře 1 lze vidět na obr. 42.

SLOŽENÍ ODPADU NA HLADINĚ OCEÁNŮ		
Plast	87,01	[% hm.]
Ostatní + smíšený odpad	6,56	[% hm.]
Dřevo	3,16	[% hm.]
Rostliny, bio-složky	1,06	[% hm.]
Papír, karton	0,81	[% hm.]
Sklo, keramika	0,56	[% hm.]
Kovy	0,38	[% hm.]
Textil	0,24	[% hm.]
Rybářské potřeby (neplastové)	0,22	[% hm.]
SUMA	100	[% hm.]

DETAILNÍ SLOŽENÍ PLASTOVÉHO ODPADU		
PE	44	[% hm.]
PP	14	[% hm.]
PET	14	[% hm.]
PS	5	[% hm.]
PVC	5	[% hm.]
Ostatní	18	[% hm.]
SUMA	100	[% hm.]

Vstup odpadu do oceánu řekou Mekong		
22 800		[t/rok]
Plovoucí odpad - podíl	30%	[-]
Plovoucí odpad - množství	6 840	[t/rok]
Účinnost záchytu bariérami	70%	[-]
Celkem kapacita zachyceného odpadu		
0,55		[t/h]

Obr. 42 Ukázkou excelového listu s výpočty vztahujícími se ke sběru dle scénáře 1

7.2 Sběr dle scénáře 2

Veškeré výpočty spojené se sběrem dle druhého scénáře provozu systému se v Excelu nachází na třetím listu. Prvním krokem materiálové bilance je stanovení průměrné hustoty odpadu plujícího na hladině oceánů v jednotkách $[\text{kg}/\text{km}^2]$. Pro zjednodušení je předpokládáno, že odpad je na celkové ploše hladiny světových oceánů rovnoměrně rozvrstven, ve skutečnosti je opak pravdou. Jak již bylo zmíněno výše, odpad je často koncentrován do odpadkových skvrn, ve kterých je koncentrace mnohem vyšší než ve zbylých částech oceánu. Vyšší koncentrace je rovněž přítomna u ústí řek a v hustě osídlených příbřežních oblastech či turistických letoviscích. Pro základní materiálovou bilanci je však zavedení průměrné hodnoty dostačující.

Průměrná hustota odpadu v oceánech vychází ze dvou údajů – celkové plochy oceánů a celkové hmotnosti odpadu plujícího na hladině. Oceány pokrývají celkem 361 mil. km^2 povrchu Země [8]. Dle výzkumu [35] pluje na jejich hladinách celkem 268 940 tun odpadů. Průměrná hustota odpadu v oceánech je vypočítána dle rovnice (3).

$$D_{avg} = \frac{m_{sur}}{A_{ocean}} \cdot 1000 \quad (3)$$

D_{avg} $[\text{kg}/\text{km}^2]$ – průměrná hustota odpadu v oceánech

m_{sur} $[\text{t}]$ – hmotnost odpadu plujícího na hladině všech světových oceánů

A_{ocean} [km²] – celková plocha všech světových oceánů

Výsledkem rovnice (3) je hodnota **0,745 kg/km²**. Pro porovnání, hustota odpadu v jádru VTOS se pohybuje od 10 kg/km² (minimum) do 100 kg/km² (maximum) [33].

Druhým krokem bilance je výpočet celkové kapacity zachyceného odpadu lodí s rameny po bocích, jak bylo popsáno výše v kapitole 6.2. Tento výpočet vychází ze tří veličin – možné obslužené plochy oceánu lodí za časovou jednotku, v předchozím kroku stanovené průměrné hustoty odpadu v oceánech a účinnosti záchytu. Co se týče první veličiny, ta je součinem celkového rozsahu lodě s rameny (prostý součet šířky dané lodě a dvojnásobku tětiny oblouku jedné bariéry) a průměrné rychlosti, jakou se loď pohybuje. Z dříve provedené rešerše plavidel je známo, že nákladní a jim podobné větší lodě se pohybují rychlostí mezi 20 až 30 km/h. Vzhledem k odporové síle vodního prostředí působící na plochu bariér je při výpočtech uvažován spodní limit intervalu. Možný únik odpadu z u-tvaru případně i jiné nedokonalosti záchytu jsou ošetřeny zavedením účinnosti záchytu odpadu, která je uvažována 90 %. Celková kapacita zachyceného odpadu lodí s rameny je vypočítána dle rovnice (4).

$$C_{waste,2} = D_{avg} \cdot A_{cov} \cdot \eta_r \quad (4)$$

$C_{waste,2}$ [kg/h] – celková kapacita zachyceného odpadu lodí s rameny (dle scénáře 2)

A_{cov} [km²/h] – možná obslužená plocha oceánu lodí za časovou jednotku

η_r [-] – účinnost záchytu odpadu rameny

Výsledkem rovnice (4) je 1,02 kg/h zachyceného odpadu navrženou lodí s rameny, což je pro předpokládaný provoz technologií na palubě velice nízká a nedostačující hodnota. Takto nízký vstup odpadu by nebylo technologicky možné ani ekonomicky výhodné kontinuálně zpracovávat na palubě lodí. Pro porovnání je stejný výpočet celkové kapacity zachyceného odpadu lodí s rameny proveden pro případ působení plavidla ve VTOS. V tomto případě hodnota výrazně vzroste na 13,68 až 136,80 kg/h odpadu (určeno pro minimální a maximální hustotu odpadu v jádře skvrny). S těmito kapacitami by již bylo možné o kontinuálním provozu navrženého systému v menším měřítku uvažovat. Ekonomická stránka by však byla stále velice diskutabilním prvkem.

Pro názornost je stejný výpočet proveden i pro katamarán bez ramen, jako je např. plavidlo typu Manta. V případě katamaránu je celkový rozsah lodě, a tedy i záchytného prostoru menší, neboť se zde nenachází ramena, naproti tomu je oproti předchozím případům vyšší průměrná rychlost, která se obecně u katamaránů tohoto typu pohybuje kolem 30 km/h [150]. Ve výsledku se tyto dvě hodnoty vzájemně vyrovnávají, vypočítaná celková kapacita zachyceného odpadu v případě katamaránu činí 0,99 kg/h, což je srovnatelná hodnota právě jako v případě lodě s rameny. Ukázkou excelového listu s výpočty vztahujícími se ke sběru dle scénáře 2 lze vidět na obr. 43.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data tables:

PRŮMĚRNÁ HUSTOTA ODPADU V OCEÁNECH		
Celková plocha oceánů	361 000 000	[km ²]
Celková hmotnost odpadu plujícího na hladině	268 940	[t]
Průměrná hustota odpadu v oceánech	0,745	[kg/km ²]
VTOS - minimální hustota (jádro skvrny)	10	[kg/km ²]
VTOS - maximální hustota (jádro skvrny)	100	[kg/km ²]

LOĎ S RAMENY PO BOCÍCH - obecný provoz		
Průměrná rychlost loď	20	[km/h]
Šířka loď	16	[m]
Délka bariéry (jedna strana)	30	[m]
Celkový rozsah loď s rameny	76	[m]
Obsoužená plocha oceánu	1,52	[km ² /h]
Účinnost zachytu odpadu	90%	[-]
Celkem kapacita zachyceného odpadu	1,02	[kg/h]

LOĎ S RAMENY PO BOCÍCH - provoz ve VTOS		
Průměrná rychlost loď	20	[km/h]
Šířka loď	16	[m]
Délka bariéry (jedna strana)	30	[m]
Celkový rozsah loď s rameny	76	[m]
Obsoužená plocha oceánu	1,52	[km ² /h]
Účinnost zachytu odpadu	90%	[-]
Celkem kapacita zachyceného odpadu - minimum	13,68	[kg/h]

Obr. 43 Ukázka excelového listu s výpočty vztahujícími se ke sběru dle scénáře 2

7.3 Materiálová bilance procesů na palubě – scénář 1

Materiálová bilance procesů na palubě vychází z celkové kapacity zachyceného odpadu bariérami dle scénáře 1, jejíž hodnota je vypočítána dle postupu uvedeného v kapitole 7.1. Tato hodnota je tedy uvažována jako vstupní množství odpadu do procesů na palubě technologické lodi, jejichž materiálová bilance a výpočty s ní spojené se nachází na čtvrtém listu příloženého Excelu. Provedená materiálová bilance dodržuje posloupnost jednotlivých procesů, jak je uvedeno na obr. 40.

Prvním oddílem materiálové bilance je manuální třídění odpadu na pásovém dopravníku. Pro tyto účely je vybrán pásový dopravník se separátorem kovu³⁸ výrobce Mooge Tech. Šířka pásu dopravníku udaná výrobcem činí 800 mm, při zvolené průměrné výšce vrstvy odpadu na pásu 100 mm a standardní rychlosti posuvu dopravníku při manuálním třídění 0,1 m/s je maximální kapacita jednoho dopravníku vypočítána dle rovnice (5).

³⁸ Dostupné z https://www.alibaba.com/product-detail/Plastic-PET-bottle-manual-sorting-table_60410327619.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.2.54356a32sHouVP&s=p

$$C_{dopr} = \frac{b_{pás} \cdot h_{waste} \cdot v_{pás} \cdot 3,6}{1000} \cdot \frac{\rho_{waste}}{1000} \quad (5)$$

C_{dopr} [t/h] – maximální kapacita jednoho dopravníku
 $b_{pás}$ [mm] – šířka pásu dopravníku
 h_{waste} [mm] – zvolená průměrná výška vrstvy odpadu na pásu
 $v_{pás}$ [m/s] – rychlost posuvu pásu dopravníku
 ρ_{waste} [kg/m³] – sypaná hmotnost odpadu na dopravníku

Sypná hmotnost je v tomto případě zjednodušeně uvažována jako sypná hmotnost nestlačeného plastového odpadu, jejíž hodnota 34 kg/m³ vychází z [6], kde byla jejímu stanovení věnována část práce. Toto zjednodušení není vzhledem k vysokému podílu plastů v oceánském odpadu závažné. Výsledná maximální kapacita jednoho dopravníku dle rovnice (5) je 0,98 t/h, tedy téměř dvojnásobek vstupního množství odpadu. Pro manuální třídění odpadu je tedy dostačující použití jednoho pásového dopravníku.

Ze vstupního odpadního proudu vznikají následně při manuálním třídění celkem čtyři proudy – proud kovů, čirého PET, směsného PET a zbylé směsi, která dále pokračuje procesem úpravy. Proud kovů je oddělován operátorem za pomoci separátoru, kterým je dopravník opatřen. Množství takto odděleného proudu kovů vychází z dříve uvedeného složení oceánského odpadu, konkrétně z podílu kovů ve směsi, a vstupního množství odpadu do procesů na palubě technologické lodi. V případě kovů je uvažována 100% účinnost třídění, vyskytují se totiž převážně v podobě větších předmětů a jejich množství je oproti složce plastů menšinové, tudíž je jejich separace jednodušší než právě v případě plastů. Množství odděleného proudu kovů je vypočítáno podle rovnice (6).

$$C_{kovy} = C_{waste,1} \cdot x_{kovy} \cdot 1000 \quad (6)$$

C_{kovy} [kg/h] – množství odděleného proudu kovů ze vstupní směsi při manuálním třídění
 x_{kovy} [% hm.] – podíl kovů ve vstupní směsi oceánského odpadu

Obdobný výpočet je použit také pro množství odděleného čirého i směsného PET, pouze s rozdílnou účinností. V případě plastů je oproti kovům identifikace náročnější, podíl malých neidentifikovatelných kusů a částic je mnohem větší, navíc i množství plastového odpadu je mnohonásobně vyšší, proto je zvolena účinnost 75 %. Co se týče poměru čirého a barevného PET ve směsi, vychází z údajů získaných v bakalářské práci [6], kde se vztahuje k plastovému odpadu v ČR, pro zjednodušení a také vzhledem k problémově dostupným celosvětovým datům je tento poměr použit i pro případ oceánského odpadu. Dle [6] je 70 % PET tvořeno barevnými složkami, zbylých 30 % náleží čirému materiálu. Množství odděleného proudu čirého a směsného PET je vypočítáno dle rovnice (7) a (8).

$$C_{PET,\check{c}} = C_{waste,1} \cdot x_{plasty} \cdot x_{PET} \cdot p_{PET,\check{c}} \cdot \eta_{MTRID} \cdot 1000 \quad (7)$$

$$C_{PET,s} = C_{waste,1} \cdot x_{plasty} \cdot x_{PET} \cdot p_{PET,s} \cdot \eta_{MTRID} \cdot 1000 \quad (8)$$

$C_{PET,\check{c}}$ [kg/h] – množství odděleného proudu čirého PET ze vstupní směsi při manuálním třídění
 $C_{PET,s}$ [kg/h] – množství odděleného proudu směsného PET ze vstupní směsi při manuálním třídění
 x_{plasty} [% hm.] – podíl plastů ve vstupní směsi oceánského odpadu

x_{PET} [% hm.] – podíl PET ve vstupní směsi plastů v oceánském odpadu

$p_{PET,\check{c}}$ [% hm.] – poměr čirého PET ve směsi PET

$p_{PET,s}$ [% hm.] – poměr směsného PET ve směsi PET

η_{MTRID} [-] – účinnost manuálního třídění PET ze vstupní směsi odpadu

Výsledkem posledních tří uvedených rovnic je 2,08 kg/h odděleného kovu, 14,98 kg/h čirého a 34,95 kg/h směsného PET. Tyto proudy již dále nepokračují do procesů úpravy na technologické lodi, ale jsou skladovány a dále slouží jako výsledný produkt, který je ekonomicky zhodnocený na pevnině na trhu s druhotnými surovinami.

Po manuálním třídění následuje blok drcení. Množství odpadu vstupujícího do procesu drcení vychází z rovnice (9).

$$C_{drc} = C_{waste,1} - \frac{C_{kovy} + C_{PET,\check{c}} + C_{PET,s}}{1000} \quad (9)$$

C_{drc} [t/h] – množství odpadu vstupujícího do procesu drcení

Výsledkem rovnice (9) je 0,49 t/h vstupujícího odpadu do procesu drcení. Za vhodné řešení je považován drtič plastového odpadu³⁹ výrobce Qiangye s maximální kapacitou 0,7 t/h, čímž je vstupní množství zcela pokryto i s dostatečnou rezervou.

Následujícím procesem je mechanické třídění. Jelikož při předchozí operaci není žádný materiál odebírán, vstupní množství drtě do procesu mechanického třídění se zároveň rovná vstupnímu množství do procesu drcení, tedy 0,49 t/h, proto je vybrána mechanická třídíčka⁴⁰ výrobce Wenyao o maximální kapacitě 1 t/h zpracovaného odpadu. Účinnost třídění udávaná výrobcem je $\geq 99,9\%$, ve výpočtu je však uvažováno 88 %, neboť mechanické třídíčky založené na optických metodách mají problém identifikovat tmavě zbarvené kusy odpadu, které se ve směsi vyskytují. V tomto kroku je vstupní směs rozdělena na proud tvořený PP a PE, který dále pokračuje úpravami až ke svému finálnímu využití v pyrolýzní jednotce a zbytkovou směs určenou pro EVO. Hodinové množství těchto obou proudů je vypočítáno dle rovnice (10) a (11).

$$C_{pyr} = C_{waste,1} \cdot x_{plasty} \cdot (x_{PE} + x_{PP}) \cdot \eta_{ATRID} \quad (10)$$

$$C_{EVO} = C_{waste,1} - C_{pyr} \quad (11)$$

C_{pyr} [t/h] – množství odděleného proudu tvořeného PE a PP dále sloužícího jako vstup do pyrolýzní jednotky

x_{PE} [% hm.] – podíl PE ve vstupní směsi plastů v oceánském odpadu

x_{PP} [% hm.] – podíl PP ve vstupní směsi plastů v oceánském odpadu

η_{ATRID} [-] – účinnost mechanického (automatického) třídění PP a PE ze směsi odpadu

C_{EVO} [t/h] – množství zbytkového proudu dále sloužícího pro zařízení EVO

³⁹ Dostupné z <https://qy-machine.en.made-in-china.com/product/lefJnsMKYpiD/China-PE-PP-PVC-Pet-Waste-Plastic-Crusher.html>

⁴⁰ Dostupné z https://www.alibaba.com/product-detail/Waste-recycled-Plastic-Color-Sorter-for_60742614627.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.1ce130c8xWvKAy

Výsledek obou rovnic je téměř shodný, proud dále pokračující na pyrolýzní jednotku je o množství 0,24 t/h, proud určený pro zařízení EVO 0,25 t/h. Před samotným vstupem do pyrolýzní jednotky je odpad podroben praní ve frikční pračce. Pro kapacitu 0,24 t/h je za optimální považováno zařízení⁴¹ výrobce Mooge Tech o maximálním vstupu 0,3 t/h. Ačkoliv kapacitní rezerva v případě vstupu většího množství odpadu je oproti ostatním zařízením nižší (cca 20 %), díky menšímu zařízení jsou ušetřeny provozní náklady na energie, tedy jak na elektrickou energii, tak i na vodu. V souvislosti s praním je proveden pouze jeden výpočet zaměřený na určení celkové spotřeby vody při procesu. Vychází z jednotkové spotřeby vody na kg odpadu a vstupní kapacity odpadu, viz rovnice (12). Jelikož jednotkovou spotřebu vody výrobce zařízení neuvádí, je dle [151] uvažována 2 l/kg odpadu. Nejmodernější zařízení pak pracují se spotřebou okolo 1 l/kg [151].

$$C_{voda,praní} = C_{pyr} \cdot s_{voda,praní} \cdot 1000 \quad (12)$$

$C_{voda,praní}$ [l/h] – celková spotřeba vody při procesu praní

$s_{voda,praní}$ [l/kg] – jednotková spotřeba vody při procesu praní

Celková spotřeba vody při praní vypočítána dle rovnice (12) činí 485,47 l/h. Toto množství je zajišťováno odsolovací jednotkou, jejíž bilance je popsána níže v této kapitole.

Následujícím a posledním procesem úpravy odpadu je sušení. To platí pro proud vstupující dále do pyrolýzní jednotky i pro proud určený na EVO. Vzhledem k velice podobným vstupním kapacitám obou proudů je použit stejný model sušičky, tedy zařízení⁴² výrobce Changda o maximální kapacitě 0,3 t/h.

Po sušení již následují samotné procesy využití odpadu. Co se týče pyrolýzního procesu, za vhodné zařízení je shledána pyrolýzní jednotka⁴³ výrobce Sihai s denní kapacitou 10 t zpracovaného plastového materiálu, což po přepočtu činí 0,42 t/h. Toto zařízení nepracuje kontinuálně, ale podobně jako jiné menší pyrolýzní jednotky je provozováno dávkově. Je předpoklad, že před samotnou pyrolýzní jednotkou je nutná přítomnost skladovacího kontejneru, ve kterém je vysušený odpad shromažďován, než vstoupí do samotného procesu. Poměr jednotlivých výstupů pyrolýzy je dán výrobcem zařízení, jedná se o 65 % ve prospěch pyrolýzního oleje, 30 % pevných sazí a 5 % pyrolýzního plynu. Co se týče hodinových výstupů, ty jsou vypočítány dle rovnic (13) až (15).

$$C_{pyr,olej} = C_{pyr} \cdot x_{pyr,olej} \quad (13)$$

$$C_{pyr,saze} = C_{pyr} \cdot x_{pyr,saze} \quad (14)$$

$$C_{pyr,plyn} = C_{pyr} \cdot x_{pyr,plyn} \quad (15)$$

$C_{pyr,olej}$ [t/h] – množství vzniklého pyrolýzního oleje v pyrolýzní jednotce

$x_{pyr,olej}$ [% hm.] – podíl pyrolýzního oleje ze vstupního proudu odpadu

⁴¹ Dostupné z https://www.alibaba.com/product-detail/Plastic-friction-washing-machine-friction-washer_60423440750.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.3ef06948Mb0Xom

⁴² Dostupné z <https://zjchangda.en.made-in-china.com/product/uskQwPxYYVcr/China-Ce-Certification-Vertical-Plastic-Dewatering-Machine.html>

⁴³ Dostupné z https://www.alibaba.com/product-detail/Hot-sales-Batch-convert-plastic-to_62211617404.html?spm=a2700.7724857.normalList.146.183856272zo61N

$C_{pyr,saze}$ [t/h] – množství vzniklých pevných sazí v pyrolýzní jednotce
 $x_{pyr,saze}$ [% hm.] – podíl sazí ze vstupního proudu odpadu
 $C_{pyr,plyn}$ [t/h] – množství vzniklého pyrolýzního plynu v pyrolýzní jednotce
 $x_{pyr,plyn}$ [% hm.] – podíl pyrolýzního plynu ze vstupního proudu odpadu

Výsledkem uvedených rovnic jsou hodnoty 0,16 t/h pyrolýzního oleje, 0,07 t/h pevných sazí a 0,01 t/h pyrolýzního plynu. Zejména hodnota produkce pyrolýzního oleje je v následných výpočtech velmi důležitá, neboť se jedná o jeden z hlavních produktů procesů na technologické lodi. Výstup v podobě pevných sazí je dále zužitkován při EVO. Celkový vstup do procesu zařízení EVO je tak vypočítán dle rovnice (16).

$$C_{EVO,tot} = C_{EVO} + C_{pyr,saze} \quad (16)$$

$C_{EVO,tot}$ [t/h] – celkové množství proudu vstupujícího do zařízení EVO

Výsledkem rovnice (16) je 0,32 t/h, což je klíčový parametr pro výběr vhodného zařízení, kterým je kompletní spalovací jednotka se zabudovanou sekcí čištění spalin⁴⁴ výrobce DLS-tech. Tato jednotka disponuje taktéž kapacitou 10 t zpracovaného odpadu denně, tedy 0,42 t/h. Součástí bloku čištění spalin je v tomto případě nástřik aktivního uhlí a hašeného vápna do proudu spalin následovaný rukávcovými filtry. Veškeré měrné hodnoty spojené s produkcí reziduí při EVO a čištěním spalin použité ve výpočtech vychází ze [152], kde se vztahují ke spalování SKO, v rámci zjednodušené materiálové a ekonomické bilance je však možné tyto hodnoty použít i pro spalování směsného proudu odpadů z oceánu s uvažováním určitých nepřesností. Kromě proudu odpadu vstupuje do procesu EVO i surová voda o měrné spotřebě 0,1 m³/t odpadu, aktivní uhlí o spotřebě 0,5 kg/t odpadu a hašené vápno [152]. Měrná spotřeba hašeného vápna při čištění spalin nebyla v relevantních zdrojích nalezena, do materiálové bilance tedy dále nezasahuje, což může způsobit rovněž drobné nepřesnosti. Jelikož cílem této práce není detailní řešení EVO či jiného bloku, ale komplexní základní návrh systému, není toto zjednodušení pro práci nijak klíčové. Konkrétní hodnoty ostatních surovin vztážené k reálnému vstupu jsou vypočítány dle rovnice (17) a (18).

$$C_{EVO,voda} = C_{EVO,tot} \cdot S_{EVO,voda} \quad (17)$$

$$C_{EVO,uhlí} = C_{EVO,tot} \cdot S_{EVO,uhlí} \quad (18)$$

$C_{EVO,voda}$ [m³/h] – spotřeba surové vody pro účely EVO

$S_{EVO,voda}$ [m³/t] – měrná spotřeba surové vody

$C_{EVO,uhlí}$ [kg/h] – spotřeba aktivního uhlí při čištění spalin při EVO

$S_{EVO,uhlí}$ [kg/t] – měrná spotřeba aktivního uhlí

Kromě 0,32 t/h odpadu vstupuje do procesu EVO i 0,03 m³/h surové vody a 0,16 kg/h aktivního uhlí. Materiálovým výstupem je popel, popílek s ostatními produkty čištění spalin a odpadní vody. Měrné produkce všech těchto tří proudů vychází opět z hodnot ze [152], celkové produkce jsou vypočítány podobně jako v případě vstupních proudů, viz rovnice (19) až (21).

⁴⁴ Dostupné z https://www.alibaba.com/product-detail/2-10T-Day-Calculator-Incinerator-Eco_62168695796.html?spm=a2700.details.deiletai6.4.457c5c076hyMPd

$$C_{EVO,pop} = C_{EVO,tot} \cdot S_{EVO,pop} \quad (19)$$

$$C_{EVO,p\check{s}} = C_{EVO,tot} \cdot S_{EVO,p\check{s}} \quad (20)$$

$$C_{EVO,odpv} = C_{EVO,tot} \cdot S_{EVO,odpv} \quad (21)$$

$C_{EVO,pop}$ [kg/h] – produkce popela při EVO

$S_{EVO,pop}$ [kg/t] – měrná produkce popela při EVO

$C_{EVO,p\check{s}}$ [kg/h] – produkce popílku a dalších produktů čištění spalin při EVO

$S_{EVO,p\check{s}}$ [kg/t] – měrná produkce popílku a dalších produktů čištění spalin při EVO

$C_{EVO,odpv}$ [m³/h] – produkce odpadních vod při EVO

$S_{EVO,odpv}$ [m³/t] – měrná produkce odpadních vod při EVO

Z rovnic vyplývá, že při EVO o daném vstupním množství vznikne 64,93 kg/h popela, 8,70 kg/h popílku a dalších produktů čištění spalin a 0,02 m³/h odpadní vody. Všechny tyto tři proudy jsou dále skladovány na palubě lodi a následně odváženy na pevninu, kde jsou likvidovány, čímž vstupují i do ekonomické bilance ve formě nákladů.

Samostatným blokem materiálové bilance je jednotka pro odsolování mořské vody. Její požadovaná kapacita vychází hned z několika potřeb. Odsolená voda jednak vstupuje do dříve zmíněného procesu praní, malá část takto získané vody je použita při EVO. Do zbylé části odsolené vody jsou přidávány minerály, čímž se z ní stává voda pitná sloužící pro potřeby posádky na palubě a také pro následné ekonomické zhodnocení v oblastech s nedostatkem pitné vody na pevnině.

Spotřeba vody pro praní i pro EVO je již stanovena z předchozích výpočtů. Průměrná denní spotřeba pitné vody na osobu činí 89 l (dle údajů pro ČR za rok 2019), což pokrývá nejen množství určené pro konzumaci, ale také hygienu, úklid, zalévání a další potřeby [153]. Z hlediska spotřeby vody na palubě lodi pro účely posádky je tato hodnota mírně předimenzovaná, nicméně je bez úprav použita ve výpočtu. Kromě těchto uvedených tří oblastí použití vyprodukované vody je celkové množství navýšeno o 20 % pro vytvoření dostatečné rezervy v případě nečekaných událostí. Celková spotřeba odsolené vody (pitné i surové) je poté vypočítána dle rovnice (22).

$$C_{odsol,voda} = \left(C_{voda,praní} + C_{EVO,voda} + \frac{S_{voda,pit} \cdot n_{osob}}{24} \right) \cdot (100\% + k_{voda}) \quad (22)$$

$C_{odsol,voda}$ [l/h] – celková spotřeba odsolené vody na palubě technologické lodi

$S_{voda,pit}$ [l/osoba/den] – průměrná spotřeba pitné vody na osobu

n_{osob} [-] – počet osob přítomných na palubě technologické lodi

k_{voda} [-] – procentuální rezerva na ostatní potřeby

Celkový počet osob potřebný pro nepřetržitý provoz technologické lodě i pomocných plavidel je s ohledem na veškeré probíhající procesy zvolen šedesát. Jsou předpokládány 3 osmihodinové směny pro všechna pracoviště kromě úklidu a kuchyně, kde jsou pouze 2 směny. Rovněž je předpokládáno setrvání pracovníků na palubě lodi i mimo pracovní dobu, ačkoliv by bylo možné pracovníky pravidelně dopravovat na každou směnu z pevniny. Celkový přehled pracovníků na jednotlivých pracovištích je uveden v tab. 21.

Tab. 21 Přehled pracovníků na jednotlivých pracovištích (scénář 1)

CELKOVÝ POČET OSOB NA PALUBĚ		
Pracoviště	Na směnu	Počet směn
Obsluha manuálního třídění	2	3
Údržba, kontrola	4	3
Manipulace, jeřáby	2	3
Pyrolýza	3	3
EVO	2	3
Odsolování	1	3
Řízení lodi a pomocných plavidel	4	3
Ostatní (úklid, kuchyně...)	3	2
CELKEM	60 osob	

Pro šedesát přítomných osob na palubě je výsledkem rovnice (22) 888,52 l/h odsolené vody, případně pitné vody. K těmto účelům je vybrána odsolovací jednotka v kompaktním provedení⁴⁵ o kapacitě 2 000 l/h. Vyšší kapacita je zvolena zejména z důvodu úvahy o prodeji pitné vody na pevnině, množství takto využitelné pitné vody je určeno na základě rovnice (23).

$$C_{prod,voda} = C_{odsol,jed.} - C_{odsol,voda} \quad (23)$$

$C_{prod,voda}$ [l/h] – celkové množství odsolené pitné vody určené pro prodej na pevnině
 $C_{odsol,jed.}$ [l/h] – maximální kapacita vybrané odsolovací jednotky

K prodeji je dle rovnice (23) možno využít 1 111,48 l/h vody. Tato hodnota vstupuje dále do ekonomické bilance popsané v podkapitole 7.5.

7.4 Materiálová bilance procesů na palubě – scénář 2

Z pohledu druhého scénáře je i přes velmi rozdílnou vstupní kapacitu odpadu provedena obdobná materiálová bilance, která respektuje stejné uspořádání i výběr jednotlivých zařízení, jako bilance provedená pro první scénář viz podkapitola 7.3. Díky tomuto faktu a využití shodných rovnic a výpočtů jsou pro scénář 2 představeny pouze hlavní výsledky bilance, které lze v excelovém souboru nalézt v pátém listu.

Jak je známo z podkapitoly 7.2, na palubu technologické lodi vstupuje 1,02 kg/h oceánského odpadu. Takto nízký vstup by byl pro okamžité kontinuální zpracování vybranými technologiemi nedostatečný. Proto bylo rozhodnuto v případě scénáře 2 shromažďovat sesbíraný odpad na palubě lodě ve k tomu určených kontejnerech a zpracovávat jej jednou týdně v rámci dvanáctihodinové směny. Tímto opatřením průměrná hodinová kapacita zpracovaného odpadu vzroste na 14,40 kg/h při 552 provozních hodinách za rok.

⁴⁵ Dostupné z https://www.alibaba.com/product-detail/High-Quality-Containerized-RO-Seawater-Desalination_62205806715.html?spm=a2700.7

Do procesu manuálního třídění vstupuje tedy 14,40 kg/h oceánského odpadu. Na základě dříve uvedených složení odpadu a účinností třídění pokračuje 0,05 kg/h ve formě odděleného proudu kovů, 0,39 kg/h jako oddělený proud čirého PET a 0,92 kg/h jako oddělený proud směsného PET. Zbýlých 13,04 kg/h odpadu putuje skrze procesy úpravy až k mechanickému třídění, kde je toto množství rozděleno na proud PE a PP (6,40 kg/h) a proud ostatních složek (6,64 kg/h). PE a PP putující dále do pyrolýzní jednotky je propírán 12,79 l/h odsolené vody. Po usušení odpadu a jeho podrobení procesu pyrolýzy je výsledkem 4,16 kg/h pyrolýzního oleje, 0,32 kg/h pyrolýzního plynu a 1,92 kg/h sazí. Saze pak dohromady s dříve odděleným směsným proudem odpadu pokračují do zařízení EVO, kam vstupuje i 0,9 l/h odsolené vody a 0,0043 kg/h aktivního uhlí v rámci technologií čištění spalin. Produktem zařízení EVO je kromě tepla i 1,71 kg/h popela, 0,23 kg/h popílku a produktů čištění spalin a v neposlední řadě 0,4 l/h odpadní vody.

V případě odsolování mořské vody v rámci druhého scénáře je díky menší spotřebě vody při EVO a při praní před procesem pyrolýzy možno využít větší množství pitné vody pro prodej na pevnině. Taktéž spotřeba pitné vody pro posádku je nižší, jelikož je uvažováno méně potřebných zaměstnanců i méně směn provozu. Konkrétně je snížen počet operátorů manuálního třídění, dále počet údržbářů, ostatních pracovníků a také zejména pracovníků zabývajících se řízením lodi. Ve druhém scénáři není uvažován provoz pomocných plavidel, proto je pro řízení technologické lodi dostatečný počet tří osob. Počty pracovníků na jednotlivých pracovištích při druhém scénáři jsou uvedeny v přehledu v tab. 22.

Tab. 22 Přehled pracovníků na jednotlivých pracovištích (scénář 2)

CELKOVÝ POČET OSOB NA PALUBĚ		
	Na směnu	Počet směn
Obsluha manuálního třídění	1	1
Údržba, kontrola	2	1
Manipulace, jeřáby	2	3
Pyrolýza	3	1
EVO	2	1
Odsolování	1	3
Řízení lodi a pomocných plavidel	3	3
Ostatní (úklid, kuchyně...)	2	2
CELKEM	30 osob	

Celkový počet osob na palubě technologické lodi tak činí 30. Takto velká skupina spotřebuje denně přibližně 2 670 l pitné vody. Pro účely prodeje pitné vody na pevnině tak lze využít cca 1 850 l/h, což je důležitá vstupní hodnota v rámci ekonomické bilance.

7.5 Ekonomická bilance celkového konceptu – scénář 1

Prvním důležitým krokem ekonomické bilance je stanovení ročního počtu provozních hodin a taktéž předpokládané životnosti celého systému. Vzhledem k charakteru technologií je uva-

žováno 7 800 provozních hodin ročně, což je v přepočtu 325 dní nepřetržitého provozu. Zbylých 40 dní je vyhrazeno pro plánované i neplánované odstávky, údržby a revize. Z hlediska životnosti je předpokládáno 20 let, což je standardní hodnota pro stavby a technologie podobného charakteru, jako je tato navrhovaná.

Provedená ekonomická bilance se skládá ze tří hlavních částí:

- **ročních příjmů**, které jsou výsledkem prodeje produktů vzniklých procesy na technologické lodi
- **ročních provozních nákladů**, které zahrnují náklady na energie, pohonné hmoty, mzdy, ale také náklady spojené s odstraněním reziduí apod.
- **investičních nákladů**

Jednotlivé složky a výpočty těchto tří oblastí jsou postupně představeny v následujících podkapitolách.

7.5.1 Roční příjmy

První oblastí ekonomické bilance jsou roční příjmy. Jak již bylo zmíněno dříve v kapitole 6, na palubě technologické lodi vzniká celkem pět různých produktů, které lze ekonomicky zhodnotit na pevnině. Jedná se o:

- kovy
- čirý PET
- směsný PET
- pyrolýzní olej
- pitnou vodu

Konkrétní množství všech produktů jsou dána z provedené materiálové bilance, viz kapitola 7.3 a 7.4. Ceny jednotlivých komodit se mohou během roku i výrazně měnit, pro výpočty spojené s ročními příjmy jsou použity průměrné ceny na světových trzích (aktuální ke květnu 2020), které lze vidět v tab. 23. Co se týče ceny pitné vody, ta je uvažována přímo pro lokalitu působení technologické lodi, tedy Vietnam (řeka Mekong ústí do Jihočínského moře právě ve Vietnamu), avšak vzhledem k nedostupnosti aktuálních dat je vztažena k prosinci roku 2017. Lze si povšimnout, že oproti ceně vody v ČR je mnohem nižší.

Tab. 23 Průměrné ceny jednotlivých komodit na světových trzích (aktuální ke květnu 2020)

Komodita	Jednotková cena	Jednotková cena ⁴⁶	Zdroj
Odpadní kov	101 \$/t	2 392 Kč/t	[154]
Čirý PET	310 £/t	9 275 Kč/t	[155]
Směsný PET	60 £/t	1 795 Kč/t	[155]
Pyrolýzní olej	35 INR/kg	10,85 Kč/kg	[156]
Pitná voda	6 676 VND/m ³	6,68 Kč/m ³	[157]

⁴⁶ Kurzy měn aktuální k 9. 6. 2020

Zisk z prodeje jednotlivých proudů je poté stanoven dle rovnice (24) až (28).

$$Z_{kovy} = \frac{C_{kovy}}{1000} \cdot t_{prov} \cdot y_{kovy} \quad (24)$$

$$Z_{PET,\check{c}} = \frac{C_{PET,\check{c}}}{1000} \cdot t_{prov} \cdot y_{PET,\check{c}} \quad (25)$$

$$Z_{PET,s} = \frac{C_{PET,s}}{1000} \cdot t_{prov} \cdot y_{PET,s} \quad (26)$$

$$Z_{pyr.olej} = C_{pyr.olej.prod} \cdot y_{pyr.olej} \quad (27)$$

$$Z_{voda} = \frac{C_{prod,voda}}{1000} \cdot t_{prov} \cdot y_{voda} \quad (28)$$

Z_{kovy} [Kč/rok] – zisk z prodeje odpadního kovu

t_{prov} [h/rok] – počet předpokládaných provozních hodin za rok

y_{kovy} [Kč/t] – jednotková cena za odpadní kov

$Z_{PET,\check{c}}$ [Kč/rok] – zisk z prodeje čirého PET

$y_{PET,\check{c}}$ [Kč/t] – jednotková cena za čirý PET

$Z_{PET,s}$ [Kč/rok] – zisk z prodeje směsného PET

$y_{PET,s}$ [Kč/t] – jednotková cena za směsný PET

$Z_{pyr.olej}$ [Kč/rok] – zisk z prodeje pyrolýzního oleje

$C_{pyr.olej.prod}$ [t/rok] – množství pyrolýzního oleje určené pro prodej

$y_{pyr.olej}$ [Kč/t] – jednotková cena pyrolýzního oleje

Z_{voda} [Kč/rok] – zisk z prodeje pitné vody

y_{voda} [Kč/t] – jednotková cena pitné vody v oblasti působení technologické lodě

Aby bylo možné stanovit zisk z prodeje pyrolýzního oleje, je potřeba znát jeho množství určené pro prodej. Pyrolýzní olej produkovaný na technologické lodi slouží primárně k výrobě elektrické energie používané pro pohon všech zařízení na palubě. Zbylá část poté slouží pro ekonomické zhodnocení na pevnině. Jelikož výpočty spojené se spotřebou elektrické energie jsou součástí následující podkapitoly o ročních provozních nákladech, výpočet, z něhož vychází množství pyrolýzního oleje určeného pro prodej je uveden taktéž v následující kapitole. V tuto chvíli však lze pro úplnost konstatovat, že z roční produkce 1 230,66 tun pyrolýzního oleje je možno 1 056,00 t ekonomicky zhodnotit na pevnině.

Z výsledků rovnice (24) až (28) vyplývá, že na ročním zisku se podílí prodej kovů částkou 38 746 Kč, prodej čirého PET stojí za 1 083 796 Kč, prodej směsného PET poté 489 456 Kč, nejvyšší zisk zajišťuje prodej pyrolýzního oleje, tedy 11 457 619 Kč a jako poslední prodej pitné vody s 57 878 Kč. Celkové roční příjmy jsou vypočítány dle rovnice (29).

$$Z_{tot} = Z_{kovy} + Z_{PET,\check{c}} + Z_{PET,s} + Z_{pyr.olej} + Z_{voda} \quad (29)$$

Z_{tot} [Kč/rok] – celkové roční příjmy z prodeje produktů vzniklých na palubě technologické lodi

Výsledkem rovnice (29) jsou celkové roční příjmy o výši 13 127 496 Kč. Tato hodnota se může měnit zejména v závislosti na složení vstupního odpadu, se kterým úzce souvisí. Přehled všech složek příjmů je uveden v tab. 24.

Tab. 24 Stručný přehled jednotlivých složek ročních příjmů (scénář 1)

Činnost	Částka
Prodej odpadního kovu	38 746 Kč/rok
Prodej čirého PET	1 083 796 Kč/rok
Prodej směsného PET	489 456 Kč/rok
Prodej pyrolýzního oleje	11 457 619 Kč/rok
Prodej pitné vody	57 878 Kč/rok
CELKEM	13 127 496 Kč/rok

7.5.2 Roční provozní náklady

Druhou částí ekonomické bilance jsou roční provozní náklady. Tyto náklady se skládají z celkem pěti položek, kterými jsou:

- náklady na elektrickou energii
- mzdové náklady
- náklady na čištění spalin
- náklady na odstranění reziduí
- ostatní náklady

Náklady na elektrickou energii vychází z výkonů jednotlivých zařízení na palubě, který je udáván výrobcem. Spotřeba elektrické energie je poté pro všechny zařízení shodně vypočítána dle rovnice (30).

$$s_{el,i} = P_i \cdot t_{prov} \quad (30)$$

$s_{el,i}$ [kWh/rok] – roční spotřeba elektrické energie daným zařízením i

P_i [kW] – výkon zařízení i udáváný výrobcem

Kromě již výše uvedených zařízení tvořících hlavní část technologického systému se jedná také o některá pomocná zařízení. Jsou to např. doplňkové dopravníky mezi jednotlivými technologiemi, které jimi nejsou od výrobce opatřeny. Jedná se celkem o 5 potřebných dopravníků, konkrétně jsou použity pásové dopravníky⁴⁷ výrobce Keda. Dalším zařízením je jeřáb⁴⁸ o nosnosti 5 t, který není součástí dodávané technologické lodě. Výrobce tohoto jeřábu však neuvádí jeho elektrický výkon, proto je uvažován výkon jiného, avšak nosností shodného jeřábu⁴⁹, což může vyvolat drobné nepřesnosti. Výkon všech zařízení, vstupujících do výpočtu dle rovnice (29) je uveden v tab. 25.

⁴⁷ Dostupné z <https://www.alibaba.com/product-detail/KEDA-brand-automatic-rubber-and-plastic-60735094006.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.665c6413KrknVv>

⁴⁸ Dostupné z <https://www.alibaba.com/product-detail/ce-5-ton-column-mounted-free-62569966250.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.10a825fb7gtDoD&s=p>

⁴⁹ Dostupné z <https://minglongtc.en.made-in-china.com/product/hXlnKDPyHGuz/China-Qtz40-TC5008-New-Designed-Construction-Tower-Crane-Max-Load-4t.html>

Tab. 25 Přehled výkonů jednotlivých zařízení na palubě technologické lodi

Název zařízení	Počet zařízení na palubě	Výkon jednoho zařízení [kW]
Pásový dopravník na manuální třídění	1	2,2
Drtič	1	22
Mechanická třídička	1	0,75
Pračka	1	11
Sušička	2	9
Pyrolýzní jednotka	1	15,5
Jednotka pro EVO	1	6
Odsolovací jednotka	1	4,75
Dopravníky mezi procesy	5	1,1
Jeřáb	1	25

Samostatnou položkou spotřeby elektrické energie je osvětlení. Zde byla zavedena drobná zjednodušení. Dle [158] činí měrná roční spotřeba elektrické energie na osvětlení průmyslových provozů na 1 m² osvětlované plochy 43,7 kWh. Za osvětlovanou plochu je při výpočtech zjednodušeně uvažována plocha paluby lodě, tedy 96 x 15 m. Spotřeba elektrické energie na osvětlení je tak stanovena dle rovnice (31).

$$S_{el,osv} = S_{el,osv,A} \cdot A_{osv} \quad (31)$$

$S_{el,osv}$ [kWh/rok] – roční spotřeba elektrické energie na osvětlení

$S_{el,osv,A}$ [kWh/m²] – měrná roční spotřeba elektrické energie na osvětlení

A_{osv} [m²] – osvětlovaná plocha

K součtu všech výše uvedených spotřeb elektrické energie vycházejících z rovnice (30) a (31) je v rámci rezervy a pokrytí určitých zjednodušení přičteno navíc 15 % z celkové hodnoty spotřeby elektrické energie. Celková spotřeba elektrické energie je tak vypočítána dle rovnice (32).

$$S_{el,tot} = \frac{(S_{el,osv,A} + \sum_i S_{el,i}) \cdot (100\% + k_{el})}{1000} \quad (32)$$

$S_{el,tot}$ [MWh] – celková spotřeba elektrické energie na palubě technologické lodi

k_{el} [-] – bezpečnostní rezerva spotřeby elektrické energie

Výsledkem rovnice (32) je 835,68 MWh elektrické energie za rok. Jelikož jedním z požadavků na ekonomicky výhodný provoz lodi je co největší energetická samostatnost, je tato

elektrická energie dodávána do systému pomocí generátoru využívajícího pro pohon vyprodukovaný pyrolýzní olej. Pro tyto účely je vybrán generátor⁵⁰ výrobce Avespeed, který pro výrobu 1 kWh elektrické energie spotřebuje 209 g pyrolýzního oleje. Celková spotřeba paliva (pyrolýzního oleje) na soběstačný provoz lodi je vypočítána dle rovnice (33). Díky zisku elektrické energie tímto způsobem je tedy položka „náklady na elektrickou energii“ nulová.

$$S_{pyr.olej,el} = \frac{S_{el,tot} \cdot S_{pyr.olej,g}}{1000} \quad (33)$$

$S_{pyr.olej,el}$ [t/rok] – celková spotřeba pyrolýzního oleje pro výrobu elektrické energie

$S_{pyr.olej,g}$ [g/kWh] – měrná spotřeba pyrolýzního oleje na výrobu 1 kWh elektrické energie

Z rovnice (33) vyplývá roční spotřeba pyrolýzního oleje pro energeticky samostatný provoz technologií na palubě lodi 174,66 t. Díky znalosti této hodnoty lze nyní vypočítat již dříve zmíněné množství pyrolýzního oleje, které je možno využít ekonomicky na pevnině (rovnice (34)).

$$C_{pyr.olej,prod.} = C_{pyr,olej} \cdot t_{prov} - S_{pyr.olej,el} \quad (34)$$

Další složkou ročních provozních nákladů jsou mzdy. U této složky se výhodně projevuje vybraná lokalita působení technologické lodi, tedy Vietnam. Průměrná měsíční mzda ve Vietnamu dosahuje kolem 148 \$ [159], což činí v přepočtu 3 505 Kč. Oproti např. hrubé průměrné mzdě v ČR, která činila v 1. čtvrtletí roku 2020 34 077 Kč [160] je to částka téměř zanedbatelná. Celkové náklady na mzdy jsou vypočítány dle rovnice (35).

$$N_{mzdy} = n_{osob} \cdot S_{avr} \cdot 12 \quad (35)$$

N_{mzdy} [Kč/rok] – roční mzdové náklady

S_{avr} [Kč/měsíc] – průměrná měsíční mzda ve Vietnamu

Celkové náklady na mzdy tak činí dle výpočtu podle rovnice (35) 2 523 341 Kč ročně. Tato hodnota vychází z průměrných mezd, což je zjednodušující předpoklad. Ve skutečnosti by někteří zaměstnanci dosahovali nižších mezd (např. obsluha manuálního třídění), jiní naopak vyšších (např. kapitán lodě). Použití průměrných hodnot je tak vhodným kompromisem.

Třetí složkou provozních nákladů jsou náklady na čištění spalin. Jedná se konkrétně o náklady na nákup aktivního uhlí a hašeného vápna, které se při čištění spalin používají. Co se týče aktivního uhlí, spotřeba je již stanovena z materiálové bilance, náklady na nákup lze tedy vypočítat dle rovnice (36).

$$N_{EVO,uhlí} = C_{EVO,uhlí} \cdot t_{prov} \cdot \gamma_{uhlí} \quad (36)$$

$N_{EVO,uhlí}$ [Kč/rok] – roční náklady spojené s nákupem aktivního uhlí jako prvku čištění spalin

$\gamma_{uhlí}$ [Kč/kg] – jednotková cena aktivního uhlí

⁵⁰ Dostupné z <https://wshk186.en.made-in-china.com/product/GvunBHCAbacZ/China-1000kw-1MW-400V-50Hz-Used-Cooking-Oil-Tyre-Oil-Plastic-Oil-Generator-Set-Generating-Set-GenSet.html>

Jednotková cena aktivního uhlí pochází ze [152] a činí 35 Kč/kg. Celkové náklady spojené s nákupem aktivního uhlí tak dosahují 44 315 Kč ročně, což je oproti předchozím mzdovým nákladům velice nízká částka. Co se týče nákladů na hašené vápno, z důvodu neznámé jednotkové spotřeby vstupuje tato položka do ekonomické bilance jako fixní. Vzhledem k jednotkové ceně hašeného vápna ve výši okolo 3,7 Kč/kg⁵¹ jsou předpokládány fixní náklady na tuto položku ve výši 20 000 Kč ročně.

S čištěním spalin se částečně pojí také čtvrtá složka provozních nákladů, tedy náklady na odstranění reziduí. Rezidui jsou v tomto kontextu myšleny produkty zařízení EVO, tedy popel, popílek a produkty čištění spalin a odpadní voda. Množství všech těchto tří proudů je již stanoveno z materiálové bilance. Jednotkové náklady na odstranění těchto složek činí 1,1 Kč/kg v případě popela, 10 Kč/kg pro popílek a produkty čištění spalin a nakonec 40 Kč/m³ při nakládání s odpadní vodou [152]. Celkové náklady jednotlivých proudů jsou vypočítány dle rovnice (37) až (39).

$$N_{EVO,pop} = C_{EVO,pop} \cdot t_{prov} \cdot y_{pop} \quad (37)$$

$$N_{EVO,p\check{c}s} = C_{EVO,p\check{c}s} \cdot t_{prov} \cdot y_{p\check{c}s} \quad (38)$$

$$N_{EVO,odpv} = C_{EVO,odpv} \cdot t_{prov} \cdot y_{odpv} \quad (39)$$

$N_{EVO,pop}$ [Kč/rok] – roční náklady spojené s nakládáním s popelem jako produktem EVO

y_{pop} [Kč/kg] – jednotková cena za odstranění popela

$N_{EVO,p\check{c}s}$ [Kč/rok] – roční náklady spojené s nakládáním s produkty čištění spalin jako produktem EVO

$y_{p\check{c}s}$ [Kč/kg] – jednotková cena za odstranění produktů čištění spalin

$N_{EVO,odpv}$ [Kč/rok] – roční náklady spojené s nakládáním s odpadní vodou jako produktem EVO

y_{odpv} [Kč/kg] – jednotková cena za odstranění odpadní vody

Z rovnice (37) až (39) plyne, že největší podíl z hlediska nakládání s rezidui zaujímá odstranění popílku a produktů čištění spalin (678 647 Kč), následované popelem (557 098 Kč) a odpadními vodami (5 065 Kč).

Poslední část uvažovaných provozních nákladů tvoří položka „ostatní“. Sem se řadí zejména náklady na pohonné hmoty technologické lodě, náklady na provoz pomocných plavidel a další. Tato část nákladů je pro zjednodušení vyjádřena jako 20 % celkových provozních ročních nákladů. Ty jsou poté stanoveny na základě rovnice (40).

$$N_{tot} = (N_{mzdy} + N_{EVO,uhl\acute{i}} + N_{EVO,v\acute{a}pno} + N_{EVO,pop} + N_{EVO,p\check{c}s} + N_{EVO,odpv}) \cdot (100\% + k_{ostatn\acute{i}}) \quad (40)$$

N_{tot} [Kč/rok] – celkové roční provozní náklady

$N_{EVO,v\acute{a}pno}$ [Kč/rok] – roční náklady spojené s nákupem hašeného vápna jako prvku čištění spalin

$k_{ostatn\acute{i}}$ [Kč/rok] – procentuální rezerva na ostatní položky provozních nákladů

⁵¹ Dostupné z <https://www.hornbach.cz/shop/Vapno-Certak-hasene-CL-90-30-kg-bile-pro-stavbu/5239055/>

Po součtu všech jednotlivých složek dosahují celkové roční provozní náklady 4 594 159 Kč. Příspěvky od jednotlivých složek lze vidět v přehledu v tab. 26.

Tab. 26 Stručný přehled jednotlivých složek ročních provozních nákladů (scénář 1)

Složka	Částka
Elektrická energie	0 Kč/rok
Mzdové náklady	2 523 341 Kč/rok
Čištění spalin	64 315 Kč/rok
Nakládání s rezidui	1 240 810 Kč/rok
Ostatní	765 693 Kč/rok
CELKEM	4 594 159 Kč/rok

7.5.3 Investiční náklady

Třetí, závěrečnou vyhodnocovanou oblastí ekonomické bilance jsou náklady investiční. Ty jsou tvořeny pořizovacími cenami jednotlivých zařízení, která jsou představena výše, včetně jejich konkrétních modelů. Seznam všech uvažovaných zařízení včetně jejich pořizovací ceny je uveden v tab. 27. Položka „ostatní“ zastupuje další potřebné součásti systému, jako např. potrubí, nádrže, připojení apod., které jsou nezbytné pro provoz daných technologií. Je stanovena jako 5 % ze součtu pořizovacích nákladů těchto technologií.

Tab. 27 Pořizovací náklady jednotlivých zařízení na technologické lodi

Zařízení	Počet kusů	Cena za kus [Kč]	Cena celkem [Kč]
Pásový dopravník na manuální třídění	1	236 800	236 800
Drtič	1	93 276	93 276
Mechanická třídička	1	255 744	255 744
Pračka	1	82 880	82 880
Sušička	2	94 720	189 440
Pyrolýzní jednotka	1	1 539 200	1 539 200
Jednotka pro EVO	1	710 400	710 400
Odsolovací jednotka	1	236 800	236 800
Dopravníky mezi procesy	5	47 360	236 800
Generátor	1	10 656 000	10 656 000
Jeřáb	1	118 400	118 400
Ostatní	-		717 787

Bezesporu největší investiční položkou je nákup technologické lodě. Konkrétní technologická loď je zvolena již dříve na základě provedených rešerší, její cena činí v přepočtu 28,4 mil. Kč. Kromě hlavní technologické lodě jsou potřeba i pomocná plavidla, která jsou

schopna naložit do kontejnerů a přivést odpad zachycený bariérami. Pro tyto účely jsou vybrány dvě shodné hliníkové lodě⁵², cena jednoho kusu je 947 200 Kč. Co se týče záchytných bariér, je uvažováno celkem 40 kusů dvacetimetrových segmentů, cena za jeden kus dosahuje 876 Kč. Celková cena za všechny bariéry pak činí 35 046 Kč.

Kromě plavidel je třeba uvažovat také kontejnery jak pro náklad, tak i pro ubytování posádky. Cena jednoho standardního nákladního kontejneru⁵³ se pohybuje okolo 46 886 Kč. V ekonomické bilanci je uvažováno celkem 10 těchto kontejnerů. Tzv. obytných kontejnerů⁵⁴ je poté uvažováno 12, každý o kapacitě 4 osob a ceně 36 704 Kč. Tato cena však zahrnuje pouze prázdný kontejner, bez jakéhokoliv vybavení. Na vybavení každého kontejneru je poté vyhrazeno dalších 23 680 Kč. Dvanáct kontejnerů vystačí pro 48 osob, dalších 12 míst v osmi kajutách poskytuje samotná technologická loď.

Poslední složkou investičních nákladů jsou reinvestice. Ty jsou zjednodušeně uvažovány ve výši 5 % z celkových investičních nákladů rozložených rovnoměrně po celou dobu životnosti. Tyto náklady jsou spojené zejména s údržbou technologií i samotného plavidla a plovoucích bariér, případně nákupem náhradních dílů pro použitá zařízení apod.

Po sečtení všech výše uvedených částek vychází investiční náklady celkem na 46 612 445 Kč. Při zjednodušeném uvažování ročních odpisů rovnoměrně rozložených po celou dobu životnosti se jedná o 2 447 153 Kč ročně. Přehled a cena jednotlivých položek investičních nákladů je zobrazena v tab. 28.

Tab. 28 Přehled a cena jednotlivých položek investičních nákladů (scénář 1)

Položka	Cena [Kč]
Investice do technologií	15 073 526
Technologická loď	28 400 000
Záchytné bariéry	35 046
Pomocná plavidla	1 894 400
Nákladní kontejnery	468 864
Obytné kontejnery s vybavením	724 608
Reinvestice	116 531

7.6 Ekonomická bilance celkového konceptu – scénář 2

Ačkoliv již z provedené materiálové bilance druhého scénáře je zřejmé, že ekonomická stránka této varianty je velmi problematickou záležitostí, pro demonstraci je i pro ni provedena ekonomická bilance, která využívá stejných rovnic, výpočtů i vstupních dat jako předchozí uvedená bilance scénáře 1. Pro zjednodušení je předpokládáno využití stejných zařízení i technologické

⁵² Dostupné z https://www.topchinasupplier.com/wholesale/China-Cargo-Ship-Aluminium-Boats-Cargo-Boat_330504/

⁵³ Dostupné z <https://www.containerdiscounts.com/20-foot-shipping-container#bt402010M>

⁵⁴ Dostupné z https://www.alibaba.com/product-detail/cheap-price-fast-assemble-habitable-container_60727273472.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.b8be563eGgCDak

lodě o stejných kapacitách, a tedy i investičních nákladech, i když by ve skutečnosti byla dostačující menší zařízení. Taktéž předpokládaná celková životnost konceptu je shodná s předchozí vyhodnocenou variantou.

Z hlediska počtu provozních hodin je pro sběr odpadu, tudíž i pro pohyb technologické lodi, uvažováno shodně jako v prvním scénáři 7 800 provozních hodin ročně. Pro provoz technologií na palubě lodi by byla tato hodnota kvůli nízkému hodinovému vstupnímu množství zachyceného odpadu příliš vysoká, proto je pro jejich provoz uvažováno na základě materiálové bilance 552 h/rok, což odpovídá zpracování jednou týdně v průběhu dvanáctihodinové směny. Pro odsolování mořské vody je uvažováno shodně jako pro pohyb technologické lodi 7 800 provozních hodin ročně, tento proces totiž není na množství vstupujícího odpadu závislý.

Zásadní rozdíly ekonomické bilance lze vidět již u ročních příjmů, které jsou kvůli výrazně menšímu množství zpracovaného odpadu nižší. V případě scénáře 1 má na ročních příjmech většinový podíl zejména prodej vyprodukovaného pyrolýzního oleje. Spotřeba elektrické energie, potažmo i pyrolýzního oleje pro její výrobu, je v případě scénáře 2, díky menšímu počtu provozních hodin některých zařízení, oproti prvnímu scénáři nižší. Kromě spotřeby elektrické energie jeřáby a manipulační technikou, odsolovací jednotkou a osvětlením lodi se spotřeba elektrické energie všech ostatních zařízení vztahuje k provozní době 552 h/rok. Díky tomu celková roční spotřeba elektrické energie dosahuje 241,68 MWh, což odpovídá potřebě 50,51 t/rok pyrolýzního oleje. Kvůli nízkému vstupnímu množství odpadu v případě druhého scénáře však není produkováno dostatečné množství pyrolýzního oleje, které by dokázalo zajistit energetickou soběstačnost technologické lodě. Množství pyrolýzního oleje určené pro prodej je tím pádem nulové, naopak je dokonce nutné pyrolýzní olej či jiné vhodné palivo nakupovat pro zajištění potřebného množství elektrické energie. Celkové roční příjmy jsou tak v případě druhého scénáře tvořeny pouze čtyřmi položkami. Jedinou složkou příjmů, která je oproti prvnímu scénáři vyšší, je zisk z prodeje pitné vody. Jak již bylo řečeno, díky nižší spotřebě vyprodukované vody na palubě technologické lodě zůstává vyšší množství pro prodej na pevnině. Jednotlivé příjmy z prodeje všech produktů jsou uvedeny v přehledu v tab. 29.

Tab. 29 Stručný přehled jednotlivých složek ročních příjmů (scénář 2)

Činnost	Částka
Prodej odpadního kovu	72 Kč/rok
Prodej čirého PET	2 021 Kč/rok
Prodej směsného PET	913 Kč/rok
Prodej pyrolýzního oleje	0 Kč/rok
Prodej pitné vody	96 341 Kč/rok
CELKEM	99 347 Kč/rok

Nedostatečná produkce pyrolýzního oleje má vliv i na provozní náklady. Jelikož není v případě druhého scénáře loď energeticky soběstačná, je potřeba pyrolýzní olej nakupovat, čímž vzrostou provozní náklady o 523 143 Kč/rok. Ostatní položky provozních nákladů jsou naopak oproti prvnímu scénáři díky nižší kapacitě zpracovaného odpadu menší. Co se týče mzdových nákladů, stejně jako v případě prvního scénáře vychází z průměrné mzdy ve Vietnamu, která dosahuje pouze 148 \$ za měsíc. Konkrétní hodnoty jednotlivých složek ročních provozních nákladů jsou uvedeny v tab. 30.

Tab. 30 Stručný přehled jednotlivých složek ročních provozních nákladů (scénář 2)

Složka	Částka
Elektrická energie	523 143 Kč/rok
Mzdové náklady	1 261 670 Kč/rok
Čištění spalin	183 Kč/rok
Nakládání s rezidui	2 314 Kč/rok
Ostatní	357 462 Kč/rok
CELKEM	2 144 771 Kč/rok

Třetí a poslední položka ekonomické bilance, investiční náklady, je díky využití shodných zařízení jako v prvním scénáři již vyčíslena v podkapitole 7.5.3. Přehled pořizovacích nákladů jednotlivých zařízení na technologické lodi je uveden dříve v tab. 27. Jediný rozdíl oproti prvnímu scénáři je v nákladech na statické bariéry a pomocná plavidla, která nejsou při druhém scénáři potřeba. O tyto pořizovací náklady je tedy výsledná hodnota celkových investičních nákladů snížena. Přehled jednotlivých položek investičních nákladů je uveden v tab. 31.

Tab. 31 Přehled a cena jednotlivých položek investičních nákladů (scénář 2)

Položka	Cena [Kč]
Investice do technologií	15 073 526
Technologická loď	28 400 000
Nákladní kontejnery	468 864
Obytné kontejnery s vybavením	724 608
Reinvestice	116 531

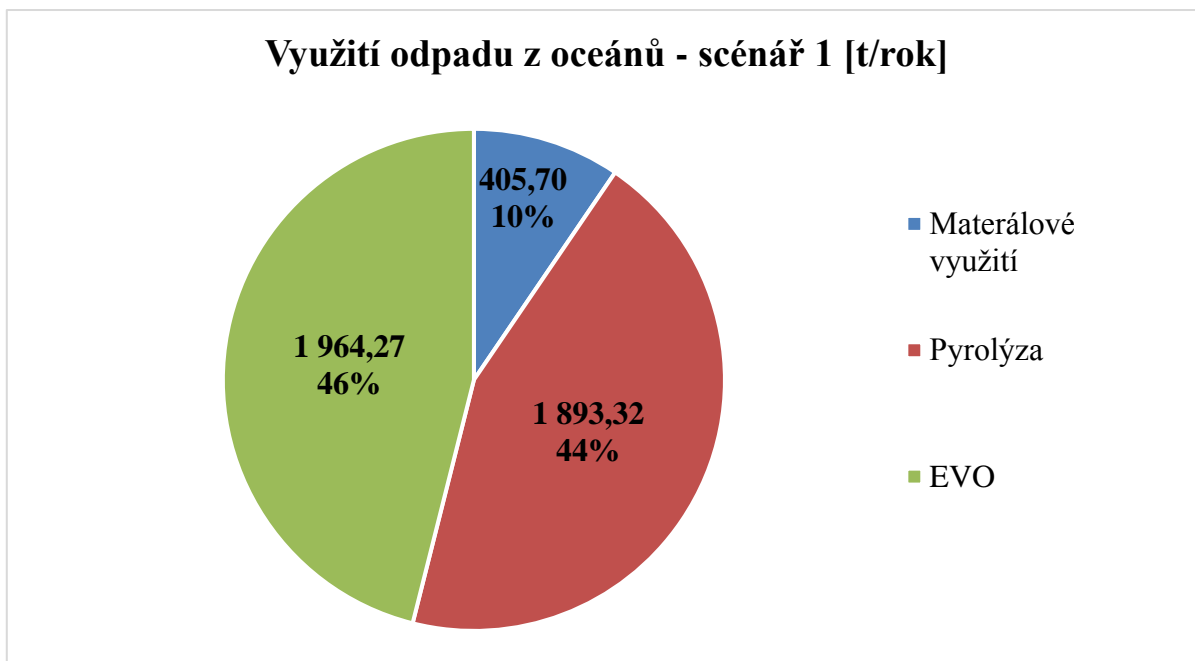
Výsledná hodnota investičních nákladů za celou dobu životnosti činí 44 682 998 Kč. Stejně jako v případě prvního scénáře, při zjednodušeném uvažování rovnoměrných ročních odpisů lze uvažovat náklady 2 234 150 Kč/rok.

8 ANALÝZA VÝSLEDKŮ A DOPORUČENÍ NAVRŽENÉ KONCEPCE

Z výsledků provedené materiálové i ekonomické bilance lze vyvodit několik závěrů. Z hlediska shromažďování a sběru plovoucího odpadu v oceánech se jako efektivnější řešení jeví záchyt odpadu přímo u zdroje, tj. v ústí řek či příbřežních oblastech s velkou koncentrací obyvatelstva, tedy dle navrženého scénáře 1. Takto zachycený odpad, ať už s pomocí statických bariér jako je uvažováno v této práci či jinými způsoby, tvoří dostatečnou kapacitu pro kontinuální zpracování na technologické lodi případně i na pevnině. Konkrétní hodnoty pro řeku Mekong uvažovanou v této práci dosahují 0,55 t/h plovoucího odpadu. Za předpokladu 7 800 provozních hodin ročně a celkové životnosti odhadované na 20 let činí roční provozní náklady této varianty celkem cca 4,59 mil. Kč, investiční náklady rovnoměrně rozložené po celou dobu životnosti jsou odhadnuty na 2,45 mil. Kč. Z hlediska příjmů se poté jedná o 13,13 mil. Kč.

Co se týče scénáře 2, lze konstatovat, že kapacita zachyceného odpadu 1,02 kg/h není pro kontinuální provoz navrhovaných technologií na lodi dostatečná. Tato hodnota odpovídá průměrné hustotě odpadu plujícího na hladině oceánů, kterou je technologická loď pomocí přidavných ramen schopna zachytit. Z tohoto důvodu není varianta návrhu sběru odpadu za aktivního pohybu technologické lodi na volném oceánu, z pohledu ekonomické rentability koncepce, doporučována. Toto tvrzení platí i pro případ technologické lodi v podobě katamaránu, kdy jsou vykazovány podobné výsledky. Nízký vstup odpadu způsobuje zejména nedostatečnou produkci pyrolýzního oleje, která je pro navržený koncept klíčová. Technologická loď není energeticky soběstačná, čímž rostou náklady na její provoz a zároveň klesají příjmy z prodeje produktů, jelikož prodej pyrolýzního oleje tvoří obecně většinovou část příjmů. Za předpokladu stejné celkové životnosti všech zařízení, avšak rozdílného počtu provozních hodin technologií zpracovávajících odpad dosahují roční provozní náklady konceptu dle druhého scénáře 2,15 mil. Kč, investiční náklady činí 44,7 mil. Kč (ročně 2,2 mil. Kč), zatímco celkové roční příjmy se pohybují jen kolem 100 tis. Kč.

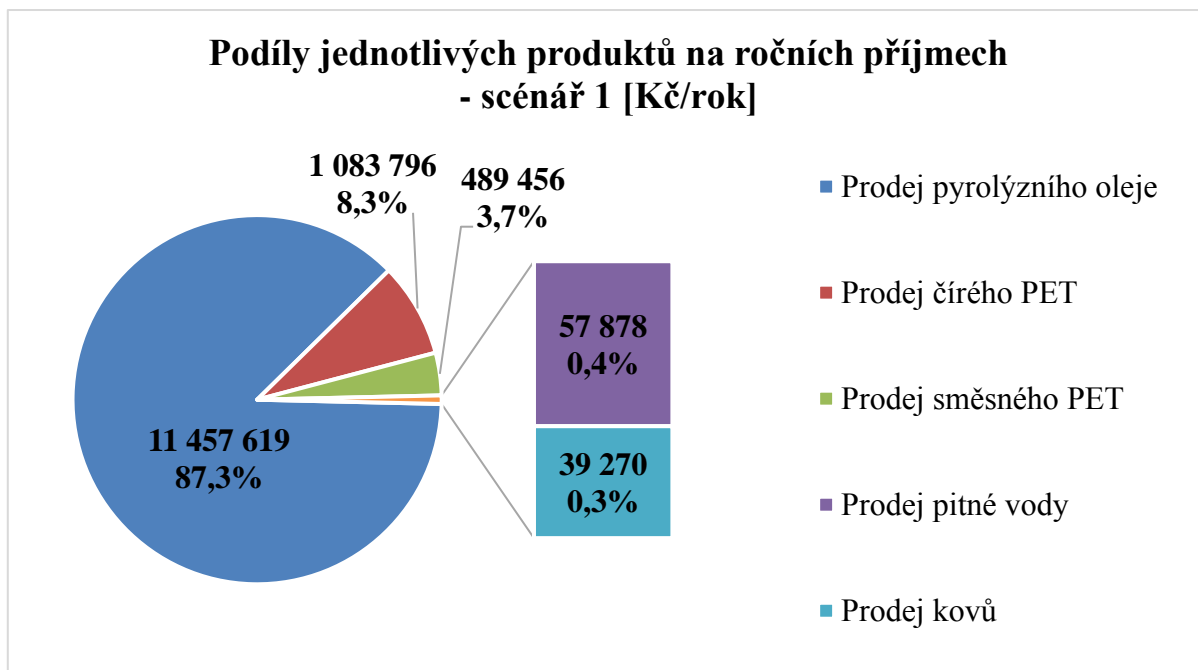
Při návrhu uspořádání jednotlivých procesů na palubě technologické lodi je kromě důrazu na efektivitu a environmentální přijatelnost důležité i dodržování principů hierarchie nakládání s odpady. To je zajištěno maximálním možným materiálovým využitím vybraných složek odpadu, které lze zhodnotit na trhu s druhotnými surovinami. Zbylá část odpadu, která nelze materiálově využít je využita energeticky, procesem pyrolýzy či přímo v zařízení EVO. Podíly jednotlivých způsobů využití odpadu z oceánu na technologické lodi jsou zobrazeny v grafu na obr. 44. Tyto procentuální podíly jsou platné pro oba scénáře, konkrétní množství odpadu zpracovaného jednotlivými způsoby hierarchie v t/rok se vztahují pouze ke scénáři 1.



Obr. 44 Podíly jednotlivých způsobů využití odpadu z oceánu

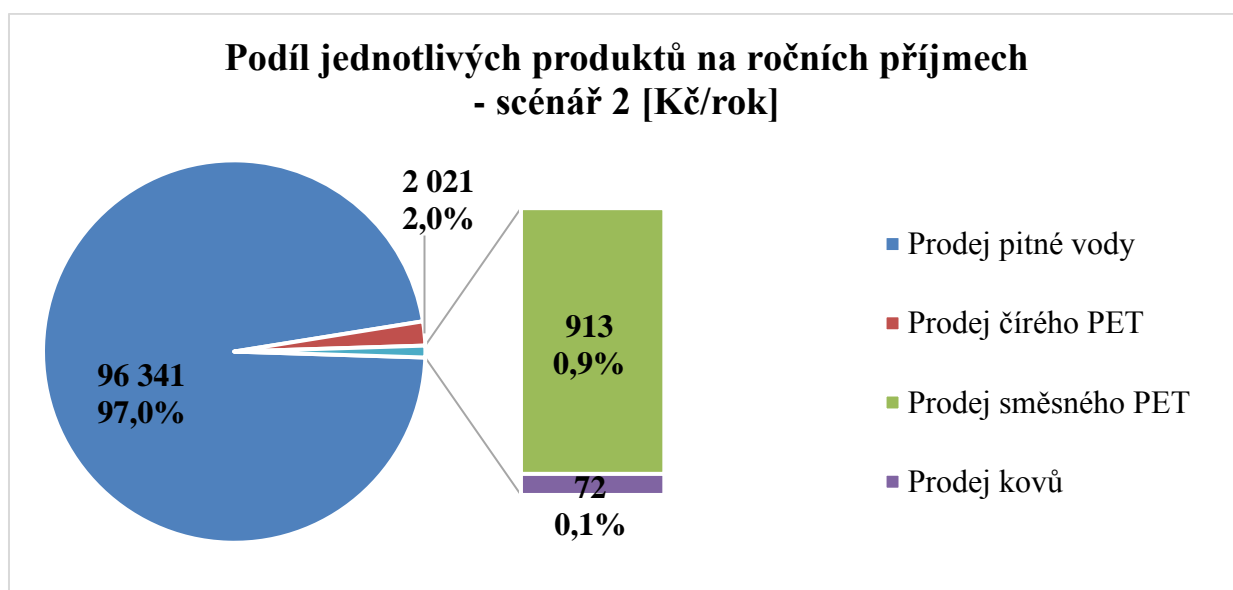
Jak vyplývá z výše uvedeného grafu, ačkoliv je na materiálové využití kladen důraz, jeho podíl na celkovém využití tvoří pouze 10 %. To je ovlivněno zejména složením vstupního odpadu. Ze vstupní směsi jsou pro materiálové využití oddělovány kovy, které tvoří pouze 0,38 % hmotnosti, a PET. Tyto složky jsou vybrány zejména kvůli snazšímu využití ve formě druhotných surovin v porovnání s ostatními přítomnými složkami. Jinými slovy, kromě uvedených složek by bylo možné oddělovat např. i duté plasty (HDPE) či fólie (LDPE), které lze také zhodnotit na trhu s druhotnými surovinami, ač ne tak výhodně jako např. čirý PET. Tato změna by však přinesla nárůst provozních nákladů kvůli zvýšeným požadavkům na třídění a také snížení produkce pyrolýzního oleje, který tvoří nejvýznamnější položku z hlediska příjmů z prodeje produktů. Navíc je nutné zmínit, že plastový odpad, který je podroben působení oceánského prostředí delší dobu bývá více či méně degradován, což znemožňuje jeho materiálové využití. Jaká část plastového odpadu by tak byla možná skutečně využít, zůstává otázkou.

Z provedené ekonomické bilance scénáře 1 vyplývá, že prodej druhotných surovin (tzn. kovů i obou proudů PET) se na celkových ročních příjmech podílí celkem 12,3 %. Největší podíl má zmiňovaný prodej pyrolýzního oleje, konkrétně 87,3 %. Zbylých 0,4 % zisku je výsledkem prodeje pitné vody. Z ekonomického hlediska je tak prodej pitné vody diskutabilní záležitostí. Malý výnos je způsoben zejména nízkou cenou pitné vody ve Vietnamu, ačkoliv je v této oblasti nekontaminovaná pitná voda nedostatek. Z produkce a prodeje pitné vody by se tak v tomto případě stala spíše humanitární záležitostí. Podíly jednotlivých produktů na ročních příjmech je možno vidět v grafu na obr. 45.



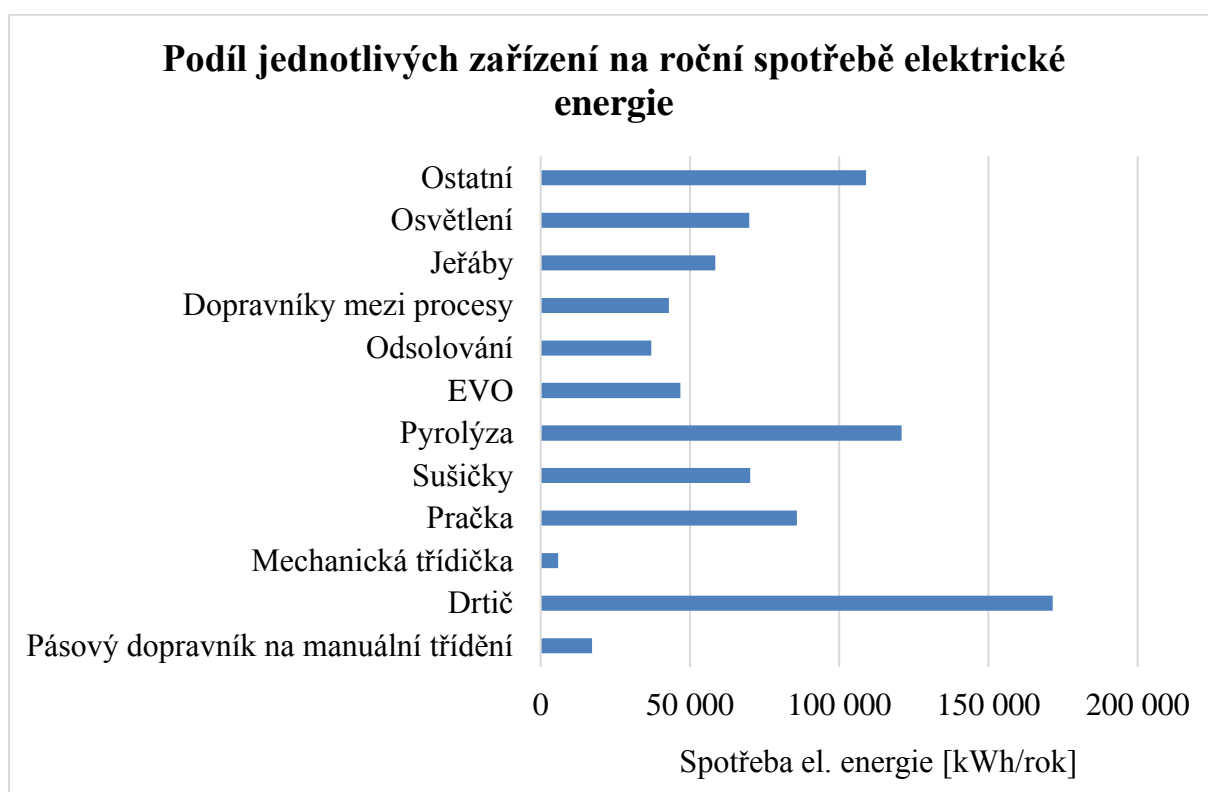
Obr. 45 Podíly jednotlivých produktů zpracování oceánského odpadu na ročních příjmech (scénář 1)

V případě ekonomické bilance druhého scénáře je situace odlišná. Vzhledem k nedostatku pyrolýzního oleje pro prodej tvoří výrazně největší složku příjmů prodej pitné vody (97,0 %), následovaný prodejem čírého PET (2,0 %), směsného PET (0,9 %) a nakonec kovů (0,1 %). U této varianty se na rozdíl od předchozí stává prodej pitné vody významnou a nepostradatelnou součástí provozu. Primárním účelem navrhovaného konceptu je však sběr odpadu z oceánu a jeho využití, prodej pitné vody by měl být pouze doplňkovou záležitostí, což v tomto případě zcela neplatí. Je tedy na pováženu, jaký přínos by pro čištění oceánů tato varianta návrhu ve skutečnosti měla. Podíly jednotlivých produktů na ročních příjmech je možno vidět v grafu na obr. 46.



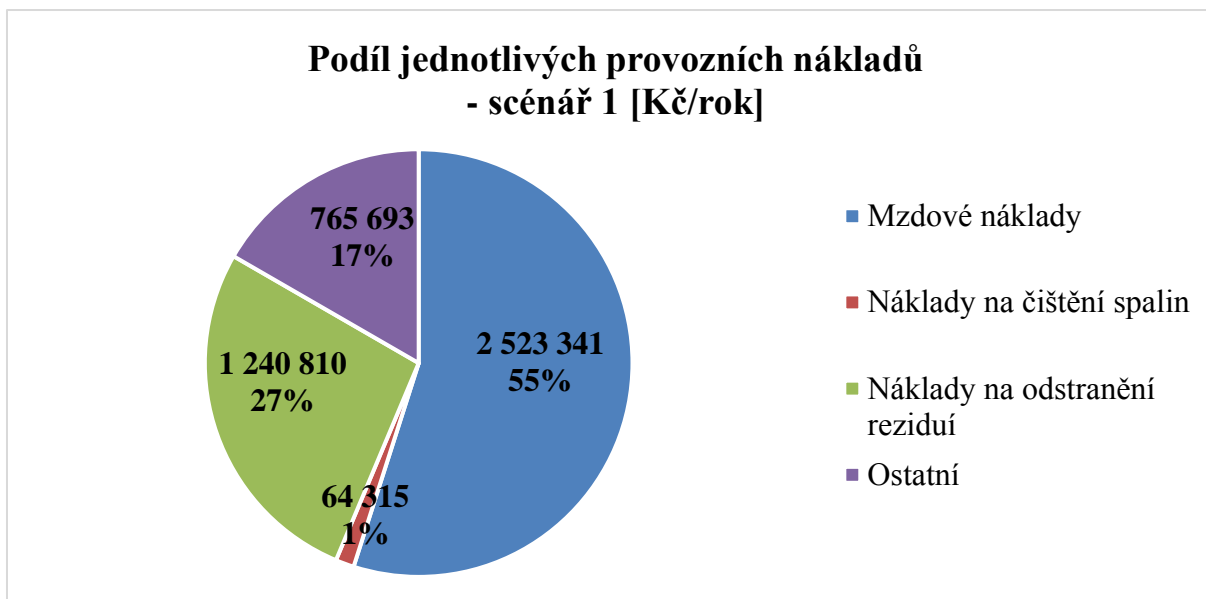
Obr. 46 Podíly jednotlivých produktů zpracování oceánského odpadu na ročních příjmech (scénář 2)

Opačným pólem ročních příjmů jsou roční provozní a investiční náklady. Z hlediska provozních nákladů, velkou úsporou prvního scénáře je samostatnost při dodávání elektrické energie, která je na palubě lodi vyráběna spalováním vyprodukovaného pyrolýzního oleje v přizpůsobeném generátoru. Pyrolýza tedy hraje velmi důležitou roli nejen v oblasti ročních příjmů, ačkoliv pro prodej je určeno 86 % vyprodukovaného oleje, pouze zbylých 14 % je dostačujících pro výrobu elektrické energie. Co se týče spotřeby elektrické energie obou scénářů, nejvyšší podíl náleží drtiči odpadu následovanému pyrolýzní jednotkou. Naopak nejmenší spotřebu vykazují mechanická třídička a také pásový dopravník určený pro manuální třídění odpadu. Podíl jednotlivých zařízení na spotřebě elektrické energie lze vidět v grafu na obr. 47. Jelikož náklady na elektrickou energii jsou díky výrobě energie na palubě v případě scénáře 1 nulové, jsou tato data spíše informačního charakteru případně mohou sloužit pro hledání možných úspor pyrolýzního oleje.



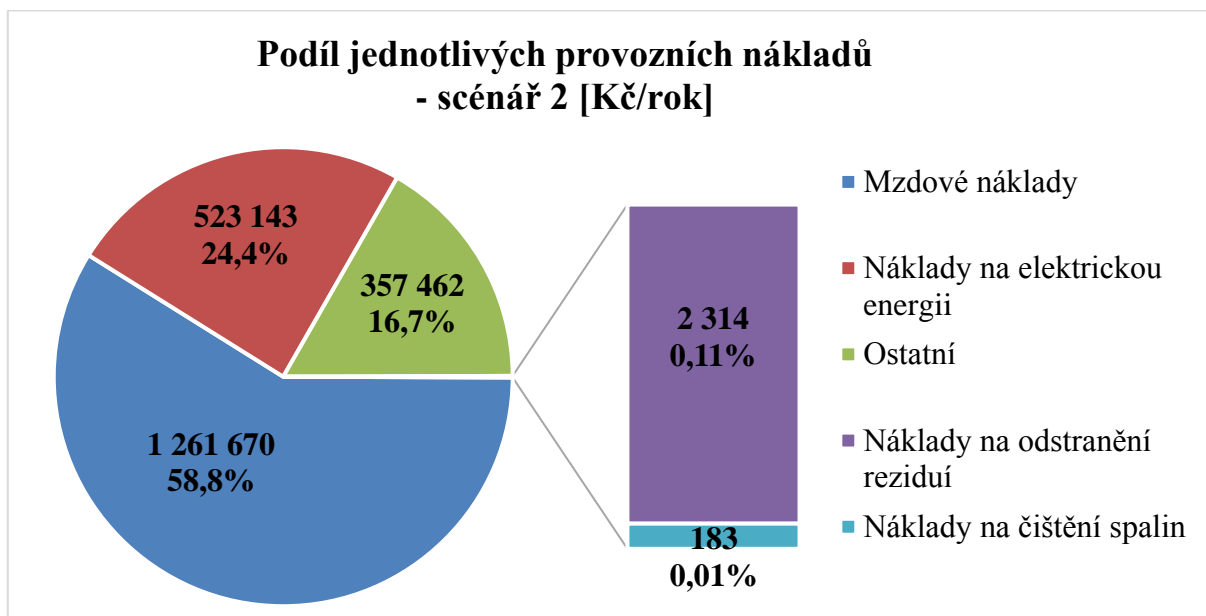
Obr. 47 Podíl jednotlivých zařízení na spotřebě elektrické energie

Ve scénáři 1 tedy náklady na elektrickou energii do provozních nákladů vůbec nezasahují. Největší podíl na provozních nákladech mají s 55 % náklady mzdové, které následují s 27 % náklady na odstranění reziduí. Kompletní rozložení jednotlivých provozních nákladů je zobrazeno v grafu na obr. 48.



Obr. 48 Podíl jednotlivých složek provozních nákladů na celkových ročních provozních nákladech (scénář 1)

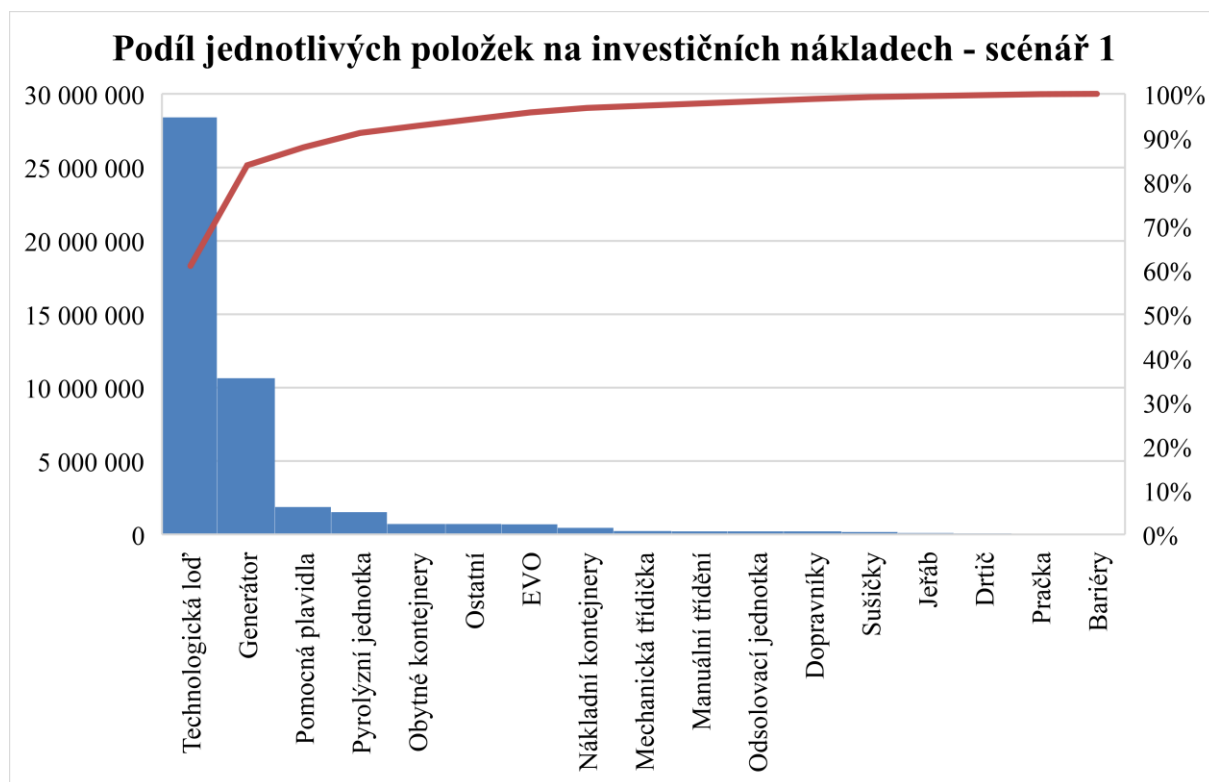
Jiná situace je v případě scénáře 2, kde mají také největší podíl na provozních nákladech náklady na mzdy (58,8 %), následují náklady na výrobu elektrické energie (24,4 %) a ostatní náklady (16,7 %). Je důležité zdůraznit, že ačkoliv náklady na mzdy mají v případě obou scénářů největší podíl, jejich výše je vzhledem k nízké průměrné mzdě ve Vietnamu (okolo 150 \$ měsíčně) oproti ČR případně Evropě velmi nízká. Rozložení všech provozních nákladů druhého scénáře je zobrazeno na obr. 49.



Obr. 49 Podíl jednotlivých složek provozních nákladů na celkových ročních provozních nákladech (scénář 2)

Poslední vyhodnocovaná složka ekonomické bilance, investiční náklady, je poté v případě scénáře 1 rozložena do jednotlivých kategorií dle grafu na obr. 50. V tomto tzv. Paretově grafu je kromě jednotlivých podílů seřazených sestupně dle četnosti vyznačena i kumulativní

čára na vedlejší ose, která vyjadřuje procento celku. Lze si tak povšimnout, že bezkonkurenčně největší podíl (více než 60 %) je zastoupen investičními náklady na pořízení technologické lodě. Společně s náklady na pořízení generátoru elektrické energie pak tvoří tyto dvě složky 80 % všech investičních nákladů. Pokud by tedy bylo nutné snížit citelně investiční náklady, bylo by vhodné zaměřit se právě na tyto dvě položky. V případě druhého scénáře by tento graf vypadal velmi podobně, pouze by zde nefigurovaly složky zastupující pomocná plavidla a plouvoucí bariéry.



Obr. 50 Podíl jednotlivých položek na celkových investičních nákladech (scénář 1)

Výsledky celkové ekonomické bilance obou scénářů jsou přehledně uvedeny v tab. 32. Nachází se zde celkové roční příjmy, celkové roční náklady (tedy součet ročních nákladů provozních a investičních nákladů ve formě ročních odpisů) a také velmi důležitý výstup v podobě rozdílu těchto dvou hodnot. Právě rozdíl mezi příjmy a náklady naznačuje rentabilitu celého navrhovaného konceptu.

Tab. 32 Přehled výsledků ekonomické bilance

	SCÉNÁŘ 1	SCÉNÁŘ 2
CELKOVÉ ROČNÍ PŘÍJMY	13 127 496 Kč	99 347 Kč
CELKOVÉ ROČNÍ NÁKLADY	7 041 312 Kč	4 378 921 Kč
ROZDÍL	6 086 184 Kč	-4 279 574 Kč

Z výsledků provedené ekonomické bilance navrženého konceptu vychází pro scénář 1 čistý roční zisk 6,1 mil. Kč, naopak scénář 2 je v tomto případě ztrátový s -4,3 mil. Kč. Ačkoliv výpočty vedoucí k těmto výsledkům jsou v mnoha ohledech zjednodušené a využívají předpokladů, které by se v reálném provozu nemusely korespondovat, lze tuto základní provedenou bilanci považovat za hrubý odhad rentability a funkce navrhovaného konceptu. V praxi by tato

bilance mohla sloužit jako podklad pro seznámení vhodných investorů s konceptem a také jako krok předcházející detailnímu návrhu.

Názorným ukazatelem obou scénářů jsou kromě rozdílu mezi příjmy a náklady také průměrné náklady vztažené na jednu tunu zpracovaného odpadu, které lze vidět v tab. 33. Do uvažovaných nákladů jsou zahrnuty veškeré složky, tedy i výdaje spojené s produkcí pitné vody apod. V případě scénáře 1 činí roční průměrné náklady 1 652 Kč/t. U druhého scénáře se tyto hodnoty diametrálně liší, roční náklady dosahují 550 856 Kč/t. Vysoké průměrné náklady druhého scénáře jsou způsobeny zejména nízkým vstupním množstvím oceánského odpadu při zachování stejných zařízení o větších kapacitách, než by bylo pro dané množství odpadu potřeba. Pokud by byla zvolena menší zařízení a celkově menší rozsah konceptu, klesly by provozní i investiční náklady a tím pádem i tato průměrná hodnota. Další variantou by mohl být také provoz konceptu dle scénáře 2 v místech, kde je koncentrace odpadu vyšší, např. v odpadkových skvrnách, čímž by se zvýšilo množství odpadu vstupujícího do procesu zpracování na palubě technologické lodi, což by mělo za následek i snížení průměrných nákladů na jednu tunu odpadu. Kromě průměrných nákladů lze v tab. 33 vidět i celková roční množství oceánského odpadu zpracovaného na palubě technologické lodě při obou scénářích.

Tab. 33 Průměrné náklady vztažené na jednu tunu zpracovaného odpadu a celkové roční množství zpracovaného odpadu na palubě technologické lodě

PRŮMĚRNÉ NÁKLADY VZTAŽENÉ NA TUNU ODPADU		
Scénář 1	1 652	[Kč/t]
Scénář 2	550 856	[Kč/t]
CELKOVÉ MNOŽSTVÍ ZPRACOVANÉHO ODPADU		
Scénář 1	4 263,29	[t/rok]
Scénář 2	7,95	[t/rok]

Pro úplnost je vhodné provést srovnání navrhovaného konceptu s ostatními dříve zmíněnými konkurenčními projekty. Toto srovnání je provedeno pouze pro případ scénáře 1. S kapacitou okolo 13,2 t zpracovaného odpadu denně se tento koncept řadí mezi středně velké projekty. Stejně tvrzení platí i v případě pořizovací ceny, díky které se koncept rovněž řadí ke středně finančně náročným projektům. Nespornou výhodou navrhovaného konceptu je zajištění využití všech složek zachyceného odpadu. Většina konkurenčních konceptů se zaměřuje více na problematiku efektivního shromažďování, následné využití takto získaného odpadu však již neřeší, případně se zabývá pouze určitými složkami. Dále, navrhovaný koncept hraje důležitou humanitární roli v oblasti dodávky pitné vody do problematických lokalit. Naopak za nevýhodu lze považovat vyšší produkci emisí ve srovnání s projekty, které využívají zachycený odpad pouze materiálově. SWOT analýza vlastního navrženého konceptu je provedena v tab. 34.

Tab. 34 SWOT analýza vlastního navrženého konceptu

Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none"> ➤ soběstačnost v oblasti dodávky elektrické energie a pitné vody ➤ zpracování odpadu přímo na palubě lodi ➤ zajištění využití všech složek odpadů ➤ pozitivní humanitární vliv díky dodávkám pitné vody na pevninu ➤ řešení znečištění přímo u zdroje 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ prozatím neověřené řešení ➤ projekt neřeší mikroplasty ➤ vyšší produkce emisí ve srovnání s projekty využívající odpad pouze materiálově
Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none"> ➤ celosvětový růst zájmu o problematiku znečištění oceánů a řek ➤ levná a dostupná pracovní síla v oblasti provozu ➤ poměrně zajímavá rentabilita konceptu 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ problematika znečištění oceánů i řek je poměrně mladým odvětvím ➤ hledání vhodného investora, trh nabízí mnoho možností k investicím ➤ nezájem trhu o druhotnou surovinu (kovy, PET) ➤ pokles ceny ropy a s tím spojený i pokles zájmu o produkovaný pyrolýzní olej

9 ZÁVĚR

Předkládaná diplomová práce se zabývá problematikou znečištění světových oceánů plastovým odpadem a jejím řešením. Úvodní část byla věnována obecným informacím o rostoucí produkci plastového materiálu a s tím související produkcí plastového odpadu. Dále byla představena motivace této práce, tedy dopady znečištění oceánů na mořské živočichy a životní prostředí, ale také humanitární a ekonomické aspekty. Poté již následovala kapitola informující o množství, zdrojích a složení odpadů v oceánech. Každým rokem se množství odpadu zvýší přibližně o 4,8 až 12,7 mil. tun, z čehož většina (80 %) pochází z pozemních zdrojů. Součástí bylo i krátké uvedení do problematiky mikroplastů a také představení jednotlivých odpadkových skvrn v oceánech, kterých existuje celkem sedm. Největší a zároveň mediálně nejznámější je Velká tichomořská odpadková skvrna.

Následující důležitou částí práce bylo představení a porovnání jednotlivých známých koncepčních systémů čištění oceánů. Celkem bylo popsáno deset různých systémů, z nichž některé již úspěšně fungují, některé jsou zatím pouze ve fázi vývoje. Pro každý koncept byla uvedena SWOT analýza, která napomáhala rovnocennému srovnání.

Po této části již následoval technologický návrh vlastního systému shromažďování a využití odpadu z oceánu. Při návrhu bylo důležité postupovat dle principů hierarchie nakládání s odpady. Poté následoval popis jednotlivých možností při shromažďování a sběru plovoucího odpadu, ke kterým se řadí záchyt pomocí plovoucích bariér, záchyt prostřednictvím vodních dronů a přímé zachytávání odpadu za aktivního pohybu technologických plavidel. Kromě těchto možností byly představeny i způsoby úpravy odpadu (konkrétně drcení, třídění, praní a sušení) a jeho využití či odstranění s ohledem na složení oceánského odpadu, který je z větší části tvořen plasty. V rámci popisu jednotlivých způsobů využití byla provedena krátká rešerše společností zabývajících se pyrolýzou a zplyňováním odpadu. Poněkud odlišným tématem, které náleží do stejné kapitoly, bylo odsolování mořské vody – i pro tuto oblast byly uvedeny možné způsoby a principy funkce daných zařízení.

Po obecných informacích se následující kapitola věnovala konkrétním vybraným technologiím vlastního návrhu, včetně rešerše dostupných lodí vhodných pro dané účely. Kromě již dříve zmíněného respektování hierarchie nakládání s odpady byl kladen důraz na ekonomickou rentabilitu, environmentálně přijatelné řešení s co nejmenším negativním dopadem na životní prostředí a zároveň všestranné použití v různých podmínkách a lokalitách. Z uvedených důvodů byly vypracovány dva scénáře sběru odpadu:

- **Scénář 1:** sběr v místech s vyšší koncentrací odpadu pomocí statických bariér v lokalitách odpadových skvrn, ústí řek, přístavů a míst se zvýšenou koncentrací odpadů.
- **Scénář 2:** sběr přímo při pohybu technologické lodi pomocí ramen ukotvených k trupu v lokalitách volného oceánu.

Oběma uvedeným scénářům náležela společná část zahrnující popis procesů včetně využití jednotlivých složek vyprodukovaných na technologické lodi. Kromě materiálového využití proudu kovů a nepoškozeného PET bylo navrženo využít oceánský odpad z velké části energeticky, a to konkrétně pyrolýzním procesem a zařízením EVO, přičemž maximální možná kapacita k tomu vhodného odpadu (PE a PP) směřovala do pyrolýzní jednotky. Mimo zpracování

oceánského odpadu bylo rozhodnuto umístit na loď i odsolovací jednotku určenou pro produkci pitné vody pro osádku, posádku i obyvatelstvo na pevnině.

Praktická část práce, jejíž součástí jsou provedené výpočty v programu MS Excel, se zabývala materiálovou a ekonomickou bilancí navrženého technologického konceptu. V rámci materiálové bilance druhého scénáře bylo zjištěno, že průměrná koncentrace odpadu ve světových mořích a oceánech činí 0,745 kg/km². Na základě materiálové bilance scénáře 1 a jejích výsledků byla vybrána konkrétní zařízení pro zpracování a využití odpadu o požadovaných kapacitách a parametrech. Kapacita vstupního množství odpadu byla odhadnuta na 0,55 t/h. Společně s údaji o pořizovací ceně plavidla a příslušenství (investiční náklady), provozních nákladech a příjmech z prodeje produktů byla vyhodnocena ekonomická bilance celého systému, jejíž výsledky byly analyzovány v závěrečné osmé kapitole.

V případě druhého scénáře, se zohledněním průměrné koncentrace odpadu ve světových mořích a oceánech byla odhadnuta kapacita vstupního množství odpadu na 1,02 kg/h, což je oproti prvnímu scénáři velký rozdíl (scénář 1 – 0,55 t/h). Tato kapacita je pro ekonomicky rentabilní a smysluplný provoz technologické lodi nedostatečná, z uvedených důvodů proto není varianta zachytu odpadu dle scénáře 2 doporučována. I přesto byla provedena ekonomická bilance této varianty, jejíž výsledky byly rovněž analyzovány v závěrečné kapitole 8.

Z provedených analýz vyplynulo, že navržený vlastní koncept dle scénáře 1 je ekonomicky rentabilní, kdy roční čistý zisk (tedy rozdíl mezi ročními příjmy a výdaji) činil 6,1 mil. Kč. Na této skutečnosti měl největší podíl prodej vyprodukovaného pyrolýzního oleje, který se ukázal být nejvýznamnější složkou ročních příjmů, následovaný prodejem čirého PET ve formě druhotné suroviny. Navíc, pyrolýzní olej je důležitou surovinou i z hlediska provozních nákladů – díky jeho spalování v k těmto účelům upravenému generátoru byl celý koncept vyhodnocen jako energeticky soběstačný. Naopak v případě provozu dle scénáře 2 byla zjištěna ztrátovost ve výši 6,7 mil. Kč/rok. To je způsobeno zejména nedostatečnou kapacitou vstupního odpadu, kvůli které je produkováno pouze velmi malé množství pyrolýzního oleje i ostatních ekonomicky zhodnotitelných složek. Z tohoto důvodu není koncept provozovaný dle scénáře 2 energeticky soběstačný, pyrolýzní olej je pro výrobu energie nutno nakupovat. Na závěr byla pro úplnost provedena SWOT analýza vlastního řešení dle scénáře 1.

Na základě shromážděných informací a dat, provedených rešerší a bilancí lze konstatovat, že problematika znečištění oceánů je velmi aktuálním tématem, které je třeba aktivně řešit. Provedené bilance navíc naznačují, že ačkoliv se jedná zejména o ekologický problém, je možné najít i ekonomicky rentabilní řešení, které může představovat zajímavou příležitost pro světové investory. Na závěr je třeba zdůraznit, že kromě aktivní účasti na sběru a využití již vyskytujícího se odpadu v řekách, mořích a oceánech je důležitá i samotná prevence, aby se odpad do vod vůbec nedostával. Pouze kombinací těchto dvou přístupů je pak možné se s nastalou situací efektivně vypořádat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RAJMOHAN, Kunju, Chandrasekaran RAMYA, Manakkal RAJA VISWANATHAN a Sunita VARJANI. Plastic pollutants: effective waste management for pollution control and abatement. *Environmental Science & Health* [online]. 2019, **12**, 72-84 [cit. 2020-03-14]. DOI: 10.1016/j.coesh.2019.08.006. ISSN 24685844. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2468584419300121>
- [2] GEYER, Roland, Jenna JAMBECK a Kara LAW. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances* [online]. 2017, **3**(7) [cit. 2020-03-17]. DOI: 10.1126/sciadv.1700782. ISSN 2375-2548. Dostupné z: <https://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782>
- [3] Plastový odpad a jeho recyklace v EU (infografika). *Zpravodajství Evropský parlament* [online]. 2018 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20181212STO21610/plastovy-odpad-a-jeho-recyklace-v-eu-infografika>
- [4] RITCHIE, Hannah a Max ROSER. Plastic Pollution. *Our World in Data* [online]. 2018 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- [5] QUALMAN, Darrin. Global plastic production, 1917 to 2017. In: *Darrin Qualman* [online]. 2017 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.darrinqualman.com/global-plastics-production/>
- [6] JEDLIČKOVÁ, K. *Využitelnost plastových materiálů z komunálních odpadů*. Brno, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jiří Kropáč, Ph.D.
- [7] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-708-0617-6.
- [8] PIDWIRNY, M. Introduction to the Oceans. *Fundamentals of Physical Geography* [online]. 2006 [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8o.html>
- [9] CERQUIEROVÁ, Andrea. Bez oceánů bychom se podruhé nenadechli. Dnes mají svůj den!. *Flowee* [online]. 2017 [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://www.flowee.cz/civilizace/77-archiv-2017/eco/zivotni-prostredi/1745-bez-oceanu-bychom-se-podruhe-nenadechli-dnes-maji-svuj-den>
- [10] Do roku 2100 stoupne hladina moří o metr, změny se zrychlují, uvedli experti. Jejich zprávu řeší panel OSN. *Český rozhlas* [online]. 2019 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/veda-technologie/priroda/more-oceany-rostouci-hladina-more-osn-panel-zprava-vedci-oteplovani-ledovce-tani_1909251321_gak

- [11] ANDRADY, Anthony. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* [online]. 2011, **62**(8), 1596-1605 [cit. 2020-03-14]. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11003055>
- [12] FENDRYCHOVÁ, Simona a Jiří KROPÁČEK. Grafika: Víc plastů než ryb. Zaplnili jsme oceány, mikroplasty pijeme i ve vodě. In: *Aktuálně.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-09-19]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/zahranici/more-plastu-grafika-plastovy-odpad-oceany-mikroplasty/r~a9f499305cf611e885e30cc47ab5f122/>
- [13] SILVERMAN, Jacob. Why is the world's biggest landfill in the Pacific Ocean?. *Howstuffworks* [online]. 2007 [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://science.howstuffworks.com/environmental/earth/oceanography/great-pacific-garbage-patch.htm>
- [14] GROSS, Michael. Oceans of plastic waste. *Current Biology* [online]. 2015, **25**(3), 93-96 [cit. 2020-03-11]. DOI: 10.1016/j.cub.2015.01.038. ISSN 09609822. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982215000706>
- [15] BARTOŠ, Jan. Ostrovy odpadků. *Geografické rozhledy* [online]. 2013, **22**(4), 20-21 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.geograficke-rozhledy.cz/archiv/clanek/364/pdf>
- [16] What and Where Are Garbage Patches?. *Marine Debris Program* [online]. 2019 [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://marinedebris.noaa.gov/info/patch.html>
- [17] Plastics in the Ocean. *Ocean Conservancy* [online]. 2020 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/plastics-in-the-ocean/>
- [18] Fighting for Trash Free Seas. *Ocean Conservancy* [online]. 2020 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/>
- [19] OLENDO, Mike. Marine turtles and plastics. *World Wildlife Fund - United Kingdom* [online]. 2018 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://blogs.wwf.org.uk/blog/habitats/oceans/marine-turtles-and-plastics/>
- [20] VAN CALCAR, C. a T. VAN EMMERIK. Abundance of plastic debris across European and Asian rivers. *Environmental Research Letters* [online]. 2019, **14**(12) [cit. 2020-03-08]. DOI: 10.1088/1748-9326/ab5468. ISSN 1748-9326. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab5468>
- [21] Plasty v oceánech: fakta, důsledky a nová opatření. In: *Zpravodajství Evropský parlament* [online]. 2018 [cit. 2019-09-19]. Dostupné z: <http://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20181005STO15110/plasty-v-oceanech-fakta-dusledky-a-nova-opatreni-eu-infografika>
- [22] The price tag of plastic pollution: An economic assessment of river plastic. *Deloitte* [online]. 2020 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z:

<https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/strategy-analytics-and-ma/articles/the-price-tag-of-plastic-pollution.html>

- [23] Fakta o znečištění moří a oceánů. *OSN.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-09-19]. Dostupné z: <https://www.osn.cz/fakta-o-znecistenim-mori-a-oceanu/>
- [24] PARKER, Laura. With Millions of Tons of Plastic in Oceans, More Scientists Studying Impact. In: *National Geographic* [online]. 2014 [cit. 2019-09-19]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.com/news/2014/6/140613-ocean-trash-garbage-patch-plastic-science-kerry-marine-debris/>
- [25] Single-use plastic: China to ban bags and other items. *BBC News* [online]. 2020 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/world-asia-china-51171491>
- [26] GUTOW, L. a M. BERGMANN. Contamination of Our Oceans by Plastics. *Encyclopedia of Ocean Sciences (Third Edition)* [online]. Elsevier, 2018, **6**, 264-270 [cit. 2020-03-02]. DOI: 10.1016/B978-0-12-813081-0.09976-6. ISBN 9780128135761. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128096659099766>
- [27] How does plastics end up in the ocean?. *World Wildlife Fund - United Kingdom* [online]. b.r. [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://www.wwf.org.uk/updates/how-does-plastic-end-ocean>
- [28] VAN EMMERIK, Tim, Emilie STRADY, Thuy-Chung KIEU-LE, Luan NGUYEN a Nicolas GRATIOT. Seasonality of riverine macroplastic transport. *Scientific Reports* [online]. 2019, **9**(1) [cit. 2020-03-06]. DOI: 10.1038/s41598-019-50096-1. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/s41598-019-50096-1>
- [29] LEBRETON, Laurent, Joost VAN DER ZWET, Jan-Willem DAMSTEEG, Boyan SLAT, Anthony ANDRADY a Julia REISSER. River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications* [online]. 2017, **8**(1) [cit. 2019-09-19]. DOI: 10.1038/ncomms15611. ISSN 2041-1723. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/ncomms15611>
- [30] The Great Pacific Garbage Patch. In: *The Ocean Cleanup* [online]. 2019 [cit. 2019-09-19]. Dostupné z: <https://theoceancleanup.com/great-pacific-garbage-patch/>
- [31] MURRAY, Cathryn, Nikolai MAXIMENKO a Sherry LIPPIATT. The influx of marine debris from the Great Japan Tsunami of 2011 to North American shorelines. *Marine Pollution Bulletin* [online]. 2018, **132**, 26-32 [cit. 2019-09-19]. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.01.004. ISSN 0025326X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X18300043>
- [32] *Marine plastic debris and microplastics: Global lessons and research to inspire action and guide policy change* [online]. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2016 [cit. 2020-03-09]. ISBN 978-92-807-3580-6. Dostupné z: <https://plasticoceans.org/wp-content/uploads/2017/11/UNEP-research.pdf>

- [33] LEBRETON, L., B. SLAT, F. FERRARI et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic: revue littéraire mensuelle. *Scientific Reports* [online]. 2018, **8**(1) [cit. 2019-07-15]. DOI: 10.1038/s41598-018-22939-w. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/s41598-018-22939-w>
- [34] PARKER, Laura. Ocean Trash: 5.25 Trillion Pieces and Counting, but Big Questions Remain. In: *National Geographic* [online]. 2015 [cit. 2019-09-19]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.com/news/2015/1/150109-oceans-plastic-sea-trash-science-marine-debris/>
- [35] ERIKSEN, Marcus, Laurent LEBRETON, Henry CARSON et al. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE* [online]. 2014, **9**(12) [cit. 2019-09-19]. DOI: 10.1371/journal.pone.0111913. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- [36] FLEET, D., K. DAU, L. GUTOW, M. SCHULZ, B. UNGER a J. VAN FRANEKER. Marine litter. *Wadden Sea Quality Status Report 2017* [online]. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany, 2017 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://qsr.waddensea-worldheritage.org/reports/marine-litter>
- [37] GALGANI, François,. *Marine litter: Technical Recommendations for the Implementation of MSFD Requirements, MSFD GES Technical Subgroup on Marine Litter* [online]. Luxembourg: European Union, 2011 [cit. 2020-03-28]. ISBN 978-92-79-21801-9. Dostupné z: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c5dda9a3-6c02-4a77-aaee-0735f333b972/language-en>
- [38] PHAM, Christopher, Eva RAMIREZ-LLODRA, Claudia ALT et al. Marine Litter Distribution and Density in European Seas, from the Shelves to Deep Basins. *PLoS ONE* [online]. 2014, **9**(4) [cit. 2020-03-28]. DOI: 10.1371/journal.pone.0095839. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0095839>
- [39] The Results of the Monitoring Surveys in 2007-2008. *UNEP NOWPAP CERAC: The Special Monitoring and Coastal Environmental Assessment Regional Activity Centre* [online]. b.r. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: http://www.cearac-project.org/RAP_MALI/Current_Situation_of_Marine_Litter/The_results_of_the_monitoring_surveys_in_2007.htm
- [40] Mikroplasty: Odkud se berou, co způsobují a jak se jich zbavit?. *Zpravodajství Evropský parlament* [online]. 2018 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20181116STO19217/mikroplasty-odkud-se-berou-co-zpusobuji-a-jak-se-jich-zbavit>
- [41] PIVOKONSKY, Martin, Lenka CERMAKOVA, Katerina NOVOTNA, Petra PEER, Tomas CAJTHAML a Vaclav JANDA. Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Science of The Total Environment* [online]. 2018, **643**, 1644-1651 [cit.

- 2020-03-23]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.102. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718330663>
- [42] Stanovisko Státního zdravotního ústavu – Národního referenčního centra pro pitnou vodu ke zprávě o výskytu mikroplastů v pitné vodě a jeho zdravotním riziku. In: *Státní zdravotní ústav* [online]. 2017 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/Stanovisko_NRC_mikroplasty_v_pitne_vode.pdf
- [43] Sedmý kontinent je z odpadků. Má čtyřikrát větší rozlohu než Německo. *National Geographic* [online]. 2018 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.national-geographic.cz/clanky/sedmy-kontinent-je-z-odpadku-ma-ctyrikrat-vetsi-rozlohu-nez-nemecko.html>
- [44] Garbage islands in the world: Discover the plastic islands that pollute our oceans. *Iberdrola* [online]. Iberdrola, S.A, 2020 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.iberdrola.com/environment/5-garbage-patches-in-the-ocean>
- [45] NOAA, . What is the Great Pacific Garbage Patch?. In: *National Ocean Service* [online]. 2018 [cit. 2019-09-19]. Dostupné z: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/garbagepatch.html>
- [46] Plastový kontinent v Tichém oceánu už je větší než Německo, Francie a Španělsko dohromady. *ČT24* [online]. 2018 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2428387-plastovy-kontinent-v-tichem-oceanu-uz-je-vetsi-nez-nemecko-francie-a-spanelsko>
- [47] MHEEN, Mirjam, Charitha PATTIARATCHI a Erik SEBILLE. Role of Indian Ocean Dynamics on Accumulation of Buoyant Debris. *Journal of Geophysical Research: Oceans* [online]. 2019, **124**(4), 2571-2590 [cit. 2019-09-19]. DOI: 10.1029/2018JC014806. ISSN 2169-9275. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2018JC014806>
- [48] MCNALLY, Jess. Massive North Atlantic Garbage Patch Mapped. In: *Wired.com* [online]. b.r. [cit. 2019-09-19]. Dostupné z: <https://www.wired.com/2010/08/atlantic-plastic/>
- [49] GEGGEL, Laura. Sorry Napoleon, A Big Garbage Patch Is Floating Near Your Mediterranean Islands. In: *Live Science* [online]. 2019 [cit. 2019-09-19]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/65538-mediterranean-garbage-patch.html>
- [50] The Mediterranean at risk of becoming ‘a sea of plastic’, WWF warns. In: *WWF* [online]. Řím, Itálie, 2018 [cit. 2019-09-19]. Dostupné z: https://wwf.panda.org/wwf_news/press_releases/?329099/The-Mediterranean-at-risk-of-becoming-a-sea-of-plastic-WWF-warns

- [51] Media Gallery. *The Ocean Cleanup* [online]. 2020 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://theoceancleanup.com/media-gallery/>
- [52] Waterfront Partnership of Baltimore: 2016 Fiscal Year Annual Report. In: *Waterfront Partnership of Baltimore* [online]. 2017 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: https://www.waterfrontpartnership.org/wp-content/uploads/2016/10/FY_16_AR_Final.pdf
- [53] Wasteshark. *RANMARINE technology* [online]. 2019 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.ranmarine.io/wasteshark>
- [54] Seabin Overview Book. In: *The Seabin Project* [online]. 2020 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: https://seabinproject.com/wp-content/uploads/2019/04/seabin_overview_book.pdf
- [55] *The Great Bubble Barrier: A smart solution to plastic pollution* [online]. 2020 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://thegreatbubblebarrier.com/en/>
- [56] L'OCCITANE sets sail for a cleaner world. *L'Occitane* [online]. L'OCCITANE EN PROVENCE, 2020 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://se.loccitane.com/l-occitane-sets-sail-for-a-cleaner-world,25,1,73860,1496472.htm>
- [57] The Sea Cleaners. *MTB Recycling, Manufacturing, Engineering* [online]. b.r. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://www.mtb-recycling.fr/en/the-sea-cleaners.html>
- [58] *Ocean Saviour* [online]. TheYachtMarket.com, 2018 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://www.oceansaviour.org/>
- [59] Our Solution. *The Ocean Cleaner* [online]. 2020 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.theoceancleaner.com/our-solution/>
- [60] Oceans. *The Ocean Cleanup* [online]. 2020 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://theoceancleanup.com/oceans/>
- [61] VRTIŠKA, Ondřej. Na moře vyplul vysavač plastů. *Vesmír*. 2018, **97**(148), 559. ISSN 1214-4029.
- [62] FEDER, Toni. A passive ocean cleanup begins. *Physics Today* [online]. 2018 [cit. 2020-02-27]. DOI: 10.1063/PT.6.2.20181107a. ISSN 19450699. Dostupné z: <https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.6.2.20181107a/full>
- [63] Pacific Trials Results: System 001 is go. *The Ocean Cleanup* [online]. 2018 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://theoceancleanup.com/updates/pacific-trials-results-system-001-is-go/>

- [64] System 001 Learnings - Root Causes Summarized. *The Ocean Cleanup* [online]. 2019 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://theoceancleanup.com/updates/system-001-learnings-root-causes-summarized/>
- [65] System 001. *The Ocean Cleanup* [online]. 2020 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://theoceancleanup.com/milestones/system001/>
- [66] System Design Upgrades Completed, To Be Relunched In June. *The Ocean Cleanup* [online]. 2019 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://theoceancleanup.com/updates/system-design-upgrades-completed-to-be-relunched-in-june/>
- [67] The Ocean Cleanup Successfully Catches Plastic In The Great Pacific Garbage Patch. *The Ocean Cleanup* [online]. 2019 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://theoceancleanup.com/updates/the-ocean-cleanup-successfully-catches-plastic-in-the-great-pacific-garbage-patch/>
- [68] Mission One Completed - The Plans To Make Products From The Plastic Catch. *The Ocean Cleanup* [online]. 2019 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://theoceancleanup.com/updates/mission-one-completed-the-plans-to-make-products-from-the-plastic-catch/>
- [69] SCHIFFMAN, David. I asked 15 ocean plastic pollution experts about the Ocean Cleanup project, and they have concerns. *Southern Fried Science* [online]. 2018 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <http://www.southernfriedscience.com/i-asked-15-ocean-plastic-pollution-experts-about-the-ocean-cleanup-project-and-they-have-concerns/>
- [70] THALER, Andrew. Three facts (and a lot of questions) about The Ocean Cleanup. *Southern Fried Science* [online]. 2015 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <http://www.southernfriedscience.com/three-facts-about-the-ocean-cleanup/>
- [71] 6 Reasons That Floating Ocean Plastic Cleanup Gizmo is a Horrible Idea. *KCET* [online]. 2015 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.kcet.org/redefine/6-reasons-that-floating-ocean-plastic-cleanup-gizmo-is-a-horrible-idea>
- [72] Developing the Interceptor Concept. *The Ocean Cleanup* [online]. 2020 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://theoceancleanup.com/milestones/developing-the-interceptor-concept/>
- [73] Rivers. *The Ocean Cleanup* [online]. 2020 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://theoceancleanup.com/rivers/>
- [74] FAQ. *The Ocean Cleanup* [online]. 2020 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://theoceancleanup.com/faq/>
- [75] MARCHESE, Kieron. The Ocean Cleanup unveils floating garbage truck that catches plastic in rivers. *Designboom* [online]. 2019 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z:

<https://www.designboom.com/technology/the-ocean-cleanup-interceptor-river-plastic-pollution-10-30-2019/>

- [76] NARULA, Svati. The most promising technology for cleaning up ocean plastic is a giant wheel. *Quartz* [online]. 2014 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: https://qz.com/237830/the-most-promising-technology-for-cleaning-up-ocean-plastic-is-a-giant-wheel/?utm_source=digg&utm_medium=twitter
- [77] Technology. *Mr. Trash Wheel* [online]. b.r. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.mrtrashwheel.com/technology/>
- [78] *Mr. Trash Wheel* [online]. b.r. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.mrtrashwheel.com/>
- [79] Mr. Trash Wheel cleans up Baltimore Harbor with a dash of humor. In: *Public Broadcasting Service* [online]. 2018 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.pbs.org/newshour/science/mr-trash-wheel-cleans-up-baltimore-harbor-with-a-dash-of-humor>
- [80] SNOW, Jackie. Googly-Eyed Trash Eaters May Clean a Harbor Near You. *National Geographic* [online]. 2017 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.com/news/2017/02/mr-trash-wheels-professor-trash-wheels-baltimore-harbor-ocean-trash-pickup/>
- [81] TULLO, Alexander. Baltimore's trash-eating waterwheel: A new twist on an old idea helped clean up a harbor. *Chemical & Engineering News* [online]. 2018, **96**(16) [cit. 2020-02-29]. ISSN 0009-2347. Dostupné z: <https://cen.acs.org/environment/pollution/Baltimores-trash-eating-waterwheel/96/i16>
- [82] HUNT, Kristin. This floating drone sucks up trash. *World Economic Forum* [online]. 2018 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.weforum.org/agenda/2018/08/this-drone-sucks-up-trash-from-the-water-like-a-roomba/>
- [83] PALMER, Annie. Garbage-eating shark drone takes to the water in Dubai to vacuum up trash before it can pollute oceans. *Daily Mail* [online]. 2018 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-6343711/Garbage-eating-shark-drone-takes-water-Dubai.html>
- [84] Drone 'shark' that eats plastic goes live in UK waters. *Sky News* [online]. 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://news.sky.com/story/drone-shark-that-eats-plastic-goes-live-in-uk-waters-11654828>
- [85] Our Purpose. *The Seabin Project* [online]. 2020 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://seabinproject.com/about-us/our-purpose/>
- [86] Seabin 2. In: *Southport Yacht Club* [online]. 2014 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.southportyachtclub.com.au/seabin-project-syc-marina/seabin-2/>

- [87] The Seabin won't swallow Asia's plastic pollution problem—but it's a start. In: *Eco-Business* [online]. 2018 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.eco-business.com/news/the-seabin-wont-swallow-asias-plastic-pollution-problembut-its-a-start/>
- [88] Frequently Asked Questions. *The Seabin Project* [online]. 2020 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://seabinproject.com/the-seabin-v5/faqs/>
- [89] Technical Specifications. *The Seabin Project* [online]. 2020 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://seabinproject.com/the-seabin-v5/technical-specs/>
- [90] MYERS, Mariel. Seabins want to be the garbage cans of the ocean. *C-net* [online]. 2018 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/news/seabins-want-to-be-the-garbage-cans-of-the-ocean/>
- [91] Seabin using plastics to fight plastics. *The Seabin Project* [online]. 2020 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://seabinproject.com/seabin-using-plastic-to-fight-plastics/>
- [92] The Bubble Barrier. *The Great Bubble Barrier* [online]. 2019 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://thegreatbubblebarrier.com/en/bubble-barrier-en/>
- [93] Frequently Asked Questions. *The Great Bubble Barrier* [online]. 2019 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://thegreatbubblebarrier.com/en/faq-en/>
- [94] BOZTAS, Senay. Air bubble barrier traps plastic waste in Amsterdam's canals. *The Guardian* [online]. Amsterdam, 2019 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/world/2019/nov/07/bubble-barrier-launched-to-keep-plastics-out-of-oceans>
- [95] Portfolio. *The Great Bubble Barrier* [online]. 2019 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://thegreatbubblebarrier.com/en/portfolio-2/>
- [96] Milestones & Goals. *The Great Bubble Barrier* [online]. 2019 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://thegreatbubblebarrier.com/en/timeline-en/>
- [97] The Great Bubble Barrier: An effective solution to plastic pollution. *European Commission* [online]. 2019 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://cordis.europa.eu/project/id/878134>
- [98] Bubble Barrier Amsterdam. *The Great Bubble Barrier* [online]. 2019 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://thegreatbubblebarrier.com/en/amsterdam-en/>
- [99] About. *Ocean Saviour* [online]. Southampton, 2018 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.oceansaviour.org/about/>

- [100] The Vessel. *Ocean Saviour* [online]. Southampton, 2018 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.oceansaviour.org/vessel/>
- [101] The YachtMarket.com unveils innovative Ocean Saviour. *Ocean Saviour* [online]. Southampton, 2018 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: https://www.oceansaviour.org/news/item/theyachtmarketcom_unveils_innovative_%E2%80%98ocean_saviour%E2%80%99/
- [102] ANSTEY, Georgie. Tackling plastic pollution with the Ocean Saviour project. *Superyacht News* [online]. 2019 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.superyachtnews.com/design/tackling-plastic-pollution-with-the-ocean-saviour-project>
- [103] Technical data. *The Sea Cleaners* [online]. La Trinité-sur-Mer, b.r. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.theseacleaners.org/en/technical-data/>
- [104] Did you know? (FAQ). *The Sea Cleaners* [online]. La Trinité-sur-Mer, b.r. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.theseacleaners.org/en/did-you-know/>
- [105] Intervention zones. *The Sea Cleaners* [online]. La Trinité-sur-Mer, b.r. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.theseacleaners.org/en/intervention-zones/>
- [106] Reklamní brožura projektu Manta. *The Sea Cleaners* [online]. La Trinité-sur-Mer, b.r. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.theseacleaners.org/en/wp-content/uploads/sites/3/2019/09/TSC-4PAGES-EN-SEPTEMBRE-2019-mail.pdf>
- [107] The Expedition. *Plastic Oddysey* [online]. Marseille, 2019 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://plasticodyssey.org/en/the-expedition/>
- [108] Technologies. *Plastic Oddysey* [online]. Marseille, 2019 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://plasticodyssey.org/en/technologies/>
- [109] Plastic Odyssey Expedition - brožura. In: *Plastic Oddysey* [online]. Marseille, 2019 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://plasticodyssey.org/wp-content/uploads/2020/01/POE-Dossier-de-Presentation-Media-EN-Web.pdf>
- [110] Press - free image bank. In: *Plastic Oddysey* [online]. Marseille, 2019 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://plasticodyssey.org/en/press/>
- [111] Předcházíme vzniku odpadů. In: *Oficiální stránky města Pelhřimov* [online]. Pelhřimov, 2018 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <http://www.mupe.cz/predchazejme-vzniku-odpadu/d-25304>
- [112] KURAŠ, Mečislav. *Odpady a jejich zpracování*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 978-80-86832-80-7.

- [113] MEDEK, Jaroslav. *Mechanické pochody*. 2. dopl. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1991. ISBN 80-214-0277-6.
- [114] Drcení odpadu. *ODES: zařízení pro ekologii* [online]. 2014 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <http://www.odes.cz/drceni-odpadu>
- [115] RUJ, Biswajit, Vivek PANDEY, Priyajit JASH a V. SRIVASTAVA. Sorting of plastic waste for effective recycling. *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research* [online]. 2015, 4(4) [cit. 2019-11-23]. DOI: 10.6088/ijaser.04058. ISSN 2277-9442. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/305503715_Sorting_of_plastic_waste_for_effective_recycling
- [116] Separátory. *ODES* [online]. 2014 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <http://www.odes.cz/zarizeni/separatory>
- [117] Magnetický buben MB. *Sollau* [online]. b.r. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.sollau.cz/katalog/cs-i9-magneticky-buben-mb.html>
- [118] Třídíče. *DEOS technology s. r. o.* [online]. b.r. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.deostech.cz/separatory-tridice/tridice>
- [119] *TOMRA* [online]. 2019 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: www.tomra.com/
- [120] High Speed Friction Washer. *Zhangjiagang Lianda Machinery* [online]. b.r. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: http://www.ldmachinery.com/index.php?r=article/Content/index&content_id=28
- [121] Film Friction Washer. *Hosokawa polymer systems* [online]. 2017 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.polysys.com/product/film-friction-washer/>
- [122] Friction Washer. *Herbold USA - Resource Recycling Systems* [online]. b.r. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.herboldusa.com/products/wash-lines/wash-components/friction-washer>
- [123] Friction Washer. *B+B Anlagenbau* [online]. 2019 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.bub-anlagenbau.de/products/washing/friction-washer/>
- [124] Drying of Polymer (including Dehumidifying Dryers, Rotary Wheel Dryers, Low Pressure Dryers, Vacuum Dryers). *British Plastic Federation* [online]. 2019 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: https://www.bpf.co.uk/plastipedia/processes/Drying_of_Polymer.aspx
- [125] Drying. *Plastics Technology* [online]. 2019 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.ptonline.com/knowledgecenter/clear-engineering-polymers/processing-polymers/drying-polymers>

- [126] KRULIŠ, Zdeněk. Možnosti recyklace plastů. *Envi Web: zpravodaj životního prostředí* [online]. 2011 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/88360>
- [127] JANOŠKO, Ivan. Odpadní plasty – odstraňování a recyklace. *Časopis Komunální technika* [online]. Profí Press, 2011 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.komunalweb.cz/odpadni-plasty-odstranovani-a-recyklace/>
- [128] Energetické využití odpadu. *SAKO Brno* [online]. 2018 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/pro-brnaky/cz/801/energeticke-vyuziti-odpadu/>
- [129] Vyhláška č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů*. b.r., 30.11.2012, částka 151. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-415>
- [130] KROPÁČ, Jiří. *Přednášky předmětu Zpracování a recyklace odpadů: Emise a škodliviny ve spalínách*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, 2020.
- [131] MOLEK, Tomáš. Pyrolýza - princip, historie a současnost. *O energetice.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/pyrolyza-princip-historie-a-soucasnost>
- [132] RAGAERT, Kim, Laurens DELVA a Kevin VAN GEEM. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management* [online]. 2017, **69**, 24-58 [cit. 2020-04-11]. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.07.044. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/319189954_Mechanical_and_chemical_recycling_of_solid_plastic_waste
- [133] Fast pyrolysis. *Biomass Technology Group* [online]. BTG Biomass Technology Group, 2020 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.btgworld.com/en/rtd/technologies/fast-pyrolysis>
- [134] Vorax. *WPP Energy* [online]. WPP Energy GmbH, 2018 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://wppenergy.com/vorax/>
- [135] Technologie zplyňování ENERGOS (pro energetické využití směsných komunálních odpadů). *Česká asociace pro pyrolýzu a zplyňování* [online]. b.r. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <http://www.cpga.cz/aplikovane-technologie/energoss>
- [136] Our Plants. *ENERGOS* [online]. Energoss, 2020 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <http://www.energoss.com/our-plants/>
- [137] *Sepco Industries* [online]. Sepco Industries Company Limited, b.r. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.sepcoindustries.com/>
- [138] Pyrolysis. *Greenlina* [online]. Greenlina SA, b.r. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://green.it1585.ch/en/pyrolysis/>

- [139] Technology. *PLASTIC ENERGY* [online]. PLASTIC ENERGY, 2018 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://plasticenergy.com/technology/>
- [140] *Biogreen Energy* [online]. ETIA Group, 2020 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <http://www.biogreen-energy.com/>
- [141] APC's Patented Pyrolysis Technology. *APChemi: Leaders in pyrolysis. We recycle plastics, transparently.* [online]. Agile Process Chemicals LLP, b.r. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://www.pyrolysisplant.com/plastic-pyrolysis-technology>
- [142] Waste Plastic Pyrolysis Plant. *Beston Machinery* [online]. Beston (Henan) Machinery Co., Ltd., 2016 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://bestonpyrolysisplant.com/waste-plastic-pyrolysis-plant/>
- [143] Zpracování komunálního odpadu pyrolýzou. *LBG Moravia* [online]. LBG Moravia, 2020 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.lbgmoravia.cz/technologie/zpracovani-odpadu/pyrolyza-komunalniho-odpadu-p52/>
- [144] Jak se recykluje plast. *Třídění odpadu* [online]. c2007-2020 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/jak-se-recykluje-plast>
- [145] MURTINGER, Karel. Odsolování vody: Destilace, vymrazování, komprese a další. *Nazeleno.cz* [online]. Narrative Media s.r.o., b.r. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/technologie-1/odsolovani-vody-destilace-vymrazovani-kompresse-a-dalsi.aspx>
- [146] JIMENEZ, Denis. Meet the creators of the innovative boat that will tackle the seaweed problem of the Riviera Maya. In: *The Playa Times* [online]. 2017 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <http://www.theplayatimes.com/2017/05/03/the-sargaboa/>
- [147] Pitná voda z moře: Izrael pokrývá odsolováním většinu spotřeby, cena je nižší než v Česku. *Český rozhlas* [online]. 2019 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/zpravy-svet/izrael-pitna-voda-z-more-odsolovani-galilejske-jezero_1911230915_ako
- [148] Distribution of litter types in different realms (1,034 publications). *LITTERBASE: Online Portal for Marine Litter* [online]. AWI-LITTERBASE, b.r. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: https://litterbase.awi.de/litter_graph
- [149] NAKASHIMA, Etsuko, Shin'ichiro KAKO, Atsuhiko ISOBE, Shinya MAGOME, Noriko DEKI, Takaaki ITAI a Shin TAKAHASHI. Toxic Metals in Polyethylene Plastic Litter: 271 - 277. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry—Marine Environmental Modeling & Analysis* [online]. b.r. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/267708307_Toxic_Metals_in_Polyethylene_Plastic_Litter

- [150] Multihull vs. monohull: advantages. *West Coast Multihulls* [online]. c2008-2016 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://westcoastmultihulls.com/multihull-vs-monohull-advantages/>
- [151] Amut Friction Washer Cleans Contaminated PET Flakes. *Recycling Today* [online]. GIE Media, Inc., 2020 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.recyclingtoday.com/article/amut-friction-recycled-pet-washing/>
- [152] UCEKAJ, Vladimír. *Analýza možností nakládání s komunálními odpady v rámci mikroregionu*. Brno, 2010, 153 s. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=33298. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc.
- [153] Spotřeba vody. *Severočeské vodovody a kanalizace a.s.* [online]. VIZUS, 2020 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>
- [154] Shreddable Steel: Current Scrap Metal Prices and Local Scrap Yards. *IScrapApp* [online]. iScrap App, Inc, © 2011-2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://iscrapapp.com/metals/shreddable-steel/>
- [155] Plastics – prices. Lets Recycle [online]. Environment Media Group, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.letsrecycle.com/prices/plastics/>
- [156] Pyrolysis Oil at Best Price. *Indiamart* [online]. IndiaMART InterMESH, c1996-2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://dir.indiamart.com/impcat/pyrolysis-oil.html>
- [157] Vietnam Average Retail Price: HCMC: Supply Water. *CEIC: Global Economic Data, Indicators, Charts and Forecasts* [online]. CEICData.com, 2020 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.ceicdata.com/en/vietnam/average-retail-price-ho-chi-minh-city/average-retail-price-hcmc-supply-water>
- [158] HABEL, Jiří. Energetická náročnost osvětlovacích soustav. *TZBinfo* [online]. Copyright Topinfo s.r.o., c2001-2020 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/10162-energeticka-narocnost-osvetlovacich-soustav>
- [159] Cost of Living in Vietnam (2020). *A Little Adrift* [online]. A Little Adrift, 2020 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://alittleadrift.com/cost-of-living/vietnam/>
- [160] Průměrné mzdy - 1. čtvrtletí 2020. *Český statistický úřad* [online]. b.r. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/cri/prumerne-mzdy-1-ctvrtleti-2020>