

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
BIOMEDICÍNSKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2020**

**NATÁLIE  
ŠOFROVÁ**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta biomedicínského inženýrství**

**Katedra přírodovědných oborů**

**Likvidace a možnosti recyklace odpadů při výrobě, distribuci a používání  
kontaktních čoček**

Disposal and recycling of waste arising from the production, distribution use of contact lenses

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

**Autor bakalářské práce: Natálie Šofrová**

Vedoucí: Ing. Jiří Michálek, Csc.

---

**Kladno 2020**

Katedra přírodovědných oborů

Akademický rok: 2019/2020

## Zadání bakalářské práce

Student: **Natálie Šofrová**

Program: Biomedicínská a klinická technika

Obor: Optika a optometrie

Název tématu: **Likvidace a možnosti recyklace odpadů vzniklých při výrobě, distribuci a používání kontaktních čoček**Název tématu  
anglicky: Disposal and recycling of waste arising from the production, distribution and use of contact lenses

### Zásady pro vypracování:

Provedte rešerši na téma materiálů pro kontaktní čočky. Na jejím základě najdete podmínky likvidace odpadu nejfrekventovanějších typů materiálů a potenciální komplikace při jejich nekontrolovaném uvolnění do přírody. Popište a porovnejte největší zdroje znečištění podobnými materiály. Diskutujte možnosti jejich recyklace. Diskutujte odpadové hospodářství s pomocným materiálem (například s obaly) v kontaktologii. Na základě zjištěných skutečností formulujte cíle experimentální části bakalářské práce. V ní navrhnete možné uspořádání odpadového hospodářství kontaktních čoček a souvisejících pomocných materiálů. Zároveň provedte průzkum ochoty zapojit se do třídění a sběru tohoto odpadu jak na optických pracovištích, tak u klientů.

Cíle práce: Hlavním výstupem BP bude zjištění možností likvidace odpadu, respektive recyklace materiálů používaných v kontaktologické praxi. Z rešerše by měly vyplynout i důležité poznatky, jak jen tento problém řešen v jiných zemích. Budou diskutovány některé fyzikálně-chemické postupy a možnosti zapojení do případně běžících programů. Výsledkem práce by měl být návrh organizace nakládání s odpady v kontaktologické praxi a průzkum ochoty zapojit se do takových aktivit.

Seznam odborné literatury:

- [1] Nathan Efron, Contact lens practice, ed. 1, Elsevier Health Sciences, 2010, 502 s., ISBN9780702047633
- [2] M. Zamorano et al., Waste management and environment IV, Witpress 2008
- [3] Gayle Woodside, Hazardous Materials and Hazardous Waste Management, Wiley, 1999

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Michálek, CSc.

Datum zadání bakalářské práce:

20. 12. 2019

Termín odevzdání bakalářské práce:

15. 5. 2020

V Praze, dne 20. 12. 2019

.....  
Podpis vedoucího práce

---

**Název práce:** Likvidace a možnosti recyklace odpadů vzniklých při výrobě, distribuci a používání kontaktních čoček

**Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá možnostmi třídění a recyklace odpadů vznikajících v souvislosti s nošením kontaktních čoček. V teoretické části jsou definovány odpady a jejich vznik obecně, s postupnou fokusací na polymerní odpady, jako materiály kontaktních čoček, blistrů, nebo obalových materiálů prostředků péče o kontaktní čočky. Detailně jsou popsány materiály pro výrobu kontaktních čoček včetně strukturních jednotek jejich polymerních řetězců. Vzhledem k tomu, že řada distribučních obalů může být tříděna v rámci běžně zavedených systémů (kontejnery na papír, plast), zužuje se problematika na odpadové hospodářství s použitými kontaktními čočkami a blistrovými obaly (plastové nádobka, hliníkové víčko). V praktické části jsem spočítala minimální množství tohoto odpadu v české republice za rok. Pomocí dotazníkového šetření jsem zjistila ochotu klientů i optik zapojit se do jeho třídění. Navrhla jsem systém odpadového hospodářství na pracovišti zabývajícím se aplikací kontaktních čoček.

**Klíčová slova:**

Kontaktní čočky, obalové materiály, recyklace

**Project title:** Disposal and recycling of waste arising from the production, distribution and use of contact lenses

**Abstract:**

The bachelor thesis deals with the possibility of sorting and recycling waste generated by the usage of contact lenses. The theoretical part defines waste and its generation in general with a focus on polymer waste, such as contact lens materials, blisters, and packaging materials for contact lens care products. Materials for the production of contact lenses, including the structural units of their polymer chains are described in detail. Due to the fact that a substantial share of the distribution packaging can be sorted within commonly established systems (paper containers, plastic), the problem boils down to waste management of used contact lenses and blister packaging (plastic container, aluminum lid). In the practical part, I calculated the lower bound estimate of the annual amount of this kind of waste in the Czech Republic. Using a survey, I studied the willingness of clients and opticians to participate in contact lens waste sorting. Finally, I suggested a waste management system at the workplace dealing with the application of contact lenses.

**Key words:**

Contact lenses, packaging materials, recycling

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Michálkovi, CSc, za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Likvidace a možnosti recyklace odpadů vzniklých při výrobě, distribuci a používání kontaktních čoček“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V *Kladně* dne .....

.....

podpis

# OBSAH

ÚVOD.....	1
TEORETICKÁ ČÁST .....	3
1. Odpady .....	3
1.1 Vznik a kategorizace odpadů .....	3
1.1.1 Průmyslové odpady .....	3
1.1.2 Odpady z chemického průmyslu .....	4
1.1.3 Plastové odpady .....	4
2. Materiály kontaktních čoček .....	8
2.1 Tvrdé kontaktní čočky .....	8
2.1.1 Tvrdé nepropustné kontaktní čočky.....	8
2.1.2 Tvrdé plynopropustné kontaktní čočky .....	9
2.2 Měkké kontaktní čočky.....	9
2.2.1 Měkké hydrofobní kontaktní čočky.....	9
2.2.2 Měkké hydrofilní kontaktní čočky – hydrogelové čočky .....	11
2.2.3 Výšebotnavé hydrogelové kontaktní čočky.....	12
2.2.4 Silikonhydrogelové materiály.....	13
3. Monomery používané v polymerech pro výrobu kontaktních čoček .....	14
3.1 Kyselina methakrylová .....	14
3.2 MMA – methylmetakrylát .....	14
3.3 HEMA – 2-hydroxyethylmethakrylát.....	15
3.4 Glykolmethakryláty .....	16
3.5 Dihydroxyalkylmethakrylát .....	17
3.6 PAA – polyakrylamid .....	17
3.7 N-vinylpyrrolidon .....	18
3.8 Silikonové materiály .....	18
3.9 Polyvinyl alkohol.....	19
3.10 Ostatní materiály .....	19
4. Materiály pro distribuci, uchování a péči o kontaktní čočky a jejich recyklace ....	20
4.1 Přepavní pouzdro – patientské pouzdro a fólie.....	20
4.1.1 Polypropylen (PP).....	20
4.1.2 Recyklace polypropylenu .....	20
4.1.3 Hliník a jeho recyklace .....	21
4.2 Obaly pro prostředky péče o kontaktní čočky – roztoky .....	22
4.2.1 Polyethylen - PE .....	22
4.2.2 Recyklace polyethylenu a kartonů.....	23
4.3 Současné postupy třídění a recyklace odpadů v oblasti kontaktních čoček... 23	
4.3.1 TerraCycle .....	24
4.4 Uhlíková bilance .....	24
4.5 Cíle pro praktickou část bakalářské práce .....	25
PRAKTICKÁ ČÁST .....	26
5. Počet uživatelů KČ v ČR.....	27



6.	Odhad množství odpadu vzniklého v souvislosti s nošením kontaktních čoček v ČR.....	28
7.	Použité dotazníky .....	30
8.	Výsledky dotazníkového šetření .....	33
8.1	Nositelé kontaktních čoček .....	33
8.2	Prodejny optik.....	40
9.	Vlastní návrh odpadového hospodářství v kontaktologické praxi .....	44
9.1	System třídění odpadu vzniklého v souvislosti s nošením kontaktních čoček .....	46
	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	51
	ZÁVĚR .....	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	57
	SEZNAM VZORCŮ.....	58
	SEZNAM TABULEK .....	58

# ÚVOD

Kontaktní čočky patří k moderním optickým pomůckám, jejichž prvotním cílem je korekce refrakčních vad. Jejich typickým znakem, zmiňovaným už ve vlastním názvu, je přímý kontakt s rohovkou. Kromě korekční varianty mohou být aplikovány i jako terapeutické nebo kosmetické čočky. Dosáhly masového rozšíření a svým nositelům ulehčují běžný život.

Materiály, ze kterých se kontaktní čočky vyrábí, jsou od čtyřicátých let 20. století síťované polymery, což znamená, že výsledný produkt je stabilní, nerozpustný a tedy i obtížně recyklovatelný. Po použití jsou čočky zpravidla vyhazovány do běžného komunálního odpadu.

Když uvážíme rozměry a hmotnost jedné kontaktní čočky, zejména v suchém stavu, zdá se být problém odpadu vzniklého v souvislosti s nošením kontaktních čoček ve srovnání s objemem dalších odpadních komodit zdánlivě nepatrný. Uvědomme si ale objem celosvětové produkce čoček, jejich plánovanou výměnu, tedy potřebu klienta pořídit si nový pár čoček každý měsíc, každých 14 dní nebo dokonce každý den, v případě čoček jednorázových. Navíc, další odpad v nezanedbatelném množství vzniká v souvislosti s distribucí čoček a nutností vhodného obalu pro ně. Obalu, v němž jsou uchovávány v rovnovážně nabotnalém stavu, chráněny před vyschnutím, mechanickým poškozením, prachovou kontaminací a ve sterilním prostředí. Dalším zdrojem odpadu jsou obaly související s nutnými prostředky péče o kontaktní čočky (obaly pro roztoky, patientská pouzdra apod.). Z tohoto úhlu pohledu sice průmysl kontaktních čoček stále nepatří k významným producentům odpadů, avšak jeho množství přestává být zanedbatelné. Z hlediska materiálu a případného třídění odpadu se pak jedná o kombinaci plastového, papírového, chemického a do jisté míry i biologického odpadu.

V dnešní době představují velkotonážní výroby polymerů závažný problém, který zatěžuje celou naši planetu. Například plastový ostrov v Tichém oceánu, který je svou rozlohou větší než Německo, Francie a Španělsko dohromady. Tento ostrov čítá víc než 80 tisíc tun plovoucího plastu, přičemž většinu ostrova tvoří útvary menší 5 mm – mikroplasty [1]. Tyto se pak stávají součástí potravinového řetězce – mořské ryby, ptáci, mořští dravci, a v dalším stupni suchozemští tvorové a na samotném konci řetězce i člověk. Samozřejmě, za tímto problémem nestojí pouze používání polymerních

materiálů, ale uvažování, jednání a chování každého jednotlivce i celé společnosti a zejména důvody ekonomické. Posouvání problému reálné likvidace odpadu ze západního vyspělého světa do rozvíjejících se nebo rozvojových oblastí je totiž ekonomicky výhodnější než hledání adekvátních postupů a řešení problému na základě poctivé bilance uhlíkové stopy, kterou daná činnost zanechá.



*Obrázek 1: Plovoucí plastový odpad v Pacifickém oceánu*

Proto je každý další příspěvek k řešení problému znečištění životního prostředí odpady významný, a proto každé odvětví lidské činnosti, zejména průmyslové výroby, by mělo řešit problematiku vzniku, dalšího zpracování, případně i využití produktů a odpadních surovin.

V bakalářské práci se hodlám zabývat možností třídění odpadu, recyklace a opakovaného využití materiálů, ze kterých se kontaktní čočky vyrábí, stejně tak jako materiálů, určených k výrobě distribučních obalů a jejich částí.

# TEORETICKÁ ČÁST

## 1. ODPADY

Odpadem nazýváme jakoukoliv věc, které se zbavujeme nebo máme v úmyslu se jí zbavit. Odpady nás doprovázejí všude – v běžném životě v domácnosti, v zemědělství, v průmyslu. Při naší každodenní činnosti, kterou neustále generujeme další odpady. Množství je obrovské, spektrum a charakter rozmanitý. Od odpadů, které podléhají samo rozložení na zcela nezávadné organické nebo anorganické složky až po odpady, jejichž charakter může zcela nenávratně a dlouhodobě ovlivnit naše životní prostředí nebo dokonce poškodit náš život, život zvířat, charakter ekosystému. Pro redukci nežádoucích odpadů postupně vznikal tzv. systém odpadového hospodářství. [2,3]

### 1.1 Vznik a kategorizace odpadů

#### 1.1.1 Průmyslové odpady

Průmyslové, nebo-li výrobní odpady, lze zjednodušeně dle původce odpadů rozdělit do následujících skupin:

- Silně zátěžová odvětví – vznikající v těžebním, energetickém, chemickém průmyslu (např. oxidy síry, oxidy dusíku, odpadní vody obsahující např. nerozpustné anorganické látky, kyselinu sírovou, chlor, hydroxid sodný, kyselinu fosforečnou)
- Středně zátěžová odvětví – vznikající např. ve sklokeramickém průmyslu, textilním a kožedělném průmyslu (např. střepy, které obsahují olovo nebo kadmium, při úpravách skla vzniká odpadní sádra s fluoridy)
- Mírně zátěžová odvětví – např. dřevařství, polygrafický průmysl, textilní průmysl (odpadovými produkty mohou být např. výluhy v odpadních vodách z dřevařského průmyslu, odpadová vlákna z nití, jak samotné součásti některých barev – třeba v chromové žluti (chrom – karcinogen), tak přepravní barely na barvy) [4,5]

### 1.1.2 Odpady z chemického průmyslu

Na výrobě kontaktních čoček se nejvíce podílí chemický průmysl. Ten patří svou schopností vytvářet nebezpečný odpad mezi nejvíce zátěžová odvětví průmyslové činnosti vůbec. Nejčastěji vznikají tyto odpady jako vedlejší produkt při chemických procesech. Kapalně odpady jsou více nebezpečné než tuhé.

Vznikající odpady mohou být nevyužitelné a mohou na nich být absorbovány další toxické látky. Jednak látky, které nebyly při zpracování ze vstupních surovin odděleny, jednak další produkty vznikající při výrobě jako tzv. vedlejší, které z nejrůznějších (např. ekonomických) důvodů nenašly uplatnění.

#### **Odpady z chemických anorganických výrob**

Problémem mohou být všechna skupenství – plynná, kapalná i tuhá. Mezi anorganické odpady vznikající v chemickém průmyslu patří např. kyselina sírová, hydroxid sodný, amoniak, kyselina dusičná, chlor a jeho sloučeniny. Mezi plyny nejvíce zatěžující životní prostředí patří oxid siřičitý, oxid sírový, oxidy dusíku. Kapalně odpady tvoří odpadní rozpouštědla, jako již zmíněné odpadní vody, které jsou zdrojem širokého znečištění. Mohou obsahovat např. odpadní sádrovec, sírany (síran železnatý = zelená skalice). Kaly z čistíren odpadních vod jsou pak příkladem tuhého odpadu.

#### **Odpady z chemických organických výrob**

Jsou časté a ve velkém množství, a to již z úvodní fáze – zpracování ropy, až po konečnou fázi výroby – finální produkce. Např. při výrobě detergentů (saponátů), léčiv, barviv, pesticidů, insekticidů aj. Největším problémem jsou organická rozpouštědla a odpadní vody. I u organických výrob však mohou vznikat nebezpečné odpady ve všech skupenstvích. Některé organické látky mohou být biologicky téměř neodbouratelné. Toxické nebo organoleptické odpady mohou být velmi nebezpečné v plynných formách, zejména v důsledku nízké tenze par běžných organických rozpouštědel. [5,6,7,8]

### 1.1.3 Plastové odpady

Produkce odpadů je nutně spojena s objemy výrob příslušné komodity. Pro lepší představu o vývoji produkce odpadů na bázi syntetických polymerů uvádím tabulku I,

převzatou ze skript V. Marouška Chemie a technologie monomerů, která popisuje vývoj celosvětové produkce syntetických polymerů v letech 1900 - 1990. [9]

Rok	1900	1913	1938	1950	1960	1970	1980	1990
Produkce	0	0,05	0,40	2,1	9,8	39	65	115

**Tabulka 1:** Vývoj celosvětové produkce syntetických polymerů (10<sup>6</sup> tun)

V roce 1950 bylo celosvětově vyprodukováno cca 1,5 milionu tun plastu (z celkových cca 2 milionů tun syntetických polymerů). V dalších letech ale došlo k významnému boomu využívání plastů. V roce 2010 bylo vyprodukováno již 265 milionů tun, v roce 2012 dokonce 288 milionů tun. Pokračujícím trendem by v roce 2020 bylo vyprodukováno až 400 milionů tun plastů. Evropa se na tom podílí asi 22 %, výrobě nyní dominuje Asie a zejména Čína. Nicméně Evropa je procentuálně velkým spotřebitelem. V roce 2010 se v Evropě spotřebovalo asi 47 milionů tun plastů a následkem užívání těchto plastů vzniklo cca 25 milionů tun plastových odpadů. Z toho bylo recyklováno cca 15 milionů tun (včetně energetického využití). Zbývá tedy využití, respektive nevyužití další 10 milionů tun. Např. v České republice se skládkuje a následně využívá cca 55 % plastových odpadů, recyklací využijeme asi 31 %, a co se týká energetického využití, zde má ČR značné rezervy.

## Množství odpadních plastů

Přehled produkce komunálního odpadu (včetně plastů) v letech 2014 až 2018 uvádí tabulka II, převzatá z údajů Českého statistického úřadu. [10]

Rok	Produkce komunálního odpadu (10 <sup>6</sup> t)	Produkce komunálního odpadu (kg/obyvatel)	Tříděný odpad (10 <sup>3</sup> t)	Z celkové produkce (%)	Z toho plasty (%)	Plast/obyv. (%)
2018	3,7	351	601	16	25	14
2017	3,6	344	558	15	25	13
2016	3,6	339	540	14	25	12
2015	3,3	317	495	15	24	11
2014	3,3	310	495	15	24	10

**Tabulka 2:** Přehled produkce komunálního odpadu v letech 2014 až 2018

Z uvedeného přehledu je v posledních několika letech patrný sice mírný, ale zřejmý nárůst množství odpadních plastů. V budoucnu bychom se tedy dle mého názoru měli zaměřit především na možnost opětovného využití odpadních plastů po jejich vytrídění. Při třídění odpadů záleží na mnoha faktorech. Jsou to: životní úroveň v dané oblasti, věková struktura obyvatelstva a důležitou roli hraje i typ bytové výstavby (sídlště versus rodinné domy). [11]

## **Třídění a recyklace plastových odpadů**

Pro třídění a recyklaci plastových odpadů jsou využívány třídící linky, které jsou jednak schopné vyřídít až 100 tisíc tun odpadních plastů za rok, a čistota třídění recyklátů dosahuje 95 % z hlediska barev i typů plastů. Dále jsou používány různé způsoby pro třídění i přetřídění plastových odpadů, jako automatizovaný proces třídění např. bílého pěnového PS, PET lahví, který končí ručním dotříděním. Tento automatizovaný proces spočívá v rozdrčení, následném síťování vzniklých částic, separaci kapalných látek, magnetické separaci kovů a v systému třídění plastů na základě detekce spekter ve viditelné nebo UV i IČ oblasti nebo detekce pomocí laserových zdrojů záření. Po přetřídění je možné plastový odpad dále použít ve formě drtě či granulátu.

Technologie zpracování plastových odpadů je předmětem výzkumu některých velkovýrobců plastů, zejména pak celé řady univerzitních týmů.

Je důležité zmínit, že recyklace plastů je však dnes především předmětem obchodu, který vychází ze dvou základních faktů. Prvním je, že cena ropy v čase kolísá a druhým je skutečnost, že plastového odpadu je více, než je trh schopný znovu zpracovat. Přitom k výrobě plastů je spotřebováno 4–8 % z celkové produkce ropy. V současné době je k dispozici přes 4 miliony tun odpadních plastů. Bude nutné najít prostory, kde se plastový odpad bude skladovat, případně dále zpracovávat. To znamená, že bude nutné vybudovat nová skladovací a zpracovatelská zařízení.

Jednou z variant je plastový odpad pálit. Jeho výhřevnost je relativně dobrá bez nutnosti investic do vybudování zpracovatelských zařízení. I v tomto případě by však bylo nutné plastový odpad třídít (např. polyethylen a polypropylen lze celkem bez problémů spálit na vodu a oxid uhličitý, zatímco polyvinylchlorid uvolňuje plynný chlorovodík, tudíž je proces pálení nevhodný). Spalování plastového odpadu se tedy jeví jako lepší varianta než např. přímé spalování fosilních paliv, můžeme tak „zužítkovat“

vzniklé plastové výrobky, které již neslouží svému účelu. Opětovné využití plastového odpadu se z hlediska čerpání přírodních zdrojů jeví jako jedině rozumné.

Nebylo by ale správné myslet si, že proces třídění a recyklace plastových odpadů nemá svá úskalí. Plasty i jiné umělé hmoty mohou obsahovat a zpravidla i obsahují další látky: změkčovadla, stabilizátory, barviva a další příměsi, které v podstatě patří do kategorie nebezpečného odpadu. Důležitý je i ekonomický úhel pohledu: cena recyklátu může 2 až 3krát převýšit cenu nové suroviny. Snaha (a současně i nutnost) vyrábět co nejkvalitnější výrobky pak omezuje použití recyklátů na relativně nízké procento, takže je nutné upřednostnit novou surovinu, tzv. panenský polymer. Řešením je buď použití recyklátů pro jiné aplikace, které nevyžadují tak vysokou úroveň výsledných vlastností, jako má panenský polymer, nebo snaha o přípravu vysoce kvalitních recyklátů, které by bylo možné použít jako takové ve větší míře. To však způsobuje růst jejich cen při jejich stále omezené použitelnosti. [12,13,14,15]



## 2. MATERIÁLY KONTAKTNÍCH ČOČEK

Kontaktní čočky se v současnosti vyrábějí z pestré škály materiálů, které přesto lze zařadit do pouze několika kategorií.

Aby mohl být materiál použit k výrobě, musí splňovat určité předpoklady. Čočka musí být vyrobitelná ve vhodných tvarových parametrech, musí dosahovat určitých parametrů materiálových, které jsou dány zejména optickými, botnacími, mechanickými a transportními vlastnostmi, přičemž materiál nesmí nežádoucím způsobem ovlivňovat rohovkový metabolismus.

Materiály se navzájem liší svými mechanickými vlastnostmi, rovnovážným obsahem vody, propustností pro kyslík a další nízkomolekulární látky. Podle materiálu se kontaktní čočky dělí na tvrdé a měkké. Zásadní odlišnost mezi tvrdými a měkkými čočkami spočívá v tom, jak na rohovce sedí.

### 2.1 Tvrdé kontaktní čočky

Tyto čočky jsou konstruovány tak, aby co nejlépe kopírovaly zakřivení rohovky. Na vlastní oko přiléhají svými okraji. Mezi střední částí čočky a rohovkou tak vzniká prostor, který vyplňují slzy – slzná čočka. Oproti hydrogelové čočce má tvrdá čočka menší přilnavost. To limituje její použití například při sportovních aktivitách. Tvrdé čočky mají jiné deformační vlastnosti než vlastní oční tkáň. Nepropouští vodu ani vodorozpustné látky. Zpravidla jsou jejich rozměry minimalizovány, takže se vyrábějí jako korneální, pokud, například z terapeutických důvodů, nejsou požadovány ve větším průměru (sklerální).

#### 2.1.1 Tvrdé nepropustné kontaktní čočky

Původní tvrdé čočky z poly(methylmethakrylátu) (PMMA) měly hodnotu  $D_k$  v mezích 0,1- 0,3. Působily jako úplná bariéra rohovkového metabolismu, nepropouštěly kyslík ani jiné plyny, ani vodorozpustné nízkomolekulární látky. Tato nepříznivá vlastnost byla částečně řešena designem čočky.

Výzkum směřoval k novým materiálům, které by měly zvýšenou propustnost pro kyslík tak, aby čočka méně bránila přirozenému metabolismu rohovky. Norman Gaylord v 70. letech minulého století provedl kopolymerizaci methakroyloxypropyl tris

(trimethylsiloxy silanu) (TRIS) s methyl methakrylátem (MMA). Tím vznikl kopolymer s mechanickými vlastnostmi podobnými PMMA a zvýšenou propustností pro kyslík díky TRIS struktuře s krátkými polysiloxanovými segmenty, tedy již plynopropustný materiál.

### 2.1.2 Tvrdé plynopropustné kontaktní čočky

Rigid gas permeable (RGP) čočky jsou tvrdé plynopropustné čočky, které sice do určité míry propouštějí plyny, ale nepropouštějí vodu, tedy i slzy a vodorozpustné produkty látkové výměny rohovky. Tyto čočky jsou zpravidla konstruovány jako korneální. Prvonošitelé si na ně zvykají déle než na měkké čočky, jejich cena, protože bývají vyráběny individuálně pro každou konkrétní rohovku, je vyšší. Proto je jejich používání ve světě velmi závislé na lokalitě. Jsou totiž ve větší míře používány pouze v některých zemích (tab. 1). Přesto ani tam počet jejich aplikací nepřevyšuje 30 % (v ČR 2-4 %). [16]

Jejich předností je stabilita přední plochy čočky. Na rozdíl od měkkých čoček se nedeformuje při užívání. Tvrdé čočky jsou indikovány vždy, když měkkými čočkami není dosaženo optimální korekce visu (iregulární astigmatismus, afakie, vysoká myopie, nebo hypermetropie, keratokonus, vyšší hodnoty astigmatismu nad 3 – 4 D).

Moderní plynopropustné kontaktní čočky jsou vyráběny z materiálů na bázi silikon akrylátů, respektive fluorosilikon akrylátů, některé jsou opatřeny i UV filtrem. Obchodní názvy těchto čoček jsou například Boston, Optimum, Fluorex, Fluorperm, Optacryl, Paragon, Paraperm aj. [17]

Nově jsou dostupné kontaktní čočky s tvrdým středem a měkkým okrajem (Saturn, Janus), které propojují některé výhody RGP i měkkých kontaktních čoček. Ani ony ale nejsou ideální. Obtížněji se aplikují, je s nimi obtížnější manipulace, výroba je náročnější a jejich cena je vyšší. [18]

## 2.2 Měkké kontaktní čočky

### 2.2.1 Měkké hydrofobní kontaktní čočky

Do skupiny měkkých hydrofobních čoček můžeme zařadit například polyethylenové čočky, avšak jejich využití je zanedbatelné. Jsou vyráběny lisováním polyethylenu s nízkým stupněm krystalinity. Hlavním materiálem pro výrobu měkkých

hydrofobních kontaktních čoček je silikon, respektive řídce síťované polysiloxanové řetězce, silikonové elastomery.

Výhodou kontaktních čoček vyrobených z těchto materiálů je ohebnost, pružnost a měkká konzistence. Všechny tyto materiálové vlastnosti zamezují mechanickému stresu. Z pohledu zásobování rohovky kyslíkem je silikonový materiál nejvhodnějším možným řešením. Vysokou propustnost zajišťují Si – O – Si vazby, které zároveň umožňují otáčivost atomů křemíku kolem své jednoduché vazby s kyslíkem. Tím umožňují tzv. segmentální otáčivost těchto jednotlivých částí polysiloxanového řetězce. Ta se u delších řetězců se stericky nevýznamnými substituenty projeví vyšší ohebností materiálu. Čočky vyrobené ze silikonových elastomerů by svými hodnotami permeability [19,20] dokázaly zabezpečit dostatečný přísun kyslíku k rohovce i bez nutnosti výměny slzného filmu pod čočkou. Ta je však důležitá pro odvod vodorozpustných metabolických zplodin. Právě výměnu nízkomolekulárních vodorozpustných látek a iontů silikony neumožňují. Navíc, již při jejich testování, bylo v důsledku kombinace měkkého materiálu a hydrofobního povrchu velmi obtížné vyjmout čočky z oka a opakovaně přitom došlo k poškození rohovky probanda. Tato skutečnost, přestože silikonové čočky byly na přelomu 60. a 70. let minulého století vnímány jako velký příslib do budoucna, zastavila jejich vývoj a výrobu ve větším měřítku. K tomu přispěl i ten fakt, že v návaznosti byla provedena řada pokusů modifikovat povrch čočky na hydrofilní, avšak bez výraznějšího úspěchu.

Silikonové čočky jsou schopné pohlcovat lipofilní sloučeniny, které mohou mít negativní vliv na oko pacienta. Toho však lze naopak využít v rámci léčby lipofilními léky, kdy mohou takové čočky být využity jako léková forma.

I přesto, že v 70. letech minulého století byly čočky vyrobené ze silikonu masově inzerovány a propagovány, v současnosti je jejich zastoupení v rámci trhu minimální.

Pokusy o výrobu čoček s maximální propustností jak pro kyslík, tak i pro tekutiny a ionty vyústily koncem 90. let 20. století do silikonhydrogelových čoček. Tento speciální materiál byl schopný spojit hydrofobní a hydrofilní polymerní strukturu do jednoho celku, přičemž se podařilo zkombinovat pozitivní vlastnosti jednotlivých složek. Silikonhydrogelové čočky dosahují (podle typu) obdobných hodnot propustnosti pro kyslík jako RGP čočky, i vyšších, takže další výzkum silikonových elastomerů jako samostatných materiálů přestal mít v kontaktologii praktický význam. [20]

## 2.2.2 Měkké hydrofilní kontaktní čočky – hydrogelové čočky

Hydrofilní gel lze popsat jako řídkce síťovaný polymer, který je v určitém poměru nasycen vodou. Každá makromolekula je s druhou propojena v prostorovou mřížku pomocí chemických vazeb, které zajišťují nerozpustnost, stálost a netavitelnost výsledného produktu. Díky pochopení vztahů mezi strukturou materiálu a jeho výslednými vlastnostmi, lze použitím různých komonomerů připravit široké portfolio gelů s různorodými vlastnostmi.

Hydrogely se v posledních několika desetiletích staly oblíbenými materiály v medicíně, zejména jako nosiče pro kultivaci buněk v léčbě rozsáhlých kožních poranění, popálenin či dekubitů [21,22] nebo jako nosiče léčiv [23], syntetické emboly [24], tkáňové expandéry [25], léčivé masti [26] a gelové přípravky [27], nebo implantáty pro otorhinolaryngologii [28] plastickou nebo obecnou chirurgii [29], gynekologii [30] urologii [31] a neurologii [32,33].

Výjimečné postavení mezi hydrogely má poly(2-hydroxyethylmethakrylát), označovaný také jako HEMA-polymer nebo PHEMA, síťovaný ethylendimethakrylátem (zpravidla 0,3-1%). Jeho gely byly popsány Wichterlem a Límem [34] již před šedesáti lety, a přesto (a zároveň právě proto) je dosud považován za srovnávací standard pro nově vyvíjené polymery. Má vynikající vlastnosti z hlediska biokompatibility a prakticky nulové toxicity. Při obsahu vody cca 40 % si zachovává příznivé pevnostně deformační vlastnosti. Gely na bázi PHEMA jsou transparentní, což je předurčuje pro oftalmologické aplikace jako jsou kontaktní čočky [35,36,37], nitrooční čočky [38] nebo umělý sklivec [39]. Čočky z PHEMA jsou označovány za standardní (hydrogely)

Index lomu hydrogelové čočky se v závislosti na obsahu vody v gelu pohybuje od 1.51 (suchý xerogel, 0 % vody) přes 1,438 (HEMA čočka, 40 % vody) až k 1.38 (cca 69 % vody). Pro srovnání, index lomu PMMA čoček je 1,49; index lomu rohovky 1,376; index lomu slz 1,335.

Hydrofilní gelové čočky lze označit za biomimetické, tedy napodobující některou ze svých vlastností vlastnosti živé tkáně. To může být právě obsah vody nebo měkkost. Tím je zlepšena tolerance gelu a minimalizováno mechanické dráždění. Protože hydrogely jsou, byť v nevelké míře, opět v závislosti na stupni nabotnění, částečně propustné pro kyslík, ale také oxid uhličitý a kyselinu mléčnou, jsou příznivější pro

látkovou výměnu rohovky než hydrofobní polymery. Propustnost (difuzivita) nízkomolekulárních látek materiálem hydrogelové čočky závisí na jejich rozpustnosti ve vodě, na stupni nabotnění materiálu čočky a na její tloušťce.

Schopnost sorpce vodorozpustných látek hydrogelovovými čočkami lze využít jako možnost podávání vodorozpustných léčiv do oka. Klasické podání očních kapek vede k jejich rychlému vyplavení slzami. Při využití řízené difuze očním gelem lze snížit dávku léčiva při stejném a déle trvajícím účinku. Hydrogelové kontaktní čočky tedy mohou být použité nejen ke korekci zrakových vad, ale také jako terapeutické čočky (podání léku, nebo pooperační kryt).

### 2.2.3 Výšebotnavé hydrogelové kontaktní čočky

Pro výšebotnavé hydrogelové čočky platí většina faktů z předchozí kapitoly s tím, že mají vyšší obsah vody než hydrogely standardní, tedy více než 40 %. Dělení kontaktních čoček podle FDA pak hranici výšebotnavých materiálů klade na obsah vody 50 %. Podle této klasifikace patří tedy mezi výšebotnavé čočky všechny, které mají obsah vody vyšší než 50 %.

Samozřejmě, řada vlastností těchto materiálů odpovídá příslušnému konkrétnímu obsahu vody. Jsou to zejména mechanické vlastnosti a index lomu, s rostoucím obsahem vody zpravidla vzrůstá biokompatibilita, propustnost pro kyslík a vodorozpustné látky. Výšebotnavé hydrogelové čočky minimálně mechanicky iritují oční tkáň. Jejich propustnost pro plyny je oproti standardním hydrogelům vyšší, ale stále nižší než u RGP nebo silikonhydrogelových čoček. Hodnoty modulu pružnosti s rostoucím obsahem vody klesají, což může být vhodné pro interakci s rohovkou, avšak je třeba aby dosahovaly určitých hodnot pro dobrou manipulaci s čočkou i pro její materiálovou integritu. Ostatně, mechanické vlastnosti je vhodnější posuzovat jak komplex informací, tedy brát v potaz nejen hodnoty modulu pružnosti, ale také pevnosti při přetržení a tažnosti. Pro nízký index lomu vysoce botnavých materiálů (index lomu klesá s rostoucím obsahem vody), je třeba k dosažení stejných hodnot optické mohutnosti jako u HEMA čoček použít dramatičtější rozdíl v zakřivení přední a zadní plochy čočky. Tím přirozeně roste tloušťka čočky, respektive jejího tloušťkového profilu v optické zóně. To následně vede k poklesu hodnot všech parametrů na tloušťce čočky závislých, např.  $Dk/t$ . Přes tato omezení jsou výšebotnavé čočky velmi dobře tolerovány a představují dnes zhruba 30 % aplikací

měkkých čoček. Jsou vyráběny buď z kopolymerů 2-hydroxyethylmethakrylátu, nebo z kopolymerů vinylpyrrolidonu anebo z polyvinylalkoholu.

#### 2.2.4 Silikonhydrogelové materiály

Kontaktní čočky ze silikonhydrogelových materiálů byly poprvé uvedeny na světový trh na přelomu 20. a 21. století a od té doby prošly vývojem až do své třetí generace. Jsou dnes nejčastěji aplikovanými čočkami vůbec. Dominantní postavení si udržují i mezi měkkými čočkami. Některé typy jsou určeny nejen pro denní nošení, ale i pro prodloužené, respektive kontinuální. Přitom mají doporučený běžný interval výměn, tedy buď měsíční, čtrnáctidenní a na trhu jsou k dispozici i jednorázové silikonhydrogelové čočky. Jsou vyráběny ve všech designech, tedy jako sférické, torické i multifokální.

Mají propojenou hydrofilní (hydrogelovou) a hydrofobní (silikonovou, respektive fluorosilikonovou) strukturu, jsou opticky homogenní a jsou velmi vysoce propustné pro kyslík.

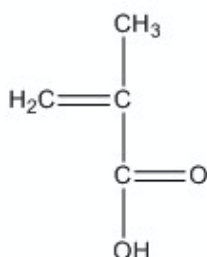
Čočky z těchto materiálů jsou řazeny do kategorie měkkých kontaktních čoček, jejich konkrétní vlastnosti se odvíjejí od vývojové generace, do níž spadají. Jsou dostatečně propustné pro vodu a ionty, velmi dobře pro plyny. Jejich první generace byla z hlediska mechanických vlastností poněkud tužší a čočky bylo nutné povrchově upravovat pro zajištění stejnoměrné smáčivosti. [19,40] Materiálové složení jednotlivých silikonhydrogelových čoček, zejména ve třetí generaci, je poměrně komplikované, nicméně dohledatelné v literatuře [17]. Lze však konstatovat, že zpravidla obsahují jako hydrofilní složku deriváty na bázi methakrylátů (např. HEMA nebo dimethylakrylamid) nebo N-vinylpyrrolidonu, dále tzv. TRIS strukturu (např. tris(trimethylsiloxyl) methakryloxypropylsilan nebo tris(trimethylsiloxysilyl) propylvinyl karbamát, různě dlouhé polysiloxanové řetězce a síťující činidla (např. methakrylátové diestery). Obecně se tedy jedná o polymerní sítě, které obsahují nejen uhlovodíky, ale také polysiloxany.

### 3. MONOMERY POUŽÍVANÉ V POLYMERECH PRO VÝROBU KONTAKTNÍCH ČOČEK

Chemické struktury některých základních polymerních materiálů, respektive jejich monomerů používaných v komerčně dostupných čočkách ukazují vzorce uvedené v následujících podkapitolách.

#### 3.1 Kyselina methakrylová

Kyselina methakrylová se do materiálů kontaktních čoček přidává kvůli zvýšení botnavosti (jen velmi malé množství, nízké jednotky procent, výrazně zvyšuje rovnovážný stav vody). V základní podobě nebotná, vysokou botnavost získává ve formě soli. Zatímco v původní kyselině je vazba mezi atomy kyslíku a vodíku sice polární, ale stále ještě chemická, pak po převedení do formy soli se tato vazba mění na iontovou mezi tímž atomem kyslíku a sodným kationtem (zpravidla sodným ve fyziologickém prostředí). Proto materiály pro kontaktní čočky obsahující kyselinu methakrylovou jsou označovány za ionogenní.



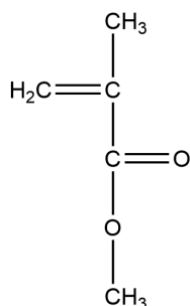
*Vzorec 1: Kyselina methakrylová*

#### 3.2 MMA – methylmetakrylát

Jeho polymer, polymethylmethakrylát (PMMA) je dobře tvarovatelný již při teplotě kolem 140 °C. Jeho index lomu má hodnotu 1,49, hustota 1,17-1,20 g/cm<sup>3</sup>. Je dostatečně tvrdý a odolný, byly z něj vyrobeny první tvrdé kontaktní čočky.

PMMA se používá hlavně na výrobu korneálních kontaktních čoček. Cirkulace slz je zajištěna mrkáním a tvorba usazenin je minimalizována nepolárním charakterem

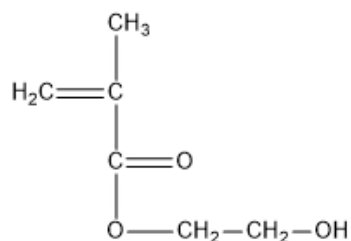
materiálu. Monomer MMA je rovněž součástí některých kopolymerů pro výšeboťnavé hydrogely, např. kopolymerů N-vinylpyrrolidonu.



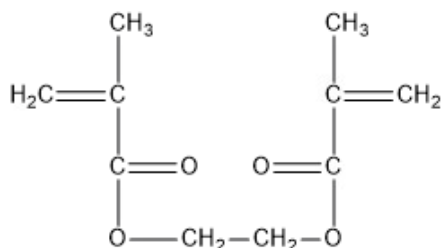
*Vzorec 2: Methylmetakrylát*

### 3.3 HEMA – 2-hydroxyethylmethakrylát

HEMA je základní materiál pro „standardní“ hydrogelové kontaktní čočky. Je to vlastně řídce síťovaný polymer, kopolymer se síťovadlem na bázi dimethakrylátů, nejčastěji s ethylendimethakrylátem (EDMA), případně triethylenglykoldimethakrylátem (TEGDMA), který je více hydrofilní.



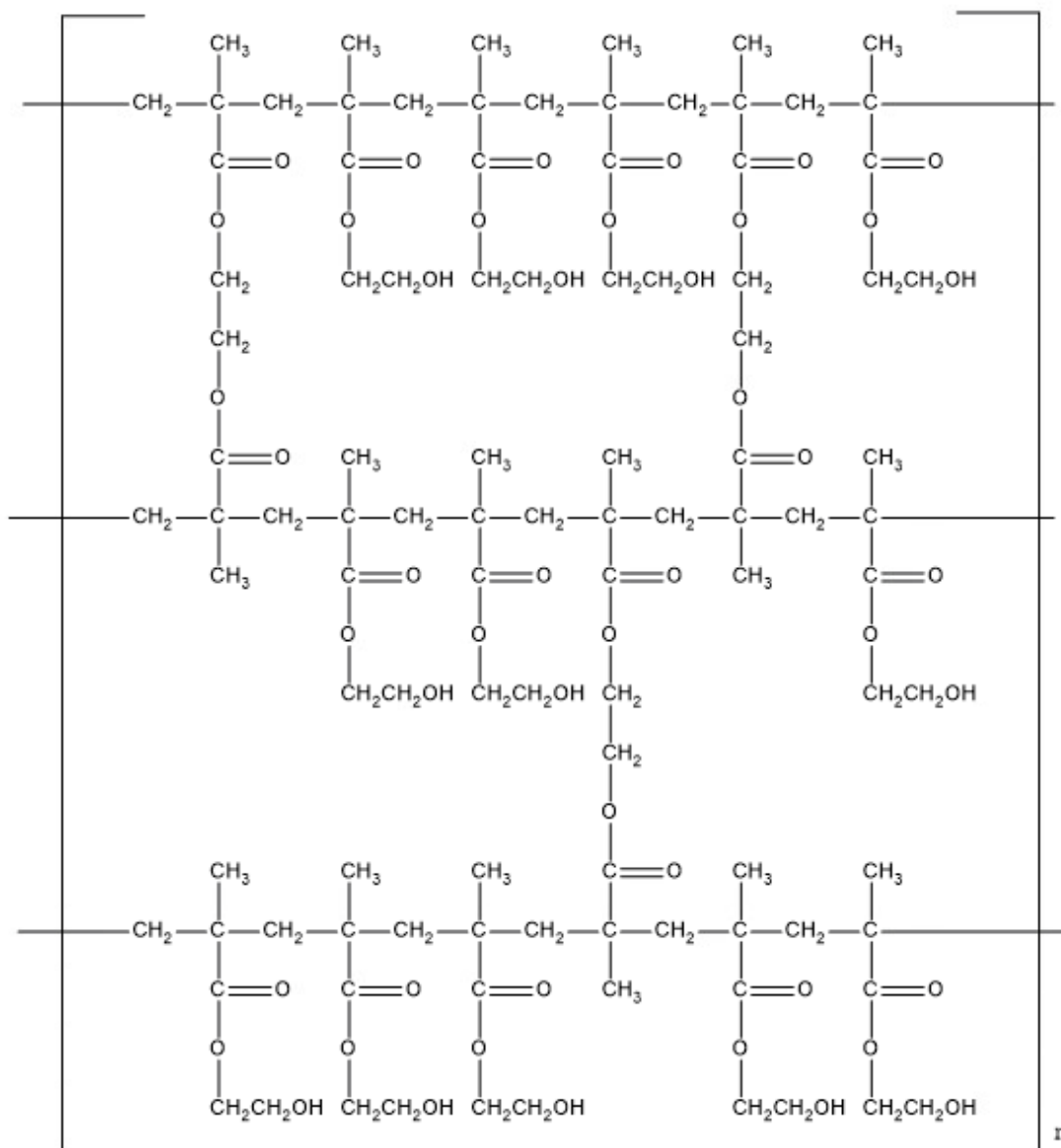
*Vzorec 3: HEMA*



*Vzorec 4: EDMA*



Řídce síťovaný kopolymer 2-hydroxyethylmethakrylát-*co*-ethylendimethakrylát  
(příklad výseku jedné z mnoha pravděpodobných struktur)

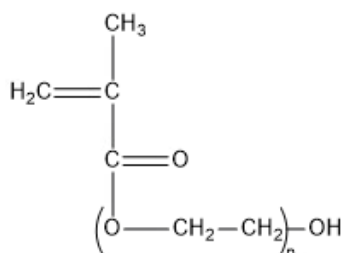


Vzorec 5: PHEMA, řídkce síťovaný EDMA

### 3.4 Glykolmethakryláty

Z dalších glykolmethakrylátů (kam patří i HEMA) byly ve výrobě kontaktních čoček používány diethylenglykolmethakrylát (DEGMA) a triethylenglykolmethakrylát (TEGMA). Oba tyto komonomery se přidávají k základnímu HEMA monomeru v množství desítek procent a zvyšují obsah vody ve výsledném kopolymeru v závislosti na konkrétním složení, kopolymery DEGMA zhruba na 55 – 70 %, kopolymery TEGMA

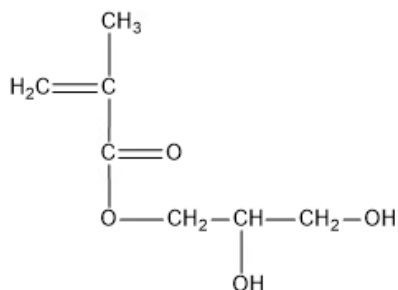
na hodnoty ještě o něco vyšší. Čočky vyráběné z kopolymeru HEMA/DEGMA měly obsah vody 55 %.



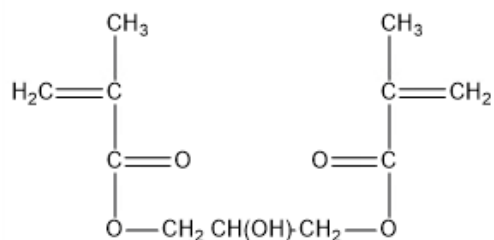
Vzorec 6: DEGMA ( $n=2$ ) a TEGMA ( $n=3$ )

### 3.5 Dihydroxyalkylmethakrylát

Nejznámějším dihydroxyalkylmethakrylátem je glycerolmonomethakrylát (GMMA). Jako jeho síťovadlo se používá glyceroldimethakrylát (GDMA). Jeho kopolymery používané pro výrobu kontaktních čoček mají opět zvýšený obsah vody, zhruba 57-60 %.



Vzorec 7: GMMA

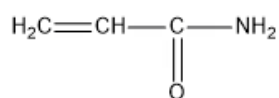


Vzorec 8: Glyceroldimethakrylát GDMA

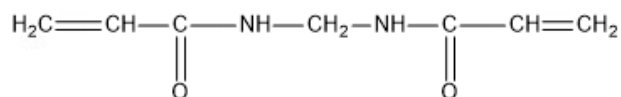
### 3.6 PAA – polyakrylamid

Dalšími monomery, které se vyskytují v některých materiálech pro kontaktní čočky jsou různé akrylamidy, respektive methakrylamidy, Tyto monomery jsou do

materiálů přidávány opět s cílem zvýšit obsah vody ve výsledném hydrogelu. Jako síťovadlo se nejčastěji používá N, N'-metylen-bis-akrylamid.



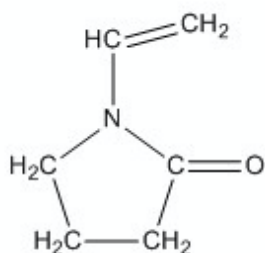
**Vzorec 9:** Akrylamid



**Vzorec 10:** N,N'-metylen-bis-akrylamid

### 3.7 N-vinylpyrrolidon

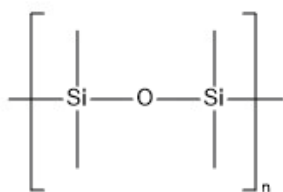
Jedním z často využívaných typů materiálů pro hydrogelové kontaktní čočky jsou kopolymery N-vinylpyrrolidonu (NVP nebo jen VP), zejména ve skupině II podle klasifikace FDA. Samotný monomer i jeho polymery (PVP) jsou rovněž zastoupeny v některých silikonhydrogelech.



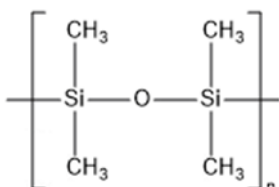
**Vzorec 11:** N-vinylpyrrolidon

### 3.8 Silikonové materiály

Silikonové struktury obsahují jak měkké hydrofobní čočky, tak RGP nebo silikonhydrogely. Jedná se však o širokou skupinu látek (dlouhé polysiloxanové řetězce, krátké methakryloylované řetězce - TRIS struktura, funkcionalizované silikonové řetězce) pro kterou je typická struktura uvedená ve vzorci 12. Nejběžnějším silikonovým polymerem v materiálech kontaktních čoček je polydimethylsiloxan, vzorec 13.



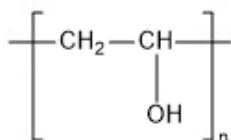
*Vzorec 12: Polydimethylsiloxan*



*Vzorec 13: Obecný vzorec polysiloxanů*

### 3.9 Polyvinyl alkohol

Velmi zajímavým materiálem pro hydrogelové kontaktní čočky je polyvinyl-alkohol (Nefilcon A, oblíbené jednorázové čočky Dailies s obsahem vody 69 %).



*Vzorec 14: Polyvinylalkohol*

### 3.10 Ostatní materiály

Mezi ostatní materiály, které vstupují do procesu výroby kontaktních čoček patří například UV absorbéry, nejčastěji benzofenonového nebo benzotriazolového typu. Dále rozpouštědla, např. glycerin v technologii odstředivého lití kontaktních čoček. Ta se však z polymerní struktury čoček vymyjí při jejich vypírání před sterilizací. Pevnou součástí materiálů čoček jsou však síťovadla, jako ethyldimethakrylát, triethylenglykoldimethakrylát, allylmethakrylát, ethylden-bis-vinylpyrrolidon, bis-akrylamidy (N,N'-metylen-bis-akrylamid). Jedná se vesměs o deriváty strukturně podobné řetězcům používaných polymerů, jejich obsah je velmi nízký, zpravidla 0,5 až 1 %. V obdobně nízkém množství jsou obsaženy i iniciátory, respektive produkty jejich rozpadu, které jsou pevně zabudované v řetězcích. Mezi iniciátory například patří diisopropylperkarbonát, azo-bis-izobutyronitril, ethery benzoinu, Darocur. [18,19,40,41]

## **4. MATERIÁLY PRO DISTRIBUCI, UCHOVÁNÍ A PÉČI O KONTAKTNÍ ČOČKY A JEJICH RECYKLACE**

### **4.1 Převravní pouzdro – pacientské pouzdro a fólie**

Pacientská pouzdra jsou vyrobená z polypropylenu a krycí fólie z vrstveného materiálu polypropylen / hliník. [42]

#### **4.1.1 Polypropylen (PP)**

Je semikrystalický neprůhledný termoplast. Svými vlastnostmi je polypropylen velmi podobný vysokohustotnímu polyethylenu, je to hořlavý, nepolární plast, odolný polárním rozpouštědly, zásadám, kyselinám i solím. V případě vyšších teplot, je tato odolnost vyšší než u polyethylenu. Jde o plast s nejnižší hustotou nelehčených plastů. V porovnání s vysokohustotním polyethylenem má nižší hustotu a menší odolnost vůči mrazu (teplota skelného přechodu je cca  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Jde ovšem o plast s vyšší pevností, tuhostí, tvrdostí a odolností proti oděru, tvarovou stálostí (díky vyšší teplotě tání), a to za zvýšené teploty (dlouhodobě až  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Také lépe odolává vzniku napěťových trhlinek než polyethylen.

Polypropylen je využíván ve spotřebním průmyslu na výrobu např. fólií, misek, obalových materiálů atd. Pro jeho dobré mechanické vlastnosti, možnosti kopolymerizace, modifikace přísadami nebo jinými polymery a také díky příznivé ceně jsou z něj vyráběny součásti strojů a přístrojů v průmyslové výrobě. Ve zdravotnické výrobě je používán pro výrobu dílů do injekčních stříkaček, systémů pro dávkování léků, diagnostických kyvet, a to pro jeho odolnost vůči sterilizačním teplotám.

#### **4.1.2 Recyklace polypropylenu**

Recyklace polypropylenu může být mechanická, tepelná a recyklace na výchozí surovinu. Nejrozšířenější je recyklace mechanická, ostatní dvě jsou spíše metody alternativní.

Mechanickou recyklací se rozumí roztřídění odpadního materiálu, vyčištění, roztavení a následná granulace. Aby bylo dosaženo dobré kvality konečného recyklátu, je žádoucí, aby byly roztříděny a odděleny neslučitelné polymery. Polymery lze štěpit na

základní monomery a ty využít k výrobě nových polymerů. Nebo můžeme původní polymery přeměnit na syntetický olej a plyn a využít je v jiných procesech.

Při recyklaci na původní surovinu jsou polymery štěpeny na základní monomery nebo na tekuté případně plynné uhlovodíky. Pyrolýzou (z řečtiny: pyr – oheň, lysis – rozpuštění) jsou zde míněny termické procesy působící na odpad takovou teplotou, která vede k překročení meze jeho chemické stability. Plasty jako PP, PE a PS jsou pak pyrolýzou přeměněny na výchozí petrochemickou surovinu. Je tak vytvořena surová nafta nebo monomery podobných vlastností jako původní.

Tepelnou recyklaci můžeme zjednodušeně nazvat zpopelněním. Jedná se o kontrolované spalování smíšeného plastového odpadu. Vytvořené teplo může být akumulováno a použito např. pro výrobu elektrické energie. Energeticky mohou být plastové materiály stejně hodnotné jako ropa. Vzhledem k tomu můžeme plasty použít v rámci tepelné recyklace jako zdroj tepla s cílem snížení spotřeby fosilních zdrojů. Bohužel, má to i svou stinnou stránku. Hořením směsí polymerů mohou vznikat toxické a leptavé korozivní látky, jako např. kyselina chlorovodíková, dioxan, nebo polyvinylchlorid. Naštěstí produkce těchto nežádoucích látek není příliš vysoká. Vznikuvší popel je netečný, bývá umístěn na skládky a původního plastového materiálu obsahuje velmi málo.

Recyklace polypropylenových patientských pouzder by tedy díky již zavedené mechanické recyklaci nepředstavovala žádný přídatný problém, stačí využít současných postupů. [43,44]

### 4.1.3 Hliník a jeho recyklace

Recyklace hliníku má značný význam, protože jeho získávání je energeticky náročné. Takže jeho shromažďování a opětovné využití představuje důležitý příspěvek v ochraně životního prostředí. To ale platí pouze pro obaly z čistého hliníku.

Jestliže se jedná o recyklaci hliníkových částí blistrů, které jsou spojeny s polypropylenem, jde o tzv. tenkostěnné hliníkové obaly, které nemá smysl vhazovat do kontejneru na hliníkový odpad, protože při tavení v peci shoří.

Jejich zpracování se však v České republice věnuje několik firem. Je to např. firma Alutherm v Mníšku pod Brdy, která se zabývá výrobou hliníkových granulí a prášků

s řadou frakcí v mezích od 0,1 mm do 12 mm z recyklovaného tenkostěnného Al odpadu, dále Severočeské sběrné suroviny, které mají na severu Čech celý řetězec sběren, Eko Metalrecycling z Liberce, který vykupuje tenký hliníkový odpad a řada dalších firem, které se zpracováním hliníkového odpadu zabývají. Díky těmto firmám je recyklace hliníkových částí blistrů reálná. [45]

## **4.2 Obaly pro prostředky péče o kontaktní čočky – roztoky**

Obaly na roztoky kontaktních čoček jsou vyrobeny z polyethylenu s vysokou hustotou. Zabaleny jsou do recyklovatelného kartonu. Karton se skládá ze směsi celulózy, dřeva a svěrového papíru v různých podílech s variabilními odchylkami.

### **4.2.1 Polyethylen - PE**

Je semikrystalický termoplast s vlastnostmi závislými na molekulové struktuře: tvaru a délce makromolekul, prostorovém uspořádání merů v řetězci a stupni krystalinity. Molekulovou strukturu tohoto plastu ovlivňuje jeho výroba. Dle tvaru makromolekul rozlišujeme lineární, vysokohutnostní polyethylen a rozvětvený, nízkohutnostní polyethylen.

Jde o nepolární, nenavlhavý plast s výbornými elektroizolačními vlastnostmi. Díky jeho nepolárnosti za běžných podmínek odolává polárním rozpouštědlům, vodě, kyselinám, zásadám i solím. Jeho hustota je menší než voda, povrch se dá snadno rýpat, Teplota zeskenění je hluboko pod bodem mrazu, cca -120 °C. Pevnostní charakteristiky polyethylenu jsou nejnižší ze všech standardních termoplastů a nepoužívá se proto pro konstrukční aplikace. Má nízkou teplotu tání a je tedy tvarově stálý maximálně do 75 °C, pokud není mechanicky namáhán. Je citlivý na UV záření, je hořlavý, ale při jeho hoření nevznikají škodlivé látky neslučitelné s životním prostředím.

Polyethylen je využíván pro výrobu obalového materiálu, spotřebního zboží a různých technických výrobků, jako např. izolační pláště kabelů, kanystry, nádoby, přepravky, fólie, tašky, pytle, lahvičky, ohebná víka (PE-LD), potrubí pro zavlažovací systémy v zemědělství (lze snadno navinovat na transportní cívky), potrubí pro rozvod plynů a vody, nádoby na chladicí a brzdovou kapalinu, tekutinu do ostříkovačů (PE-HD), pro extruzní povrstvování papíru, kartonu a hliníkových fólií (tetrapak, pytle na cement), nádrže na dešťovou vodu nebo žumpy (PE-LLD) a další. [44]

## 4.2.2 Recyklace polyethylenu a kartonů

U polyethylenu a kartonu jde o snadno tříditelný plastový a papírový odpad, který lze vhazovat do příslušných zavedených kontejnerů.

## 4.3 Současné postupy třídění a recyklace odpadů v oblasti kontaktních čoček

Firma Bauch&Lomb v USA přišla s programem ONE by ONE, který se týká recyklace kontaktních čoček a blistrů. Poprvé v historii se použité kontaktní čočky, blistry a horní fólie dají díky spolupráci s TerraCycle recyklovat. I když se to nezdá, odpady z balení kontaktních čoček generovaných ročně v USA by mohly třikrát obkroužit zeměkoulí.

Kontaktní čočky a blistrová balení se považují za nerecyklovatelná hlavně proto, že jsou příliš malá, aby byla zachycena standardním třídícím zařízením. Prostřednictvím programu ONE by One jsou kontaktní čočky a blistrová balení 100 % recyklovatelná a program poskytuje celonárodní řešení, které zabraňuje vstupu těchto předmětů do odpadního proudu, a to při nulové ceně pro spotřebitele.

Po přijetí jsou blistrová balení a kontaktní čočky odděleny a čištěny. Kovové vrstvy blistrových obalů se recyklují zvlášť, zatímco kontaktní čočky a plastové součásti blistrového balení se rozdělují na plast, který může být použit pro výrobu recyklovaných výrobků.

Za každý 0,5 kg přijatých produktů Biotrue One day a dalších balíčků značek Bauch&Lomb zaslaných prostřednictvím tohoto programu bude udělen jeden dolar dárcovství pro Optometry Giving Sight, globální fundraisingovou iniciativu zaměřenou na prevenci slepoty a zhoršení vidění.

Společnost Bauch&Lomb neustále usiluje o to, aby se stala z úhlu pohledu ekologie udržitelnou společností, aby při zajištění maximálního pohodlí nositelů čoček byly její aktivity co nejvíce šetrné k životnímu prostředí. [46]



### 4.3.1 TerraCycle

Terracycle minimalizuje množství nerecyklovatelného odpadu tím, že hledá cestu k recyklaci i dosud „nerecyklovatelného“. Ať už jde o kávové kapsle z vašeho domova, pera ze školy nebo plastové rukavice z výrobního závodu. TerraCycle může sbírat a recyklovat téměř jakoukoliv formu odpadu.

Společnost kombinuje strategii, logistiku, vědu a technologii, propagační a zakázkové obchodní modely. Spolupracuje s jednotlivými výrobci, maloobchodníky, obcemi a malými podniky ve 20 různých zemích. S pomocí lidí, kteří odpad třídí, je schopna každý měsíc přesunout miliony kilogramů odpadu ze skládek a spaloven k dalšímu zpracování. [47]

## 4.4 Uhlíková bilance

Pro posouzení významu třídění KČ a odpadu vznikajícího v souvislosti s jejich nošením je důležité zhodnotit tzv. uhlíkovou bilanci. Obecně jde o množství vypuštěných emisí v souvislosti s osobou, výrobkem nebo akcí, většinou za roční období. Uhlíková bilance je tedy ukazatelem spotřeby energií, výrobků a služeb, jedná se o ukazatel zatížení životního prostředí. Je měřítkem dopadu lidské činnosti na životní prostředí a tím i na klimatické změny.

Uhlíkovou bilanci můžeme v mé bakalářské práci chápat jako sumu emisí vznikajících během procesu distribuce, sběru, následného transportu a likvidace kontaktních čoček. Emise vznikají z motorových vozidel v souvislosti s dopravou nákladů a osob, v důsledku energií vynaložených na procesy spojené s recyklací. Nejdůležitější složkou v těchto emisích je oxid uhličitý.

Otázkou do diskuse o třídění a recyklaci odpadů vznikajících při používání kontaktních čoček tedy je, jakým způsobem a jak daleko budou tyto odpady převáženy a kolik energie (např. elektrické) by bylo třeba vynaložit na jejich recyklaci.

Pomocí výpočtu uhlíkové bilance můžeme zjistit, zda je recyklace KČ ekologická a zda výroba produktů z recyklátů bude energeticky méně náročná než výroba nových blistrů.

Při zamyšlení nad uhlíkovou bilancí procesu recyklace kontaktních čoček, je třeba do procesu výpočtu započíst jednotlivé stopy dílčích procesů. Výrobu sběrných boxů (a to i v případě, že jde o jednorázovou akci), sběr odpadu, tzn. cestu každého jedince do optiky (zde je potřeba zvážit, zda do uhlíkové bilance započíst či nikoli, protože nositel kontaktních čoček může cestu do optiky spojit s nákupem nových kontaktních čoček), odvoz vytríděného odpadu do recyklační společnosti a proces recyklace. K minimalizaci předpokládané uhlíkové stopy tedy významně přispěje připojení se k již běžně zavedeným a používaným způsobům třídění a recyklace základních typů odpadů.

Pro představu uvádím uhlíkovou stopu dopravy dvacetikilového nákladu na vzdálenost 100 kilometrů, za použití automobilu jako dopravního prostředku. Pro tento výpočet jsem použila kalkulačku uhlíkové stopy Hnutí DUHA. [48] Výsledek je 1342,4 g emisí CO<sub>2</sub> vyprodukovaných výše uvedenou dopravou. [49,50]

## **4.5 Cíle pro praktickou část bakalářské práce**

Hlavním výstupem BP bude zjištění možností třídění a likvidace odpadu, respektive recyklace materiálů používaných v kontaktologické praxi. Z rešerše vyplynuly i důležité poznatky, jak je tento problém řešen v jiných zemích. Byly diskutovány některé fyzikálně-chemické postupy používané při recyklaci odpovídajících materiálů a možnosti zapojení do standardních systémů třídění a recyklace, případně do již běžících konkrétních programů. Výsledkem práce by měl být návrh organizace nakládání s odpady v kontaktologické praxi a průzkum ochoty zapojit se do takových aktivit.

# PRAKTICKÁ ČÁST

Pro splnění cílů práce jsem v její praktické části přistoupila k průzkumu, jaké procento lidí by bylo ochotno recyklovat odpad v kontaktologické praxi, jestli jsou nositelé kontaktních čoček ochotní recyklovat tento druh odpadu pouze z dobré vůle, z přesvědčení, nebo zda očekávají nějakou finanční odměnu. Tyto informace jsem zjistila pomocí dotazníků.

Protože jsem chtěla znát názor z různých úhlů pohledu, zaměřila jsem se na dva typy respondentů. Jednak na poskytovatele služby, na optiky, jednak na klienty, nositele kontaktních čoček.

Na základě poznatků z předchozí rešerše, výsledků dotazníkového šetření i vlastních zkušeností z práce v oční optice jsem navrhla systém, kterým by bylo možné třídění použitých čoček a blistrů zorganizovat a realizovat.

## 5. POČET UŽIVATELŮ KČ V ČR

Prvním předpokladem k alespoň kvalifikovanému odhadu množství odpadu vyprodukovaného v souvislosti s nošením kontaktních čoček je údaj o počtu jejich nositelů. Toto číslo bohužel není možné nalézt v žádných oficiálních statistikách, a to i podle dlouhodobých zkušeností odborných společností, např. ČKS. Ani její dobrá dlouholetá spolupráce s distributorskými firmami nedokázala prolomit jejich embargo na informace o reálných prodejkách. [51]. Vzhledem k tomu, že e-shopy mohou efektivně pracovat právě tehdy, pokud mají k dispozici co nejpřesnější čísla z průzkumu trhu, obrátila jsem se na jednoho z internetových prodejců kontaktních čoček, společnost Alensa, s.r.o., jmenovitě na jejího PR & Communication manažera, pana P. Langera. Ten mi sdělil, že dle interních průzkumů nosí čočky v ČR cca 3-5 % populace. Toto číslo se vztahuje ke klientům, kteří nosí čočky denně a odpovídá údajům některých dalších neoficiálních zdrojů. Ve skutečnosti bude výsledné procento pravděpodobně vyšší, protože nositelé čoček nenosí jen čočky, ale kombinují je s brýlemi. Tzn., že většinově nosí brýle, ale vedle toho, např. na sport nebo další aktivity, nosí kontaktní čočky.

Kontaktní čočky nosí více ženy, až 70 % ze všech nositelů. V Česku pak jednoznačně mají primární zastoupení měsíční čočky, na rozdíl od západních zemí jako je Velká Británie, Nizozemsko aj., kde vedou jednodenní čočky. Mezi nejprodávanější měsíční čočky u nás patří Biofinity, u čtrnáctidenních jsou to Acuvue Oasys a u jednodenních Acuvue Oasys 1-Day.

V Evropě se ročně prodají čočky za cca 90-100 miliard CZK (cca 55 e-shopů v 31 zemích) a jen 1,6 miliardy CZK. [52]

## 6. ODHAD MNOŽSTVÍ ODPADU VZNIKLÉHO V SOUVISLOSTI S NOŠENÍM KONTAKTNÍCH ČOČEK V ČR

Ke kvalifikovanému odhadu množství odpadu vzniklého v souvislosti s nošením kontaktních čoček v naší republice je třeba nastavit několik předpokladů. Výpočet bude zohledňovat pouze měsíční kontaktní čočky, neboť právě tento interval výměny čoček za nové je nejčastěji používaný. Zároveň předpokládám, že nositel bude používat vždy celý pár čoček. Výpočet se nebude týkat klientů, kteří kombinují nošení brýlí a čoček, ani sportovce, kteří nosí čočky pouze na sport. Hmotnosti čoček v suchém stavu i součástí blistru jsou orientační, zejména u čoček se budou lišit, a to v závislosti na optické mohutnosti. Ve výpočtu použité hodnoty jsem zjistila vážením na dostupných vahách s přesností 0,01g. Přesnější váhy jsem v souvislosti s opatřeními zavedenými ke snížení šíření nákazy COVID-19 neměla k dispozici. Avšak pro předmětný odhad je tato přesnost dostačující.

Počet obyvatel ČR (údaj z roku 2019)	10 650 000 [53]
3–5 % obyvatelstva jsou nositelé kontaktních čoček	426 000 (4 %)
Měsíční kontaktní čočky (sada blistr + čočka)	10 224 000 sad/rok
Váha čočky v suchém stavu	0,1 g
Váha plastové části blistru	2,1 g
Váha hliníkové fólie	0,4 g
Roční množství odpadu z kontaktologické	26 582 400 g
Roční množství odpadu z kontaktologické praxe v kg	26 582 kg

Pro svou další práci jsem si stanovila několik jednoduchých hypotéz:

- 1) Je roční množství odpadu z kontaktologické praxe vyšší než 26 582 kg?
- 2) Budou nositelé kontaktních čoček ochotni třídit kontaktologický odpad?
- 3) Budou optiky ochotny ve své prodejně umístit box na kontaktologický odpad?

Pro jejich zodpovězení jsem připravila dotazníkovou akci, kterou jsem zaměřila:

- na nositele kontaktních čoček, zde jsem zjišťovala informace o nositelích KČ jako je pohlaví (Obr. II.), věk (Obr. III.), zvolenou frekvenci výměn jejich čoček (Obr. IV.), četnost nošení (Obr. V.), kde nositelé čočky kupují (Obr. VI.), jak doposud nakládají s odpadem (Obr. VII.), a nakonec informace o tom, zda jsou nositelé KČ ochotni související odpad skladovat (Obr. VIII.) a následně dopravit do optiky (Obr. IX.).
- na prodejny optik, zde jsem zjišťovala zastoupení výrobců kontaktních čoček dle objemu prodeje (Obr. X.), ochotu třídít (Obr. XI.) a ochotu umístit v rámci provozovny třídící box (Obr. XII.). Z výsledků je jednoznačně patrná ochota třídít kontaktologický odpad.

## 7. POUŽITÉ DOTAZNÍKY

Dotazník pro nositele kontaktních čoček:

**1. Pohlaví:\***  
Vyberte jednu z odpovědí

Muž

Žena

**2. Do jaké věkové kategorie patříte?\***  
Vyberte jednu z odpovědí

Do 20 let

20 - 40 let

40 - 60 let

Více

**3. Kontaktní čočky nosíte:\***  
Vyberte jednu z odpovědí

Jednorázové

14-ti denní

měsíční

**4. Jak často kontaktní čočky používáte?\***  
Vyberte jednu z odpovědí

Každý den

Několikrát za týden

Jednou týdně

Méně

*Obrázek 2: Dotazník pro nositele KČ*

### 5. Kde kontaktní čočky kupujete?\*

Vyberte jednu z odpovědí

Optika

Internetový e-shop

Drogerie

### 6. Jak nakládáte s odpadem?\*

Vyberte jednu z odpovědí

Vše končí ve směsném odpadu (odpadkový koš)

Třídím krabice a plastový odpad

### 7. Byli byste ochotni skladovat plastové blistry, víčka blistrů, kontaktní čočky a následně je dopravit do optiky?\*

Vyberte jednu z odpovědí

Ano

Ne

### 8. Jestli ano, byli byste ochotni třídit tento odpad i bez motivační odměny?\*

Vyberte jednu z odpovědí

Ano

Ne

*Obrázek 3: Dotazník pro nositele KČ - pokračování*



## Dotazník pro optiky:

**1. Seřadte dodavatele podle objemu prodeje ve Vaší optice**

Změňte pořadí (delším stisknutím a následným přesunutím) položek dle svých preferencí (1. - největší odběr, poslední - nejmenší odběr)

- ◇ 1. Alcon
- ◇ 2. Bausch + Lomb
- ◇ 3. Cooper Vision
- ◇ 4. Johnson + Johnson
- ◇ 5. Jiné

**2. Jste ochotni ve Vaší prodejně třídít odpad?\***

Vyberte jednu odpověď

- Ano
- Ne

**3. Pokud ano, byli byste ochotni umístit v prodejně třídící boxy? (na plastové části blistrů, hliníková víčka blistrů a kontaktní čočky)\***

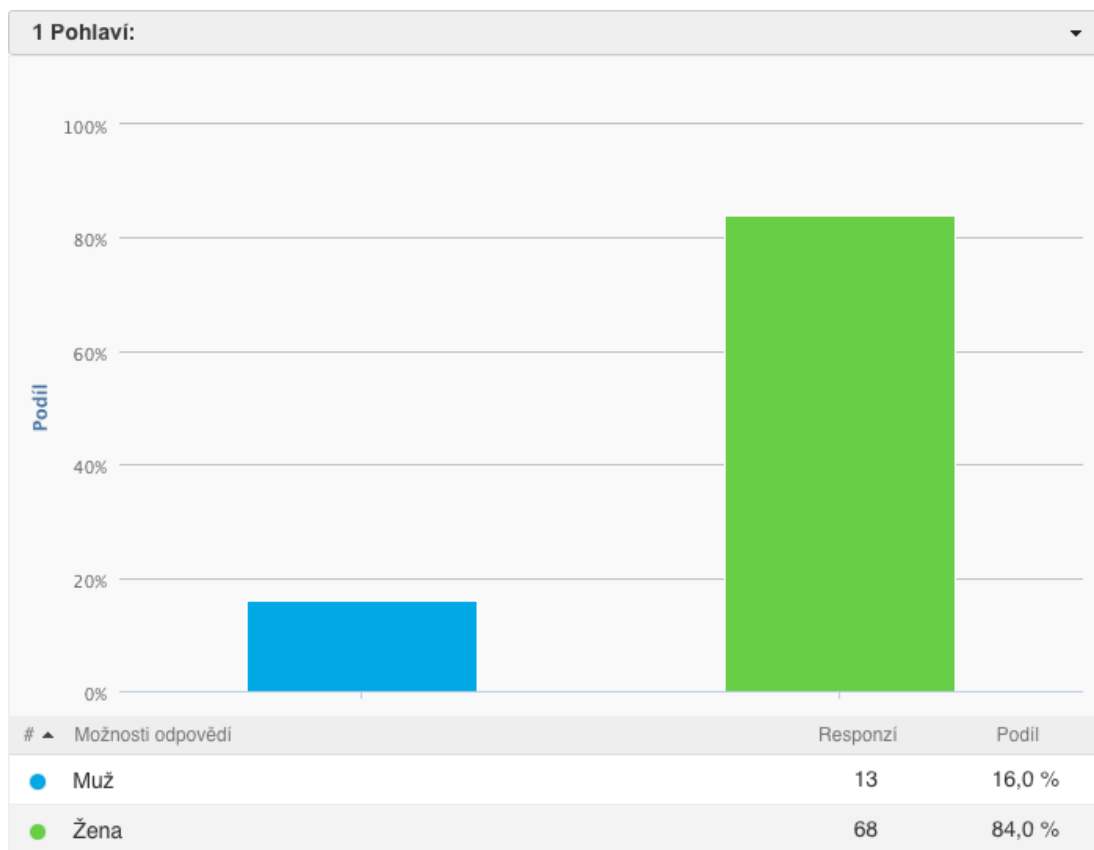
Vyberte jednu odpověď

- Ano
- Ne

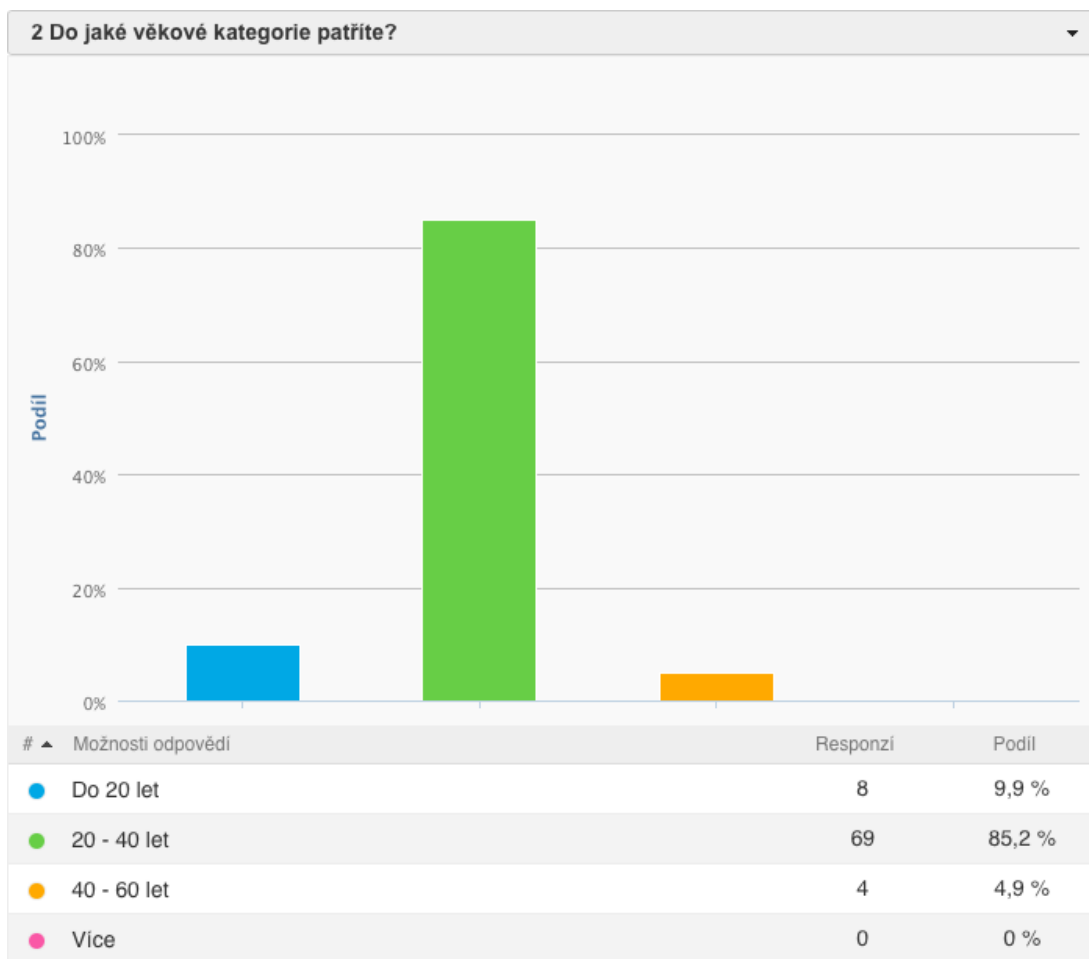
*Obrázek 4: Dotazník pro optiky*

# 8. VÝSLEDKY DOTAZNÍKOVÉHO ŠETŘENÍ

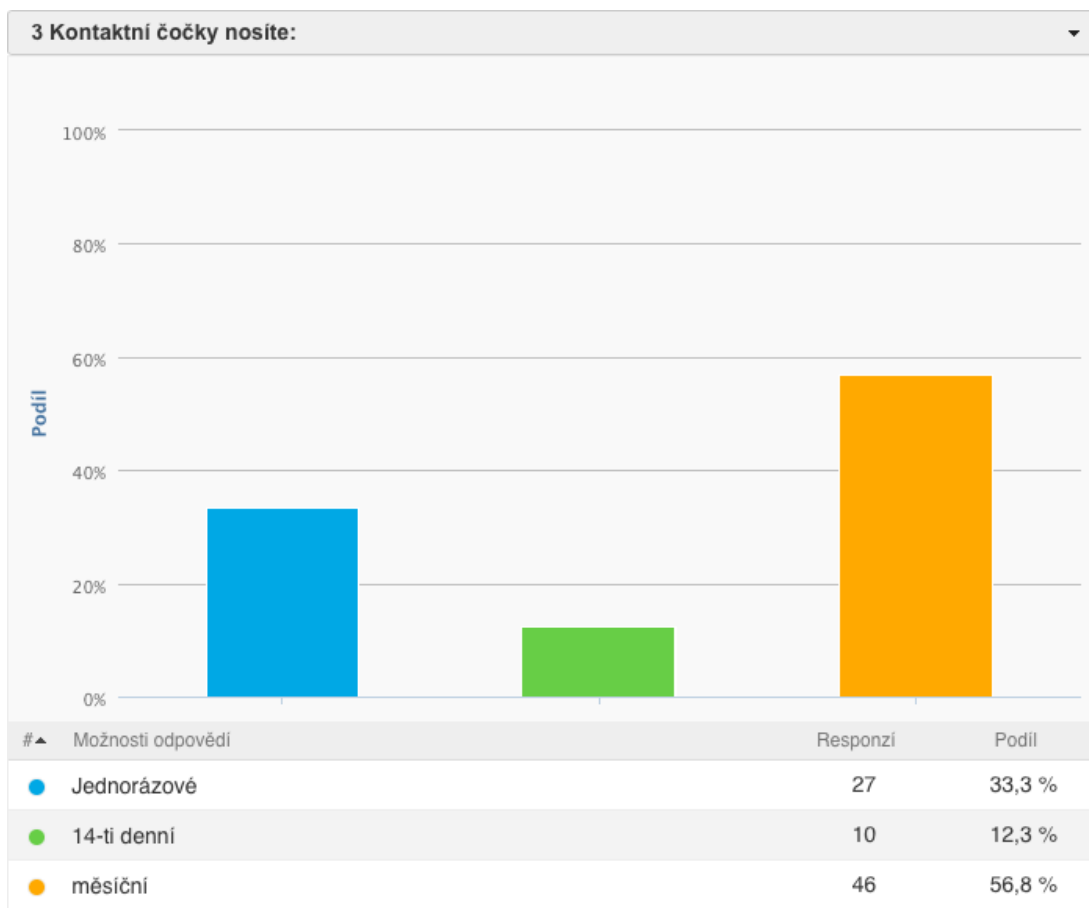
## 8.1 Nositelé kontaktních čoček



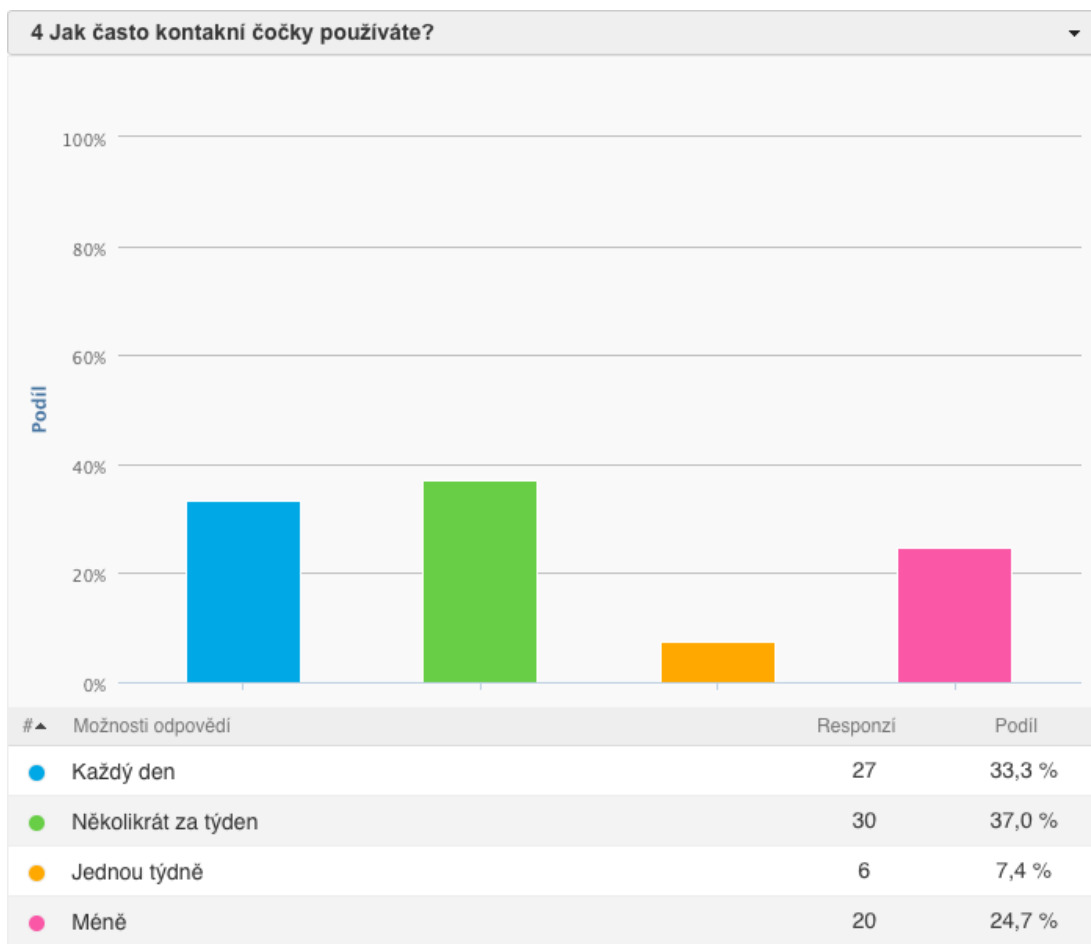
*Obrázek 5: Schématické znázornění pohlaví nositelů KČ*



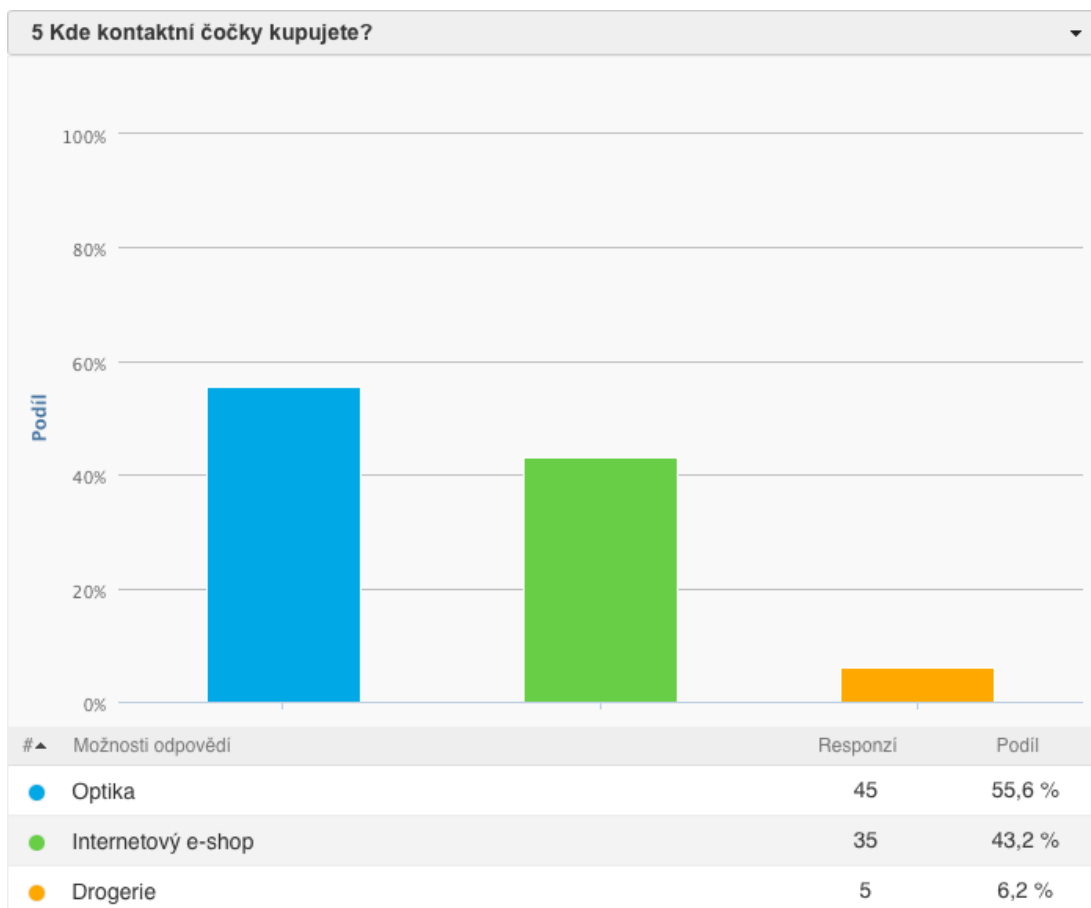
**Obrázek 6:** Schématické znázornění věkové kategorie nositelů KČ



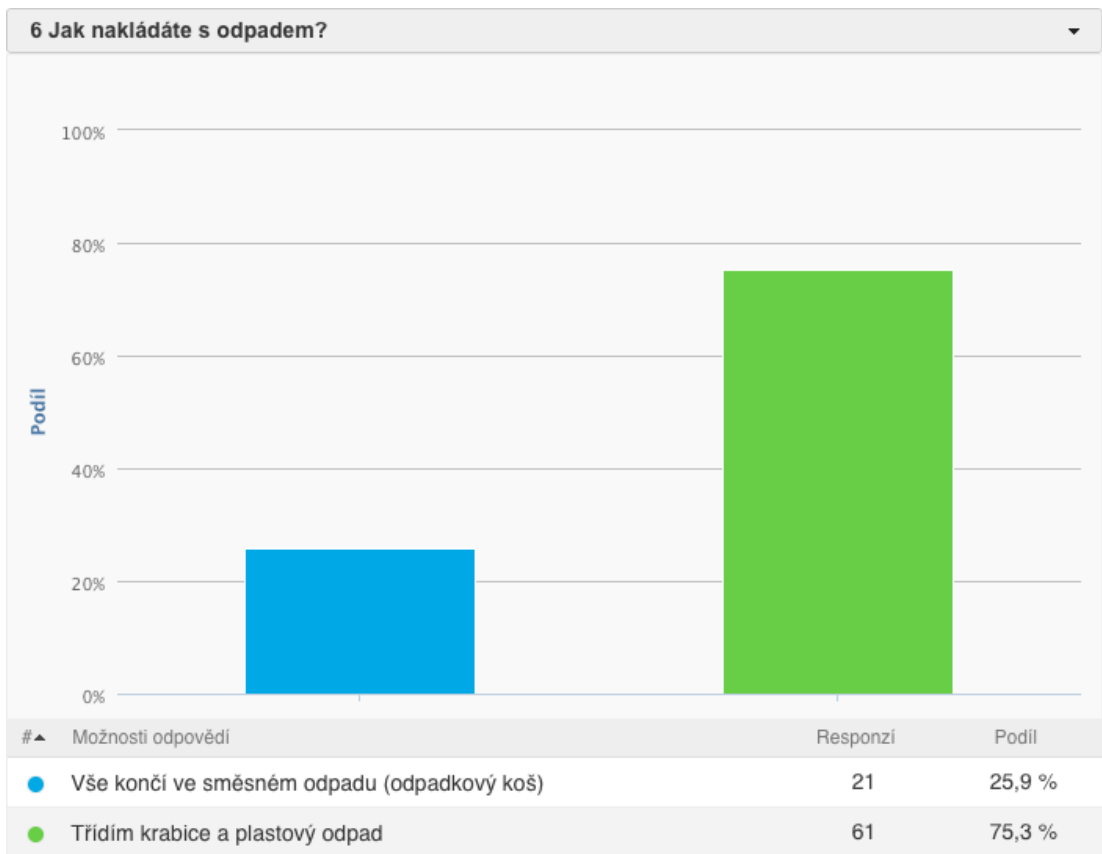
**Obrázek 7:** Schématické znázornění čoček, které nositelé kupují podle frekvence výměn



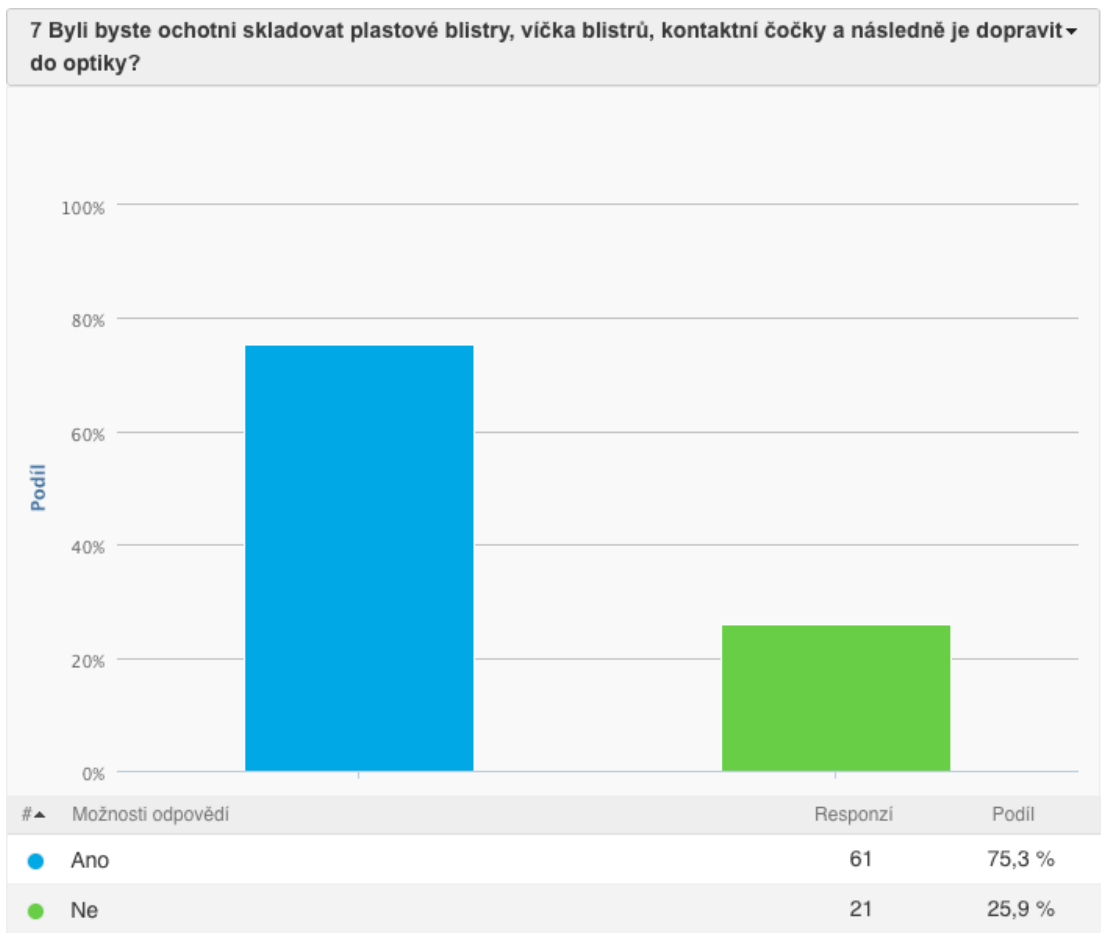
**Obrázek 8:** Schématické znázornění četnosti nošení



**Obrázek 9:** Schématické znázornění místa nákupu KČ

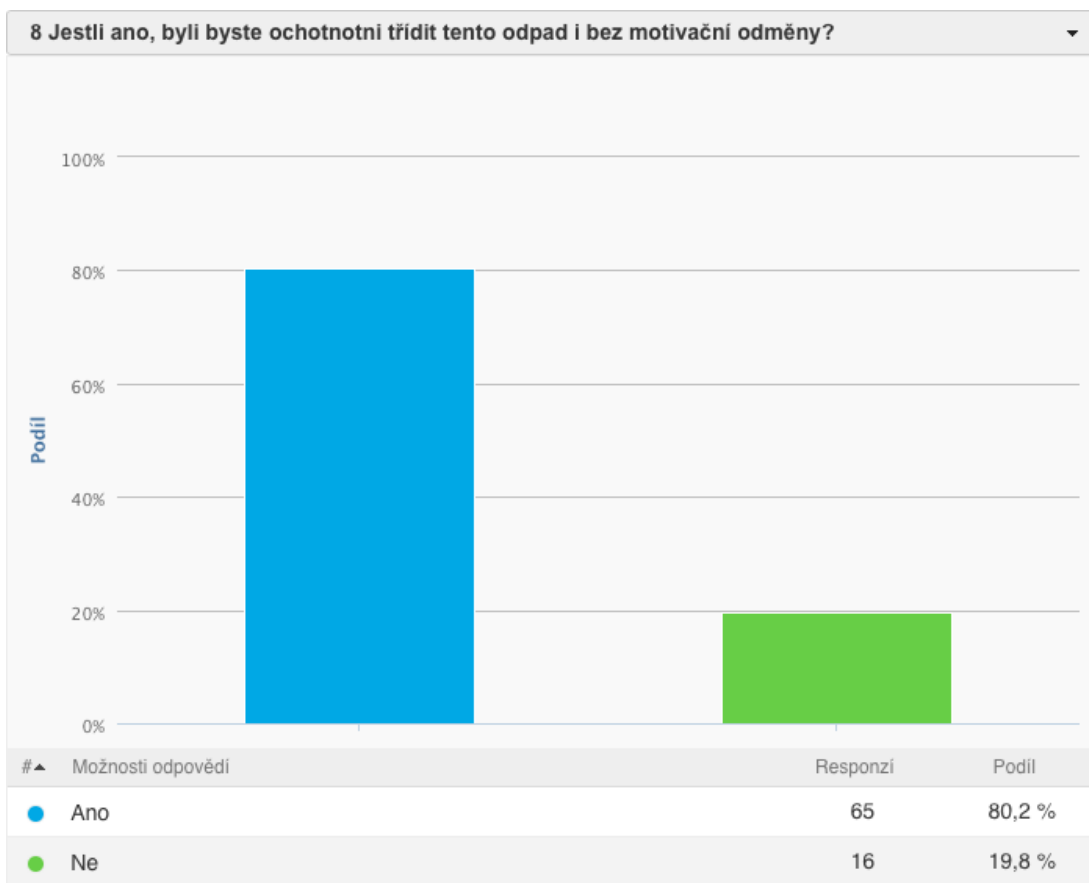


**Obrázek 10:** Schématické znázornění současného nakládání s odpadem



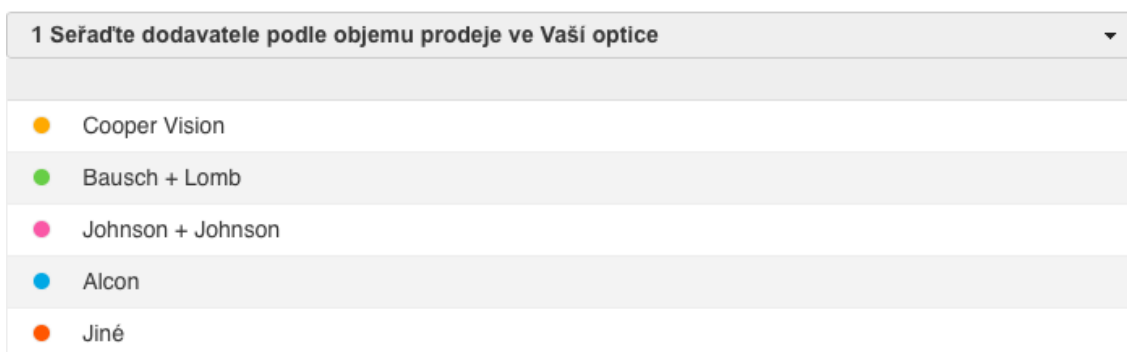
**Obrázek 11:** Schématické znázornění ochoty nositelů KČ skladovat odpad z kontaktologické praxe



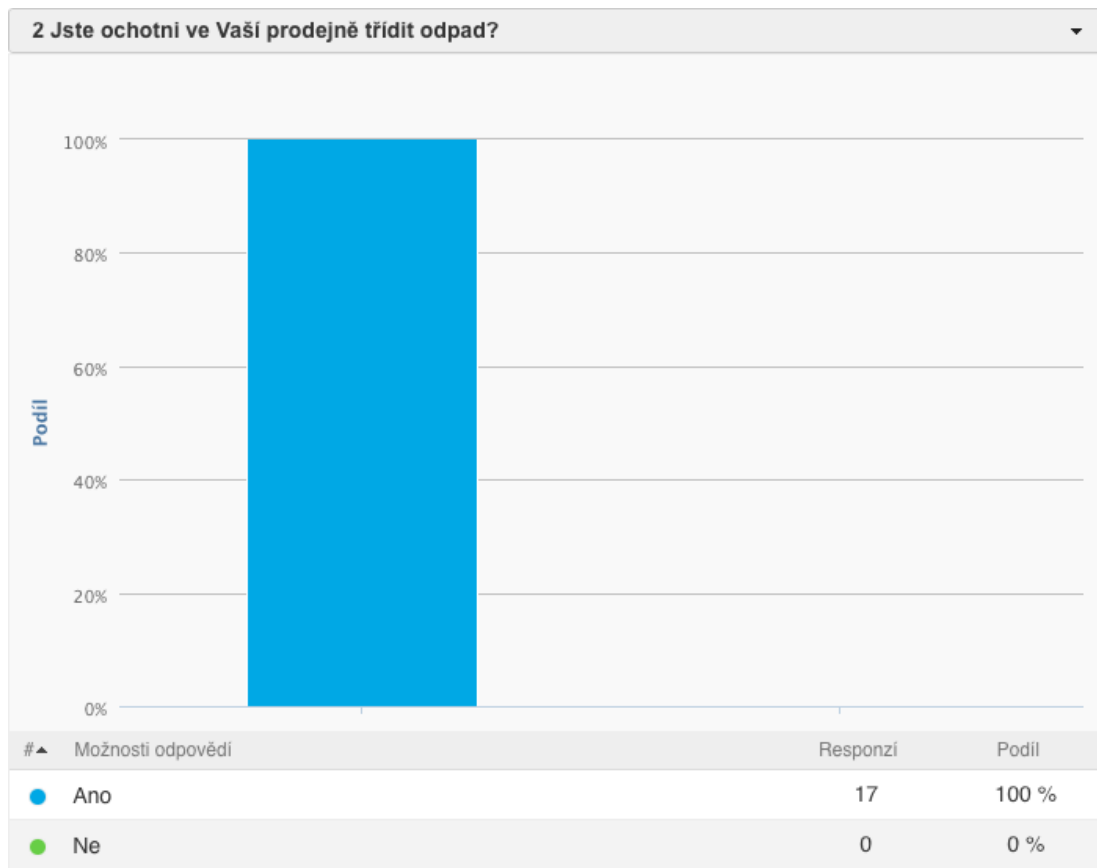


**Obrázek 12:** Schématické znázornění potřeby motivace nositelů KČ třidit odpad z kontaktologické praxe

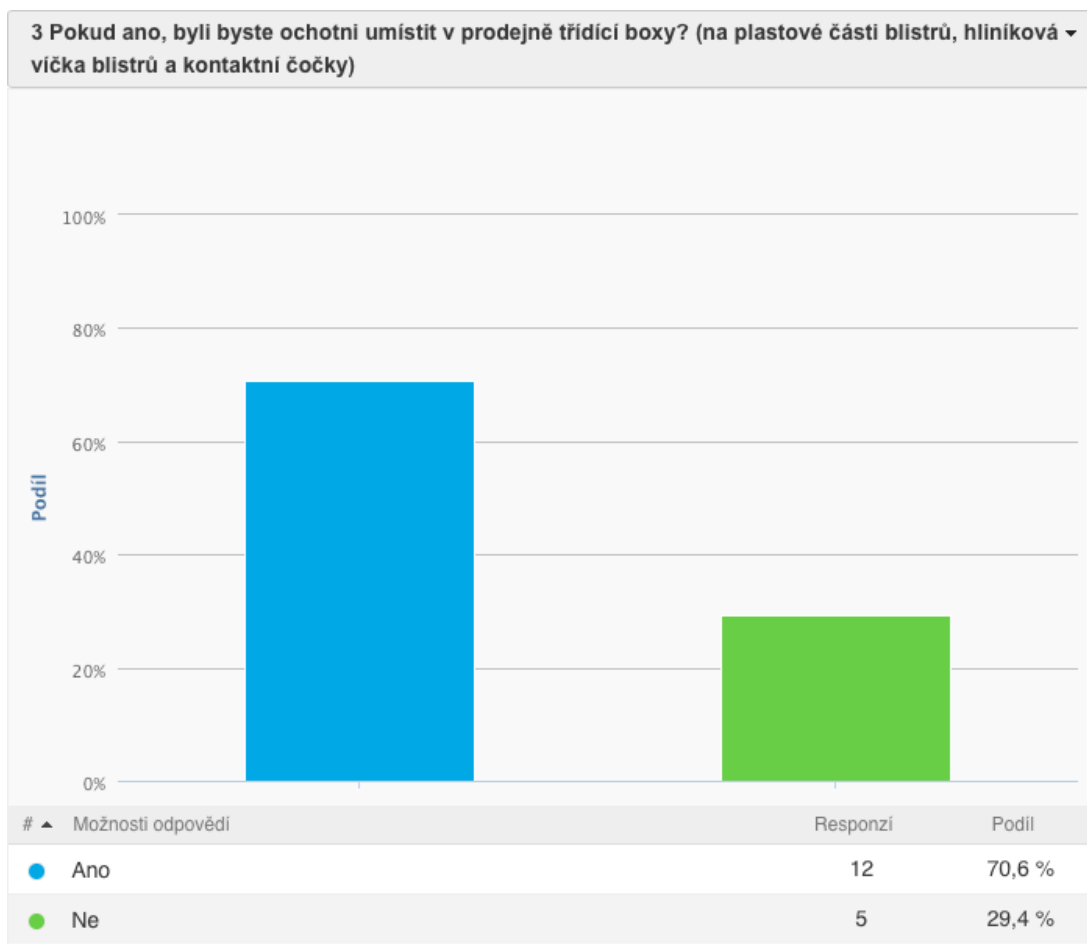
## 8.2 Prodejny optik



**Obrázek 13:** Pořadí dodavatelů podle objemů prodeje (seřazeno od největšího objemu prodeje)



**Obrázek 14:** Schématické znázornění ochoty třídít odpad v optikách



**Obr. XIV.:** Schématické znázornění ochoty umístit sběrný box

## Hypotézy

- Je roční množství odpadu z kontaktologické praxe vyšší než 26 582 kg?

Na základě dotazníkové akce jsem dospěla k názoru, že skutečné množství odpadu z kontaktologické praxe je ještě vyšší, a to z následujících důvodů. Původní výpočet množství odpadu vychází z předpokladu, že nositelé kontaktních čoček používají pouze měsíční čočky. Respondenti dotazníkové akce však potvrdili skutečnost, že měsíční kontaktní čočky používá 56,8 % nositelů, nositelé jednorázových kontaktních čoček vyprodukují větší množství odpadu za předpokladu, že kontaktní čočky nosí více jak jednou za měsíc, což je velmi pravděpodobné a počet nošení za měsíc pak zároveň představuje násobek původního množství odpadu. Nositelé 14-denních čoček vytvoří dvojnásobné množství odpadu než nositelé měsíčních kontaktních čoček.

- Budou nositelé kontaktních čoček ochotni třídít kontaktologický odpad?

Z odpovědí uvedených v dotaznících vyplývá skutečnost, že se nositelé kontaktních čoček již v současné době třídění odpadu věnují a v 75,3 % třídí krabice a plastový odpad. Ve stejném procentuálním zastoupení jsou také ochotni skladovat odpad z kontaktologické praxe a následně jej dopravit do optiky. Odpověď na tuto hypotézu je tedy, ano, nositelé kontaktních čoček jsou ochotni se tomuto druhu odpadového hospodářství věnovat.

- Budou optiky ochotny ve své prodejně umístit box na kontaktologický odpad?

Souhlasná odpověď 70,6 % respondentů je potvrzením této hypotézy.

## 9. VLASTNÍ NÁVRH ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ V KONTAKTOLOGICKÉ PRAXI

V kontaktologické praxi považujeme za odpad kartony z balení kontaktních čoček a roztoků, nádoby na roztoky, plastové i hliníkové komponenty blistrů (viz obr. č. XV a XVI) i samotné kontaktní čočky (viz obr. č. XVII). Materiály, ze kterých se odpady z kontaktologické praxe skládají, jejich jednotlivé složky a možnosti, jak je recyklovat, jsou popsány v teoretické části práce.

Nádoby na roztoky spolu s kartony jsou snadno tříditelné. V prvním případě se jedná o polyethylen, který patří do žlutých kontejnerů na tříděný odpad, a kartony pak do modrých. Jiná situace nastává u blistrů, zejména jejich hliníkových částí a u kontaktních čoček, pro které žádný současný systém třídění není vhodný. Tyto materiály dosud směřují do směsného odpadu, což přispívá ke zvětšení množství odpadu na skládkách. Pokud by však byl do praxe uveden systém třídění v optikách, kde by došlo k soustředění většího množství několika konkrétních druhů odpadů, bylo by je možné dopravit do specializovaných recyklačních firem. Tam by, před vlastním zpracováním, nejprve prošly čištěním.

Plastové komponenty blistrů by byly roztaveny a mohly by z nich být vyrobeny nové recyklované produkty, například:

- ploty
- palety
- kontejnery
- lavičky a další.



**Obrázek 15:** *Plastové blistrové komponenty*

Kovové vrstvy blistrových obalů by se recyklovaly odděleně. Jde o hliník, který je známý svými unikátními recyklačními vlastnostmi. Jeho kvality i po recyklaci nejsou snižovány, takže může být využit opakovaně. Znovuzpracování je energeticky velmi výhodné, protože při pouhém přetavení hliníku se ušetří až 95 % energie, [54] která je třeba k vyrobení primárního produktu z hliníkové rudy. Vzhledem k této skutečnosti jsou možnosti dalšího využití hliníku, jako výrobního materiálu velmi široké. Jediným omezením je propojení systému s některým z podniků, který dokáže recyklovat i tenké hliníkové fólie. Takové firmy však existují a jsou uvedeny v teoretické části práce.



**Obrázek 16:** *Kovové vrstvy blistrových obalů*

Kontaktní čočky bohužel recyklovat nelze, protože jsou vyrobeny ze síťovaných polymerů, což znamená, že jde o velmi stabilní, nerozpustný, a tedy i obtížně

recyklovatelný produkt. V případě kontaktních čoček jde zároveň o biologický odpad, který byl kontaminován nositelem. Přesto i u nich se lze zamyslet nad dalším využitím. Například vysušit tento odpad při teplotách blízkých teplotě varu vody, čímž by byl zároveň alespoň částečně dekontaminován, následně odpad v suchém stavu rozdrtit na částičky o velikosti milimetrů nebo menší a použít v technických aplikacích spojených s požadavkem zadržení vody, například:

- mulčovací kůra
- půdní závlahové systémy
- kořenové baly sadebních stromků
- absorbéry vlhkosti v uzavřených prostorech
- v případě úplné dekontaminace i jako příměs absorpčních vrstev inkontinenčních a hygienických pomůcek



*Obrázek 17: Kontaktní čočky v suchém stavu*

## **9.1 Systém třídění odpadu vzniklého v souvislosti s nošením kontaktních čoček**

Systém třídění jsem navrhla na základě svých zkušeností v prodejně optiky, kde v současné době brigádně pracuji a výsledků dotazníkové akce, viz obr. č. 10 ochota třídít odpad v optikách a obr č.11 ochota optiky umístit sběrný box.

Schématická znázornění současného nakládání s odpadem, ochoty nositelů KČ skladovat odpad z kontaktologické praxe a motivace nositelů KČ třídít tento odpad ukazuje vysoké procento ekologické odpovědnosti respondentů.

Návrh spočívá ve shromažďování použitých kontaktních čoček, a jednotlivých součástí blistrů (plastová vanička a krycí fólie, které bychom umístovali do třídících boxů (parametry a vzhled boxů je popsán dále). Odpad není potřeba nějak speciálně čistit, pokud není hliníková fólie opatřena potiskem s parametry čočky, ale tyto údaje jsou uvedené na samolepce, stačí tuto samolepku odstranit a z blistrů vylít co nejvíce zbytkového roztoku. Třídící boxy by byly umístěny ve spolupracujících optikách a zodpovědní nositelé by mohli odpad spojený s nošením kontaktních čoček nosit přímo do své optiky, nejlépe cestou na další kontrolu či pro nákup dalších čoček. Vzhledem k tomu, že podle obecného povědomí až 70 % kontaktních čoček klienti nakupují pomocí e-shopů, bylo by užitečné zapojit do systému i tyto internetové prodejce. Využít jejich informačních kanálů k osvětě a edukaci klientů, k rozšíření povědomí o třídění a recyklaci odpadu z kontaktologické praxe. Kamenné optiky a výdejní sklady spojené s každým z e-shopů vybavit sběrnými boxy a kurýrní službu, která čočky dováží ke koncovému spotřebiteli, pověřit i výběrem použitého materiálu.

Obrázek XVIII ukazuje mnou navržený sběrný box umístěný v prodejně optiky. Vlastní box jsem zakoupila v chomutovské prodejně UNI HOBBY, v sekci Technika. Jde o zásuvkový organizér, který jsem zvolila pro vhodné rozměry a příslušný počet zásuvek – 3: na kontaktní čočky, na plastové vaničky z obalů na KČ a na hliníkové části. Jako sběrný box může být, podle mého názoru, použita jakákoli nádoba nebo systém nádob, či krabic vyhovující z hlediska potřeb třídění odpadu (vhodný rozměr, materiál a hlavně 3 oddělené části) a dle požadavků optiky (design a velikost). Pro zvýšení pozornosti klientů je důležité vhodné umístění a barevné zvýraznění sběrného boxu.





*Obrázek 18: Sběrný box – umístění v prodejně*



**Obrázek 19:** Sběrný box - pohled ze strany, otevřené zásuvky



**Obrázek 20:** Sběrný box - pohled shora

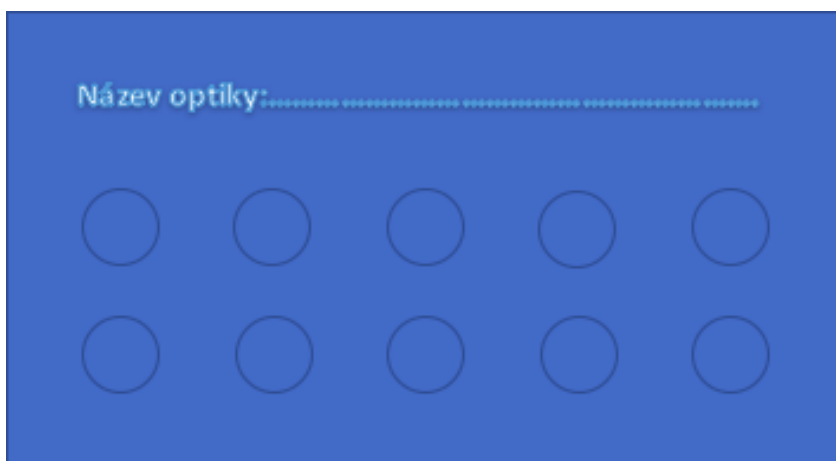
Pro zvýšení motivace nositelů KČ třídit odpad z kontaktologické praxe a zajištění pravidelného odběru kontaktních čoček z optik, navrhuji následující motivační program, založený na principu slevové karty

Na obrázku XIX je uveden návrh „slevové kartičky“, kterou by nositel KČ obdržel při účasti v třídícím programu. Donese-li nositel KČ do třídícího boxu určité množství, např. 10 setů odpadu z kontaktologické praxe, tj. 10 plastových blistrových vaniček, 10 hliníkových blistrových obalů a 10 kontaktních čoček, dostane jedno razítko do slevové kartičky. Po získání 5 razítek obdrží účastník třídícího programu slevu v určité výši, např. 100 Kč, případně procentuální slevu na další nákup kontaktních čoček.

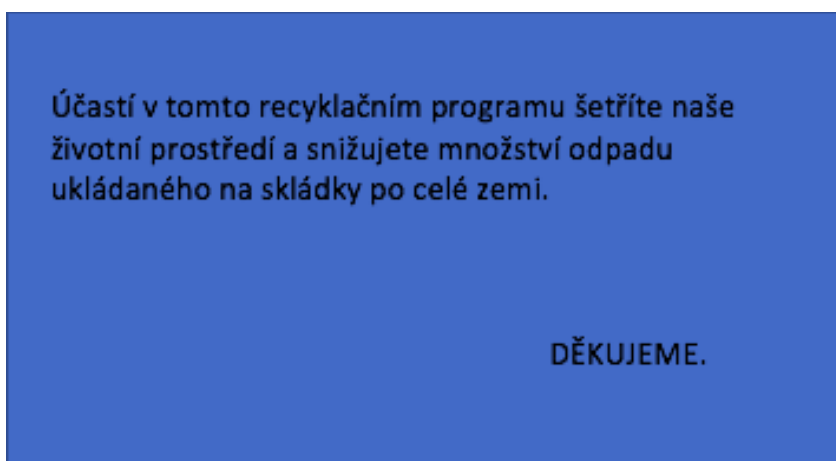
Motivační program (tím myslím počet odevzdaných setů, počet razítek a typ slevy) je dle mého názoru nutné nastavit dle aktuálních potřeb prodejen optik a také zohlednit některá fakta, k nimž jsem dospěla ve své dotazníkové akci, a sice že kontaktní čočky používají v 84 % ženy a že 85,2 % respondentů je ve věku 20 – 40 let. Právě této věkové kategorii by otázky třídění a recyklace odpadů měly být nejbližší.

Jinou variantou motivace je zálohování těchto obalů. V obou případech by byla velmi prospěšná morální záštita a propagace sběru a třídění kontaktologického odpadu

odbornými organizacemi v oboru (Česká kontaktologická společnost, Společenstvo českých optiků a optometristů) a samozřejmě, podpora velkých distribučních firem. Ty by, stejně jako provozovny optik, mohly třídění odpadu vznikajícího v souvislosti s nošením kontaktních čoček využít ke svému zviditelnění a reklamě.



**Obrázek 21:** Návrh slevové kartičky, 1. strana



**Obrázek 22:** Návrh slevové kartičky, 2. strana

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pro dosažení zadaného cíle bakalářské práce jsem se nejprve zabývala přibližným výpočtem množství vyprodukovaného odpadu nositeli kontaktních čoček během jednoho roku. Tento výpočet bohužel představuje jen velmi hrubý odhad, neboť faktorů, které do něj vstupují je mnoho a je obtížné všechny při výpočtu zohlednit. Při výpočtu jsem pracovala pouze s variantou používání měsíčních kontaktních čoček, nezohlednila jsem nositele čoček, kteří je používají nepravidelně atp. Výpočet se zároveň opírá o některé statistické údaje, jejichž validitu nebylo možné ověřit, protože příslušná čísla nejsou publikována. Orientační, byť rychlým experimentem ověřené, jsou i hodnoty hmotností jednotlivých složek odpadu z kontaktologické praxe. Přesto se domnívám, že i tento hrubý odhad je možné považovat za dostatečně kvalifikovaný a jeho výsledek dává jasnou představu o tom, že celková produkce odpadů spojených s nošením kontaktních čoček není zanedbatelná. Přitom se zaměřuje pouze na komponenty, které se běžnému třídění odpadu vymykají. Předpokládá, že ostatní použité zboží a obaly, které s nošením čoček souvisí, se staly předměty třídění a recyklace v rámci již zavedených obecných postupů. Jsou to již zmiňované kartony – papírové krabičky, v nichž jsou distribuovány blistry s čočkami, papírové obaly prostředků péče o kontaktní čočky, samotné lahve na roztoky nebo patientská pouzdra. Ta stojí za zmínku i v souvislosti s používáním peroxidových systémů, neboť v běžném komunálním odpadu zpravidla končí pouzdra s naneseným platinovým katalyzátorem pro neutralizaci přebytečného peroxidu.

Po provedení výpočtu jsem stanovila 3 hypotézy a pro zjištění, zda jsou tyto předpoklady správné, jsem sestavila dva druhy dotazníků, pro nositele kontaktních čoček a pro optiky, abych problematiku třídění odpadu vzniklého v souvislosti s nošením kontaktních čoček a ochotu k němu mohla posoudit z protikladných úhlů pohledu.

O vyplnění dotazníku pro nositele čoček jsem požádala 100 probandů, a to při jejich návštěvě optiky, kde v současné době pracuji. Z tohoto počtu bylo 81 nositelů ochotno dotazník vyplnit, 13 mužů a 68 žen. Z vlastní zkušenosti mohu potvrdit, že přibližně 75 % zákazníků v kontaktologické praxi jsou ženy. Hlavní příčiny spatřuji jednak v jejich vyšší motivaci – větší péči o vzhled, jednak v lepší schopnosti manipulace s čočkami. Muži volí variantu používání čoček, nejčastěji pro sportovní účely.

Dotazníková akce dále ukázala skutečnost, že většina nositelů kontaktních čoček je ve věku 20 – 40 let, což mohu také potvrdit na základě své pracovní zkušenosti v optice.

Dále jsem rozeslala dotazník do 50 prodejen optiky, ale zpět jsem a obdržela pouze 17 vyplněných dotazníků. Chápu, že v současné složité době nebylo pro majitele nebo vedoucí pracovníky obesaných optik mé dotazníkové šetření prioritou. Z tohoto úhlu pohledu se návratnost 34 % jeví jako úspěšná. Nicméně tento fakt je nutné zohlednit při úvahách o relevanci výsledků pro skutečnost.

Ochotu třídít odpad vyjádřilo 100 % respondentů, s umístěním třídících boxů souhlasilo „pouze“ 71 %. Obě tato čísla mi připadají relativně vysoká a ukazují na vysokou míru ekologické zodpovědnosti. Na druhou stranu je třeba si uvědomit, že odpověděla pouze třetina dotazovaných, což zpravidla bývají Ti pečlivější a zodpovědnější. Stejně tak příslib třídění odpadu nic nestojí, proč ho nevyjádřit. Umístění sběrných boxů už představuje konkrétní opatření, tedy byť drobnou, přesto komplikaci. Tím lze vysvětlit onen pokles na 71 %, přestože i zde šlo pouze o vyjádření ochoty, nikoliv o vlastní realizaci. Takže je třeba připustit, že skutečnost bude mnohem méně optimistická. To znamená, že by byla zapotřebí vyšší motivace pro optiky, aby došlo ke zvýšení reálného zájmu o třídění i ochoty umístit v optice třídící box. Navíc je třeba si uvědomit, že původní odhad množství odpadu vznikajícího v souvislosti s nošením kontaktních čoček vychází z faktu, že všechny čočky jsou distribuovány pouze prostřednictvím provozoven očních optik. Realita je však významně jiná. Již dříve jsem v práci uvedla, že zhruba 70 % prodeje kontaktních čoček je realizováno prostřednictvím e-shopů, takže pro skutečně účinné třídění a recyklaci kontaktologického odpadu je třeba zainteresovat i internetové prodejce. Pokud by se to podařilo, šlo by o velmi významný počin jak z hlediska informovanosti a edukace koncových spotřebitelů, tak i vlastního odpadového hospodářství. Určitá šance je v aktuálnosti trendu a s tím související možností, že tento trend uchopí jak moderní společnosti na trhu s čočkami, tak i sami klienti, neboť mám více signálů, že se klienti o třídění a recyklaci odpadů kontaktních čoček a jejich obalů zajímají.

# ZÁVĚR

V rámci předložené bakalářské práce jsem se zabývala nejprve odpady obecně. Jejich vznikem a kategorizací. Úhel pohledu jsem postupně zaměřovala na odpady z chemického průmyslu, následně plastové odpady, na jejich třídění a recyklaci. V dalších kapitolách jsem popsala materiály různých druhů kontaktních čoček, jak měkkých, tak tvrdých, včetně detailního popisu jejich chemických struktur. Dále jsem se věnovala materiálům pro distribuci, uchování a péči o kontaktní čočky a jejich recyklaci. Za důležitou část považuji popis aktivity firmy Bausch&Lomb, která se této problematice věnuje v USA a zatím je v tomto ohledu mezi výrobci kontaktních čoček jediná na světě. Vypočítala jsem přibližné množství odpadu z kontaktologické praxe v České Republice za rok. Za řady zjednodušujících předpokladů jsem dospěla k výsledku minimálně 26 582 kg. Domnívám se, že i tento hrubý odhad je možné považovat za dostatečně kvalifikovaný a jeho výsledek dává jasnou představu o tom, že celková produkce odpadů spojených s nošením kontaktních čoček není zanedbatelná.

Připravila jsem dotazníkové šetření pro nositele kontaktních čoček a provozovny optik. Z jeho vyhodnocení vyplynula ochota třídít a recyklovat odpady vzniklé v souvislosti s nošením kontaktních čoček.

Vytvořila jsem návrh organizace nakládání s odpady vznikajícími v kontaktologické praxi přímo v optikách. Pro minimalizaci uhlíkové stopy třídění a recyklace těchto odpadů je nezbytné zapojit se v co nejvyšší míře do již existujících systémů třídění a sběru odpadů.

Věřím, že se tato práce stane malým příspěvkem k řešení problému znečištění životního prostředí, příspěvkem k problematice odpadů v kontaktologii. Doufám, že poskytne, když ne návod, tak alespoň zdroj užitečných informací pro všechny zúčastněné v oboru, komu není problematika vzniku, dalšího zpracování a případně i využití odpadů lhostejná.

# SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Česká televize. Česká televize. <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2428387-plastovy-kontinent-v-tichem-oceanu-uz-je-vetsi-nez-nemecko-francie-a-spanelsko>.
- [2] Eriksen, T. H. *Odpady, Odpad ve světě netušících vedlejších účinků*; DOPLNĚK, 2015.
- [3] Kizlink, J. *Nakládání s odpady*; Fakulta chemická VUT: Brno, 2007.
- [4] Kepák, F. *Průmyslové odpady*; Univerzita Jana Evangelisty Puskyněv Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí: Ústí nad Labem, 2015.
- [5] Mikoláš, J. *Recyklace průmyslových odpadů*, 1.st ed.; SNTL: Praha, 1988.
- [6] Koller, J. *Ochrana prostředí v průmyslu*; Technické listy: Praha, 1984.
- [7] Kacetl, L.; Sákra, T.; et al. *Ekologické aspekty anorganických a organických technologií*; VŠCHT: Pardubice, 1987.
- [8] Woodsice, G. *Hazardous Materials and Hazardous Waste Management*, 2nd ed.; Wiley, 1999.
- [9] Maroušek, V.; *Chemie a technologie monomerů*; Technické listy: Praha, 1985.
- [10] Český statistický úřad. <https://www.czso.cz/csu/czso/cris/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-a-produkce-druhotnych-surovin-v-roce-2018> .
- [11] Kizlink, J. *Odpady : sběr, zpracování, využití, zneškodnění, legislativa*; CERM: Brno, 2014.
- [12] Třídění odpadu. <https://www.trideniodpadu.cz/plasty> .
- [13] Tölgyessy, J.; Piatrik, M. *Ochrana prostredia v priemysle*; Edičné stredisko Slovenské vysoké školy technické: Bratislava, 1988.
- [14] Nabil, M. *Plastics waste management : disposal, recycling, and reuse*; Marcel Dekker: New York, 1993.
- [15] Zamorano, M.; Brebbia, C.; Kungolog, A.; Popov, V.; Itoh, H. *Waste management and environment*, 6th ed.; Witpress, 2008.
- [16] Michálek, J.; Chmelíková, D.; Chylíková Krumbholcov, E.; Podešva, J.; Dušková Smrčková, M. Historie kontaktních čoček aneb jak to bylo doopravdy. *Chemické listy III*. **2018**.
- [17] Efron, N. *Contact lens practice*; Elsevier: London, 2018.

- [18] Sulek M. *Materiály kontaktních čoček v současnosti*. Brno, 2006. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská Fakulta. Vedoucí práce MUDr. Zdeňka Mašková.
- [19] Michálek J. Přednášky z předmětu Makromolekulární chemie, ČVUT FBMI Kladno
- [20] Efron, N. *Contact lens practice*; Buitenwerf Heinemann, 2010.
- [21] Smetana K., Dvořánková B., Jelínková M., Michálek J. and Vacík J.: *J. Mater. Sci.: Mater. Med.* 8 (1997) 587.
- [22] Dvořánková B., Holíková Z., Vacík J., Königová R., Kapounková Z., Michálek J., Prádný M. and Smetana K.: *Int. J. Dermatol.* 42 (2003) 219–223.
- [23] Sirc J., Hrib J., Vetric M., Hobzova R., Zak A., Stankova B., Slanar O., Hromadka R., Sandrikova V., Michalek J.: *Physiological Research*. Roč. 64, Suppl. 1 (2015), s. S51-S60
- [24] Peregrin J. H., Janoušek R., Kautznerová D., Oliverius M., Sticová E., Prádný M., Michálek J.: *Physiological Research*. Roč. 64, č. 6 (2015), s. 841-848
- [25] Hrib J., Sirc J., Lesny P., Hobzova R., Duskova-Smrckova M., Michalek J., Smucler R.: *Journal of Materials Science-Materials in Medicine*. Roč. 28, č. 1 (2017), s. 12\_1 - 12\_8
- [26] Ahn J. S., Choi H. K. and Chun M. K.: *Biomaterials* 23 (2002) 1411.
- [27] Labský J., Vacík J., Hošek P.: CZ patent 293419
- [28] Zignani, M., Bernatchez S. F. and Le Minh T.: *J. Biomed. Mater. Res.* 39 (1998) 277.
- [29] Oliver V., Faucheux N. and Hardouin P., *Drug Discovery Today* 9 (2004) 803.
- [30] Ind T. E. J., Shelton J. C. and Shepherd J. H.: *Br. J. Obstetrics Gynaecol.* 108 (2001) 1013, Springer.
- [31] Šefc L., Prádný M., Vacík J., Michálek J., Povýšil C., Vítková, I., Halaška M., and Šimon V.: *Biomaterials* 23 (2002) 3711.
- [32] Šefc L., Prádný M., Vacík J., Michálek J., Povýšil C., Vítková, I., Halaška M., and Šimon V.: *Biomaterials* 23 (2002) 3711. [20] Smetana K., Dvořánková B., Jelínková M., Michálek J. and Vacík J.: *J. Mater.*
- [33] *Chem. Listy* 112, 490 – 497 (2018)
- [34] Wichterle O., Lím D.: *Nature* 185, 117 (1960).
- [35] Michálek J., Chmelíková D., Chylíková Krumbholcová E., Podešva J., Dušková Smrčková M.: *Chemické listy*. Roč. 112, č. 3 (2018), s. 143-147



- [36] Efron N.: “The International Contact Lens Year Book” (W.B.Saunders Company Ltd., 1993).
- [37] Efron N.: “Contact Lens Practice” (Butterworth—Heinemann, New Delhi, 2002), p. 73 - 76.
- [38] Martín R. G., Gills J. P. and Sanders D. R., “Foldable Intraocular Lenses” (Slack Inc., NJ, USA, 1993), Section II and III.
- [39] Vacík J., Kopeček J., Lím D., Wichterle O.: CZ patent 146642
- [40] Michálek J. Přednášky z předmětu Kontaktní čočky I., Kontaktní čočky II., ČVUT FBMI Kladno, 2017/2018
- [41] Michálek, J. *Základní kurz školení kontaktologů: Materiály a technologie pro výrobu kontaktních čoček*; Česká kontaktologická společnosti: Praha, 2004.
- [42] Potvrzeno firmou Bausch+Lomb
- [43] Termoplasty - základní druhy, 2019. Publi. <https://publi.cz/books/180/18.html> .
- [44] Gogola, J. Možnosti recyklace výrobků z polypropylénů. Bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008.
- [45] Hliníkový odpad, 2005. Ekolist. <https://ekolist.cz>.
- [46] The ONE by ONE recycling Program. Bausch+Lomb.  
<http://www.bausch.com/our-company/one-by-one-recycling>.
- [47] Terracycle. <https://www.terracycle.com/en-US/>.
- [48] Uhlíková kalkulačka. Hnutí DUHA. <https://hnutiduha.cz/temata/uhlikova-kalkulacka-0> .
- [49] Wackernagel, M.; Beyers, B.; Rout, K. *Ecological Footprint*, 3rd ed.; New Society Publishers, 2019.
- [50] Červinka, P. *Ekologie a životní prostředí*; Nakladatelství České geografické společnosti, s.r.o., 2014.
- [51] Ústní informace J. Michálek, bývalý prezident ČKS
- [52] E-mailová informace P. Langer, Alensa, s.r.o.
- [53] Obyvatelstvo, 2019. Český statistický úřad.  
[https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo\\_lide](https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo_lide) .
- [54] Recyklace hliníku. Odpady. <https://www.odpady-online.cz/recyklace-hliniku/> .

# SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 1:</b> Plovoucí plastový odpad v Pacifickém oceánu - <a href="https://storymaps.arcgis.com/stories/51d416fbb4884fef99b175602c010b18">https://storymaps.arcgis.com/stories/51d416fbb4884fef99b175602c010b18</a> .....	2
<b>Obrázek 2:</b> Dotazník pro nositele KČ .....	30
<b>Obrázek 3:</b> Dotazník pro nositele KČ - pokračování .....	31
<b>Obrázek 4:</b> Dotazník pro optiky .....	32
<b>Obrázek 5:</b> Schématické znázornění pohlaví nositelů KČ .....	33
<b>Obrázek 6:</b> Schématické znázornění věkové kategorie nositelů KČ.....	34
<b>Obrázek 7:</b> Schématické znázornění čoček, které nositelé kupují podle frekvence výměn.....	35
<b>Obrázek 8:</b> Schématické znázornění četnosti nošení .....	36
<b>Obrázek 9:</b> Schématické znázornění místa nákupu KČ .....	37
<b>Obrázek 10:</b> Schématické znázornění současného nakládání s odpadem .....	38
<b>Obrázek 11:</b> Schématické znázornění ochoty nositelů KČ skladovat odpad z kontaktologické praxe .....	39
<b>Obrázek 12:</b> Schématické znázornění potřeby motivace nositelů KČ třídít odpad z kontaktologické praxe .....	40
<b>Obrázek 13:</b> Pořadí dodavatelů podle objemů prodeje (seřazeno od největšího objemu prodeje) .....	40
<b>Obrázek 14:</b> Schématické znázornění ochoty třídít odpad v optikách .....	41
<b>Obrázek 15:</b> Plastové blistrové komponenty .....	45
<b>Obrázek 16:</b> Kovové vrstvy blistrových obalů.....	45
<b>Obrázek 17:</b> Kontaktní čočky v suchém stavu .....	46
<b>Obrázek 18:</b> Sběrný box – umístění v prodejně .....	48
<b>Obrázek 19:</b> Sběrný box - pohled ze strany, otevřené zásuvky .....	49
<b>Obrázek 20:</b> Sběrný box - pohled shora .....	49
<b>Obrázek 21:</b> Návrh slevové kartičky, 1. strana .....	50
<b>Obrázek 22:</b> Návrh slevové kartičky, 2. strana .....	50

## SEZNAM VZORCŮ

<b>Vzorec 1:</b> Kyselina methakrylová.....	14
<b>Vzorec 2:</b> Methylmetakrylát .....	15
<b>Vzorec 3:</b> HEMA .....	15
<b>Vzorec 4:</b> EDMA .....	15
<b>Vzorec 5:</b> PHEMA, řídce síťovaný EDMA .....	16
<b>Vzorec 6:</b> DEGMA (n=2) a TEGMA (n=3).....	17
<b>Vzorec 7:</b> GMMA .....	17
<b>Vzorec 8:</b> Glyceroldimethakrylát GDMA.....	17
<b>Vzorec 9:</b> Akrylamid.....	18
<b>Vzorec 10:</b> N,N'-metylen-bis-akrylamid .....	18
<b>Vzorec 11:</b> N-vinylpyrrolidon.....	18
<b>Vzorec 12:</b> Polydimethylsiloxan .....	19
<b>Vzorec 13:</b> Obecný vzorec polysiloxanů.....	19
<b>Vzorec 14:</b> Polyvinylalkohol.....	19

## SEZNAM TABULEK

<b>Tabulka 1:</b> Vývoj celosvětové produkce syntetických polymerů (10 <sup>6</sup> tun) .....	5
<b>Tabulka 2:</b> Přehled produkce komunálního odpadu v letech 2014 až 2018.....	5