

Diplomová práce

Transport CO₂ membránou

Studijní program:

N3957 Průmyslové inženýrství

Studijní obor:

Produktové inženýrství

Autor práce:

Bc. Pavlína Fenclová

Vedoucí práce:

prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

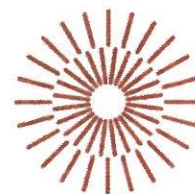
Katedra materiálového inženýrství

Konzultant práce:

Ing. Marie Kašparová, Ph.D.

Katedra materiálového inženýrství

Liberec 2023



Zadání diplomové práce

Transport CO₂ membránou

Jméno a příjmení:

Osobní číslo:

Studijní program:

Studijní obor:

Zadávací katedra:

Akademický rok:

Bc. Pavlína Fenclová

T20000322

N3957 Průmyslové inženýrství

Produktové inženýrství

Katedra hodnocení textilií

2020/2021

Zásady pro vypracování:

- 1) Rešerše na téma managementu CO₂ v interiéru a transportu CO₂ v polymerních membránách.
- 2) Na základě rešerše navrhnete a sestavte zařízení na sledování transportu CO₂ membránou.
- 3) Pomocí připraveného zařízení otestujte dostupné membrány, dle možností použijte vláknenné materiály jako nosiče polymerní vrstvy membrány.
- 4) Navrhnete a připravte membrány vhodné pro management CO₂.
- 5) Výsledky diskutujte z hlediska praktické použitelnosti v interiérech.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy: 50 – 60 normostran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

- NIEMA, A., BEAR, J. a BENSABAT, J.** *Geological Storage of CO₂ in Deep Saline Formations*. Netherlands : Springer Netherlands, 2017. ISBN 978-94-024-0994-9.
- MACIEL-CERDA, A.** *Membranes*. Netherlands : Springer, 2017. ISBN 978-3-319-45314-9.
- MILITKÝ, J.** *Textilní vlákna: klasická a speciální*. V Liberci: Technická univerzita : Učební texty. Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-844-1.
- BRADLEY, R. L.** *Climate alarmism reconsidered*. London : IEA, 2003. ISBN 80-248-0636-3.
- GREENWOOD, N. N., EARNSHAW, A.** *Chemie prvků: Svazek 2*. Praha : Informatorium, 1993. ISBN 80-85427-38-9.

Vedoucí práce: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Konzultant práce: Ing. Marie Kašparová, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce: 22. dubna 2021
Předpokládaný termín odevzdání: 5. ledna 2023

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

Ing. Roman Knížek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 10. listopadu 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

2. ledna 2023

Bc. Pavlína Fenclová

Poděkování

Upřímně děkuji vedoucímu diplomové práce panu profesorovi Ing. Jakubovi Wienerovi, Ph.D. za vedení diplomové práce, byl mi skvělým a vstřícným poradcem.

Dále bych chtěla touto cestou poděkovat paní Ing. Marii Kašparové, Ph.D., která mi byla po celou dobu skvělou konzultantkou při zpracování a testování pokusů v laboratoři. A byla ochotna při jakémkoliv mém zaváhání poradit a problémy se mnou vyřešit.

Tato práce byla podpořena studentskou grantovou soutěží Technické univerzity v Liberci v rámci projektu č. SGS-2022-6069.

Děkuji za pevnou ruku, která mě vedla při zpracování. Především chci poděkovat celé rodině a přátelům za podporu při studiu.

Anotace

Cílem této diplomové práce je vývoj kompozitních membrán s řízeným prostupem oxidu uhličitého (CO₂) pro jeho management v interiéru. Snahou je vyvinout optimální membránu, která zajistí odvádění nebezpečného CO₂ z interiéru, ve kterém dochází k jeho uvolňování z důvodu dýchání přítomných osob.

Teoretická část se věnuje literární rešerši na téma oxid uhličitý, dále seznamuje s jeho vlastnostmi a jeho tvorbou při spalování. Hlavní kapitoly se zabývají vlastnostmi CO₂, textilními membránami, použitím CO₂ a jeho sledováním v interiérech a exteriérech.

Praktická část se zaměřuje na tvorbu membrán pro řízený prostup CO₂. Praktický postup začíná vytvořením zařízení pro přípravu membrán z roztoků. Na tomto zařízení jsou poté připraveny řady membrán s očekávatelnou propustností pro CO₂. Tyto membrány na prostup CO₂ jsou následně testovány za modelových podmínek. Veškeré použité přístroje a postupy jsou v experimentální části popsány.

Klíčová slova:

Oxid uhličitý, membrány, interiér.

Annotation

The aim of this thesis is the development of composite membranes with controlled permeation of carbon dioxide (CO₂) for its management indoors. The goal is to develop an optimal membrane that would ensure the removal of dangerous CO₂ from the interior, which is taken out by the breathing of the people present.

The theoretical part is based on a literature review on a carbon dioxide starting with its properties and its formation during combustion. The main chapters deal with the properties of CO₂, textile membranes, the use of CO₂, and its monitoring indoors and outdoors.

The practical part is focused on the creation of membranes for controlled CO₂ permeation. A device for the preparation of membranes from solutions was thus created. A series of membranes with expected permeability to CO₂ were prepared on this equipment. These membranes were subsequently tested for CO₂ permeation under model conditions. The experimental section describes all the apparatus and procedures used.

Keywords:

Carbon dioxide, membranes, interior.

Obsah

Úvod	12
1. Teoretická část	13
1.1 Oxid uhličitý – CO₂	13
1.2 Vlastnosti CO₂	13
1.3 Použití CO₂	16
1.4 Stanovení koncentrace CO₂.....	16
1.5 Vznik CO₂ při spalování paliv	17
1.6 Klimatické účinky CO₂.....	19
1.7 Vznik CO₂ při dýchání.....	20
1.8 Biologické účinky CO₂	22
1.9 Membrány.....	23
1.9.1 Druhy textilních membrán	23
1.9.2 Nanomembrány.....	24
2. Praktická část.....	27
2.1 Formulace problému a postup řešení.....	27
2.2 Použité materiály a jejich příprava	27
2.1.1 Vláknenná forma polyamidových nanovláken	27
2.2.1 Použité chemikálie.....	28
2.2.1.1. Polyvinylalkohol (PVA).....	28
2.2.1.2. Kasein	28
2.2.1.3. Chitosan.....	29
2.2.1.4. Nanocelulóza	30
2.3 Postup přípravy membrán	30
2.3.1 Sušení vzorků.....	32
2.3.1.1. Postup sušení	33
2.4. Vývoj kompozitních membrán.....	33
2.4.1 Membrána z PVA	33
2.4.2 Membrána z alkalického kaseinu.....	34
2.4.3 Membrána z kyselého kaseinu	35
2.4.4 Membrána z chitosanu	35
2.4.5 Membrána z nanocelulózy	36
2.4.6 Úprava výroby nevyhovujících membrán.....	37
2.5. Experiment testovací pokus přehlcené místnosti oxidem uhličitým.....	38

2.5.1	Postup přípravy experimentu	39
2.5.1.1.	Měřicí přístroj CL11	39
2.5.1.2	Roztok oxidu uhličitého	40
2.6	Experiment měření CO₂	40
2.6.1	Postup měření	40
2.6.1.1	Datalogger COMET – U 3430	41
2.6.1.2	Ostatní příslušenství na experiment měření CO ₂	42
2.7	Přehled testovaných vzorků	44
2.7.1	Vzorek A – polyamid 6, fólie	45
2.7.2	Vzorek B – polyamid 6, textilie (lící strana)	45
2.7.3	Vzorek C – hliníková fólie (alobal)	45
2.7.4	Vzorek D – potravinová fólie, termoplast	46
2.7.5	Vzorek E – viskóza se syntetickými vlákny, textilie	46
2.7.6	Vzorek G - milife	47
3.	Výsledky a diskuze výsledků	48
Závěr	59
Seznam použité literatury	60
Seznam obrázků	63
Seznam tabulek	65

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Název
%	procento
°	stupeň
°C	stupeň celsia
atd.	a tak dále
apod.	a podobně
cN	centinewton
cN/cm ³	centinewton na centimetr krychlový
cm	centimetr
cm ²	centimetr čtverečný
cm ³	centimetr krychlový
CO	bavlna
č.	číslo
dm	decimetr
dm ²	decimetr čtverečný
dtex	hmotnost jednoduché nitě o délce 10 000 metrů
FFV	frakční volný objem
g	gram
HS	horkovzdušný sterilizátor
Kč	koruna česká
kg	kilogram
kJ	kilojoul
m	metr
m ²	metr čtverečný
m ³	metr krychlový

mg	miligram
mm	milimetr
mm ²	milimetr čtverečný
mm ³	milimetr krychlový
ml	mililitr
MPa	mega pascal
např.	například
obr.	obrázek
Pa	pascal
pH	vodíkový exponent – míra kyselosti vodného roztoku
ppm	parts per milion (částice za milion)
PA 6	polyamid
PAC	polyakryl
PC	osobní počítač
PE	polyetylen
PES	polyester
PP	polypropylen
PVA	polyvinylalkohol
sc-CO ₂	superkritický oxid uhličitý
tj.	to je
tzv.	takzvaně, takzvaný
tzn.	to znamená
USB	univerzální sériová sběrnice
USD	americký dolar
WO	vlna

Úvod

Motivem k tomuto výzkumu mi byla vlastní zkušenost z dob studia. Při výuce v učebnách jsem se často potýkala s únavou, a nutné větrání v místnostech sice můj stav zlepšilo, ačkoliv jen na omezený okamžik, nebo se v druhém případě vzduch v místnosti až moc ochladil. Proto se zdálo vhodné položit si otázku, zda by nebylo možné vypustit CO₂ ven z místnosti i bez větrání a použití klimatizace, a to například nahrazením skla v oknech fólií prostupnou pro CO₂? Na tomto základě jsem se rozhodla prostřednictvím této diplomové práce vytvořit kompozitní membránu, která by měla vlastnosti takové, že v místnosti by byl vzduch optimalizován natolik, aby se nemuselo větrat či použít klimatizaci.

Tato práce je chronologicky rozčleněna na tři kapitoly, z nichž dvě kapitoly se věnují teoretické a praktické části, a třetí identifikuje a diskutuje získané výsledky. V úplném závěru je prostor věnován shrnutí výsledků práce.

Teoretická část je tvořena podkapitolami zabývajícími se v první řadě membránami, které řídí prostup oxidu uhličitého (CO₂). Za další identifikuje místa/prostor, kde se CO₂ vyskytuje, a zejména jeho škodlivost především pro lidský organismus s ohledem na to, jak zabránit šíření CO₂. Zvláštní zaměření je pak na vysoký obsah CO₂ v uzavřených místnostech, kde tento prvek může lidský organismus vysokou mírou ohrozit na zdraví či životě. V této části je proto nastíněná stěžejní problematika této práce se zaměřením na definice předem nastavených kapitol využitých pro následné řešení výzkumu. Shrnutí těchto základních pojmů je potřebné k nastavení postupu v práci a zároveň k jeho pochopení.

Praktická část popisuje daný postup měření a experimentální část výroby membrán a jejich testování řízení prostupu oxidu uhličitého (CO₂). Tato část je zaměřená na experiment, který se zabývá řízeným prostupem CO₂ skrz textilní membrány. Experiment je založen na vhodné volbě textilní membrány, pro řízený prostup a odstraňování CO₂ z místnosti. Daný experiment a veškeré postupy, které byly zvoleny, jsou popsány a vysvětleny v této kapitole. Pro přehlednost výsledků jsou z naměřených dat vytvořeny grafy.

V závěrečné kapitole jsou shrnuty výsledky za pomoci grafů, které je vyobrazují. Výsledky jsou v této části podrobněji vysvětleny.

1. Teoretická část

V této části je nastíněna problematika diplomové práce, která blíže shrne teoretickou část z hlediska dalších kapitol. Ta slouží k shrnutí základních pojmů potřebných k porozumění a dalšímu zpracování této práce.

1.1 Oxid uhličitý – CO₂

Oxid uhličitý, též známý pod značkou CO₂, se nachází všude kolem nás. Nalezneme jej nejen ve vzduchu, ale i vodě. Ve vzduchu je CO₂ důležitým plynem, který může být při vysokých koncentracích nebezpečný pro zdravý organismus, a to jak člověka, tak rostlin i zvířat.

Podvojně sloučeniny kyslíku s dalšími prvky nazýváme oxidy. Oxidy jsou označovány za významnou skupinu anorganických sloučenin. Druhy oxidů se dělí podle jejich charakteru na kyselé, zásadité, amfoterní a neutrální. [1]

Oxidy kyselé se za pomoci vody mohou slučovat na kyseliny. Tyto oxidy mají některé prvky nekovové, které jsou nazývané anhydridy kyselin. Co se týče oxidů zásaditých, ty jsou také zvané anhydridy zásad. Pokud se tyto anhydridy zásad sloučí s vodou, mohou vytvořit zásady. Oxidy amfoterní mají kombinované vlastnosti předchozích charakterů oxidů kyselého a zásaditého typu. Oxid neutrální může být například voda, zároveň se do této skupiny řadí oxid uhelnatý. [1]

1.2 Vlastnosti CO₂

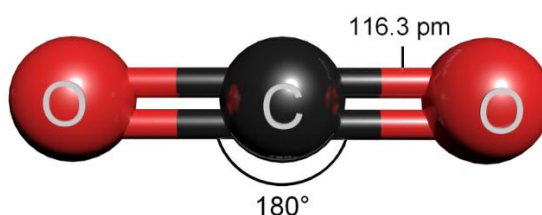
Oxid uhličitý je nejčastěji definován jako plyn ve vodě málo rozpustný, a to bez zápachu či barvy. Hromadí se při zemi; z důvodu jeho vyšší molární hmotnosti, která jej činí těžším než vzduch. Vzniká především důsledkem dýchání, ale také při procesech hniloby a kvašení. [2]

Vzhledem k tomu, že je tato látka schopna dusit plameny, využívá se také k hašení ohně. V atmosféře je jeho objemové množství přibližně 0,04 % (407 ppm), toto množství se postupem času zvyšuje a tím podporuje tzv. skleníkový efekt. [2]

Skleníkový efekt je proces, při kterém atmosféra způsobuje ohřev planety Země tím způsobem, že propouští sluneční záření. Tepelné záření o větších vlnových délkách vyzařované z povrchu planety Země je absorbováno, čímž zamezuje okamžitému úniku záření do prostoru. [3]

Pokud jde o jeho výskyt, skleníkový efekt se na Zemi nachází přirozeně už od jejího vzniku. Jeho přítomnost je dokonce velmi důležitá, přičemž v případě, že by se na Zemi nevyskytoval žádný tento plyn, klesla by průměrná teplota povrchu Země na teplotu - 18 °C. Po tomto ochlazení zemského povrchu by pomalu zanikl život na planetě Zemi. Z toho vyplývá skutečnost, že skleníkový efekt je nezbytný pro život na Zemi. V rámci lidské činnosti dochází k vytváření tzv. antropogenního skleníkového efektu, který se řadí ke skleníkovému efektu. Mezi nejčastější procesy, při kterých tento jev vzniká, patří spalování fosilních paliv a kácení lesů. [3]

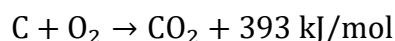
Dalším důležitým pojmem je teorie hybridizace. Jedná se o proces, při kterém lze odvodit vazebné poměry oxidu uhličitého. Mezi každým atomem uhlíku a kyslíku se vyskytuje dvojná vazba, viz obr. 1. Velkou stálost molekuly zajistí vysoká pevnost vazeb mezi uhlíkem a kyslíkem. Oxid uhličitý je chemicky reaktivní a jeho reakce má velký význam v průmyslu. [2]



Obrázek 1: Kuličkový model molekuly CO₂ [4]

Pokud jde o zkapalnění oxidu uhličitého, to lze provést při libovolné teplotě mezi jeho tzv. trojným bodem, který má hodnotu - 56,6 °C a bodem kritickým přibližně 31 °C (7,63 MPa). [2] Co se týče pevného stavu, v této formě se oxid uhličitý nazývá suchý led, který je možné získat pomocí rozpínání (expanze) kapalného CO₂ z tlakové láhve. V láhvi za pomoci přetlaku vzniká sníh, který je mechanicky stlačitelný do bloků požadovaných tvarů. [2]

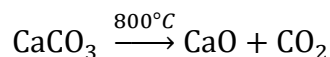
Oxid uhličitý lze vyrobit v laboratoři či průmyslově. Nejjednodušším způsobem, kterým oxid uhličitý vzniká, je spalováním uhlíku za přebytku kyslíku.



Příprava v laboratoři se provádí za pomoci působení minerální kyseliny (např. kyselina chlorovodíková), která rozloží uhličitán vápenatý (vápenec).



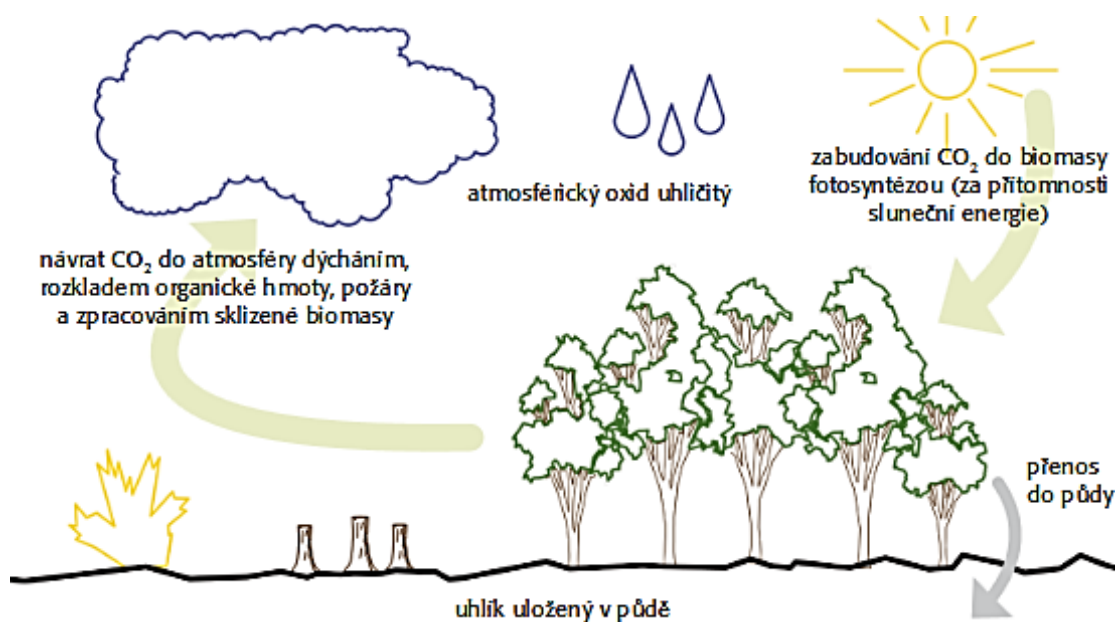
Jako vedlejší produkt se CO₂ vyrábí průmyslově. Při teplotách 800 °C ve vápenkách pomocí tepla je nutné rozložit vápenec a tím vznikne pálené vápno.



Vedle laboratorní přípravy a průmyslové výroby oxidu uhličitého, je možné prvek získat z kouřových plynů vznikajících ze spalování uhelných paliv, nebo také pomocí fragmentačních procesů při vápencovém vysokoteplotním procesu kalcinace. Kalcinace představuje proces, při kterém dochází pomocí separace z jednoho tuhého materiálu k vytvoření plynu a z druhého materiálu tuhá látka. [2]

V rámci samotného výskytu uhlíku, je důležitou součástí jeho koloběhu rostlinný proces tzv. fotosyntézy, která využívá oxid uhličitý. Rostliny prostřednictvím barviva chlorofylu a zároveň energie ze slunečního záření vytvářejí glukózu, která je potřebná pro jejich život. Kromě oxidu uhličitého a také světla, potřebují rostliny pro svůj růst další látky, mezi které se řadí minerály a voda. [5]

Co se týče života na Zemi, pro ten je nezbytný zejména kyslík, který se však při tomto biochemickém procesu považuje za odpadní produkt. Je důležité zmínit, že kyslík, který se uvolňuje z rostlin, nemá původ v oxidu uhličitém, ale ve vodě přítomné přímo v rostlině. Koloběh uhlíku je vyobrazen na obr. 2. Celý koloběh začíná tím, že je uhlík z atmosféry zachycen rostlinou, která ho ve formě oxidu uhličitého přenesla do půdy skrz kořeny. V půdě je využíván různými organismy, které ho poté svým dýcháním navrátí v podobě oxidu uhličitého znovu do atmosféry. Oxidací sloučenin vzniklých v procesu fotosyntézy je pak možné využít solární energii. Tato oxidace využívá kyslík proudící z atmosféry na planetu Zemi a vzniklým produktem je oxid uhličitý. [5]



Obrázek 2: Koloběh uhlíku [6]

1.3 Použití CO₂

Tento plyn je velmi důležitou průmyslovou chemikálií. Využití CO₂ v průmyslu souvisí zejména s jeho fyzikálními vlastnostmi. Oxid uhličitý je využíván v pevném, kapalném i plynném skupenství. Ve svém pevném stavu se používá v laboratořích, a to jako mrazicí látka a chladivo. Dále je možné CO₂ využívat kupříkladu při výrobě zmrzliny, či k uchování masa a zmražených potravin. Plynný oxid uhličitý se používá jako plyn pro inertní atmosféru. Inertní plyny jsou plyny, které v důsledku svých chemických reakcí nepoškodí, ani nijak nezničí zkoumaný vzorek. Plynný oxid uhličitý je ve velkém měřítku vyráběn pro šumivé nápoje. V kapalném skupenství má oxid kapalný využití za účelem rychlého ochlazení, což se použije například do hasicích přístrojů. Tento plyn se používá pro neutralizování alkalických odpadních vod a při sváření jako inertní ochranný plyn. [2]

1.4 Stanovení koncentrace CO₂

Pro výpočet obsahu CO₂ ve vzduchu či místnosti se stanovuje jeho koncentrace, která slouží ke zjištění přehlcení oxidu uhličitého v daném prostoru. Ke stanovení koncentrace se používají již několik let elektronické měřiče, nejčastěji pak měřiče na koncentraci CO₂ se zabudovaným USB modulem. Některé přístroje obsahují USB modul, který umožňuje rychlejší přenos dat z přístroje do počítače. Měřiče nového typu zaznamenávají naměřené hodnoty rovnou do počítače, pokud s nimi komunikuje přes USB modul. [7]

Dané meze koncentrací CO₂ jsou typově rozlišovány z hlediska míry, do jaké může být CO₂ ohrožující na životě. Každá mez tak určuje hodnoty přehlcení CO₂. Vysoká vlhkost v místnosti či budově může způsobit vysokou koncentraci CO₂ a tím i následky pro zdraví člověka. Možnost, jak hladinu těchto hodnot snížit na stav neohrožující zdraví, je dostatečně v budově větrat. Větráním se docílí stavu, kdy se „vydýchaný“ vzduch se zvýšeným obsahem oxidu uhličitého vymění za čerstvý, čímž se docílí zpětné okysličení vzduchu v místnosti. [7]

Pokud jde o jednotlivé meze, každá z nich je určena danou hodnotou ppm, optimální hodnota ppm je stanovena na koncentraci, která se pohybuje pod hodnotou 1 000 ppm. Obecně v místnosti velmi snadno dojde k mezní hodnotě 1 000 ppm, což znamená vysoký obsah oxidu uhličitého. [7]

Hodnota 1 000 ppm se nazývá Pettenkoferovo kritérium, které se používá už více než sto let. Pokud koncentrace překročí tuto hodnotu, objevují se na člověku znaky únavy a ospalost, a to z důvodu vydýchaného vzduchu v místnosti. V případě, že výskyt oxidu uhličitého dosahuje nad 1 000 ppm, má většina lidí pocit těžkého a vydýchaného vzduchu. Tento pocit se však u každého člověka při jiné koncentraci ppm liší. Za další záležitosti také na okamžitou vlhkost vzduchu. V zimním období je vzduch sušší, a proto člověk nemusí ihned pociťovat přítomnost vydýchaného vzduchu v místnosti. [7]

Při koncentraci pohybující se nad 2 000 ppm, člověk vykazuje známky horší schopnosti soustředění, a navíc se u části lidí může projevit dokonce bolest hlavy. Nebezpečné pro zdraví člověka je pak zejména výskyt CO₂, který má hodnoty sahající nad 5 000 ppm. V takovém případě to člověku způsobí zrychlení jeho srdečního tepu. Pokud hodnoty koncentrace vystoupají nad 45 000 ppm, dochází u člověka ke ztrátě vědomí a může nastat i smrt. [7]

1.5 Vznik CO₂ při spalování paliv

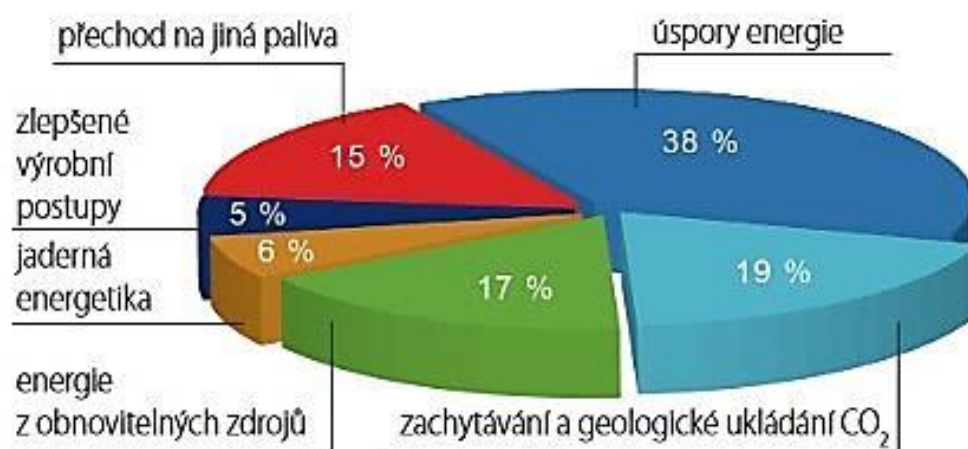
Proces spalování je hlavní součástí transformace chemicky vázané energie paliva na jinou formu energie. Nositeli energie, tedy aktivními prvky paliva jsou uhlík, vodík a síra. Spalovací proces závisí na kvalitě, podle které se hodnotí, jak dokonale se spálí hořlavé prvky. Pro spalování se nejčastěji používají tzv. produkty dokonalého spalování, kterými jsou oxid uhličitý, voda a oxid siřičitý. Při spálení čistého uhlíku se z jednoho kilogramu vytvoří přibližně 3,7 kg oxidu uhličitého. U paliv je podstatný parametr výhřevnost, proto se hodnotí paliva také podle množství vyprodukovaného oxidu uhličitého na jednotku energie. Hodnoty měrných emisí CO₂, bývají u uhlí značně rozdílné a jsou závislé na chemickém složení. V současnosti patří toto téma v rámci globálních problémů k naléhavým. [8]

To z toho důvodu, že hromadění CO₂ v atmosféře má nežádoucí účinky na klimatické změny. Největším problémem je v tomto případě skleníkový efekt, který způsobuje oteplování Země. Skleníkový efekt souvisí zejména s výrobou a využíváním energie, a sice v průmyslovém a dopravním sektoru. Proto je v tomto ohledu nutné zajistit snížení množství CO₂, které uniká do atmosféry. Veškeré tepelné změny struktury atmosféry a pevného zemského povrchu totiž nevyhnutelně způsobují, že stoupají teploty vod planety a tím se zvyšuje i objem vod. Tyto změny narůstají až do bodu, kdy se na zemském povrchu objeví problémy, jako je primárně ten v pobřežních oblastech. [8; 9]

Velká část uvolněného oxidu uhličitého se rozpustí v mořské vodě, ve které je vysoký obsah hydrogenuhličitanu tlumící jakékoliv změny pH. Oxid uhličitý je odváděn z důvodu prosakování mořského dna, a proto má malý vliv na mořský život, nicméně bubliny, jejichž vytvoření způsobil tekutý oxid uhličitý, mají vliv na plankton. Výzkum proveden za pomoci dálkově ovládaných vozidel prokázal, že tam, kde byl umístěn kapalný CO₂ na mořském dně, je kapalný CO₂ extrémně toxický pro plankton, vzhledem k tomu, že plankton proniká do jeho bezprostřední blízkosti. [10]

Jedním ze způsobů ukládání velkého množství CO₂ je jeho zachycení pod zemský povrch ve formě průmyslových emisí. Tato varianta a zařízení k tomu používaná již na světě existují několik let. Další možností je izolace od atmosféry tak, že se bude CO₂ ukládat do hornin a hluboko pod zemský povrch. [8; 11; 12]

Tyto metody mohou být vyvíjeny tímto způsobem v průběhu času tak, aby byly aplikované ve velkém měřítku. [9] Cílem je snížit emise z potřebných 38 % díky úsporám energie s možností velkého využití obnovitelných zdrojů na 17 % do roku 2050. Tento plán Geologické české stanice je znázorněn na grafu č. 3. [11; 12]



Obrázek 3: Řešení pro snížení globálních emisí CO₂ do roku 2050 [11]

Obnovitelné zdroje představují ideálního kandidáta na částečnou náhradu fosilních paliv v odvětví dopravy a chemickém průmyslu. Fosilní uhlík se dá použít k výrobě určitých nezbytných chemikálií nebo paliv. Jaderná energie vyžaduje vysoce intenzivní využití energie, proto by se hodila pro jiné průmyslové aplikace. [9]

1.6 Klimatické účinky CO₂

Jak bylo vysvětleno výše, oxid uhličitý je kvůli svému vlivu na skleníkový efekt a své nekonečné akumulaci v atmosféře považován za hlavní příčinu změn klimatu. Lidská činnost během průmyslové éry způsobila nárůst atmosférické koncentrace CO₂ z 278 ppm na současnou hodnotu 407 ppm. Co se týče konkrétní lidské činnosti, jedná se o používání fosilních paliv na bázi uhlíku. V dnešní době tato paliva činí přibližně 80 – 85 % světových energetických zdrojů. Avšak energetické zdroje budou v krátkodobém až střednědobém horizontu nadále významné. [9]

Nárůst poptávky po energetických zdrojích vede celosvětově Čína a Indie díky svým silně se rozvíjejícím ekonomikám. Svým společným podílem ve spotřebě energie přispívají k nárůstu využívání této energie z 8 % v roce 1980 na 18 % v roce 2005. Tím se předpokládalo, že možná spotřeba energie v Číně vyrovná spotřebu v USA a poté se i stane světovým lídrem v oblasti emisí CO₂. V roce 2008 se zvýšila cena ropy, to vedlo k zamyšlení, zda snížit emise CO₂ kvůli dopadu, který energetický a chemický průmysl mají na změnu klimatu. Ke snížení ceny ropy došlo ve chvíli, kdy bylo potřeba snížit dopad chemického a energetického průmyslu na změnu klimatu. Při snížení emisí CO₂ by se mohl zvýšit zájem o obnovitelné zdroje energie a alternativní suroviny pro chemický průmysl. [9]

Za přírodních podmínek by snížení hromadění CO₂ v atmosféře mohlo umožnit především posílení přímého ustálení CO₂. Tento přístup může být použit pro výrobu energie a chemikálií. Například by to mohlo fungovat k přeměně na plynná a kapalná paliva lépe než při přímém spalování pevných obnovitelných zdrojů. S příznivými účinky se sníží emise a hromadění CO₂ v atmosféře. Je třeba myslet na to, že podíl CO₂ vyrobený pomocí chemikálií je přibližně 10 % z celkového množství a ostatní zbytky pochází z energetických produktů. Z toho plyne, že pokud se všechny chemikálie budou vyrábět z CO₂, tedy z jeho 10 %, by poté mohl být recyklován, aby se dosáhlo k uhlíkově neutrálnímu použití chemikálií. [9]

Energetické náklady patří k hlavním důvodům proč, není možné této situace dosáhnout. Realistický odhad celkového množství CO₂, kterému je třeba zamezit, je 7 %, to činí příspěvek CO₂ využitý v krátkodobém až střednědobém horizontu. Proto je třeba vyvinout účinné technologie schopné přeměnit CO₂ na energeticky bohaté produkty tedy paliva. To by vedlo k významnějším krokům v oblasti výroby chemikálií a energie s téměř nulovou úrovní emisí uhlíku. [9]

Za účelem technologického, biologického nebo chemického využití CO₂ k účinnému snížení jeho emisí do atmosféry, je nutné provádět proces, který by byl méně energeticky i materiálově náročný. Dalším pravidlem je využívat bezpečnější a ekologičtější pracovní podmínky, stejně tak jako ekonomicky životaschopné. Snížení emisí celkového CO₂ pro dané aplikace, není náhodně kvalifikováno. Spotřeba energie i materiálu je minimalizována kontrolou parametrů procesu. Mezi tyto parametry patří např. výtěžek a selektivita přeměny, teplota, tlak a operace po reakcích (izolace a čištění). [9]

Z tohoto důvodu lze CO₂ označit za bezpečné činidlo nebo rozpouštědlo obzvláště, když se jako proces používá super kritický CO₂ (sc-CO₂). Ekonomika využití CO₂ závisí na kvalitě a od té se odvíjí cena, která dosahuje až 400 USD za tunu podle požadované čistoty a použitých technologií čištění. V přepočtu je to asi 8 561 Kč za tunu čistého CO₂. [9]

Jak je již uvedeno výše, CO₂ lze získat z několika zdrojů s různými cenami. Přestože studny vytvořené přírodou (přírodní studny) jsou důležitými a levnými zdroji; konkrétně 15 – 20 Euro za tunu čistého CO₂. Zdroj z přírodních studny by měl být přerušen a raději podporovat využívání zpětného získávání CO₂ z elektráren nebo průmyslových procesů, jako alternativu. Například v potravinářském průmyslu, který vyžaduje rozsáhlé čištění ve specifických aplikacích. Proto je zachycení CO₂ podle svého původu charakterizováno různými stupni čištění. Tyto kroky čištění samozřejmě ovlivní cenu CO₂, to napomáhá k objevení a použití nových zdrojů, například fermentačních reaktorů, které mohou poskytovat vysoce čistý plyn. [9]

1.7 Vznik CO₂ při dýchání

Jak již bylo zmíněno, oxid uhličitý může být toxický. Problémem jsou jeho specifické vlastnosti, a sice že je bezbarvý a bez zápachu. Z tohoto důvodu o jeho přítomnosti nemusí lidé ani zvířata v místnosti vědět. [10]

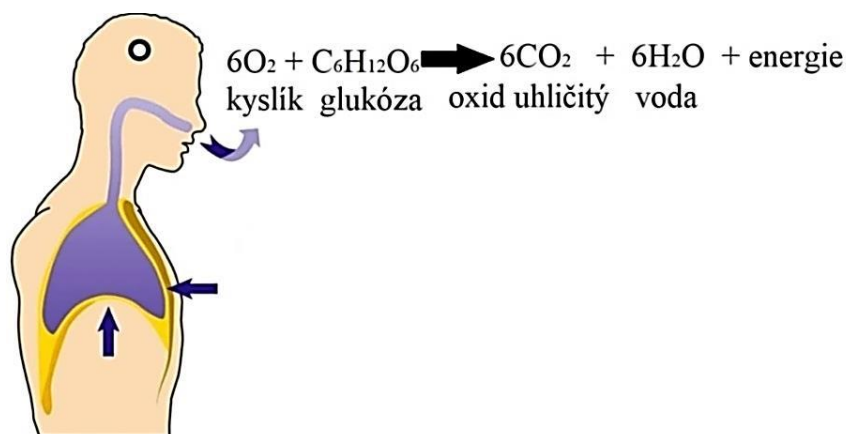
Protože je CO₂ těžší než vzduch, má tendenci se hromadit ve špatně větraných uzavřených prostorech, jako jsou suterény a sklepy. Vedle toho je tento plyn schopný vstoupit do výklenku ve zdech domu, kde jeho koncentrace mohou být nebezpečně vysoké. Za podmínek nižší koncentrace CO₂ dochází k acidóze, což je pokles pH spadající pod fyziologickou mez 7,36 – 7,44 pH. [10]

Naproti tomu, v případě vysoké koncentrace může být CO₂ toxický, pokud jeho koncentrace dosáhne hodnoty 100 000 ppm, což je hodnota určující 10 %. Pak je tento plyn schopný způsobit udušení, bezvědomí, ale také oběhové selhání, kóma a poté i smrt. K hlavním příznakům, jako je bolest hlavy, snížení pH krve, nevolnost, poruchy zraku a namáhavé dýchání, dochází při koncentraci menší než 15 000 ppm, přibližně 1,5 % CO₂. [10]

Několikaminutové setrvání v koncentraci přibližně od 7 do 10 % není zdraví škodlivé. Oproti tomu minutová přítomnost v koncentracích kolem 15 – 30 % může mít fatální následky na zdraví. Jedním z příkladů je měření oxidu uhličitého v Itálii, jehož výsledky ukazují, že únik množství 150 tun CO₂ denně může mít malý dopad i na regiony s vysokou hustotou obyvatelstva. Současné sítě potrubí přepravující přírodní plyny a nebezpečné kapaliny na velké vzdálenosti, budou pravděpodobně více problematické než potrubí na vedoucí oxid uhličitý. Únik z úložišť bude napodobovat přirozené odvětrávání oxidu uhličitého. [10]

Množství oxidu uhličitého ve vzduchu vnímá každý člověk hodně subjektivně a relativně. Kupříkladu, v případě, že člověk již v dané místnosti sedí, nepocítuje problém s koncentrací vzduchu v místnosti, a je tedy spokojen. Pakliže do stejné místnosti vstoupí člověk, který se bezprostředně vrátil zvenku, ten může mít naopak pocit těžkého a vydýchaného vzduchu v této místnosti. [7]

Jak znázorňuje obr. 4, koncentrace CO₂, kterou člověk vydechne ve vzduchu, je přibližně 50 000 ppm, což je koncentrace, která již v předchozím popisu udává hodnotu, při které může nastat smrt nebo ztráta vědomí. Oxid uhličitý je látka, kontaminující vnitřní prostředí není, však nemusí být nejškodlivější. Při koncentraci oxidu uhličitého lze umožnit měření a snadno tím posoudit úroveň větrání. [7]



Obrázek 4: Koncentrace vzduchu při dýchání [7]

Z biologického hlediska lze výdech popsat jako pasivní děj, po němž se zpětně elastické složky plic, hrudník, i svaly zrelaxují. Břišní svaly a vnitřní mezižeberní svaly mohou pomáhat při silném volném výdechu. Pokud je člověk v klidu, frekvence dýchání je přibližně 14-18 vdechů za minutu. Oxid uhličitý je přenášen opačným směrem než kyslík. Kyslík se přenáší do tkáně transportem krve. Kyslík se přes plicní kapiláry dostane do krve z plicních sklípků difúzí. [13]

1.8 Biologické účinky CO₂

Absorpční procesy CO₂ mohou být fyzicky absorbovány v rozpouštědlech pouze, pokud jsou v souladu s Henryho zákonem. Henryho zákon říká, že pokud je rozpuštěno váhové množství plynu za dané teploty v kapalině, poté je rozpustnost plynu v kapalině přímo úměrné tlaku plynu nad kapalinou. CO₂ vzniká při vysokém tlaku a při snížení tlaku se plyn uvolňuje. Pokud se koncentrace CO₂ v plynu zdvojnásobí. [10]

Druhy systémů absorpce jsou možné tři typy chemické, fyzikální a hybridní. Principem metody je absorpce CO₂ vhodnou organickou sloučeninou (např. aminem) nebo její směsí za teploty přibližně 40 až 50 °C a také její zpětnou desorpcí za pomoci páry při teplotách 110 – 120 °C. Spaliny musí být dostatečně ochlazeny, aby došlo ke kondenzaci vodních par, a poté jsou přivedeny do separačních jednotek například absorpčních kolon, které působí s cirkulujícím roztokem etanolaminu. [10]

Párou vyhřívaná desorpční kolona, která pracuje při vyšších teplotách, pak vede tento nasycený roztok. Tento desorbovaný plyn obsahuje určité množství páry a převážně i CO₂. Je nutné tento plyn ochladit a oddělit přebytečnou vodu. Při závěrečném procesu stlačování, je získán kapalný CO₂. [10]

Chemická absorpce, při ní reaguje CO₂ s chemickými rozpouštědly na slabě vázané meziproducty. Poté se rozkládají vlivem tepla za regenerace původního rozpouštědla a vzniká CO₂. Nejznámější používaná rozpouštědla jsou na bázi aminů, uhličitánů nebo také čpavku. V chemické absorpci, pokud je koncentrace CO₂ ve vstupním proudu vysoká, dá se tvrdit, že její odstraňování bude snazší a levnější. Z tohoto důvodu se někdy úmyslně koncentrace CO₂ ve spalínách zvyšuje. K desorpci CO₂ je potřeba teplo a to poté vede ke snížení energetické účinnosti. [10]

Fyzikálně absorbováno CO₂ může být v rozpouštědlech pouze za podmínek, které určuje Henryho zákon. Tato metoda je nevýhodná z toho důvodu, že při nízké koncentraci CO₂ jsou náklady na stlačení plynu příliš vysoké. [10]

Hybridní absorpce se skládá z řady rozpouštědel, které se vzájemně doplňují. Tyto rozpouštědla spojují charakteristiky chemických i fyzikálních rozpouštědel, které se poté skládají z těchto řad rozpouštědel. Pro výzkum jsou slibnou oblastí komplementární rozpouštědla, jejichž poměrové složení se mění tak, aby co nejlépe vyhovělo potřebnému použití. [10]

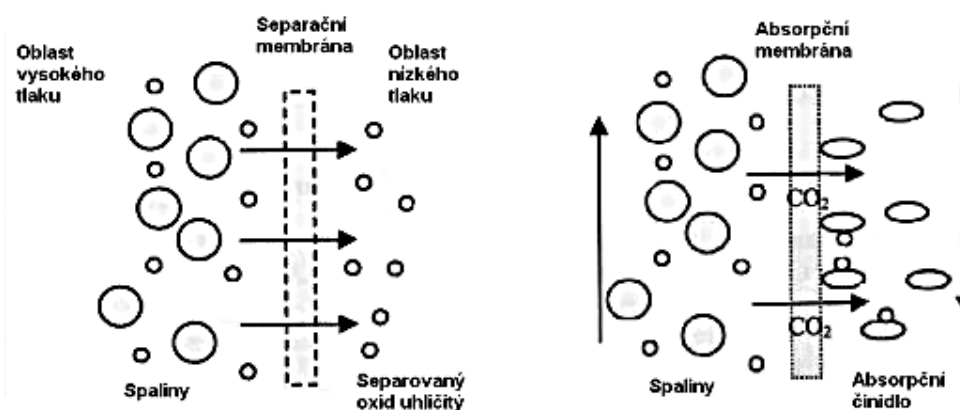
1.9 Membrány

Membrány s řízeným prostupem oxidu uhličitého (CO_2), jsou zaměřeny především na vysoký obsah CO_2 v uzavřených místnostech. Membrány se v průmyslu používají pro separaci plynů více než 30 let. Tyto membrány se především využívají k výrobě dusíku ze vzduchu, zpracování uhlovodíků a hlavně k eliminaci oxidu uhličitého ze zemních zdrojů Země. Z polymerních systémů komerčních membrán je viditelná struktura tuhých řetězců, které vytvářejí malé prázdné mezimolekulární prostory a ty napomáhají k další selektivě při oddělování plynů. [14]

Postup separace může být znemožněn, pokud komerční membrány vykazují nízkou propustnost plynů. Vysokou propustnost pro plyny nabízejí materiály mikroporézní na bázi organických polymerů. Polymery musí být vysoce tuhé, aby byla zajištěna dobrá selektivita. Tuhost polymerních řetězců v membráně přímo souvisí se selektivitou a propustností stejně jako vnitřní mikroporozita. Pro získání tohoto stavu je potřebný vysoký frakční volný objem (FFV), tato vlastnost se získá zesíťnými mikrostrukturami, které jsou generované polykondenzačními reakcemi. [14]

1.9.1 Druhy textilních membrán

Pro zachycování CO_2 je možné použít dva membránové procesy. První za pomoci separační membrány a druhou absorpcí plynu na membráně, viz obr. 5. Tyto membránové procesy budou popsány dále. [10]



Obrázek 5: Separační a absorpční membránový princip [10]

Separáční membrány fungují tak, že jedna slozka prostupuje membránou rychleji než ostatní slozky. Základem těchto membrán je rozdíl ve vzjemnm fyzikálním a chemickm působení slozkek ptornch v plynn směsi p styku s materiálem membrány. Proces separace je ovlivnovn propustností a selektivitou membrán. Propustnost určitého plynu membránou je definován jeho rychlostí proudění přes membránu p danm tlakovm rozdílu. [14]

Naopak selektivita muže být popsána jako schopnost rychlejho prostupu jednoho z plynů membránou než ostatních plynů. Je značena číslem, které vyjadruje, kolikrát prostupuje CO₂ membránou rychleji, než ostatní plynn slozky počátečního proudu. V závislosti na tlaku a teplotě mají membrány pro separaci oxidu uhličitého selektivitu v rozmezí 120 až 250. Mezi nepoužívanj a nejrozvinutj separační membrány pat polymerní membrány, které dosahují největšího výtěžku CO₂. Nevýhodou je, že ji nelze používat p vysokých teplotách a musí se spaliny nejdve ochladit. Naopak keramick membrány lze používat p vysokých teplotách, problémem je, že mají p těchto teplotách nižší účinnost zachycovat CO₂. [14]

Absorpční membrány fungují na principu zvyšující účinnosti fyzikln nebo chemick absorpce. Využíva styku proudu směsi plynů (spaliny, syntézní plyn) a kapalných absorpčních činidel. Zmenšit velikost vypírky i investičn náklady lze pouze pomocí zven kontaktn plochy. [10]

Ptornost absorpčního činidla způsobuje separaci, kde na jedné straně membrány se selektivn odstraňuje CO₂ z proudu plynu z druhé strany membrány. Účelem membrán je udržet oddlen plynů a kapaliny. Technologie membrán jsou obchodn využívan k separaci vodíku, ale pracuje se na jejich vývoji, než budou použit ve vznamnjm měřítku pro zachycen CO₂. [10]

1.9.2 Nanomembrny

Nanomembrny je pojem pro upravenou nanovlákennou vrstvu s pojivem č maticí. Vyrábějí se pomocí nanotechnologie, která je jednou z nejnovjch technologií 21. století. Nanovlákna se nejčstj vyznačují průměrem pblinm menším než 0,5 mikrometrů nebo 500 nanometrů. Klasick nanomembrny jsou vytvořen z nanovláken. Tyto vlákna se nejčstj využívají k filtraci. Pro vysoce vkonn filtrační média jsou nanovlákna důležitou částí filtrace. [15]

Většina vláken považována za nanovlákná jsou anorganického původu, ale lze je označovat také za submikronová vlákna. Nejvyužívanější nanovlákná pro filtrační účely jsou tzv. špičkové membrány. Špičkové membrány jsou využívány pro výrobky speciální právě pro filtrační výrobky. [15]

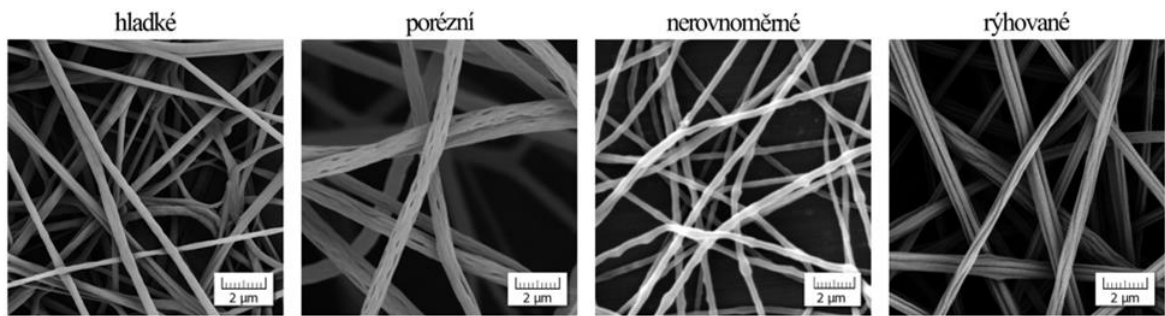
Membrány obecně jsou nanovláknenné vrstvy používané pro filtrační účely. Vyrobeny jsou především z organických i anorganických materiálů. Existuje seznam s některými materiály, které jsou hlavní pro výrobu membrán. Jsou to například polyester, polyethylen, polyamid 6, polyamid 6.6, polypropylen, ale také kovy, oxidy kovů v nanočásticích a biologické materiály jako jsou enzymy. [16]

V budoucnu je potřeba mnohem rozsáhlejší výzkum, a především vývoj v rozvoji nanotechnologie a nanovláken. Veškeré pokroky, které již v nanotechnologiích nastaly, jsou pro textilní průmysl velmi důležitá příležitost a výzva v dalším zdokonalování této technologie. Ustálený systém výroby z polyamidové tkaniny s dvojitým nánosem stříbrných nanočástic poukázal na výbornou antibakteriální vlastnost a vynikající odolnost vůči praní. Její trvanlivost je uspokojující pro další možné využití, jak v domácnosti tak zdravotnictví. [16]

Pokud jsou ve výrobním procesu použity nanotechnologie poté lze přidávat nové funkce. Tyto funkce souvisejí s novými typy použití např. přísady nanoaditiv ve výrobním procesu. Tímto způsobem se zlepšují mechanické vlastnosti např. stabilita biodegradovatelných nanovláknenných struktur. [16]

Nanovláknenné struktury jsou velmi zajímavé především z hlediska svých specifických vlastností, jako jsou tenký film, vysoký poměr povrchové plochy k objemu, průměr vlákna v nano měřítku, nízká hmotnost a pórovitá struktura vláken. Uvažuje se, že nanovlákná budou fungovat jako přenašeči léčiv na konkrétní místa. Tento způsob by mohl fungovat pouze za podmínek, pokud se léčiva začlení do nanovláken, zapouzdří se do struktury těchto vláken. [16]

Ke kladným vlastnostem nanovláken patří jejich mechanické chování a biologické vlastnosti jako např. biokompatibilita (snášlivost materiálů). Polymerní nanovlákná mají malou velikost kvůli elektrickému zvláknění, viz obr. 6. Naopak membrány, které se nasbírají z elektro-spředených nanovláken velkou plochu povrchu na jednotku hmotnosti, oproti tomu malou pórovitost. Tyto vlastnosti jasně poukazují na to, že elektricky zvlákněná nanovlákná mají velký potenciál k dalším aplikacím. [16]



Obrázek 6: Struktury nanovláken [17]

Jednou ze základních aplikací je lékařská protéza, štěpy a cévy. Mezi novější a rozšířenější aplikace patří tkáňové inženýrství. Do tkáňového inženýrství patří membrány pro kůži, tubulární tvary pro regeneraci krevních cév a nervů, trojrozměrné textilie pro regeneraci kostí a chrupavek, také produkty pro hojení kůže tzn. obvazy. Nanovláknna s přidanou hodnotou mohou být použita pro účinky tkáňového inženýrství. Tyto materiály mohou přidávat nanovláknům funkčnost. [16]

2. Praktická část

Tato část je zaměřená na daný experiment, který se zabývá řízeným prostupem CO₂ skrz textilní membrány. Experiment je založen na vhodné volbě textilní membrány, pro řízený prostup a odstraňování CO₂ z místnosti. Daný experiment a veškeré postupy, které byly zvoleny, budou dále popsány a vysvětleny.

2.1 Formulace problému a postup řešení

Experiment je založen na principu nejšetnějšího odstranění CO₂ z místnosti, kde může být tento plyn při vysoké koncentraci nebezpečný pro lidský organismus. Práce je zaměřena na CO₂ v souvislosti jeho vysoká koncentrace v místnosti. Původní studie se zabývají CO₂, které je měřeno v ovzduší a skladováno pod zemským povrchem. Zmínka o tom, zda někdo řešil problém vysoké koncentrace CO₂ v místnosti je z hlediska studií velmi málo.

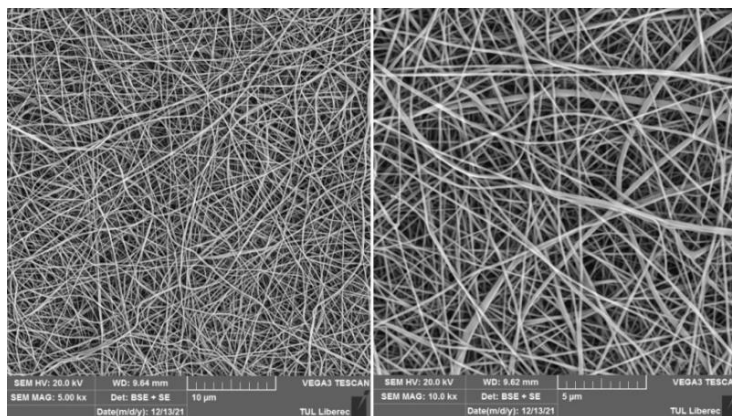
Cílem této práce je dosažení nejvhodnější membrány, která bude řízeně odvádět CO₂ z místnosti, aniž by nastala velká koncentrace CO₂ nebezpečná pro život. Pro experiment byl připraven nanovlákný polymerní vzorek, který slouží pro vytvoření membrán. Tyto membrány poslouží k dalším experimentům. Z výsledků se poté vybere nejvíce vyhovující membrána, která poslouží jako další článek měření této práce.

2.2 Použité materiály a jejich příprava

V této kapitole jsou uvedeny poskytnuté materiály k dalšímu zpracování. Materiály použité pro tuto práci jsou polyamidová nanovlákná. Na polyamidová nanovlákná se poté nanášely roztoky z polyvinylalkoholu (PVA), nanocelulózy, chitosanu, kasein alkalický a kyselý.

2.1.1 Vlákenná forma polyamidových nanovláken

Polyamidová nanovlákná jsou syntetického původu a jako první se uplatnila ve velké míře, viz obr. 7. Postupem času bylo zřejmé, že předčí vlákna přírodní, jelikož patří do skupiny vláken tvořící surovinu významnou pro textilní průmysl. Polyamidová vlákna se vyrábějí ve dvou typech polyamid 6 a polyamid 6.6. Pro práci je použit polyamid 6 od firmy Nano Medical s.r.o. [18]



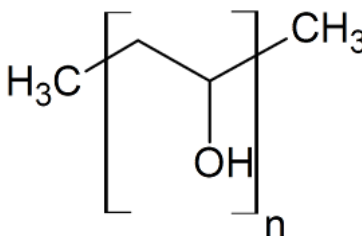
Obrázek 7: Elektronová mikroskopie polyamidových nanovláken

2.2.1 Použité chemikálie

Chemikálie, které byly použity na další pokusy práce, jsou rozepsány v této kapitole. Podrobnější informace roztoků budou přehledně vypsány níže s popisky produktu a obrázky.

2.2.1.1. Polyvinylalkohol (PVA)

Pro tuto práci byl použit přípravek od firmy FICHEMA s.r.o. Tento přípravek je Slovior R šestnáctiprocentní roztok polyvinylalkoholu viz obr. 8. Mezi jeho vlastnosti patří rozpustnost v dimethylformamidu a při bodu varu ve vodě. Tato technika je vhodná především pro technické aplikace vláken. [19]

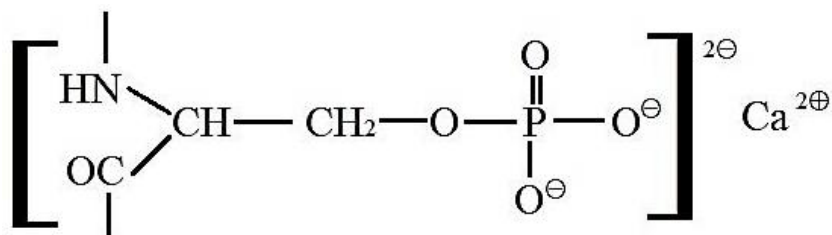


Obrázek 8: Polyvinylalkohol [19]

Polyvinylalkohol je dodán ve formě vodného roztoku, který se může poté rovnou aplikovat pro další testování. Může být také dodán ve formě prášku, který je rozpustný ve vodě podle stupně polymerace a také v ethanolu a methanolu.

2.2.1.2. Kasein

Kasein je obecně značený za bílkovinu obsaženou v mléce, odborněji poté jako protein. Vstřebává se pomalu v trávicí soustavě a je součástí bílkovinových přípravků. Pro práci byl poskytnutý kasein od firmy KRUSTA shop s. r. o, viz obr. 9. [20]

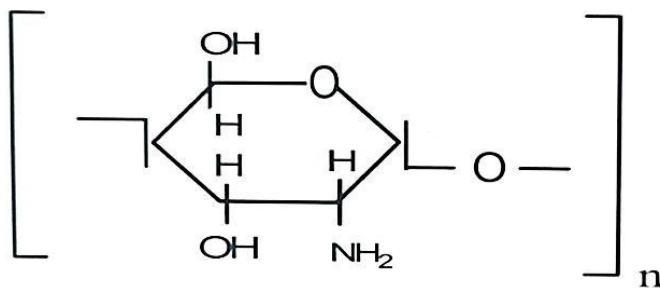


Obrázek 9: Kasein [20]

Kasein je dodán ve formě prášku, který se ve vodě nerozpouští, ale pouze nabobtná. Rozpustný se stane při mírném zahřátí přísadou alkálií nebo kyselin. Pro přípravu alkalického kaseinu se použil 1 g kaseinu rozpuštěný ve 20 g vody ohřáté na 50 °C. Do této směsi se přidá 1 g amoniaku (35%), který je důkladně rozmíchán. Kyselý kasein je připraven podobným způsobem. Nachystán 1 g kaseinu a 20 g vody ohřáté na 50 °C, do které se však přidá 1 ml kyseliny octové, která je důkladně vmíchána do směsi. Rozdíl mezi kaseinem kyselým a alkalickým je tedy v tom, že na přípravu alkalického se použije amoniaku a u kyselého je použita kyselina octová.

2.2.1.3. Chitosan

Chitosan viz obr. 10, obsahuje volné aminoskupiny, které umožňují řadu chemických reakcí a jeho struktura má šroubovicový tvar. Chitosan je získáván především z tvrdých skořápek korýšů (krab, kreveta a humr). Vlákna mají výborné vlastnosti, protože jdou jednoduše zvláknovat a snadno se z něj vyrábí pěnové materiály a chitosanové folie. Zvláknování vláken je za pomoci 2% kyseliny octové a 5% chitosanu. Nevýhodou těchto vláken je malá pevnost za mokra, které lze omezit pomocí zesílení či směsováním vláken. [19]

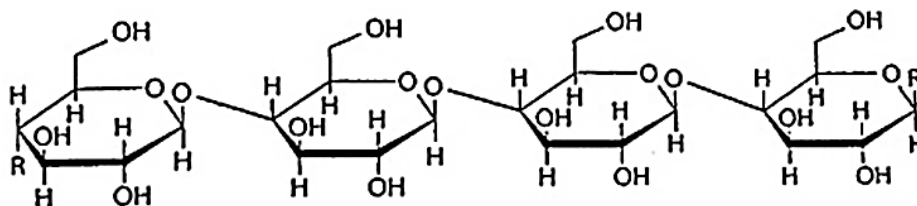


Obrázek 10: Chitosan [19]

Chitosan zakoupen od firmy Sigma-Aldrich ve formě sypkého prášku. Chitosan pro testování je připraven tímto způsobem 0,5 g chitosanu, který je rozpuštěn v 30 g vody za stálého míchání se přidá 1 g kyseliny octové. Vytvoří se gelový roztok, který se dále použije k naplánovaným pokusům. [19]

2.2.1.4. *Nanocelulóza*

Celulóza viz obr. 11, je vysokomolekulární látka nejrozšířenější po celé Zemi. Jedná se o rostlinná vlákna, která pomocí endotermních reakcí využívá energii ze slunečního záření absorbovaného chlorofylem. Nanocelulóza je celulózová nanostruktura, která se vyskytuje ve formě celulózového nanokrystalu, celulózových nanovláken označované také jako nanofibrilovaná celulóza. Roztok je v podobě, která se nemusí dále upravovat a je vhodná pro další testování. [19]



Obrázek 11: Celulóza [19]

2.3 Postup přípravy membrán

Pro tvorbu membrán se použil polymerní nanovlákný vzorek. Vzorky jsou přibližně o velikosti 10 cm na výšku a 13 cm na délku. Tento rozměr je z důvodu dalšího použití. Postup tvorby membrán byl následující, nejdříve se vytvoří zkušební vzorky, aby se zbytečně neplýtvalo polymerními nanovláknými. Materiál je finančně velmi drahý. Polymerní nanovlákná mají tu vlastnost, že jsou tenká a jejich aplikace musí být velmi opatrná a šetrná, jelikož se může snadno roztrhnout a v tom případě se musí postup opakovat znovu. Polymerní nanovlákná se musí opatrně stáhnout z pomocné textilie, na které je připevněný. Po šetrném odstranění polymerních nanovláken lze pokračovat v daných pokusech.

Polymerní nanovlákný vzorek byl natažen na skleněný nosič a zvážen v suché podobě, viz obr. 12. Jeho hmotnost je přibližně 688,51 g zvážené se skleněným nosičem. Hmotnost se při každém dalším vzorku liší o desetiny či setiny gramů. Po zvážení se na polymerní nanovlákná měkkým štětcem aplikuje malá vrstva daného roztoku, který je připraven v hodinovém skle.



Obrázek 12: Aplikace roztoku na membránu

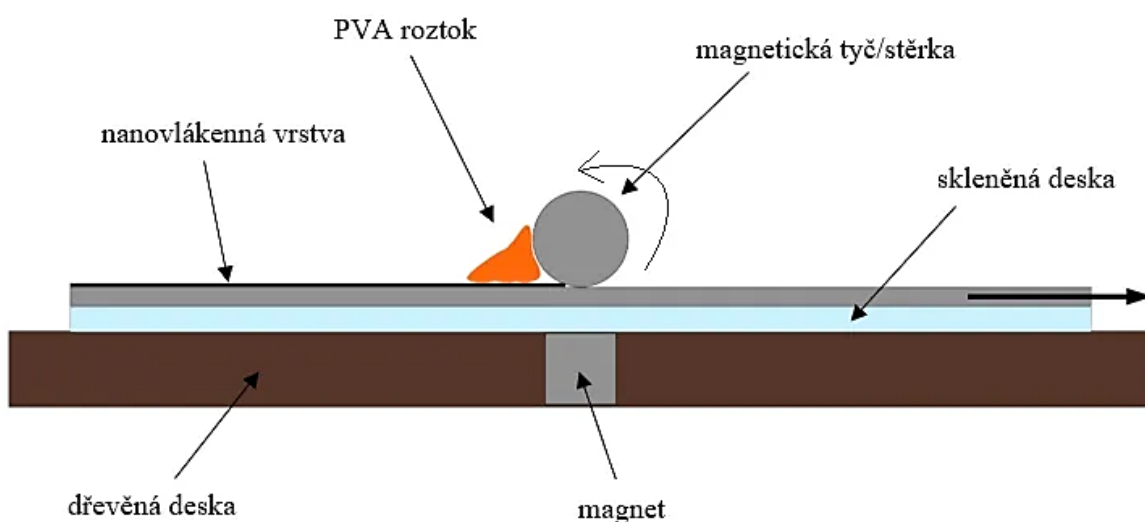
Do každého napnutého vzorku je vytvořena nepatrný otvor, aby nebyl vzorek příliš tlakově vypnutý. Pokud by se do vzorku otvor neudělala, byl by vzorek zbytečně moc namáhán.

Aplikujeme požadovaný roztok na vzorek tak, aby se na polymerních nanovláčkách vytvořila rovnoměrná vrstva. Po nanesení roztoku se vzorek znovu zváží i se skleněným nosičem. Gramáž skleněného nosiče se poté odečte, aby vyšla hmotnost daného vzorku. Vzorek bez membrány má přibližně 0,129 g s plošnou hmotností 2 g/m².

Připravený vzorek s naneseným roztokem je vložen do horkovzdušného sterilizátoru HS 62A, která je předehřátá na teplotu 60 °C. Vzorek se nechá uschnout přibližně 15 minut. Teplota a čas je postupně upraven podle typu roztoku.

Po 15 minutách je vzorek vyndán a není-li zcela suchý, vrátí se zpět do sušárny, dokud není zcela suchý. Suchý vzorek s membránou je zvážen a jeho hmotnost činí přibližně 0,312 g. Na závěr postupu je vzorek opatrně sundán ze skleněného nosiče a celý postup aplikace je při každém dalším vzorku s jiným roztokem opakován stejně.

Po tomto postupu bylo rozhodnuto, že je potřeba použít takové aplikování, které rovnoměrněji nanese roztok na požadovaný vzorek tak, že se vytvoří membrána s možností dalšího využití. Pro nanášení byl použit přístroj, který vytvořil rovnoměrnější vrstvu roztoku na membrány. Přístroj se nachází na katedře materiálového inženýrství v laboratoři, viz obr. 13. Metoda podléhá projektu č. SGS-2022-6069.



Obrázek 13 přístroj na tvorbu membrán

Přístroj je tvořen dřevěnou deskou, která má uprostřed magnetickou vložku. Na desku je položena podložka s lesklým povrchem (teflon, silikon, sklo) pro lepší přilnavost roztoku na membránu. Poté se na podložku položí železná tyč přesně tam, kde se nachází magnetická vložka. Vložka zamezuje pohybu tyče mimo osu podložky. Postup tvorby membrán na přístroji je tento. Vložíme membránu na podložku tak, že je membrána přibližně jeden centimetr od jejího kraje, zde je membrána zatížena kovovou tyčí a nanesen roztok na membránu po celé šíři vzorku v místě, kde je centimetrový okraj membrány. Poté se plynule táhne s podložkou přibližně 1 cm/min. a tím se na membráně vytvoří rovnoměrný povrch roztoku. Po nanesení se nechá vzorek usušit v horkovzdušném sterilizátoru HS 62A přibližně na 60°C.

2.3.1 Sušení vzorků

Principem sušící komory je mokrý či vlhký vzorek usušit za požadované teploty, která je předem nastavena podle určitého typu vzorku. Sušící komora typu HS 62A je umístěn na Katedře materiálového inženýrství, viz obr. 14.



Obrázek 14: Horkovzdušný sterilizátor HS 62A [21]

Laboratorní horkovzdušný sterilizátor typu HS 62A je plně funkční. Objem komory je 60 litrů s vnitřním nucenou cirkulací (ventilátorem). Přístroj má přibližně 48 kg a nastavitelná teplota je do 200 °C. Vnější rozměry horkovzdušného sterilizátoru jsou šířka 60 cm, výška 68 cm a hloubka 57 cm. Rozměry komory přístroje jsou šířka 27 cm, výška 53 cm a hloubka 41 cm. [21]

2.3.1.1. *Postup sušení*

Horkovzdušným sušením se odstraňuje vlhkost proudem horkého vzduchu procházejícího opačně proudícími částicemi sušeného materiálu. Sušící přístroj je předeřtát na požadovanou teplotu, která je potřebná k usušení vzorku.

Vzorek je sušen za určité teploty a času tak dlouho, dokud není zcela suchý. Suchý vzorek je poté z přístroje použit k dalším laboratorním pokusům.

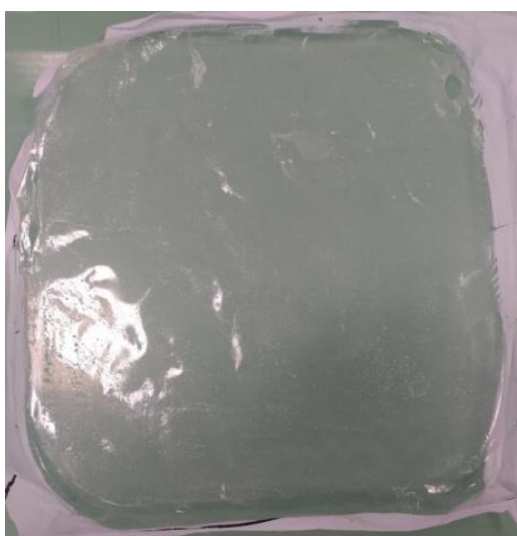
2.4. **Vývoj kompozitních membrán**

V kapitole jsou rozepsány pokusy tvorby kompozitních membrán za pomoci předem určených roztoků a následné vlastnosti, které získali při jejich výrobě. Byly vytvořeny membrány z polyvinylalkoholu (PVA), chitosanu, nanocelulózy, kaseinu alkalického a kyselého. Pokusy budou stručně popsány níže.

2.4.1 **Membrána z PVA**

Pro testování byl použit přípravek od firmy Sloviol R. Tento přípravek je šestnáctiprocentní roztok polyvinylalkoholu, viz kapitola 2.2.2.1 *Polyvinylalkohol*. Polyvinylalkohol je dodán ve formě vodného roztoku, který se může poté rovnou aplikovat pro další testování. Membrány se vytvářely postupem, jak již bylo řečeno v kapitole 2.3 **Postup přípravy membrán**.

Vzorek při tomto pokusu měl průzračný vzhled a stabilní pevnost. Nevýhodou je rozpustnost ve vodě, která pro experiment není zcela vyhovující. Membrána je pevnostně stabilní s dalším manipulováním a je tedy vhodná k použití na další experiment, viz obr. 15.



Obrázek 15: Membrána z PVA

2.4.2 Membrána z alkalického kaseinu

Roztok alkalického kaseinu je vytvořen použitím 1 g kaseinu a 20 g vody. Tyto dvě složky jsou smíchány v kádince a roztok se ohřeje na 50 °C kvůli rozpuštění kaseinu. Teplota vody se měří pomocí laboratorního teploměru, poté se nasype do směsi 1 g amoniaku vodného, viz obr. 16. Více o kaseinu viz kapitola 2.2.2.2 *Kasein*.



Obrázek 16: Výroba roztoku alkalického kaseinu [22; 23; 24]

Postup u pokusu je stejný, jak již bylo popsáno v kapitole **2.3 Postup přípravy membrán**. Postup byl stejný, jen se změnila teplota sušení z důvodu možného přesušení vzorku. Teplota se upravila z předchozích 70 °C na 50 °C.

Membrána se při sušení roztrhla i po úpravě teploty, byl na ní vyvíjen příliš velký tlak, a proto vzorek pevnostně nevydržel, viz obr. 17.



Obrázek 17: Membrána z alkalického kaseinu sušení při 50°C

Pokus byl opakován ještě na vzorcích, které se nechaly schnout pouze na vzduchu a v průvanu. Tento postup se zvolil z toho důvodu, že se na vzorek nebude vyvíjet takový tlak z hlediska sušení a možného roztrhnutí. Při těchto pokusech byl však stejný výsledek jako u vzorku, který se sušil při teplotě 50 °C. Veškeré vzorky z důvodu velkého napětí se protrhly.

2.4.3 Membrána z kyselého kaseinu

Roztok kyselého kaseinu je vytvořen použitím 1 g kaseinu a 20 g vody. Obě tyto složky jsou smíchány v kádince a roztok se ohřeje na 50 °C kvůli rozpuštění kaseinu, poté se do roztoku pomalu vlévá 1 ml kyseliny octové. Teplota vody se měří pomocí laboratorního teploměru, postup vytvoření roztoku viz obr. 18. Více o kaseinu viz kapitola 2.2.2.2 *Kasein*.



Obrázek 18: Výroba roztoku kaseinu kyselého [22; 23; 24]

Postup u pokusu je stejný, jak již bylo popsáno v kapitole 2.3 **Postup přípravy membrán**. Membrána se při sušení neroztrhla, ani po odstranění z kádinky se netrhá a vzorek zůstává celistvý, viz obr. 19. Vzorek má částečně zvrásnělý povrch a jeho omak je měkký. Tento vzorek by byl vhodný pro další experimentální testování.



Obrázek 19: Membrána z kyselého kaseinu

2.4.4 Membrána z chitosanu

Roztok chitosanu se vytvoří použitím 0,5 g chitosanu, 30 g vody a 1 g kyseliny octové. Postup roztoku je stejný jako u předchozího kaseinu. Chitosan se nechá rozpustit ve vodě, která se zahřeje na 50 °C. Poté se do směsi přimíchá 1 ml kyseliny octové. Vše je důkladně promíchán, aby nebyli v roztoku hrudky. Postup výroby roztoku viz obr. 20. Podrobnější informace a chitosanu jsou k nalezení v kapitole 2.2.2.3 *Chitosan*.



Obrázek 20: Výroba roztoku chitosan [22; 23; 24]

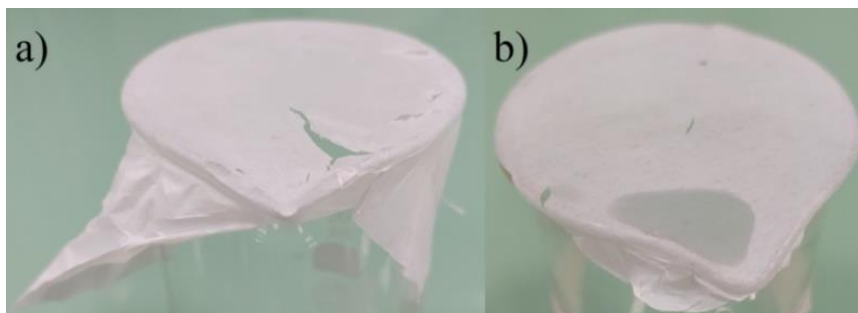
Postup u pokusu je popsán v kapitole **2.3 Postup přípravy membrán**. Membrána se po 3 minutách sušení při 50 °C trhá (a), pokus byl zopakován při kratší době sušení. Membránový vzorek se po 1 minutě sušení na 50 °C netrhá, ale není dostatečně uschlý (b). Také se vzorek nechal uschnout pouze na vzduchu, kdy se při úplném uschnutí roztrhl (c), viz obr. 21. Membrány z chitosanu nejsou vhodné pro další experimentování.



Obrázek 21: Membrány z chitosanu

2.4.5 Membrána z nanocelulózy

Postup je popsán v kapitole **2.3 Postup přípravy membrán**. Pro testování se použila vodní báze nanocelulózy (60%), která se aplikovala z hodinového skla přímo na polymerní nanovlákná. Více o nanocelulóze viz kapitola 2.2.2.4 *Nanocelulóza*. Membránový vzorek se po 3 minutách sušení při 50 °C protrhl (a), pokus byl zopakován při kratší době sušení. Vzorek membrány se i po 1 minutě sušení na 50 °C trhá a není dostatečně uschlý (b). Také se vzorek nechal uschnout pouze na vzduchu. Při úplném uschnutí je membrána křehká, praská, ale nerozpadá se, viz obr. 22.



Obrázek 22: Membrány z nanocelulózy

2.4.6 Úprava výroby nevyhovujících membrán

Z důvodu popraskání většiny vzorků bylo rozhodnuto, že pokusy výroby membrán se budou opakovat. Týká se to především membrán z chitosanu, nanocelulózy, kyselého a alkalického kaseinu. Byl změněn postup sušení těchto vzorků.

Částečný postup je stejný jako v kapitole 2.3 **Postup přípravy membrán**. Rozdílem je však to, že po nanesení požadovaného roztoku na vzorek se potřený polymerní nanovlákněný vzorek šetrně odstraní z kádinky. Z kádinky je přenesen na hydrofobní a poté i na hydrofilní teflonovou podložku. A nechá se uschnout volně na vzduchu. Zde lze ihned vidět, jak samovolně vzorek rychle usychá, pokud na něj není působeno žádné napětí jako u předchozích pokusů. Vzorky jsou opět rozděleny podle druhů roztoků, které byly použity v předchozích pokusech. Na vzorek (a) je nanášen alkalický kasein, (b) kyselý kasein, (c) chitosan a (d) nanocelulóza, viz obr. 23. Tmavší podložka je z hydrofobního teflonu a světle hnědá z teflonu hydrofobního.



Obrázek 23: Vzorky na teflonových podložkách

Ze vzorků 17 až 24 lze jasně vidět jejich reakci na teflonových podložkách, pokud se nechají po nanesení samovolně uschnout na vzduchu přibližně 30 minut. Vzorky, které budou nyní popsány, schnuly na hydrofobní teflonové podložce. Na vzorek č. 17 byl nanášen alkalický kasein po uschnutí a manipulaci s ním se stále trhá.

Kyselý kasein byl použit na vzorku č. 18, ten po uschnutí na podložce není dostatečně pevný a také se trhá jako předchozí vzorek. Vzorek č. 19 chitosan je po uschnutí na povrchu zvrásněný a při manipulaci s ním se netrhá. Nanocelulóza vzorek č. 20 má po uschnutí částečně zvrásněný povrch, není čirý a netrhá se.

Vzorky 21 až 24 se nechaly uschnout na teflonové podložce hydrofilního typu. Alkalický vzorek č. 21 je po uschnutí přilepen na podložce a lze částečně sundat, ale trhá se při další manipulaci. Vzorek č. 22 na něj byl nanesen kyselý kasein, který po uschnutí se na podložku přilepí tak, že lze odstranit jen okraj polymerní nanovlákněné membrány, která nemá na sobě vrstvu kyselého kaseinu.

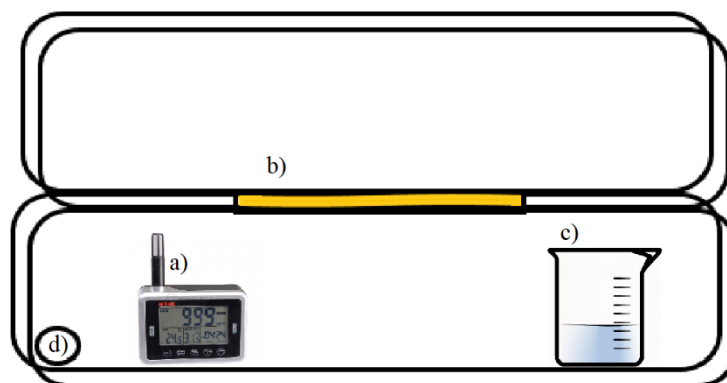
Chitosan vzorek č. 23 lze po uschnutí z podložky odstranit, ale trhá se jako většina vzorků. Vzorek č. 24 na něj je nanesena nanocelulóza, která po uschnutí má stejné vlastnosti jako na podložce hydrofobní. To znamená, že vzorek č. 24 jako jediný uschnul na podložce a lze s ním manipulovat. Po odstranění z podložky se netrhá a je povrchově stejně zakalený jako vzorek č. 20.

Ze všech pokusů bylo tedy zjištěno, že pro další experimenty je vhodné použít na výrobu membrán z polymerních nanovláken roztoky z nanocelulózy, kyselého kaseinu a polyvinylalkoholu. Všechny ostatní roztoky nejsou pro další experimentování vhodné. Z toho důvodu se nedělaly další pokusy těchto roztoků.

2.5. Experiment testovací pokus přehlcené místnosti oxidem uhličitým

Tento experiment je založen na principu napodobení místnosti, kde se hromadí CO_2 a chce se docílit toho, že přebytek CO_2 v místnosti bude odstraněn pomocí předem vytvořené membrány s požadovanými vlastnostmi pro řízený prostup CO_2 .

Experiment je navrhnout tak, že se dvě plastické nádoby položí vodorovně na sebe, viz obr. 24. Obrázek znázorňuje experiment imitace přehlcené místnosti. Horní plastická nádoba je prázdná. Spodní plastická nádoba má uvnitř měřicí přístroj (a). Přístroj má otvor v krabici na nabíjení (d), jelikož tento měřák nelze bez napájení používat. Přístroj měří uměle vytvořený oxid uhličitý vytvořený v kádince (c), který projde skrz námi vytvořenou textilní membránu (b).



Obrázek 24: Imitace pokusu přehlcené místnosti oxidem uhličitým [22; 25]

2.5.1 Postup přípravy experimentu

Experiment je připraven tak, že dvě plastické nádoby se položí svísele na sebe. V jedné plastické nádobě je otvor určený na napnutí membrány, která řídí prostup CO_2 přehlceného v místnosti. Druhá plastická nádoba simuluje prázdnou místnost.

Spodní plastická nádoba má otvor, na který se upevní vhodná textilní membrána. V této plastické krabici je nasimulováno proudění CO_2 , které se vytvoří za pomoci jedlé sody, vody a kyseliny octové. Uměle vytvořený CO_2 je umístěn v kádince. U této kádinky je měřicí přístroj CL11, který měří za pomoci jednotek ppm nasycený oxid uhličitý v plastické nádobě (přehlcená místnost). [25]

Horní plastická nádoba má simulovat místnost, do které vniká CO_2 vytvořené z přehlcené místnosti. V této krabici nádobě by měl být CO_2 řízen tak, že ho membrána nebude propouštět ve vysoké míře. Tento pokus byl vyzkoušen, ale naměřená čísla neodpovídaly požadovaným hodnotám, kterých se chtělo docílit. Proto je tento pokus poupraven z hlediska toho, že se použije nový měřicí přístroj a celkové sestavení experimentu je navrženo jinak.

2.5.1.1. Měřicí přístroj CL11

Přístroj udává teplotu, vlhkost a měří oxid uhličitý v ovzduší. Přístroj CL11 je vhodný pro měření oxidu uhličitého. Je to přesný záznamník dat, který zobrazuje a ukládá hodnoty relativní vlhkosti, teploty, CO_2 a teplotu externí sondy. Nastavení přístroje je přehledně popsáno v manuálu, který je přiložený k měřicímu přístroji CL11 dodavatelem. Na obrázku č. 25 jsou popsány části měřicího přístroje. [25]

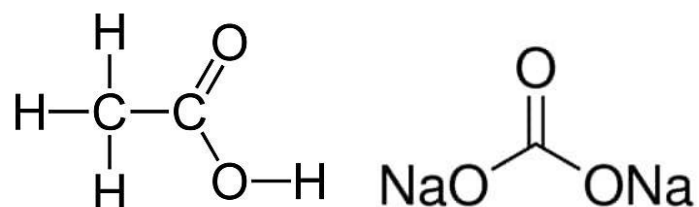


Obrázek 25: Měřicí přístroj CL11 [25]

Přístroj je umístěn na Katedře materiálového inženýrství TUL a dodán firmou GEIS. Je vybaven senzorem vlhkosti a poskytuje výborný výkon. Parametry přístroje jsou hmotnost přibližně 200 g, měřicí rozsah je od 0 do 5 000 ppm. Přístroj je vybaven AC adaptérem napájení. Měřicí veličiny jsou CO₂, vlhkost vzduchu, teplota. Přesnost je lepší než ± 30 ppm ± 5 % z naměřené hodnoty a relativní vlhkosti je větší jak 2,5 %. Vnější rozměry jsou délka 45 mm, výška 120 mm a šířka 157 mm. [25]

2.5.1.2 Roztok oxidu uhličitého

Postup výroby umělého oxidu uhličitého pro experiment. Roztok byl namíchán použitím kyseliny octové (CH₃COOH), uhličitanu sodného (Na₂CO₃) či jedlé sody, viz obr. 26. Dávkování musí být přesné. [19]



Obrázek 26: Vzorce CH₃COOH a Na₂CO₃ [19]

Roztok byl vytvořen tak, že se 10 ml kyseliny octové doplnilo do 100 ml vody. Poté se vytvoří druhá složka, což je 5 g jedlé sody či stejné množství uhličitanu sodného doplněné do 100 ml vody. Tímto způsobem jsou vytvořeny dva roztoky každý z nich o objemu 100 ml/l. Roztoky se dávkuje tímto způsobem 5 ml CH₃COOH a 5 ml Na₂CO₃, ty jsou poté smíchány v kádince, která se vloží do plastické aparatury.

2.6 Experiment měření CO₂

Principem experimentu je vytvoření umělého prostředí, které napodobuje přehlcenou místnost plynem CO₂. Rozhodlo se, že pro experiment se použije skleněná nádoba, do které je vložen měřicí přístroj na CO₂. Tento přístroj je nechán v nádobě přibližně 24 hodin a měří celou dobu obsah CO₂. Na víko nádoby se připevní požadovaný testovaný vzorek. Po naměření se vzorek odstraní a použije se další, který byl vybrán podle svých vlastností a vyhovuje tak požadovanému měření.

2.6.1 Postup měření

Je připraven měřicí přístroj CO₂ a kabel, pomocí kterého se přesunou data do PC pro další zpracování. Dále je potřeba skleněná nádoba o objemu přibližně 3,7 litrů a testované vzorky o rozměrech přibližně 20 x 20 cm.

Dvě potravinářské gummy použity jako těsnicí prostředek vzorků a plyn CO₂ vytvořený za pomoci dýchání. V neposlední řadě počítač s nainstalovaným analogickým softwarem COMET Vision, který je zdarma dostupný na internetových stránkách.

Měřicí přístroj je zapnut a poté vložen do čisté a suché skleněné nádoby na její dno. Přístroj je vložen tak, že zadní stranou leží na dně sklenice a víkem sklenice je vidět na displej. Osa skleněné nádoby a zařízení je v horizontálním směru. Poté se v nádobě vytvoří plyn CO₂, které se vytvoří pomocí vlastního dýchání.

Vdechnutí do sklenice musí být tak intenzivní, že se v nádobě objeví na měřáku hodnoty přibližně v intervalu od 3 200 – 4 500 ppm plynu CO₂. Pokud je naměřená hodnota menší, pokračujeme v přidávání množství CO₂. V opačném případě je nutné přebytek CO₂ odstranit, aby hodnota klesla. Měřicí přístroj je nastaven tak, že pokud daná hodnota CO₂ přesáhne limit 5 000 ppm, nejsou data zaznamenávána. Tímto způsobem pokračují, dokud se neobjeví požadovaná hodnota.

Pokud je ve sklenici požadované množství připraví se testovací vzorek o rozměrech přibližně 20 x 20 cm. Vzorek je širší než víko kvůli překrytí a dobrému utěsnění nádoby. Membrána je přiložena na víko nádoby a utěsněna na skleněnou nádobu. Takto připravenou nádobu nyní z horizontálního směru uvedu do vodorovné polohy. Osa a zařízení v horizontálním směru se uvádí do vodorovné polohy z toho důvodu, že se tento plyn CO₂ drží při zemi. Jeho množství se při přeorientování polohy rozmístí do celého objemu nádoby, což je důležité pro toto měření.

Přes víko nádoby je kontrolováno 5 – 10 minut množství CO₂, aby nedošlo k přesáhnutí limitu. Pokud měřené hodnoty klesají nebo jsou konstantní, nechá se nádoba nehybně na bezpečném místě po dobu přibližně 24 hodin. Po 24 hodinách je odstraněna membrána z víka nádoby a vyjmut měřicí přístroj. Z měřáku se pomocí kabelu a předem stáhnutého softwaru COMET Vision přesunou naměřené hodnoty do PC. Software COMET Vision naměřené hodnoty sám zpracuje do tabulky s pomocnými časy a také vytvoří grafickou časovou osu dat. Poté data slouží k dalšímu zpracování.

2.6.1.1 Datalogger COMET – U 3430

Přístroj je určený k měření a zaznamenávání teploty, vlhkosti a CO₂ viz obr. 27. U měřáku je možnost nastavit alarm, který pomocí LED, LCD a akustiky upozorní na překročení nastavených mezí.

COMET – U 3430 má nezávislou elektronickou paměť, do které jsou ukládány naměřené hodnoty. Veškeré zaznamenané údaje lze pomocí kabelu a rozhraní USB – C přenést do jakéhokoliv PC, který má nainstalovaný software COMET Vision.

Přístroj má zabudovaný kalibrační list s deklarovanými metrologickými návaznostmi etalonů, který dodržuje požadavky normy ČSN EN ISO/IEC 17025. Tato norma se specializuje především na všeobecné požadavky, které určují způsobilost zkušebním a kalibračním laboratorům. [26]



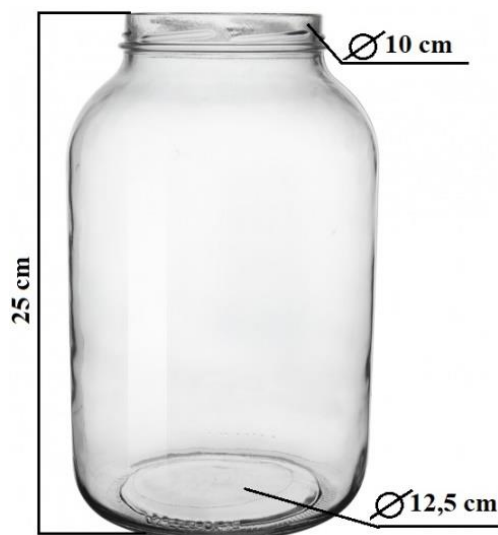
Obrázek 27: Datalogger COMET – U 3430 [26]

Parametry přístroje jsou hmotnost včetně baterií přibližně 250 g, měřicí rozsah je od 0 do 5 000 ppm. Přístroj lze nastavit na interval záznamu od 1 sekundy do 24 hodin. Měřicí veličiny jsou CO₂, vlhkost vzduchu, teplota. Přesnost je lepší než $\pm 50 \text{ ppm} \pm 3 \%$ z naměřené hodnoty. Přístroj má dvě možnosti uchování záznamu a to cyklický a necyklický typ. Cyklický typ znamená, že při přehlcení paměti naměřenými hodnotami se staré údaje nahrazují novými a záznam dále pokračuje. Necyklický je naopak při zahlcení zastaven a již žádné nové hodnoty nejsou zaznamenávány. Vnější rozměry jsou délka 61 mm, výška 93 mm a šířka 53 mm. [26]

2.6.1.2 Ostatní příslušenství na experiment měření CO₂

Jak již bylo řečeno v kapitole **2.6.1 Postup měření**, k přípravě experimentu se připraví skleněná nádoba, oxid uhličitý, potravinářské gummy a testované vzorky.

Skleněná nádoba je možné zakoupit na internetových portálech. K experimentu byla použita skleněná nádoba zakoupena na portálu Orion. Tato nádoba je vhodná k uchování okurek, paprik, kukuřice a další zeleniny, která je možná zavařovat. Objem této nádoby činí 3,7 litru, výška je 25 cm a průměr je přibližně 10 cm, viz obr. 28. [27]



Obrázek 28: Skleněná nádoba [27]

Plocha je definována v matematice jako geometrický dvojrozměrný útvar, kterým může být rovina, kulová plocha či povrch válce. Plocha kruhu jinými slovy obsah kruhu se vypočítá jako velikost plochy, kterou daný kruh či kružnice zabírá.

Obsah kruhu se značí pomocí písmene S, které je v matematice typické označení a udává se v základních jednotkách umocněných na druhou. Obsah kruhu se vypočte za pomoci průměru nebo poloměru umocněnými na druhou. [28]

Základní vzorec pro výpočet obsahu (plochy) kruhu:

$$S = \frac{1}{4} \pi * d^2 = \pi * r^2 \text{ [m}^2, \text{cm}^2, \text{dm}^2, \dots \text{]}$$

π ... Ludolfovo číslo

d ... průměr

r ... poloměr

Plocha dna a víka: $S = \pi * \frac{d^2}{4} \text{ [cm}^2\text{]}$

$$S_{\text{víka}} = \pi * \frac{10^2}{4} = 25\pi = 78,539816 \doteq \mathbf{78,54 \text{ cm}^2}$$

Oxid uhličitý je při tomto pokusu vytvořen pomocí lidského organismu, kdy se pomocí nádechu vytvoří oxid uhličitý v lidském těle a poté je vdechnut do skleněné nádoby. Množství oxidu uhličitého v nádobě musí splňovat takové podmínky, které jsou potřebné k správnému měření pomocí Dataloggeru COMET – U 3430.

Hlavní podmínka je obsah množství CO₂ ve skleněné dóze, které by mělo být v intervalu od 3 200 – 4 500 ppm. Pokud množství CO₂ dosáhne hodnot 5 000 ppm, poté měřák nezaznamenává v tuto chvíli data, viz kapitola **2.6.1 Postup měření**.

Vzduch, který se vyskytuje v místnostech při pravidelném větrání je přibližně 400 ppm CO₂. Při výpočtech koncentrace CO₂ v exteriérech se vycházelo z koncentrace oxidu uhličitého 1 000 ppm a objemu přibližně 25 m³/hod. na osobu. Minimální množství potřebné pro jednu osobu na hodinu při objemovém množství 25 m³ u klasické větrané místnosti je potřeba přibližně 620 kJ, přibližně tepelné ztráty 172 W. Pokud se předpokládají reálné podmínky výše tepelných ztrát je přibližně 200 W na osobu za hodinu, při pravidelném větrání. Otevírání oken by nebylo potřeba, pokud se vyrobí aktivní membrány, které sníží koncentraci CO₂ a tím zamezí spotřebovat zbytečně ztráty energie spojenou se zvýšenou suchostí vzduchu v interiéru. [29]

Potravinářské gummy jsou nedílnou součástí tohoto experimentu, které slouží k utěsnění víka skleněné nádoby testovaným vzorkem. Potravinářské gummy byly zakoupeny na internetovém portálu Orion. Gummy jsou z elastického materiálu a pro experiment se použily dva druhy rozměrů gumiček 2 cm a 3,5 cm. Dva druhy rozměrů jsou použity z důvodu pevného utěsnění a elasticita materiálu pomůže k dobré manipulaci při upevnění testovaného vzorku na skleněné víko. [27]

Potravinářské gummy byly nahrazeny polyvalentní a ekonomickou těsnicí páskou zakoupenou na e-shopu Havel Composites. Polyvalentní těsnicí páska je ideální pro použití na kompozitní nástroje, pokud se páska ochladí na pokojovou teplotu, je vysoce lepkavá a snadno přilne na jakýkoliv materiál. [30]

Testované vzorky byly vybrány na základě jejich specifických vlastností, které jsou důležité pro další testování. Tyto vzorky jsou nastříhány na požadované rozměry 20 x 20 cm, které se poté testují. Přehled vzorků je podrobně vypsán viz tabulka č. 1. Vzorky jsou v tabulce označeny písmeny abecedy, které jsou dále rozepsány níže. U testovaných vzorků jsou popsány základní vlastnosti a jejich struktury.

2.7 Přehled testovaných vzorků

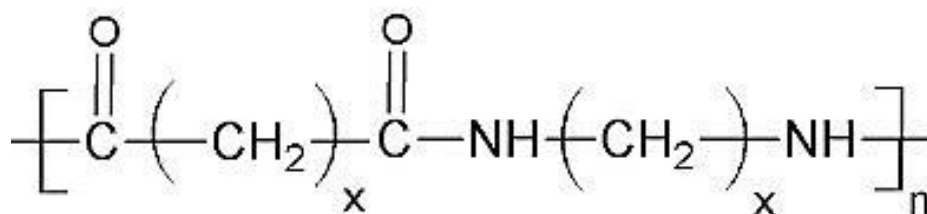
Celkový přehled všech níže popsaných vzorků viz tabulka 1. V tabulce jsou vzorky označeny v abecedním pořadí a každý má uvedené tyto vlastnosti. Plošnou hmotnost, která je přepočítaná z cm² na m², tloušťku, materiálové složení, strukturu a prodyšnost.

Tabulka 1: Přehled testovaných vzorků

Vzorek	Plošná hmotnost [g/m ²]	Tloušťka [mm]	Materiálové složení	Struktura
A	30,4	0,03	PA 6	fólie
B	91,1	0,19	PA 6	tkanina
C	29,2	0,01	Al	fólie
D	9,4	0,02	PE	termoplast
E	102,7	1,12	40% syntetika 60% viskóza	tkanina
F	88,2	0,19	PA 6	tkanina
G	12,03	0,01	100% PES	tkanina

2.7.1 Vzorek A – polyamid 6, fólie

Polyamid 6, též znám pod obchodním názvem Nylon 6, je syntetické vlákno a jeho typická značka má tvar PA 6. Je znám svou vysokou pevností a odolností vůči oděru. Jeho teplota měknutí a tání se pohybují kolem hodnot 180 / 220 °C. Hustota polyamidu je 1 183 g/cm³ a struktura polyamidu má vzorec, viz obr. 29. Polyamidy jsou typické svými dlouhými řetězci, které obsahují amidové jednotky. Vzorek (2 g/m²) použitý v této práci má plošnou hmotnost 1,216 g/cm² a jeho tloušťka činí přibližně 0,03 mm. [19]



Obrázek 29: Vzorec polyamidu [19]

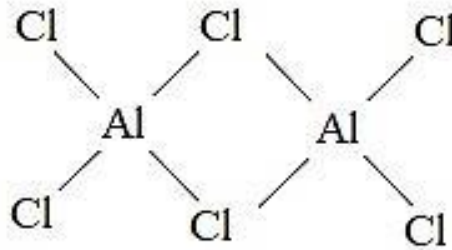
2.7.2 Vzorek B – polyamid 6, textilie (lící strana)

Nanomembrána z polyamidu je zelená textilie, která nemá hydrofobní úpravu. Popis vzorku B má stejné vlastnosti jako předchozí viz **Vzorek A – polyamid 6**.

2.7.3 Vzorek C – hliníková fólie (alobal)

Hliník je světlošedý velmi lehký kov, který má chemické značení Al, viz obr 30. Alobal je vyroben z hliníku, který se upravuje do kovových plátků o tloušťce 10 μm.

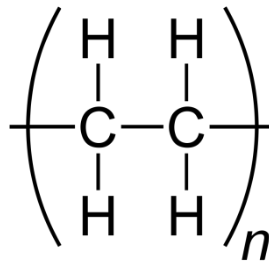
Výrobce hliníkové fólie je PRIMA PACK s.r.o., tato firma se zabývá především prodejem plastových obalů potravinářských výrobků na jedno použití. Teplota tání je 660,32 °C a hustota činí 2 700 g/cm³. Alobal je určený především pro skladování potravin díky jeho nerozpustnosti a pevnosti. [31; 32]



Obrázek 30: Struktura dimerního chloridu hlinitého [31]

2.7.4 Vzorek D – potravinová fólie, termoplast

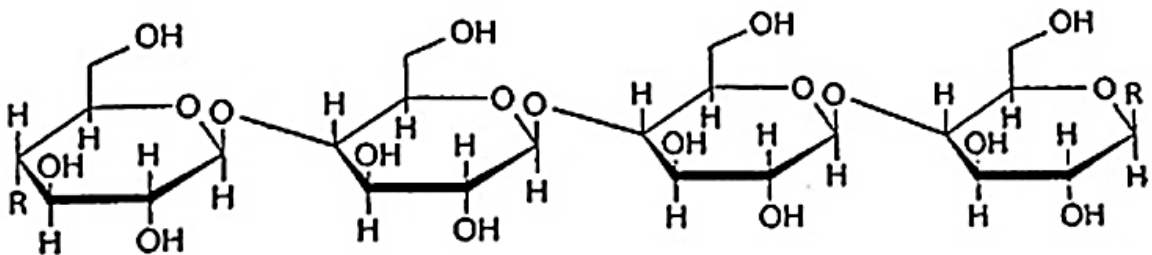
Polyethylen materiál, který je výrazně citlivý na teplo a je znám pod názvem stretch fólie. Značka PE je obecně známá pro polyetylén, při výrobě se používá etylén vinyl acetát, viz obr. 31. Teplota tání se pohybuje v rozmezí od 120 do 135 °C. Výrobce této stretch fólie je od společnosti OBRETA s.r.o. Tato společnost je zaměřena na plastové výrobky od návrhu určitého druhu obalu až po jeho realizaci a kompletní servis spojený s obalovou problematikou. [19; 33]



Obrázek 31: Vzorec polyetylenu [34]

2.7.5 Vzorek E – viskóza se syntetickými vlákny, textilie

Takzvaná rychloutěrka v obchodnickém slangu je textilie vyrobená z 60 % viskózy a 40 % syntetických vláken. Viskóza se získává regenerací celulózy a toto vlákno patří mezi chemická vlákna z přírodních polymerů. Tato vlákna mají specifickou hmotnost přibližně 1,52 cN/cm³ a její specifické vlastnosti jsou nízká pevnost, vysoká tažnost za mokra. Významná je i svým chemickým vzorcem viz obr. 32. [18]



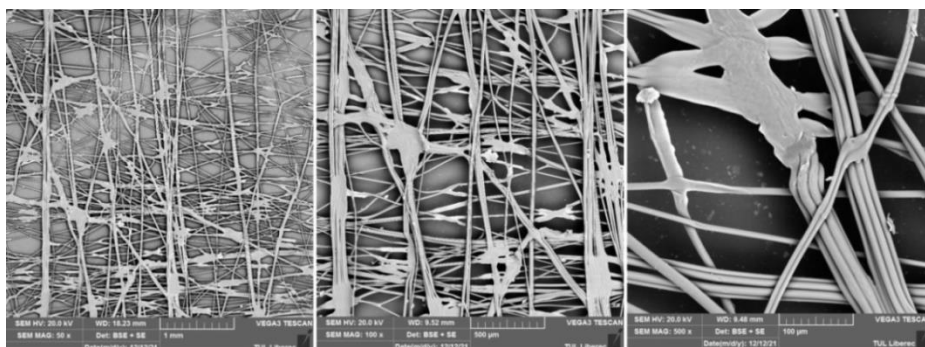
Obrázek 32: Vzorec celulózy [35]

Vzorek F – polyamid 6, textilie (rubní strana)

Nanomembrána vzorku tvoří polyamid 6 (textilie zelené barvy), která má z rubní strany hydrofobní úpravu. Popis vzorku F má stejné vlastnosti jako viz **Vzorek A – polyamid 6**.

2.7.6 Vzorek G - milife

Netkaná textilie vyrobená ze 100 % polyesteru převážně ve formě pásků, které vytvoří křížovou laminovanou strukturu a průměr má přibližně 10 μm , viz obr 33. K vynikajícím vlastnostem patří snadné roztržení pásek a křížové laminování osnovních a útkových vláken. Výhodné vlastnosti jsou snadné barvení, nízká plošná hmotnost a tloušťka. Tyto vlastnosti napomáhají k nánosu lepidla na obě strany vzorku jedním nátěrem. Tkanina je vhodná pro outdoorové oblečení, kde díky jeho vlastnostem udržuje oděv dostatečně prodyšný, voděodolný, tepelně izolovaný a lze kombinovat s jinými materiály. [36]



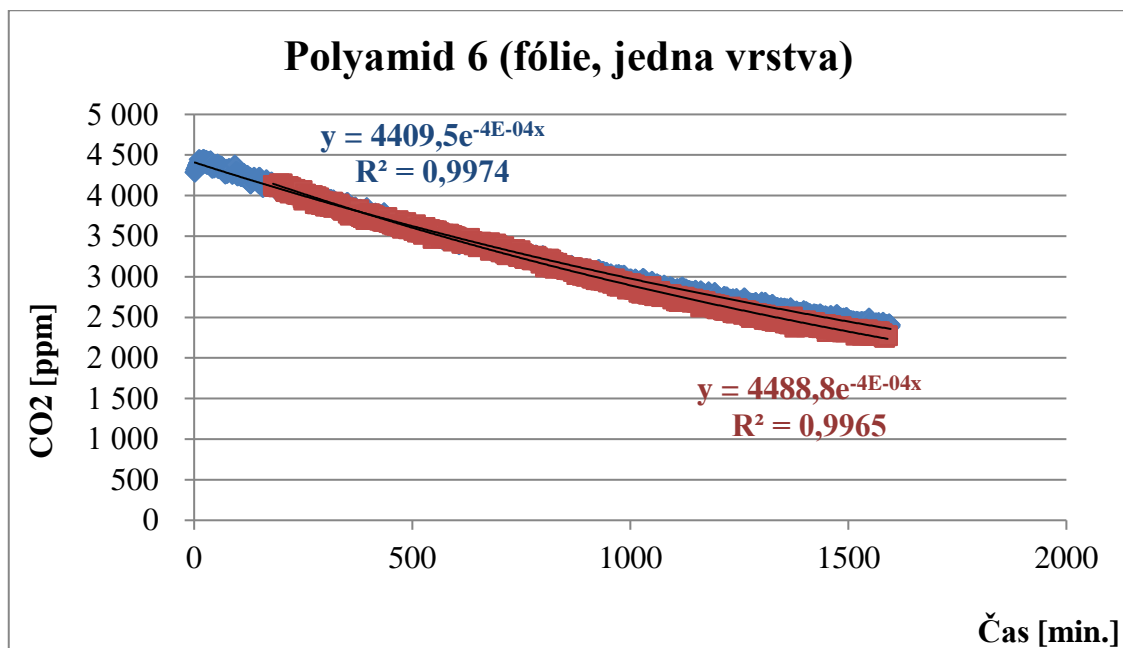
Obrázek 33: Elektronová mikroskopie milife

3. Výsledky a diskuze výsledků

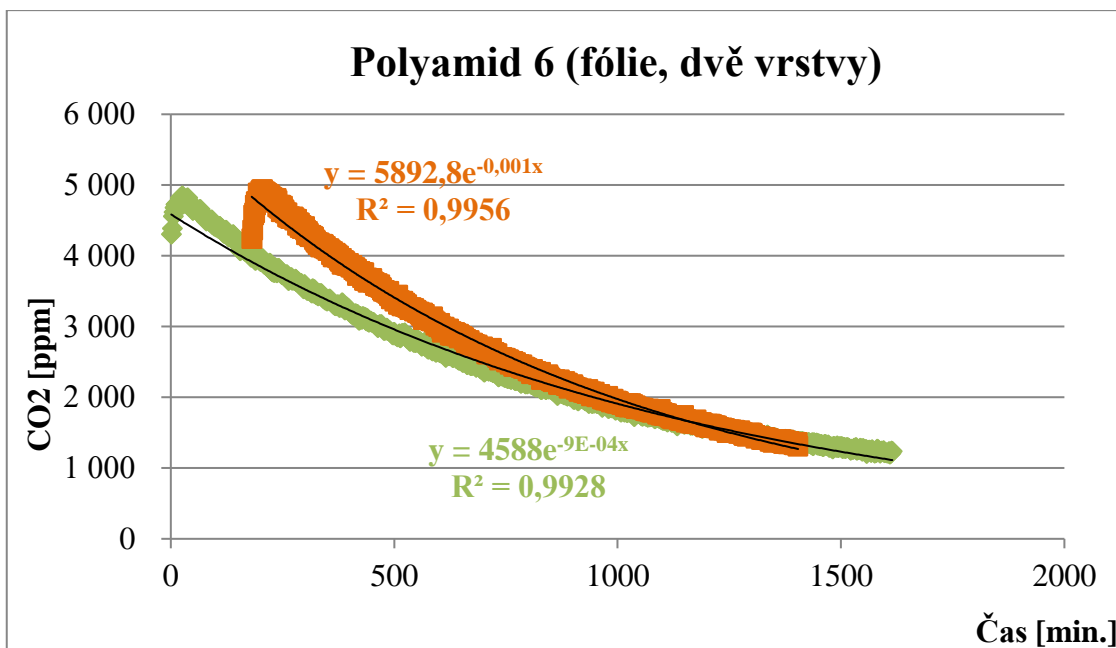
Měřením daných vzorků viz *Tabulka 1: Přehled testovaných vzorků*, vykázalo hodnoty, které jsou dále popsány a přehledně zpracovány v této kapitole. Výsledky jsou zaznamenány do grafů s průměrnými hodnotami získanými z několika pokusů měření. Zprůměrované výsledky každého vzorku byly za stejných podmínek otestovány v laboratoři.

Na všech níže zobrazených grafech je jasně viditelné měření po přibližně 24 hodinách testovaného vzorků bez úprav, jejichž struktury a materiálové složení je popsané; viz *Tabulka č. 1 Přehled testovaných vzorků*. Vzorek se testoval za podmínek klasické vyvětrané místnosti, kde je teplota vzduchu dána v intervalu od 22 do 23°C. Tato teplota je u všech vzorků shodná, měření se provádělo ve stejné místnosti za stejných podmínek. Z grafu je patrná závislost změny CO₂ v daném čase.

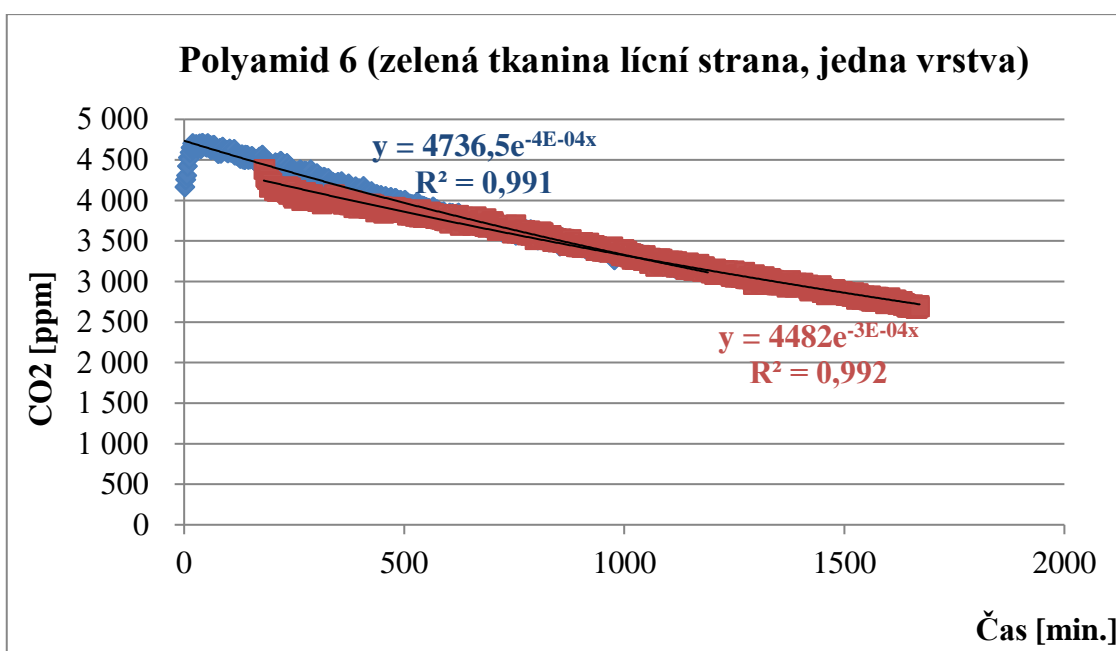
Každý materiál byl v jeho základní podobě bez jakékoliv úpravy s membránou aplikován na nádobu, ve které se nacházel Datalogger COMET – U 3040. Tento Datalogger měřil materiály přibližně 24 hodin. Do nádoby se přirodně dýcháním vytvořil oxid uhličitý, který simuloval místnost s jeho určitou koncentrací. Tato nádoba poté byla utěsněna pomocnými gumičkami na víku, aby zamezila úniku či průchodu další koncentraci do nádoby.



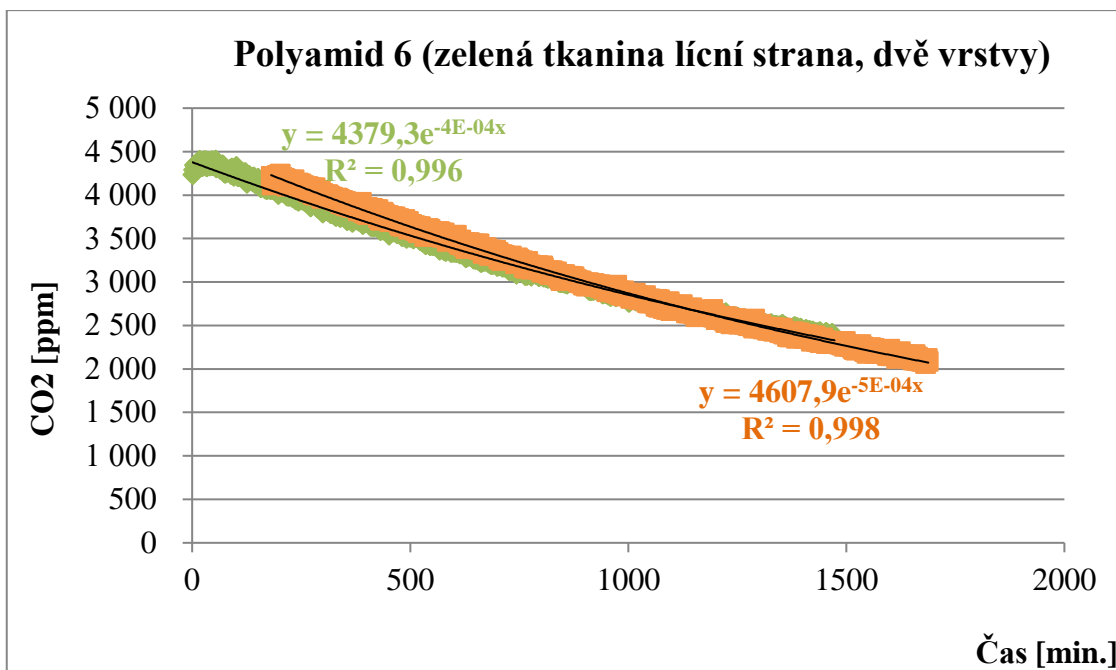
Obrázek 34: Vzorek A - Polyamid 6



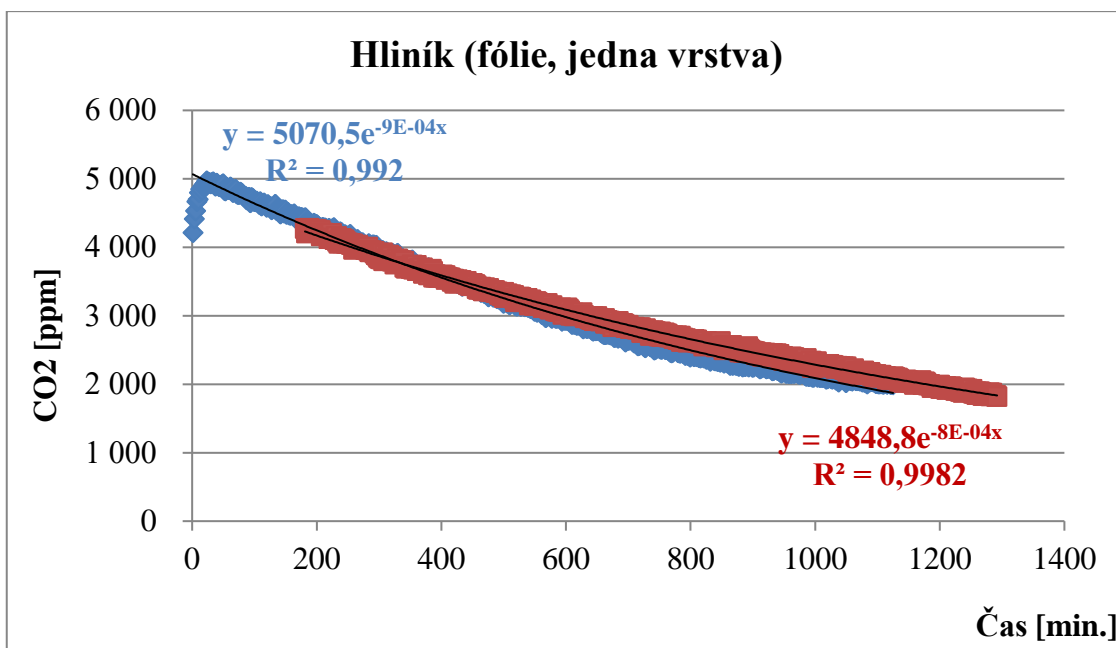
Obrázek 35: Vzorek A - Polyamid 6



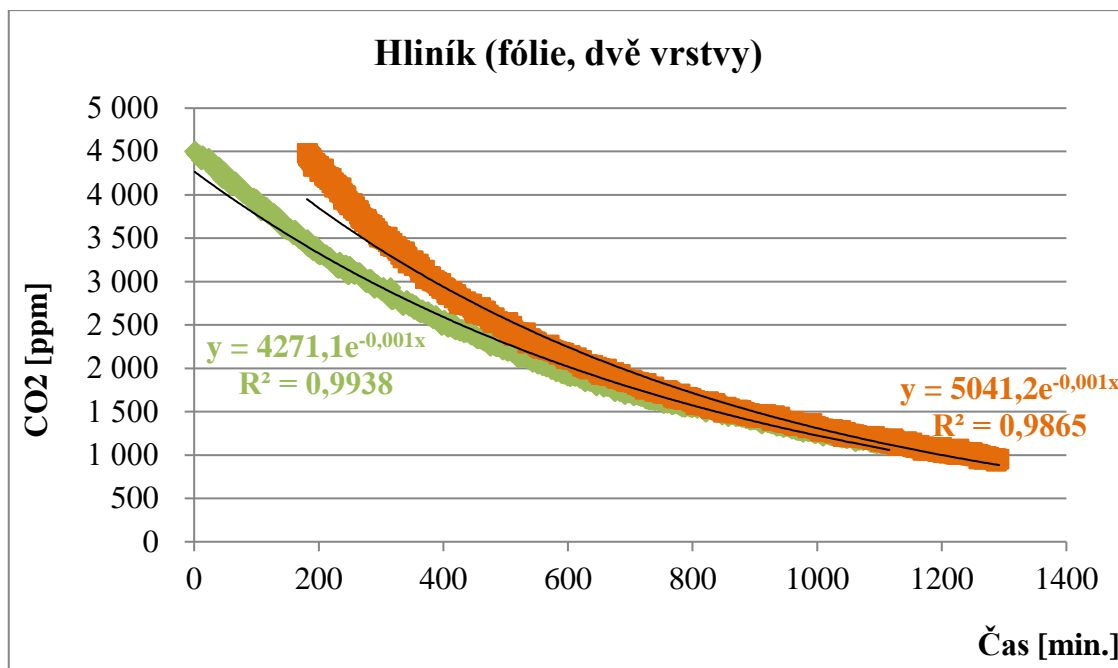
Obrázek 36: Vzorek B - Polyamid 6



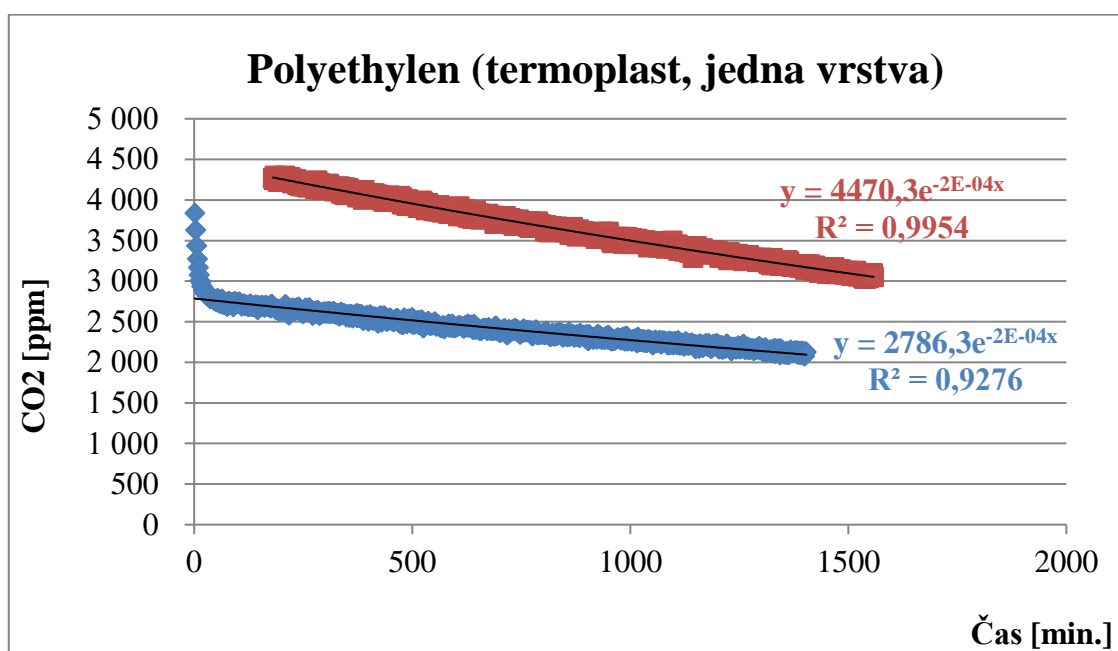
Obrázek 37: B - Polyamid 6



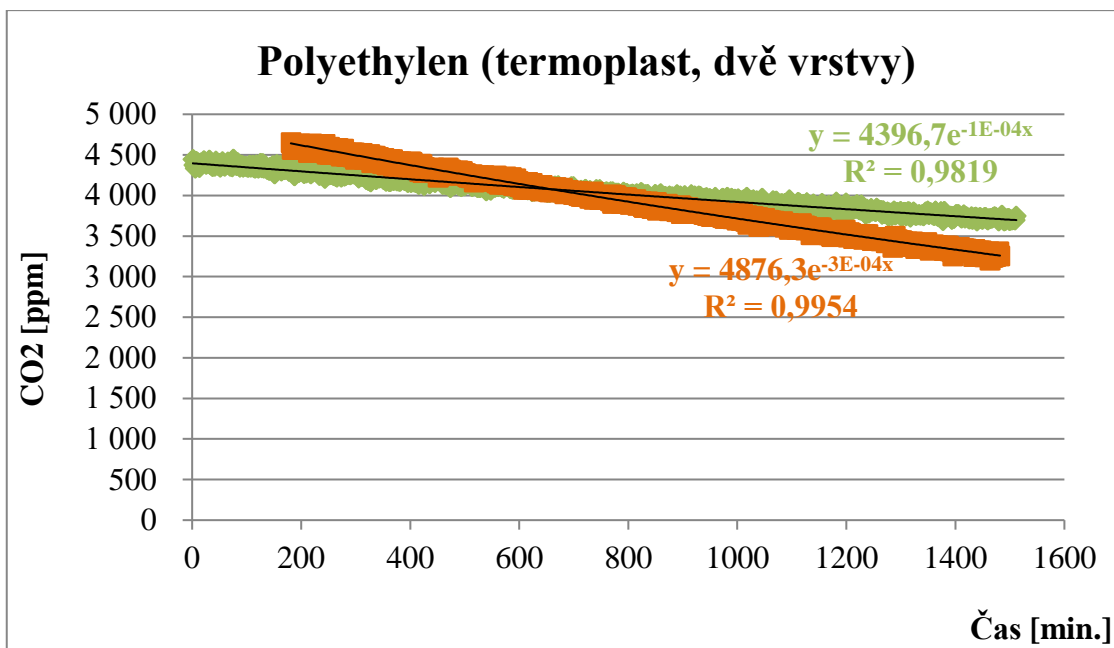
Obrázek 38: Vzorek C - Hliníková fólie



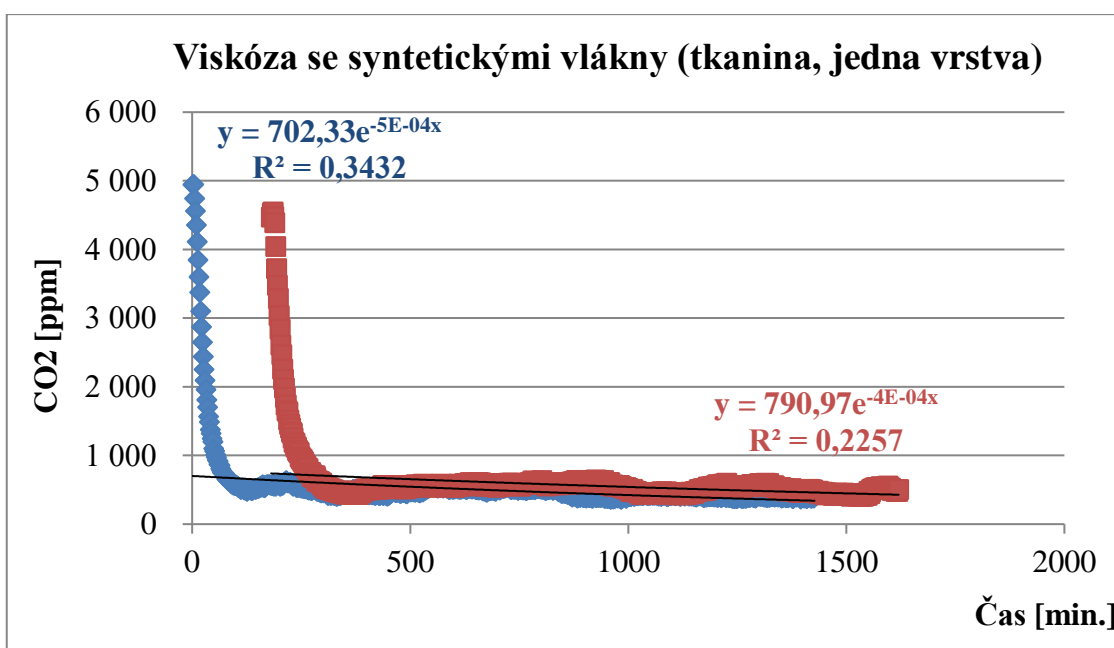
Obrázek 39: Vzorek C - Hliníková fólie



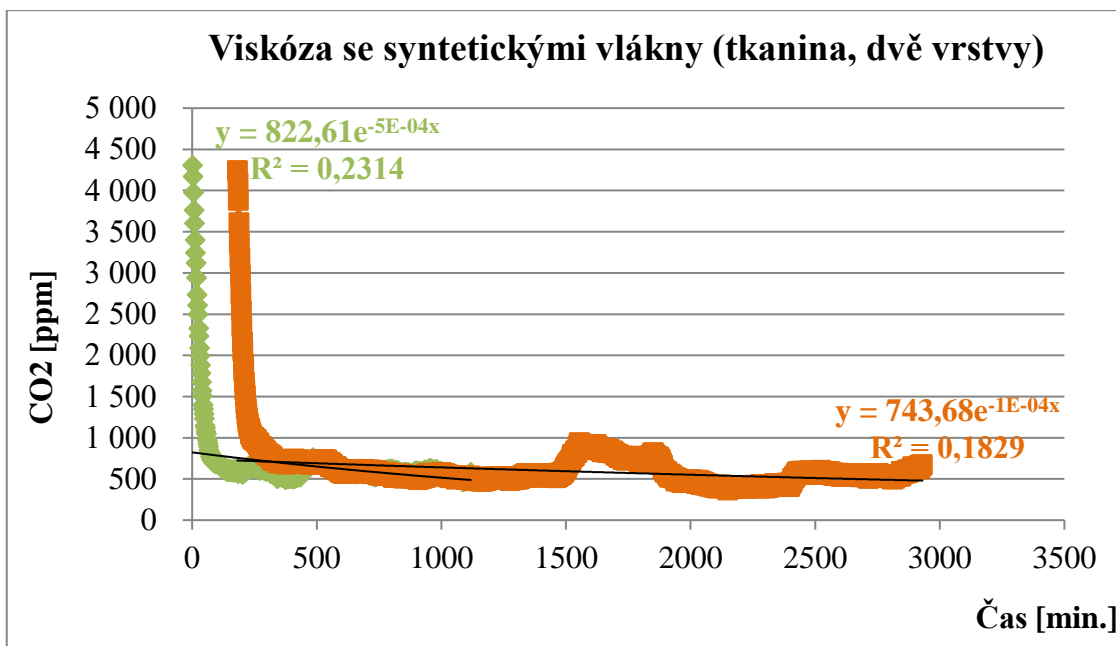
Obrázek 40: Vzorek D - Polyethylen



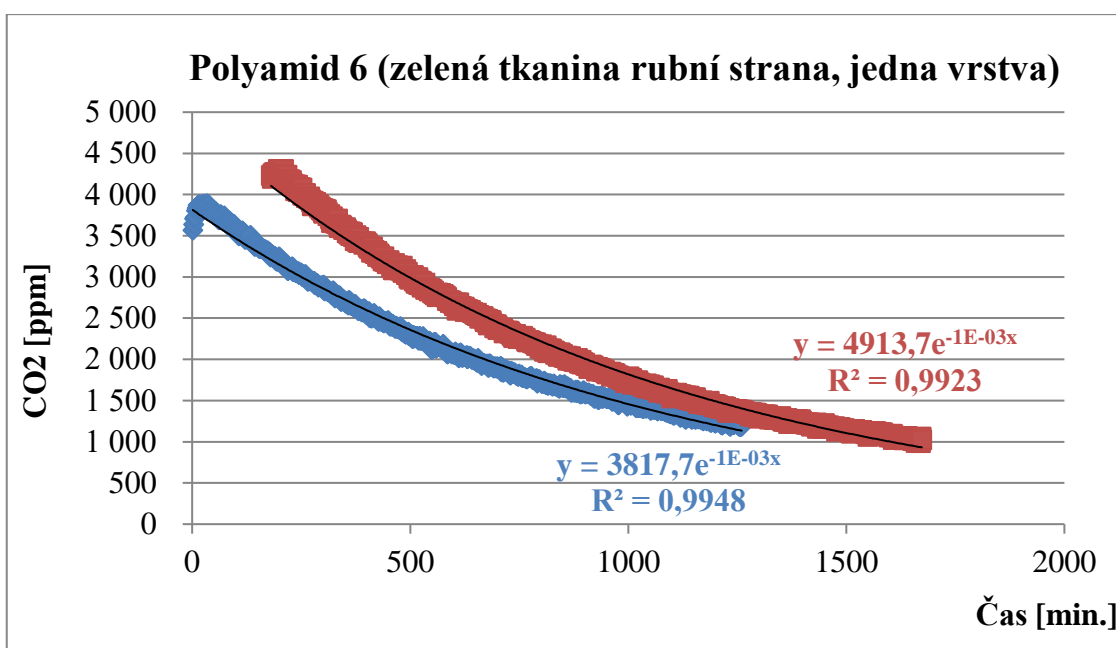
Obrázek 41: Vzorek D - Polyethylen



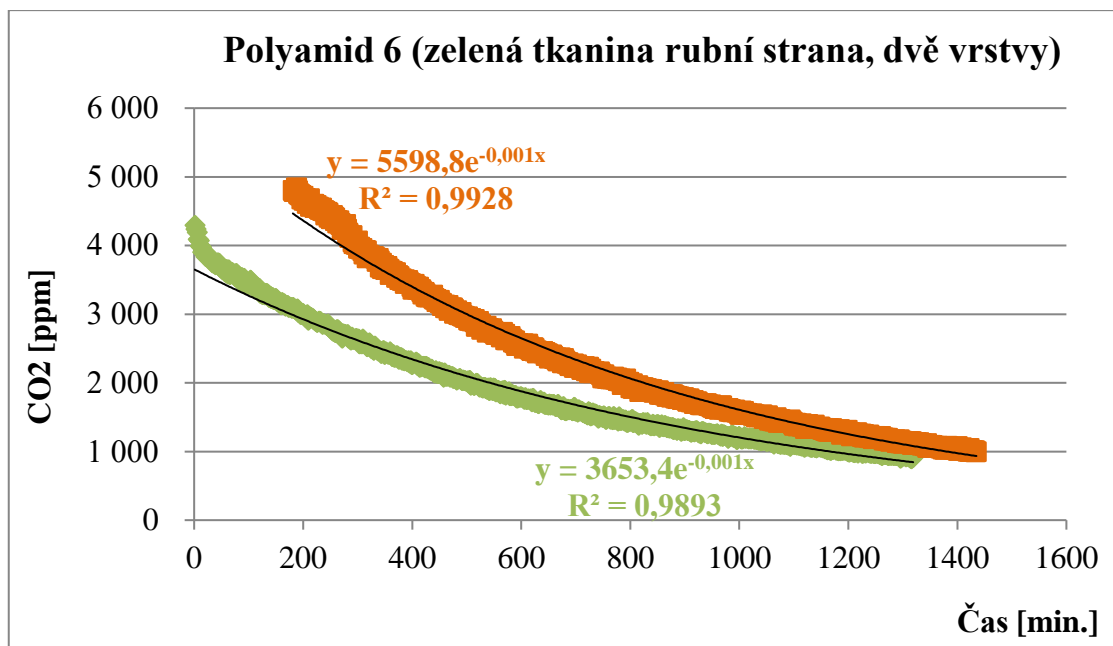
Obrázek 42: Vzorek E je 40% syntetika, 60% viskóza



Obrázek 43: Vzorek E je 40% syntetika, 60% viskóza



Obrázek 44: Vzorek F - Polyamid 6



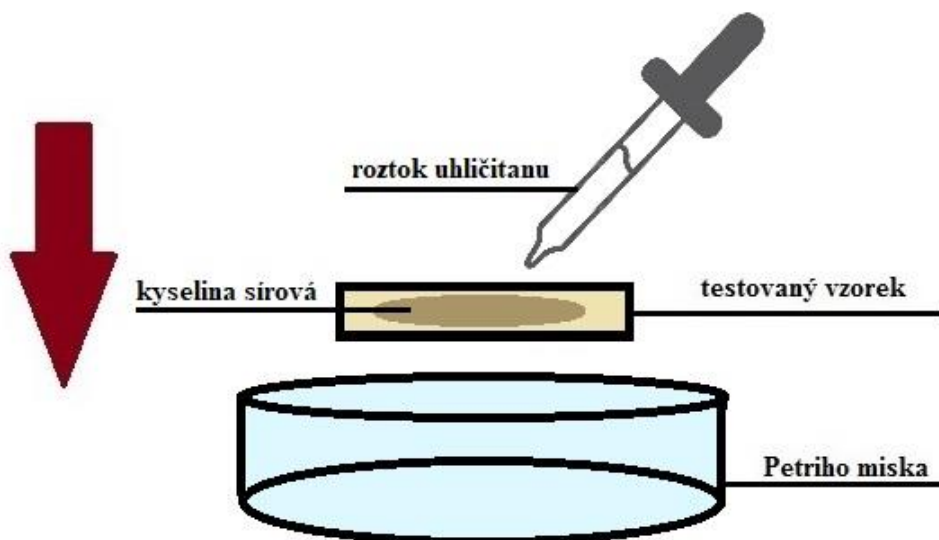
Obrázek 45: Vzorek F - Polyamid 6

Po výsledcích, které jsou vyobrazeny na obr. 34 - 45, bylo zjištěno špatné utěsnění vzorků na nádobu. Problém nastal u materiálů, u kterých se předpokládalo, že budou odolné vůči úniku CO₂, nicméně po naměřených výsledcích data vykazovala prudký pokles plynu v nádobě kvůli špatnému utěsnění vzorku na nádobu. Například za předpokladů vlastností, které má hliník, se očekával mírný pokles CO₂ a podle grafu vzorku C na obr. 38-39 je viditelný rychlý pokles hodnot, které jsou viditelné na daných křivkách. Těsnící problém se dále řešil tak, že pro další testování byla použita polyvalentní a ekonomická těsnící páska, která se natáhla na víko nádoby tak, aby byla po celém obvodu napnutá přibližně ve stejné tloušťce.

V důsledku výsledků testování bylo rozhodnuto změnit těsnící prostředek proto, aby následující testování nebylo ovlivněno okolními vlivy. Byly vyzkoušeny různé způsoby, jak vytvořit v dané nádobě CO₂. Zkoušel se způsob pomocí tlakové láhve s CO₂ bombičkami, ty měly vytvořit CO₂ v nádobě. Tato metoda se bohužel neosvědčila, protože tlakový přetlak vytvořil tak velké množství CO₂ v nádobě, že pro další testování tento princip nešel dále využít.

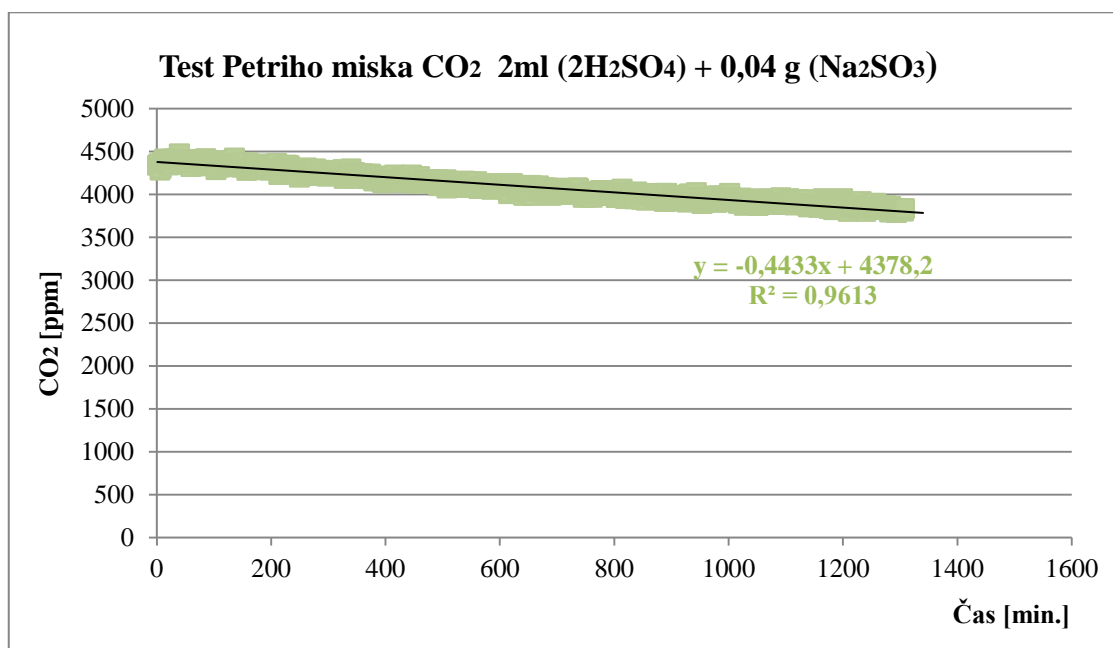
Další způsob, který byl vyzkoušen je simulace uměle vytvořeného CO₂ za pomoci vzorku skelné vaty o rozměrech 4 x 4 cm vložený do Petriho misky a napuštěný kyselinou sírovou (H₂SO₄), na kterou se pipetou aplikovat vytvořený roztok z uhličitanu sodného (Na₂CO₃), viz obr. 46.

Roztok uhličitanu sodného se vytvořil rozpuštěním množství přibližně 16 g (Na_2CO_3) doplněný do 50 ml vody. Dávkování poté vypadalo takto 0,04 ml roztoku uhličitanu sodného a 2 ml kyseliny sírové na testovaném vzorku skelné vaty.



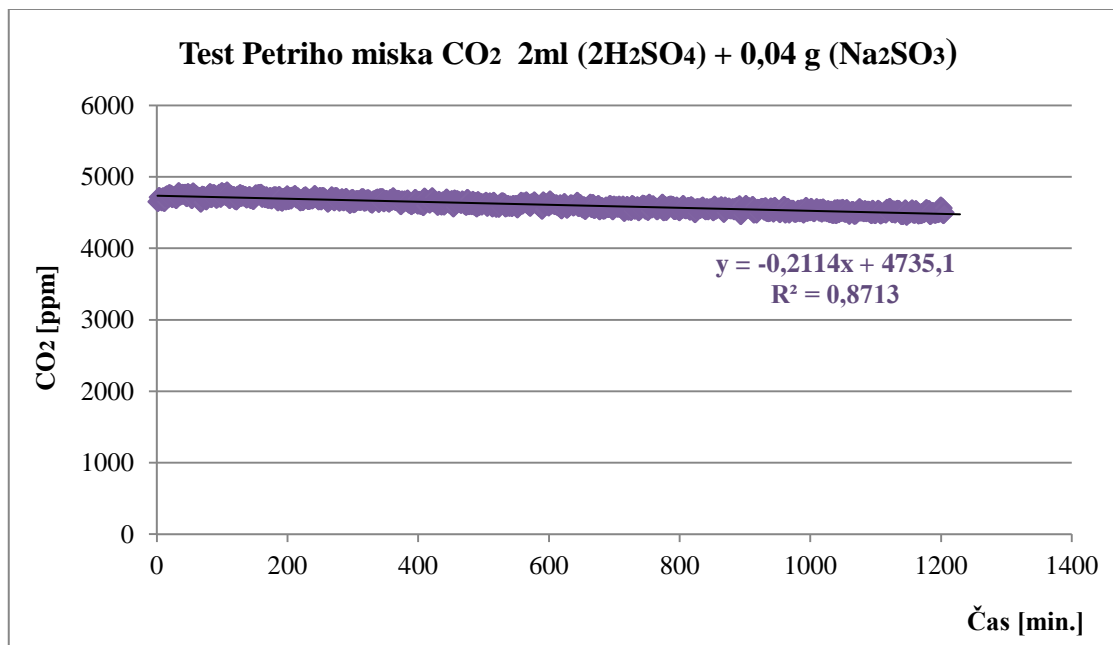
Obrázek 46: Test uměle vytvořeného CO_2

Připravený pokus v Petriho misce se vložil do testovací aparatury, do které se vloží měřák. Poté se utěsní polyvalentní a ekonomická těsnící páska, která se natáhne na víko nádoby tak, aby byla po celém obvodu napnutá přibližně ve stejné tloušťce. Takto připravený pokus nechám přibližně 24 hodin v aparatuře. Výsledky po uplynutí časové doby jsou zpracovány do grafů; viz obr. 47.



Obrázek 47: Graf testování uměle vytvořeného CO_2

Grafické hodnoty vykazují mírné poklesy CO₂ v aparatuře. Mírný pokles je vykazován tím, že membrána byla na aparaturu správně utěsněna polyvalentní a ekonomickou těsnicí páskou, tím se hodnoty výsledků s umělým zdrojem projevily jako možnost testování membrán.

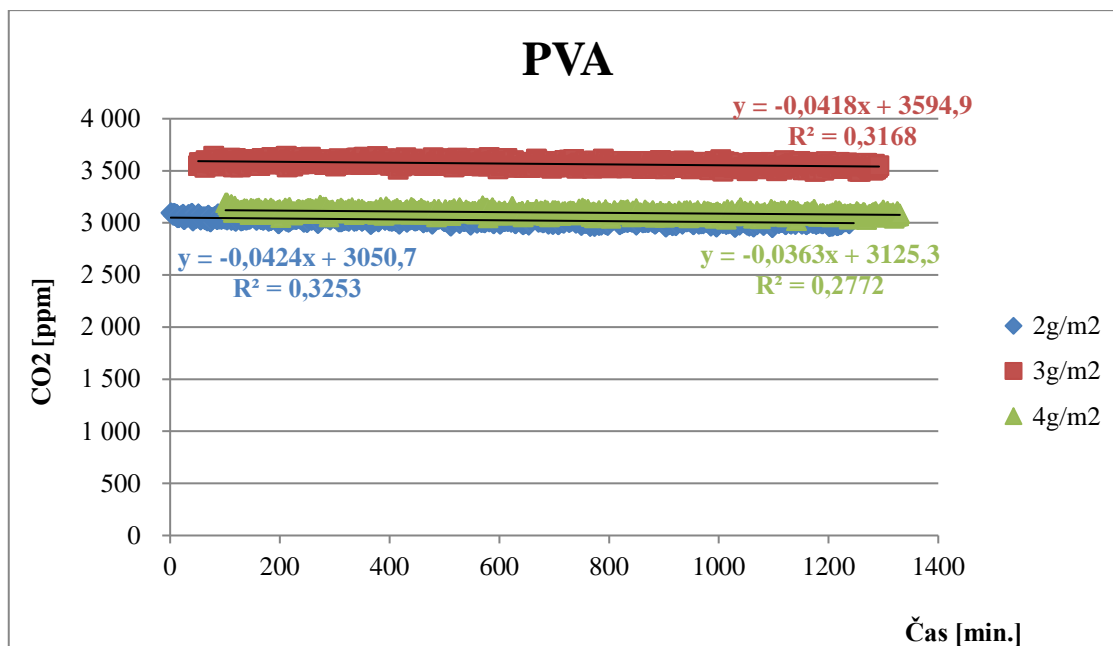


Obrázek 48: Graf testování uměle vytvořeného CO₂

Testováním s umělým zdrojem vytvoření CO₂, bylo zkoušeno navýšení dávkování roztoku uhličitanu sodného 0,16 ml a 3 ml kyseliny. Navýšením obou dávkovaných roztoků se chtělo zjistit, zda větší dávka roztoků ovlivní průběh zaznamenaných dat. Z výsledků je patrné, že data vykazují konstantní hodnoty; viz obr. 48. Naměřená data nejsou ovlivněna v takové míře, aby to zcela změnilo výsledná naměřená data změnou podílu v dávkování roztoků.

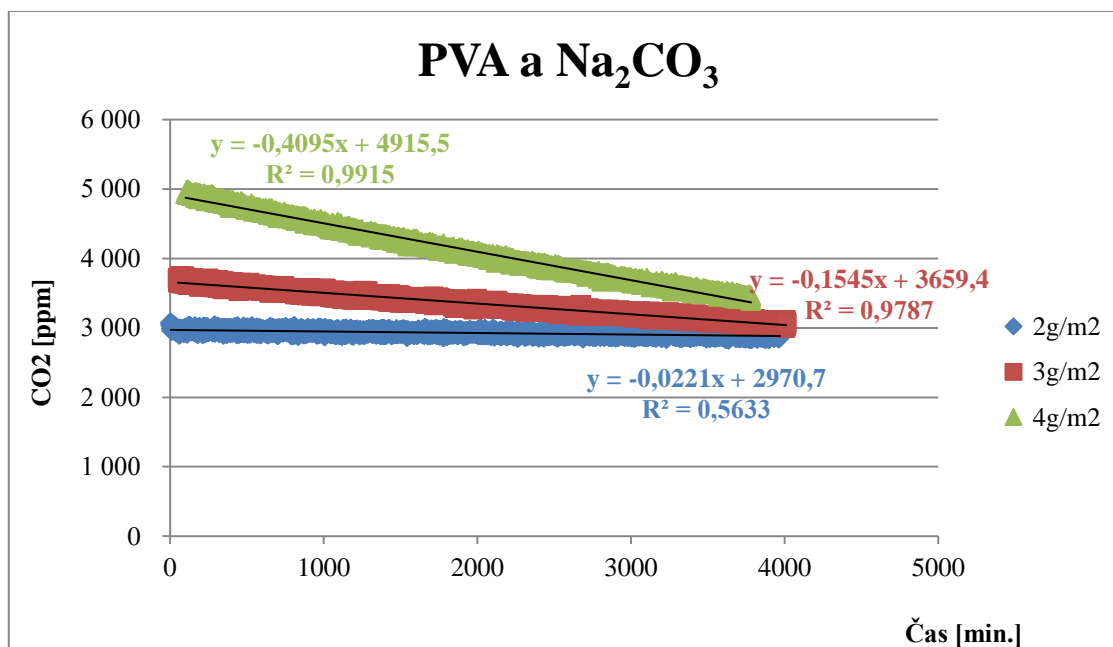
Skutečné testování reálných membrán bylo testováno na ustáleném zařízení; viz kapitola **2.6.1 Postup měření**. Zařízení se projevilo funkční a výsledné grafy vykazují konstantní hodnoty. Membrány byly vyrobeny způsobem, který je popsán; viz kapitola **2.3 Postup přípravy membrán**.

Z grafu PVA vidíme změny CO₂ vlivem na čase pro všechny neupravené membrány s PVA. Naměřená data vykazují konstantní hodnoty dat, které jsou viditelné u křivek, viz obr. 49. Testovány jsou membrány o plošných hmotnostech 2; 3 a 4 g/m². Rozdílnost v plošné hmotnosti vzorků neovlivňuje jejich výsledné hodnoty.



Obrázek 49: Membrány PVA

Na dalším grafu jsou znázorněny alkalické membrány. Zde lze vidět hodnoty výraznou zvilost na časové době; viz obr. 50. Tato situace nastane, když je v membráně obsažena alkálie. Pomocí alkálie je schopnost transportovat CO₂ v zařízení mnohem rychleji. Pokud alkálie obsažena není, výsledné hodnoty bývají konstantní.

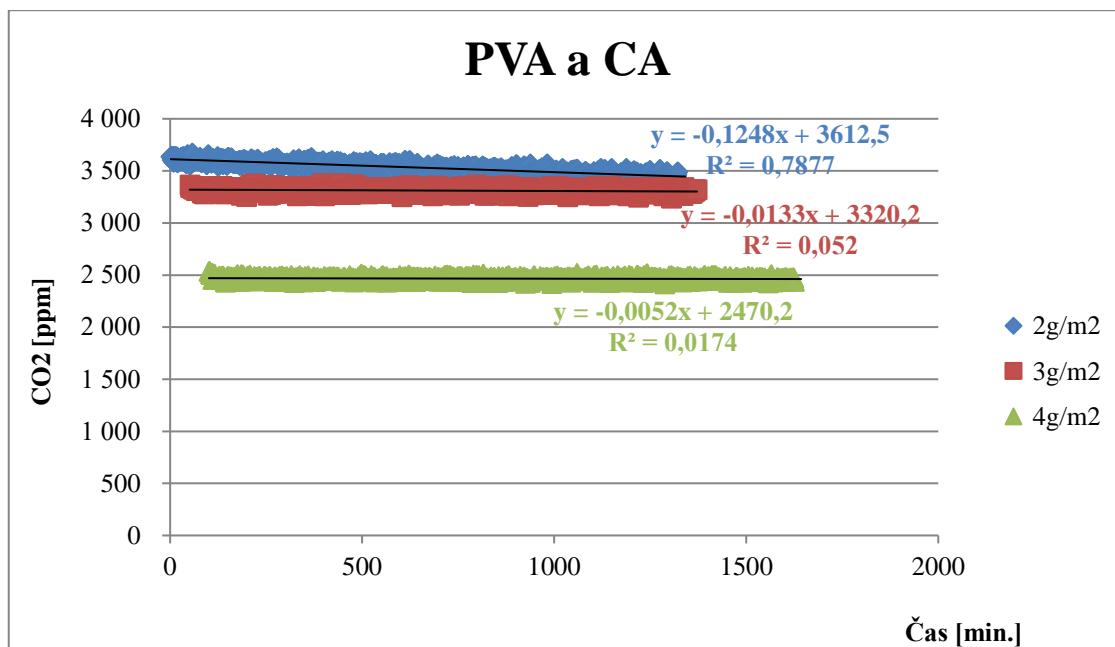


Obrázek 50: Membrány z PVA a Na₂CO₃

Graf vykazuje lineární pokles a nulovou hodnotu. Takto by mělo vypadat prakticky dokonalé měření s vytvořenou membránou. Membrána z polyvinylalkoholu a uhličitanu sodného výsledky měření vykazují možnost používat ji i pro transport CO₂.

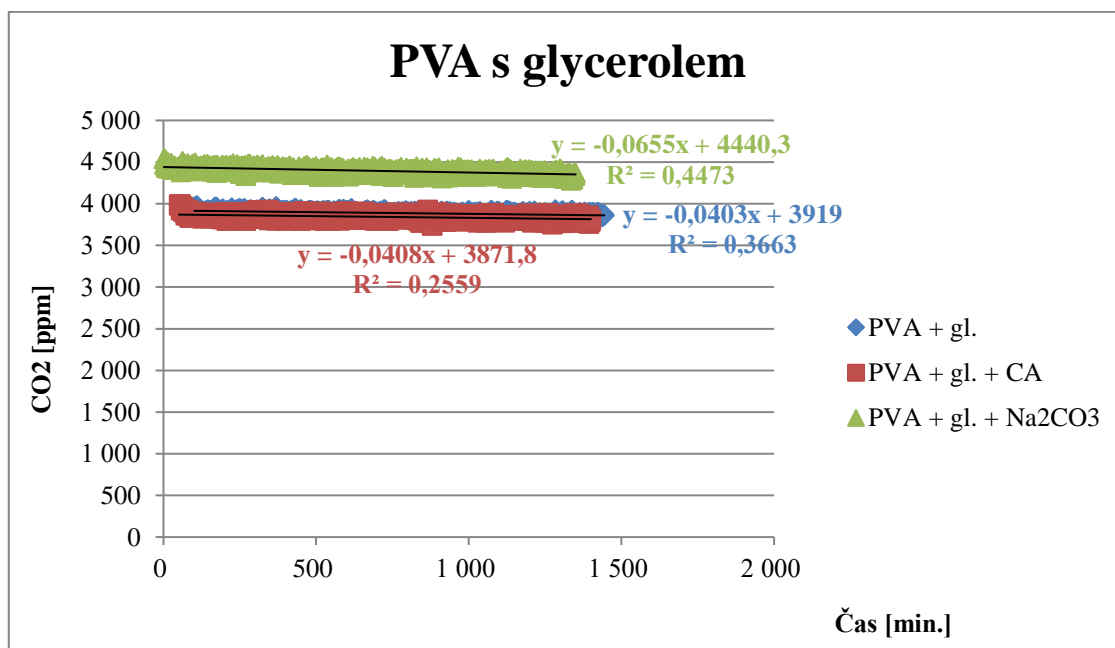
Toto použití by se dalo využít v praxi i do budoucna. Jako komerční produkt fungují membrány dobře a dá se konstatovat, že by se do budoucna dal používat.

Graf se třemi kyselými membránami; viz obr. 51. Data na tomto grafu vykazují podobný pokles, který nastane u klasických membrán z PVA. Kyselá podoba membrán má koeficienty stabilních hodnot měření.



Obrázek 51: Membrány z PVA a CA

Po předchozím testování se do roztoků přidal glycerol, který vykazoval stejné hodnoty, jako u klasického PVA data jsou konstantní s mírným poklesem, viz obr. 52. Glycerol se použil z hlediska jeho vlastnosti zvlhčování.



Obrázek 52: Membrány z PVA a glycerinu

Závěr

Cílem této diplomové práce byla realizace kompozitních membrán pro management CO₂ v interiérech. Byly vyzkoušeny různé metodiky příprav membrán, které by se osvědčily v dobrém transportu CO₂ v interiéru. Ze všech možných testovaných roztoků se nejlépe vytvářely membrány z polyvinylalkoholu. Metoda přípravy membrán byla dvojího typu. Vzhledem k tomu, že nebylo žádoucí, aby se membrána k něčemu lepila, polymer se aplikoval ve vzduchu. Přesto se nepodařilo předejít častému popraskání membrán. Nejlepší metodiku bylo potřeba upravit, a z tohoto důvodu se začala používat metoda nánosového zařízení, které je již vyvinuto a pro účely tohoto výzkumu bylo optimalizováno na výrobu požadovaných membrán.

Následně bylo započato samotné měření požadovaných membrán. Během fáze měření byla za pomoci dataloggeru COMET – U 3430 zaznamenávána data, z nichž byly vytvořeny grafy. Metodika měření spočívá v tom, že se vdechne CO₂ do skleněné nádoby o objemu 3,7 litrů v intervalu od 3 200 – 4 500 ppm. Poté se na aparaturu nanese polyvalentní těsnící páska, která utěsní víko aparatury, na ní se aplikuje vytvořená membrána. Tato membrána se nechá přibližně 24 hodin pro naměření hodnot. Toto zařízení umožňuje přesnou detekci CO₂ v systému. Systémové zařízení se ověřilo výslednými daty, která jsou vyobrazeny v grafech umístěných v této diplomové práci. Díky těmto výsledkům se přišlo na to, že testované membrány s obsahem alkálií výrazně urychluje transport CO₂.

Bylo nakonec docíleno optimálního nánosů pojiva na polymerní nanovlákně vzorky. Díky nánosů pojiva na vzorek se vytvořila stabilní membrána, která odolala popraskání při sušení a také se dalo na ní testovat odolnost CO₂. Membrány se jako komerční vzorky osvědčily a dá se říci, že by do budoucna mohly být použitelné i v praxi. Nejlepší stálosti měly membrány s obsahem alkálie z důvodu rychlého transportu CO₂. Na závěr by se dalo konstatovat, že práce je přínosná pro další testování transportu CO₂ v místnosti. Přístroj, který byl pro práci použit na ustálení pojiva na vzorek je ověřený tím, že membrány jsou stabilní a zařízení funguje dobře. Dále práce umožnila posun se v tématice ohledně řešení transportu CO₂ v místnosti, aby se nemuselo větrat. Cíl této diplomové práce byl splněn, jelikož realizace kompozitních membrán pro management CO₂ v interiérech se osvědčil a funguje.

Seznam použité literatury

1. **PAVELKA V., SCHÜTZ A.** *Anorganická chemie pro pedagogické fakulty*. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1974. č. 66-00-11/2.
2. **GREENWOOD, N. N., EARNSHAW, A.** *Chemie prvků: Svazek 2*. Praha : Informatorium, 1993. ISBN 80-85427-38-9.
3. **HLADÍK, V.** Vliv CO₂ na změnu klimatu. *Česká geologická služba*. [online]. Copyright © 2020. [cit.: 23. 11 2020.]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/ccs/technologie-ccs/zmena-klimatu>.
4. **Free3D All rights.** *Carbon dioxide 3D Model CO2 3d model - Free3D*. [online]. Copyright ©, 2022. [cit.: 15. 02 2022.] Dostupné z: <https://free3d.com/3d-model/carbon-dioxide-3d-model-co2-9947.html>.
5. **MURTINGER, K. a J. BERANOVSKÝ.** *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno : ERA, 2006. ISBN 80-7366-071-7.
6. **GLOBE, Program. GLOBE.gov.** *GLOBE Home Page*. [online] © Sdružení TEREZA 2012. [cit.: 06. 02 2021.] Dostupné z: <https://www.globe.gov/documents/10157/59263168/Kolobeh+uhliku+Metodika2012.pdf/7be7a570-b3ab-428f-a13a-774b55070bae>.
7. **MURTINGER, K.** *Pozor na koncentraci CO₂ v domácnosti – správné větrání je základ*. Brno : Narrative Media s.r.o., 2013. ISSN 1803-4160.
8. **BRADLEY, R. L.** *Climate alarmism reconsidered*. London : IEA, 2003. ISBN 80-248-0636-3.
9. **ARESTA, M.** *Carbon Dioxide as Chemical Feedstock*. Weinheim : Wiley-VCH, 2010. ISBN 978-3-527-32475-0.
10. **GOUGH, C.** *Carbon Capture and its Storage: An Integrated Assessment*. England : Routledge, 2006. ISBN 978-0-7546-4499-6.
11. **Evropská komise | European Commission.** *European Commission*. [online] © Atoll - ADEME - Technoscope Production 2020. [cit.: 23. 11 2020.] Dostupné z: https://ec.europa.eu/search/?queryText=oxid+uhli%C4%8Dit%C3%BD&query_source=europa_default&page=4&filter=&swlang=cs&filterSource=europa_default&more_options_date=* &more_options_language=cs&more_options_f_formats=*.
12. **NIEMA, A., BEAR, J. a BENSABAT, J.** *Geological Storage of CO₂ in Deep Saline Formations*. Netherlands : Springer Netherlands, 2017. ISBN 978-94-024-0994-9.
13. **NOVOTNÝ, Ivan a Michal HRUŠKA.** *Biologie člověka: [pro gymnázia]. 3., rozš. a upr. vyd.* Praha : Fortuna, 2002. ISBN 80-7168-819-3.
14. **MACIEL-CERDA, A.** *Membranes*. Netherlands : Springer, 2017. ISBN 978-3-319-45314-9.
15. **HUTTEM, I.M.** *Handbook of nonwoven filter media*. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-1-85617-441-1.
16. **BARTELS, VOLKMAR T.,ed.** *Handbook of medical textiles*. Philadelphia : Woodhead, 2011. ISBN 978-1-84569-691-7.

17. **Nanovlákná – ÚSTAV PRO HYDRODYNAMIKU AV ČR, v. v. i. ÚSTAV PRO HYDRODYNAMIKU AV ČR, v. v. i.** [online] Copyright © 2020. [cit.: 30. 03 2021.] Dostupné z: <https://www.ih.cas.cz/nanovlakna/>.
18. **HLADÍK, V., T. KOZEL a Z. MIKLAS.** Textilní materiály. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1984.
19. **MILITKÝ, J.** *Textilní vlákna: klasická a speciální.* V Liberci: Technická univerzita : Učební texty. Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-844-1.
20. **VELÍŠEK J., HAJŠLOVÁ J.** *Chemie potravin I+II.* Praha : Osis, 2009. ISBN-13: 978-80-86659-15-2.
21. **AST CZECH, s.r.o.** BMT - návody, CE, prohlášení o shodě. *AST CZECH s.r.o. - zdravotnická technika.* [online] Copyright © 2021. [cit.: 29. 10 2021.] Dostupné z: <https://www.ast-czech.cz/rada-hs-a-sterimat-horkovzdušny-sterilizator>.
22. **HARMONIC.** Kliparty a Obrázky zdarma. *Superia.cz.* [online] Copyright © 2021. [cit.: 29. 10 2021.] Dostupné z: <https://obrazky.superia.cz/veda/kadinka.php>.
23. **ISOLIT-BRAVO, spol. s r.o.** Jednoplátýnkový vařič nerez B-4688. *Elektrospotřebiče BRAVO | bravospotrebice.cz.* [online] Elektrospotřebiče BRAVO. All Rights Reserved, © 2021. [cit.: 29. 10 2021.] Dostupné z: <https://bravospotrebice.cz/varice/554-jednoplattynkovy-varic-nerezovy-b-4688-8595022046881.html>.
24. **BŘUSKA, P. PATERSON** teploměr Color 9" 13-30 C 0.2 C. *Bé FOTO.* [online] IT STUDIO s.r.o., Copyright © 2021. [cit.: 29. 10 2021.] Dostupné z: <https://www.befoto.cz/fotokomora/paterson-teplomer-color-9-13-30-c-0-2-c/>.
25. **AHLBORN, měřicí a regulační technika, spol. s r.o.** Měřič oxidu uhličitého (CO₂) rotronic CL11, 0 - 5000 ppm. *Voltworld.cz. Voltworld - Svět měřicí techniky.* [online] AHLBORN, Copyright © 2021. [cit.: 29. 10 2021.] Dostupné z: <https://www.voltworld.cz/merici-technika-1/meric-oxidu-uhliciteho-co2-rotronic-cl11-0-5000-ppm.html>.
26. **COMET SYSTEM, s.r.o. | Webdesign by Spaneco.** Záznamník teploty, vlhkosti a CO₂ s vestavenými čidly. *COMET SYSTEM, s.r.o.* [online] Výrobce snímačů teploty, vlhkosti, atmosférického tlaku, dataloggerů, monitorovacích systémů, © 2021. [cit.: 30. 10 2021.] Dostupné z: <https://www.cometsystem.cz/produkty/zaznamnik-teploty-vlhkosti-a-co2-s-vestavenymi-cidly/reg-u3430#ostatni-prislusenstvi>.
27. **VELKOVBCHOD ORION, spol. s r.o.** Zavařovací sklenice 3,7 l. *Orion.* [online] © 2020. [cit.: 30. 10 2021.] Dostupné z: <https://www.oriondomacipotreby.cz/>.
28. **POLÁK, J.** *Přehled středoškolské matematiky.* Praha : Prometheus, 2015. ISBN 978-80-7196-458-2.
29. **HYHI.** Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace [online]. *Technické univerzity v Liberci,* 2022. [cit.: 05. 03 2022.] Dostupné z: <https://cxi.tul.cz/projekty/hyhi>.
30. **HAVEL COMPOSITES ESHOP.** Těsnící hmota na vakuování LSM1310,12mm x 2,5mm x 15m do 110 °C [online]. *Copyright ©,* 2018. [cit.: 02. 06 2022.] Dostupné z:

<https://www.havel-composites.com/cs/produkty/tesnici-hmota-na-vakuovani-lsm1310-12mm-x-2-5mm-x-15m-do-110-c>.

31. **MORAVEC, Z.** *Hliník – Web o chemii, elektronice a programování*. Web o chemii, elektronice a programování – Základy chemie a elektroniky, chemické prvky, fyzikálně-chemické metody. [online] *Copyright* © 2021. [cit.: 4. 11 2021.] Dostupné z: <http://z-moravec.net/chemie/periodicka-soustava-prvku/hlinik/>.

32. **Prima Pack s.r.o.** *Prima Pack s.r.o.* [online] *Copyright* © 2021. [cit.: 30. 11 2021.] Dostupné z: <http://www.primapack.cz/>.

33. **Obalový materiál » Obreta.** *Obreta spol. s r. o.* [online] *Copyright* © Obreta spol. s r. o. [cit.: 30. 11 2021.] Dostupné z: <http://www.obreta.cz/cs/>.

34. **SOVA, M., KREBS, J. a kol.** *Termoplasty v praxi*. Praha : Dashöfer, 1999-2004. ISBN 80-86229-15-7.

35. **CARRAHER, CH., E.** *Carraher's polymer chemistry*. Boca Raton : CRC Press, 2014. ISBN 978-1-4665-5203-6.

36. **Company, ANCI Inc. is an ENEOS Group.** *100% Polyester Nonwoven - Milife. MiLife®*. [online] *Copyright* © 2021. [cit.: 30. 11 2021.] Dostupné z: <https://milife.anciglobal.com/>.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Kuličkový model molekuly CO ₂ [4].....	14
Obrázek 2: Koloběh uhlíku [6]	15
Obrázek 3: Řešení pro snížení globálních emisí CO ₂ do roku 2050 [11].....	18
Obrázek 4: Koncentrace vzduchu při dýchání [7]	21
Obrázek 5: Separační a absorpční membránový princip [10].....	23
Obrázek 6: Struktury nanovláken [17].....	26
Obrázek 7: Elektronová mikroskopie polyamidových nanovláken	28
Obrázek 8: Polyvinylalkohol [19].....	28
Obrázek 9: Kasein [20]	29
Obrázek 10: Chitosan [19].....	29
Obrázek 11: Celulóza [19].....	30
Obrázek 12: Aplikace roztoku na membránu	30
Obrázek 13 přístroj na tvorbu membrán	31
Obrázek 14: Horkovzdušný sterilizátor HS 62A [21]	32
Obrázek 15: Membrána z PVA.....	33
Obrázek 16: Výroba roztoku alkalického kaseinu [22; 23; 24]	34
Obrázek 17: Membrána z alkalického kaseinu sušení při 50°C	34
Obrázek 18: Výroba roztoku kaseinu kyselého [22; 23; 24]	35
Obrázek 19: Membrána z kyselého kaseinu	35
Obrázek 20: Výroba roztoku chitosan [22; 23; 24]	36
Obrázek 21: Membrány z chitosanu	36
Obrázek 22: Membrány z nanocelulózy	36
Obrázek 23: Vzorky na teflonových podložkách	37
Obrázek 24: Imitace pokusu přehlcené místnosti oxidem uhličitým [22; 25].....	38
Obrázek 25: Měřicí přístroj CL11 [25].....	39
Obrázek 26: Vzorce CH ₃ COOH a Na ₂ CO ₃ [19]	40
Obrázek 27: Datalogger COMET – U 3430 [26]	42
Obrázek 28: Skleněná nádoba [27].....	43
Obrázek 29: Vzorec polyamidu [19]	45
Obrázek 30: Struktura dimerního chloridu hlinitého [31]	46
Obrázek 31: Vzorec polyetylen [34].....	46
Obrázek 32: Vzorec celulózy [35].....	46
Obrázek 33: Elektronová mikroskopie milife.....	47
Obrázek 34: Vzorek A - Polyamid 6	48
Obrázek 35: Vzorek A - Polyamid 6	49
Obrázek 36: Vzorek B - Polyamid 6.....	49
Obrázek 37: B - Polyamid 6	50
Obrázek 38: Vzorek C - Hliníková fólie.....	50
Obrázek 39: Vzorek C - Hliníková fólie.....	51
Obrázek 40: Vzorek D - Polyethylen.....	51
Obrázek 41: Vzorek D - Polyethylen.....	52
Obrázek 42: Vzorek E je 40% syntetika, 60% viskóza	52
Obrázek 43: Vzorek E je 40% syntetika, 60% viskóza	53
Obrázek 44: Vzorek F - Polyamid 6	53
Obrázek 45: Vzorek F - Polyamid 6	54

Obrázek 46: Test uměle vytvořeného CO ₂	55
Obrázek 47: Graf testování uměle vytvořeného CO ₂	55
Obrázek 48: Graf testování uměle vytvořeného CO ₂	56
Obrázek 49: Membrány PVA	57
Obrázek 50: Membrány z PVA a Na ₂ CO ₃	57
Obrázek 51: Membrány z PVA a CA	58
Obrázek 52: Membrány z PVA a glycerinu.....	58

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled testovaných vzorků.....	45
--	----