

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ
A ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ



**Znečištění vnitřního ovzduší způsobené formaldehydem
vypařovaným z průmyslově zpracovaného dřeva a jeho vliv
na lidské zdraví**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Mgr. Marta Martínková, Ph.D.
Bakalant: Kateřina Tulachová

2023 ČZU

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kateřina Tulachová

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Znečištění vnitřního ovzduší způsobené formaldehydem vypařovaným z průmyslově zpracovaného dřeva a jeho vliv na lidské zdraví

Název anglicky

Indoor air pollution caused by formaldehyde evaporated from industrially processed wood and its effect on humans health

Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je zjistit, jaký vliv na lidské zdraví má formaldehyd, který je vypařován ve vnitřním prostředí ze zpracovaného dřeva, jaké jsou jeho maximální přípustné limity a jak je možné jeho vysoké koncentrace snížit.

Metodika

Hlavní metodou této bakalářské práce je rešerše odborné literatury doplněná o poznatky z internetových zdrojů, např. informace od výrobců nábytku apod.

Doporučený rozsah práce

30

Klíčová slova

formaldehyd, dřevo, lidské zdraví, vnitřní ovzduší

Doporučené zdroje informací

- I. Castro-Hurtado, G. García Mandayo, and EITSF Castaño. Conductometric formaldehyde gas sensors. a review: From conventional films to nanostructured materials. *Thin Solid Films*, 548:665–676, 2013.
- Javier Gonzalez-Martin, Norbertus Johannes Richardus Kraakman, Cristina Perez, Raquel Lebrero, and Raul Munoz. A state-of-the-art review on indoor air pollution and strategies for indoor air pollution control. *Chemosphere*, 262:128376, 2021.
- Luoping Zhang, Craig Steinmaus, David A Eastmond, Xianjun K Xin, and Martyn T Smith. Formaldehyde exposure and leukemia: a new meta-analysis and potential mechanisms. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 681(2-3):150–168, 2009.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Mgr. Marta Martínková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2023

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 08. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Znečištění vnitřního ovzduší způsobené formaldehydem vypařovaným z průmyslově zpracovaného dřeva vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze, dne 23.03.2023

.....

Kateřina Tulachová

Poděkování

Velmi děkuji mé vedoucí bakalářské práce, paní Mgr. Martě Martínkové Ph.D.,
za skvělé odborné vedení a cenné rady při zpracovávání této práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou formaldehydu, který je vypařován z různých dřevěných výrobků, především z močovinoformaldehydových pryskyřic, které jsou využívány k lepení dřeva. Část této práce je věnována zdravotním problémům, které formaldehyd způsobuje. Práce se dále zaměřuje na využívání formaldehydu ve stavebnictví, jelikož v 70. a 80. letech 20. století bylo jeho využívání zdrojem častých respiračních potíží – zejména astmatu obyvatel.

Závěrem bakalářské práce je zjištění, že formaldehyd je lidským karcinogenem, který způsobuje především rakovinu nosohltanu, ale také že s jeho zvyšující se koncentrací v ovzduší se současně zvyšuje riziko vzniku či zhoršení astmatu především u dětí.

Přestože je v českém jazyce poměrně velké množství relevantních publikací, které se problematikou formaldehydu zabývají, je tato bakalářská práce zdrojem informací, který českým čtenářům přiblíží formaldehyd do hloubky, především jeho zdravotní rizika a postupy, kterými lze jeho negativní dopady snižovat.

Klíčová slova

Formaldehyd, dřevo, lidské zdraví, vnitřní ovzduší

Abstract

This bachelor's thesis deals with the issue of formaldehyde, which is evaporated from various wooden products, mainly from urea-formaldehyde resins, which are used for gluing wood. Part of this thesis is also devoted to the health problems that formaldehyde causes. The thesis also focuses on the use of formaldehyde in the construction industry, since 1970s and 1980s its use was a source of frequent respiratory problems – especially asthma of residents.

The conclusion of the bachelor's thesis is the finding that formaldehyde is a human carcinogen, which primarily causes nasopharyngeal cancer, but also that as its concentration in the air increases, the risk of developing or worsening asthma, especially in children, also increases.

Despite the fact that there is a relatively large number of relevant publications in the Czech language that deal with the issue of formaldehyde, this bachelor's thesis is a source of information that will bring formaldehyde closer to Czech readers in depth, especially its health risks and procedures by which its negative effects can be reduced.

Key words

Formaldehyde, wood, humans health, indoor air

OBSAH

1. ÚVOD	10
2. CÍLE PRÁCE	11
3. ZNEČIŠTĚNÍ VNITŘNÍHO OVZDUŠÍ	11
3.1 Tepelně-vlhkostní mikroklima	13
3.2 Odérové mikroklima	13
3.3 Toxické mikroklima	14
3.4 Aerosolové mikroklima.....	14
3.5 Mikrobiální mikroklima	14
4. FORMALDEHYD	15
4.1 Využití formaldehydu	17
4.2 Měření formaldehydu.....	17
4.3 Formaldehyd a životní prostředí	18
4.4 Formaldehyd a jeho vliv na lidské zdraví	19
4.4.1 Leukemie.....	20
4.4.2 Astma	21
4.4.3 Karcinogenita	21
4.5 Limity pro množství používaného formaldehydu	23
5. FORMALDEHYD A STAVEBNICTVÍ	23
5.1 Historie.....	24
5.2 Současnost.....	25
6. FORMALDEHYD A DŘEVO	29
6.1 Chemické látky využívané k lepení dřeva	30
6.2 Certifikace dřeva	31
6.2.1 Certifikace CE.....	31
6.2.2 Certifikace CARB	32
6.2.3 Certifikace PEFC a FSC	33

6.3 Vypařování formaldehydu	34
7. VÝSLEDNÉ ZHODNOCENÍ	36
8. DISKUSE	38
9. ZÁVĚR.....	40
PŘEHLED POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY	42
SEZNAM OBRÁZKŮ	53

1. ÚVOD

Znečištění vnitřního ovzduší je v dnešní době čím dál tím větším problémem, navíc když většinu dne lidé tráví uvnitř budov a nehledě na to, že člověk sám svým jednáním znečištění škodlivými látkami zvětšuje. A právě tyto škodlivé látky způsobují různé zdravotní problémy, a proto je důležité kontrolovat množství jejich emisí. Nedílnou součástí kvalitního vnitřního ovzduší je důkladné správné větrání a ovlivňování vnitřního mikroklimatu, což může lidské domovy ochránit před různými plísněmi, zlepšit psychickou pohodu a snížit ospalost lidí.

Tato práce se zaměřuje na jednu konkrétní znečišťující látku, a to formaldehyd, což je levný bezbarvý plyn palčivé vůně, jež je vyráběn od počátku minulého století. Známa látka s velice širokým využitím především v chemickém, dřevařském a stavebním průmyslu, ve kterém se již od jeho používání upouští a jsou stále více používány materiály, které emise formaldehydu eliminují. Přesto negativní účinky, které s sebou přináší, až tak známe nejsou a pro obyvatele domovů přitom představují jisté zdravotní riziko, jelikož je formaldehyd karcinogenní, může způsobovat či zhoršovat astma, navíc se spekuluje také o jeho spojitosti s leukemií. Formaldehyd se také nachází v životním prostředí kvůli různým přírodním procesům, ovšem také z velké části i kvůli automobilové dopravě.

Největším producentem emisí v lidských domovech a znečišťovatel jejich vnitřního ovzduší je především průmyslově zpracované dřevo a výrobky z něj, jelikož při jejich výrobě jsou využívána lepidla, která obsahují formaldehyd a ten se následně vypařuje do vnitřního ovzduší. U těchto lepidel je nutné, aby splňovaly dle norem příslušné třídy ohledně uvolňování formaldehydu a také jsou kladeny nároky na pevnost jejich spojů. Vypařování formaldehydu ze dřeva také závisí například na množství použitého lepidla a též na množství formaldehydu v něm obsaženém. V dřívějších dobách představovaly problém především močovinoformaldehydové pryskyřice, které ze sebe vypařovaly velké množství formaldehydu a byly využívány v podlahových krytinách, obkladech či nábytku.

Dnes se proti formaldehydu a jeho emisím ve vnitřním ovzduší „bojuje“ pomocí stanovených maximálních přípustných limitů, či různých druhů certifikací – ať už budov, tak dřeva.

Formaldehyd lze detekovat různými spektroskopickými, spektrofotometrickými nebo chemiluminiscenčními metodami či pomocí dávkových odběrů vzorků, lidským čichem je možné jej detekovat při koncentracích vyšších než 0,1 parts per million.

2. CÍLE PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je zjistit, jaký vliv na lidské zdraví má formaldehyd, který je vypařován ve vnitřním prostředí ze zpracovaného dřeva, jaké jsou jeho maximální přípustné limity a jak je možné jeho vysoké koncentrace snížit.

3. ZNEČIŠTĚNÍ VNITŘNÍHO OVZDUŠÍ

Vnitřní ovzduší lze definovat jako ovzduší, které nemá přímé spojení s venkovním ovzduším nebo je natolik ovlivňováno vnitřními zdroji, že se významně liší od ovzduší venkovního (Kotlík, Mikešová [2009]).

Více než 80 % našeho času trávíme uvnitř budov (byty, školy, nákupní centra, ...), z toho běžně trávíme 10 až 12 hodin z celého dne ve vlastním bydlení. A kde jinde lze ovlivnit vnitřní ovzduší než tam, kde bydlíme, spíme i trávíme náš volný čas. Mezi základní faktory, které ovlivňují kvalitu vnitřního prostředí patří především použité stavební materiály (včetně dodržování technologických postupů při stavbě či stavebních úpravách), údržba (úklid), životní styl (koníčky, kouření, ...), mikroklimatické faktory (teplota, relativní vlhkost, větrání) a venkovní ovzduší včetně infiltrace (okolní zdroje – doprava, energetické zdroje) (SZÚ [2015]; Wadden and Scheff [1983]).

Každý rok umírá na světě předčasně více než 5 milionů lidí kvůli nemocem, které jsou způsobovány špatnou kvalitou vnitřního ovzduší, což také způsobuje několikamilionové finanční ztráty zapříčiněné sníženou produktivitou zaměstnanců, materiálními škodami a také zvýšenými výdaji na zdravotnictví. Prevence znečišťujících látek není z technického hlediska vždy realizovatelná, proto je nutné zavést prevenci aktivního snižování emisí, ovšem doposud žádná fyzikálně-chemická technologie není schopna se vypořádat se všemi látkami znečišťující vnitřní ovzduší efektivně, co se nákladů týče (Gonzalez-Martin et al. [2021]).

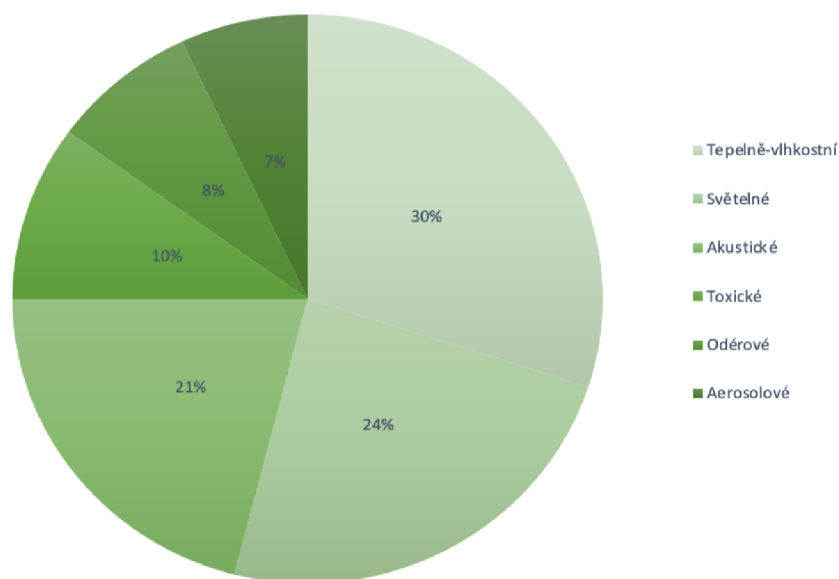
Kvalitu vnitřního ovzduší lze zlepšit i pouhým větráním otevřenými okny, což nám do vnitřních prostor přivede čerstvý venkovní vzduch a odvede vzduch znehodnocený. Dostatečné větrání také pomáhá k předcházení vzniku různých plísní, které mohou být následkem nedostačujícího větrání a vysoké vlhkosti, jež při zanedbané péči mohou propuknout v respirační onemocnění jako jsou různé alergie či astma. Vliv na kvalitu vnitřního ovzduší má bezesporu také oxid uhličitý CO₂, který v běžných koncentracích není životu nebezpečný, ovšem výrazně ovlivňuje psychickou pohodu člověka, jelikož při vysokých koncentracích způsobuje ospalost, únavu či případně nevolnost (Zmrhal [2013]).

Větrání vnitřních místností snižuje koncentrace formaldehydu, ovšem pokud jeho zdroje převládají nad cirkulací, větrání množství formaldehydu v místnosti významným způsobem nesnižuje. Bohužel i když by větrání koncentraci formaldehydu snížilo, větráním se nám jeho malé množství dostane zpět, jelikož venkovní vzduch jej také obsahuje. Dá se tedy konstatovat, že malé množství formaldehydu ve vnitřním ovzduší je venkovního původu právě kvůli větrání (Ferus et al. [2008]; Zhang et al. [2022]).

Správné větrání by mělo být s chladnějším počasím rychlejší, tedy maximálně 6 minut, na jaře i na podzim by mělo trvat kolem 10-20 minut, ovšem v létě je možné okna otevřít až na půl hodiny. Je podstatné, aby větrání probíhalo několikrát denně, v nejlepším případě 3-4krát. Nejčastěji jsou využívány tři způsoby přirozeného větrání, kterými jsou infiltrace, nárazové větrání a mikroventilace. Nejefektivnějším způsobem je nárazové větrání, což je způsob, kdy máme okna zcela otevřená. Ovšem jeho záporem je neproveditelnost tohoto větrání během spánku a také naše účast. Velké využití tento typ větrání nachází především v prostorech, kde se vyskytovalo větší množství osob najednou. V případě infiltrace se jedná o větrání, jež probíhá v oknech a dveřích, u kterých je špatné těsnění. Mikroventilace je již u nových oken naprostou normou, jedná se o vytvoření malé skuliny, jejíž zásluhou se může do interiéru dostávat vnější vzduch (SVĚT OKEN ©2023; Hejhálek [2016]).

K čištění vnitřního ovzduší lze také využít jednoduchou pasivní biofiltraci zelenými rostlinami v květináčích, ale v tomto případě je nutný výzkum typu substrátů, ventilace a mikrobiologie biodegradačních procesů (Torpy et al. [2015]).

Vnitřní ovzduší ovlivňuje na kvalitě tepelně-vlhkostní (30 %), světelné (24 %), akustické (21 %), toxické (10 %), oděrové (8 %) a aerosolové (7 %) složky, které se podílejí na celkovém stavu vnitřního mikroklimatu (Doležilková [2010]).



Obrázek 1: Graf průměrných podílů jednotlivých složek na celkovém stavu vnitřního mikroklimatu
(Doležilková [2010])

3.1 Tepelně-vlhkostní mikroklima

Jedná se o složku, která je tvořena tepelnými a vlhkostními toky, má největší podíl na stavu mikroklimatu a současně je nejdůležitější složkou zajišťující vnitřní prostředí budov, především co se týče spokojenosti a zdraví obyvatel. Tato složka také v nemalé míře ovlivňuje životnost budov, výrobních technologií a stavebních materiálů. Faktor, dle kterého se provádí hodnocení stavu tohoto klimatu v budovách je nazýván tepelná pohoda. Tepelnou pohodu tvoří mnoho činitelů, mezi něž například patří vlhkost a teplota vzduchu, tělesná aktivita člověka či teplota okolních míst (Doležilková [2010]; Gebauer [2008]).

3.2 Odérové mikroklima

Toto mikroklima je složeno z toků odérových látek, které se nacházejí v ovzduší a jímž je subjekt vystaven. Odéry lze definovat jako plynné složky ovzduší, jež bývají produkovány člověkem jeho činností a člověkem také vnímány jako nepříjemné pachy. Do vnitřního ovzduší se tyto odéry dostávají nejen z venkovního ovzduší, ale také pobytem osob ve vnitřním prostředí, jelikož jejich pohybem vznikají různé tělesné pachy, a hlavně oxid uhličitý CO_2 . Kvalitu vnitřního ovzduší negativně ovlivňují také škodliviny, které jsou nazývané těkavé organické látky, což bývá především například

formaldehyd, benzen či různá organická rozpouštědla, která bývají vytvářena interiérovým vybavením. V budovách lze toto mikroklima zkvalitnit především dostatečným větráním (Doležilková [2010]; Morávek [2011]).

3.3 Toxické mikroklima

V případě toxického mikroklimatu se jedná o složku prostředí tvořenou toky plynných toxických látek, které mají nepříznivý vliv na lidské zdraví. Mezi látky, se kterými je možné dostat se do kontaktu, patří například formaldehyd, smog, oxidy dusíku NO_x , oxidy síry SO_x , oxid uhelnatý CO , či ozon O_3 . Co se týče vnitřního ovzduší a uzavřených prostor, je nejvíce nebezpečným plynem pro lidské zdraví oxid uhelnatý CO , jelikož jeho molekuly se velice snadno váží na hemoglobin, a to může vést až k fatální smrti udušením. Problematiku toxického mikroklimatu lze nejjednodušeji řešit větráním, finančně nákladnější ionizací vzduchu nebo filtrací pomocí aktivního uhlí (Doležilková [2010]; Morávek [2011]).

3.4 Aerosolové mikroklima

Mikroklima aerosolové je tvořeno aerosolovými toky v ovzduší. Jako aerosoly lze nazývat kapalné nebo pevné částice, které bývají v ovzduší rozptýlené. Aerosolové mikroklima také částečně ovlivňuje lidské zdraví, jelikož pevné částice menší než $1\mu\text{m}$, jako je například domovní prach, zapříčiňují astma (Doležilková [2010]).

3.5 Mikrobiální mikroklima

Složka prostředí, která je tvořena mikroorganismy, jež se nacházejí v ovzduší, se nazývá mikrobiální mikroklima. Mezi tyto mikroorganismy se řadí například viry, bakterie, pyly nebo plísňe. U staveb jsou požadavky na kvalitu prostředí splňovány nepřesahují-li koncentrace plísňí či bakterií 500 TKJ/m^3 (kolonie tvořících jednotek). Způsob, jak v budovách neúčinněji snížit mikrobiální koncentrace, je pomocí filtrace přiváděného vzduchu (Doležilková [2010]; Jelínek, Linhartová [2014]).

Typy zdrojů	Příklady	Proces/způsob	Produkty
Biologické zdroje	Lidé, zvířata (krysy, myši a další domácí mazlíčci)	Dýchání, pocení, trávení, vylučování, línání, drolení kůže	CO ₂ , vodní páry, pachově postižitelné látky, viry, mikrobiologické znečištění, alergenní částice
	Švábi, prашné částice, hmyz, roztoči	Vylučování	Alergenní částice
	Rostliny, zemina	Odpařování, metabolické produkty, spory	Vodní pára, terpeny, pachově postižitelné látky, mykotoxiny, části hub
Stavební materiály, vybavení staveb	Stavební materiály	Výpary, stárnutí, abraze, rozklad, nátěry	Plyny a částice (rozpouštědla, polymerizační látky, monomery, prostředky pro povrchovou úpravu dřeva, minerální vlákna, amoniak, prostředky protihořlavé úpravy)
	Ventilace (větrání) a klimatizace	Údržba, provoz	Mikroorganismy, minerální vlákna, pachově postižitelné látky, pesticidy
	Vnitřní vybavení	Výroba, výpary, povrchová úprava, nátěry	Monomery z plastů, pryskyřice, lepidla, minerální vlákna, rozpouštědla, plastifikátory, stabilizátory
Činnosti ve vnitřním prostředí	Vaření a vytápění	Spalovací procesy, otevřený oheň	Zemní plyn, CO, CO ₂ , NO _x , vodní páry, suspendované částice, uhlovodíky
	Kosmetika	Hygiena a osobní péče	Rozpouštědla, náplně do sprejů, parfémy, anorganické a organické aerosoly, barviva, laky, pryskyřice, halokarbyny
	Úklid	Úklid, hubení škůdců	Vodní páry, amoniak, chlor, insekticidy, organické látky, „domácí prach“
	Kouření	Kouření	CO, NO _x , nikotin, benzen, aldehydy, nitrosaminy, PAU, suspendované částice, dehtové složky
Specifické typy místností	Kanceláře	Kancelářské práce	Rozpouštědla, ozón, organické látky, plastifikátory...
	Hobby	Kutílství, hobby, opravy, nátěry ...	Suspendované částice, organické látky (dle vybavení) monomery ...
	Garáže	Paliva, barvy, laky, čisticí prostředky...	Výpary z paliv, výfukové plyny, rozpouštědla
Doprava	Spalovací procesy	Provoz	Výfukové plyny, částice, CO, NO _x , uhlovodíky, PAU, benzen, aldehydy, plastifikátory (např. ftaláty)
Transport z venkovního ovzduší	Lidský faktor	Ventilace (větrání), infiltrace	Venkovní ovzduší

Obrázek 2: Tabulka zdrojů znečištění vnitřního ovzduší a jejich příklady (SZÚ [2015])

4. FORMALDEHYD

Formaldehyd je první z řady alifatických aldehydů. Byl objeven Alexandrem Michajlovičem Butlerovem roku 1859 a je vyráběn již od počátku 20. století. Za běžných teplot je formaldehyd bezbarvý plyn se štiplavým zápachem. Vzhledem ke své nízké ceně a velké rozmanitosti chemických reakcí, při kterých se využívá, se stal jednou z nejdůležitějších průmyslových i výzkumných chemikálií na světě.

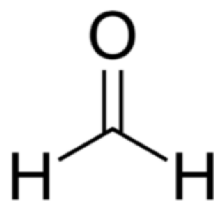
Historicky se formaldehyd vyráběl a nadále se vyrábí z methanolu procesem stříbrného katalyzátoru nebo katalyzátorovým procesem na bázi oxidu kovu (Gerberich et al. [2000]).

Formaldehyd je možné v odborné literatuře najít také pod chemickým vzorcem HCHO, či pod registračním číslem CAS 50-00-0. Bývá také nazýván jako methanal, methylaldehyd, lysoform, formalín či paraform, v závislosti na typu chemického názvosloví (Rajnoch [2012]).

Název formalín je především využíván pro 37% roztok formaldehydu ve vodě. Formaldehyd je dobře rozpustný ve vodě a také v některých chemických roztocích. Molekulová hmotnost formaldehydu je 30,03 g/mol, bodu varu dosahuje při teplotě - 21 °C a bodu tání dosahuje při teplotě - 92 °C. Do atmosféry může být emitován antropogenními zdroji nebo také zdroji přírodními, což jsou například lesní požáry či různé atmosférické reakce (Talaiekhosani et al. [2013]).

Bývá meziproduktem fotochemických reakcí, které probíhají v atmosféře, sám bývá fotolýzován především při 320 nm za vzniku oxidu uhelnatého CO a dá se tedy považovat za molekulu, která se vyskytuje ve vesmírném prostoru. Je možné se setkat i s teorií, která uvažuje, že mezihvězdný formaldehyd napomohl k tvorbě organických molekul, jež se objevovaly vně komet či asteroidů, které byly následně důležitým faktorem při poskytování potřebných materiálů v době rané Země. Formaldehyd byl detekován i ve sněhu, který se nacházel v městských oblastech. Bylo zjištěno, že formaldehyd vzniká po smrti v tkáních korýšů a mořských ryb, určených ke konzumaci. Maximální přijatelné množství formaldehydu za den je dle Agentury pro ochranu prostředí (EPA) 0,2 mg/kg, přičemž například hluboce zmražená treska může obsahovat 4-10 mg/kg formaldehydu (Ferus et al. [2008]; Zhang [2018]).

Co se trhu s formaldehydem týče, jeho největším spotřebitelem je Čína, která představovala v roce 2017 až 47 % celosvětové poptávky. Více než polovina (65 %) jeho produkce je využívána k výrobě syntetických pryskyřic, které jsou hojně využívané v různých stavebních materiálech (Li et al. [2019]).



Obrázek 3: Strukturní vzorec formaldehydu (Unacademy ©2023)

4.1 Využití formaldehydu

Formaldehyd je využíván při výrobě polymerů, ze kterých se následně vyrábí například hnojiva či překližky. Velká část je spotřebována na výrobu pryskyřic, které se používají jako lepidla, uplatnění také nachází při konzervování dřeva (Blahetová [2012]).

V laboratořích se využívá jako antiseptické, dezinfekční, histologické fixační činidlo a univerzální chemické činidlo. Můžeme ho také najít jako konzervační látku některých potravin, či v mnoha produktech používaných v domácnosti, jako jsou antiseptika, léky a kosmetika. V kosmetickém průmyslu, kde se dříve využíval především v produktech jako je zpevňovač nehtů, musel být formaldehyd omezen na maximální koncentraci 5 % a také na výrobku řádně označen. Přesto, že byl formaldehyd na šestém místě, co se jeho oblíbenosti v rámci kosmetických konzervantů týče, jež byl hlavně využíván ve vlasových šamponech, se od jeho používání začalo pomalu upouštět (National Library of Medicine ©2023; Jass [1985]). Značné využití měl formaldehyd také v oblasti balzamování těl. Před tím, než byly prokázány jeho antibakteriální a antiseptické vlastnosti, byla při balzamování využívána metoda fixací na bázi alkoholu. Formaldehyd oproti fixaci alkoholem věrněji zachovával buněčné struktury a mnohem lépe působil antimikrobiálně (Musial et al. [2016]).

4.2 Měření formaldehydu

Formaldehyd lze ve vnitřním prostředí stanovit pomocí nepřímých metod stanovení. Jedná se o fotometrickou metodu (spektrofotometrii), což je jedna z levnějších a dostupnějších metod, která má ovšem nižší citlivost a je zde složitější manipulace se vzorky. Druhá metoda se nazývá sorpční (desorpce rozpouštědlem + HPLC), je to metoda s vyšší citlivostí a jednoduchou manipulací se vzorkem, ovšem nevýhodou této metody je nutnost přístrojového vybavení (chromatograf) a tím pádem je tato metoda finančně nákladná (Kotlík, Mikešová [2007]).

V ovzduší lze také formaldehyd stanovovat na základě spektroskopických metod, které se dělí do 4 skupin, a to na diferenční optickou absorpční spektroskopii (DOAS), infračervenou spektroskopii s využitím Fourierovy transformace (FTIR), laserem indukovanou fluorescenční spektroskopií (LIFS) a na absorpční spektroskopii

s laditelným diodovým laserem (TDLAS). V metodě FTIR paprsek infračerveného záření proniká detekční celou, ve které je umístěn vzorek zkoumaného ovzduší. Metoda LIFS pro excitaci molekul formaldehydu využívá laser, který lze ladit co se vlnových délek týče. TDLAS metoda je velice citlivá, a proto díky ní lze ve venkovním ovzduší formaldehyd sledovat, navíc zprostředkovává měření jeho koncentrací takřka v reálném čase s minimálním zpožděním. Veškeré tyto metody bývají poměrně finančně náročné a práce s přístroji bývá složitá, proto pro běžná měření nejsou zcela příhodné (Motyka, Mikuška [2005]).

Další možností, jak stanovit formaldehyd je chemiluminiscence. Toto stanovení se zakládá na reakci formaldehydu, kyseliny gallové a peroxidu vodíku v silně alkalickém prostředí. Je také možné využít biosenzory, kde je základem reakce analytu s enzymem. Stanovení emise formaldehydu lze provádět také komorovým testem (Švédská norma SS 27 02 36, norma ENV 717-1). Tento test je prováděn uzavřením 1 m² vzorku do komory s překližkou a dřevotřískou, jež má objem 1 m³ a teplota uvnitř dosahuje 23 °C. Výsledné stanovení je prováděno pomocí UV spektrometru (Ferus et al. [2008]).

V dnešní době je formaldehyd měřen pomocí dávkových odběrů vzorků na místě (obvykle > 30 minut) s následnou kvantifikací mimo pracoviště v externí analytické laboratoři. I když existují různé metody, všechny mají společné to, že je formaldehyd zachycen (tj. předem koncentrován) a často derivován v adsorbentu (např. silikagel) a poté analyzován pomocí chromatografie anebo spektroskopie (van den Broek et al. [2020]).

4.3 Formaldehyd a životní prostředí

Formaldehyd se vyskytuje v životním prostředí zcela přirozeně, jelikož je produktem mnoha přírodních procesů, jako jsou například lesní požáry, kdy se uvolňuje během spalování biomasy. Ve vodě formaldehyd vzniká ozařováním huminových látek slunečním zářením. V přírodě je v nízkých hladinách přítomen ve většině živých organismů, jako jsou řasy, bakterie či plankton. Sekundární tvorba formaldehydu je způsobována oxidací přírodních a antropogenních těkavých organických látek sloučenin ve vzduchu. Přítomnost formaldehydu byla také zaznamenána v mezihvězdném prostoru (Liteplo et al. [2002]).

Jelikož je formaldehyd velmi dobře rozpustný ve vodě, lze jej nalézt také v povrchových vodách, dešťové vodě a oceánech (Allouch et al. [2013]).

Formaldehyd se do životního prostředí dostává také lidskou činností, a to z velké části především kvůli automobilové dopravě, jelikož na 1 km jízdy automobilem připadá 16,5-115,2 mg emitovaného formaldehydu (Ferus et al. [2008]).

Dalším zdrojem pro vznik formaldehydu v životním prostředí je fotochemický smog, což je problémem především ve velkoměstech, které podléhají velkému znečištění (Duan et al. [2008]).

4.4 Formaldehyd a jeho vliv na lidské zdraví

Formaldehyd se ve vnitřním ovzduší nachází v mnoha produktech využívaných v našem každodenním životě, jako jsou léčiva, kosmetika, papír, plasty a čističe koberců. Výrobky z lisovaného dřeva obsahující formaldehydové pryskyřice jsou navíc často jedním z nejvýznamnějších zdrojů formaldehydu v domácnostech.

Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny došla ke zjištění, že nelze čichem detekovat přítomnost formaldehydu při koncentracích, které jsou nižší než 0,1 ppm (parts per million). Mezi nejčastější příznaky související s expozicí formaldehydu patří podráždění očí, nosu a krku, ke kterému dochází při koncentracích vzduchu asi 0,4- 1 ppm. Vyšší koncentrace (nad 3 ppm) vyvolávají cytotoxické účinky (poškození buněk a tkání). Formaldehyd byl také navíc klasifikován jako lidský karcinogen nebo také jako aldehyd způsobující leukémii v hladinách 6 ppm. Mnoho studií také prokázalo, že formaldehyd zvyšuje u žen riziko spontánních potratů (Castro-Hurtado et al. [2013]; Böhm et al. [2012]; Kolečková et al. [2020]).

Formaldehyd ovšem hraje velmi důležitou roli v lidském metabolismu při syntéze purinů, některých aminokyselin a thymidinu a je také složkou lidské krve. V organismu se velmi dobře vstřebává a pokud se do něj dostane, je navázán na glutathion, což je tripeptid, který je velice podstatný v buněčné biologii a moduluje buněčnou odpověď na změny redoxního charakteru, které bývají spojeny s reaktivními formami kyslíku (Rovira et al. [2016]; Jefferies et al. [2003]).

Významným zdrojem formaldehydu pro lidské tělo představuje i strava, jelikož může být přítomen v potravinách, ale také produkován při vaření potravin, které obsahují tuk. Například nejjednodušší alkohol – metanol, jež je produkován střevními bakteriemi z methylesterů přítomných v zeleninových a ovocných pektinech, se rychle

v těle vstřebává a následně se metabolizuje na formaldehyd (Reingruber, Pontel [2018]).

Na lidské zdraví má formaldehyd negativní vliv i během krátkých časových úseků, jímž je mu člověk vystaven. Bylo vypořádáno, že například studenti Lékařské fakulty v Myanmaru, kteří se zúčastnili anatomických pitev, při nichž byl formaldehyd využíván, nahlašovali jako jeho častý vedlejší účinek nejen nepříjemný zápach, ale také podráždění nosních sliznic, očí a nadměrné slzení nebo závratě (Aung et al. [2021]).

4.4.1 Leukemie

Leukemii lze popsat jako nádorové onemocnění krvetvorby, které se vyznačuje množstvím bílých krvinek, které jsou nezralé a neplní svou normální funkci. Tyto krvinky lze nalézt v kostní dřeni a krvi (Krahulová, Vorlíček [1998]).

Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC) v září roku 2009 přezkoumala své zařazení formaldehydu jako lidského leukemogenu a zanedlouho poté Vědecký poradní výbor národního toxikologického programu USA opravdu důrazně radil k jeho zařazení mezi známé lidské leukemogeny, ovšem bylo nutné další přezkoumání. Hematologické a toxikologické překážky, které brání tomu, aby byl formaldehyd přijat a brán jako příčina leukemie, bývají rozdělovány do dvou kategorií. Jedna z těchto kategorií bývá spojována s formaldehydem a jeho transportem z místa, nímž byl inhalován (horní cesty dýchací) do hematologických prekursorových buněk. Druhá kategorie bývá spjata s nedostatečnými podobnostmi s ostatními lidskými leukemogeny, které jsou již známé, především absencí pancytopenie, což je úbytek množství všech typů krevních buněk u lidí či zvířat, kteří byli vystaveni formaldehydu ve vysokých dávkách (Goldstein [2011]; Kadlčková et al. [2014]).

Předpokládá se, že formaldehyd může působit přímo na kostní dřev, či alternativně může způsobit leukemii poškozením hematopoetických kmenových nebo časných progenitorových buněk, které se nacházejí v cirkulující krvi nebo nosních cestách, které poté putují do kostní dřevě a stávají se leukemickými kmenovými buňkami (Zhang et al. [2009]).

Expozice formaldehydu nepředstavuje vyšší riziko pro vznik akutní myeloidní leukemie (AML), ovšem důkazy jsou v tomto ohledu stále nedostatečné (Allegra et al. [2019]).

4.4.2 Astma

Astma lze definovat jako komplexní onemocnění způsobené chronickým zánětem dýchacích cest, které vede k hyperreaktivitě dýchacích cest, nadměrné sekreci hlenu či obstrukci dýchacích cest. Formaldehyd se do dýchacích cest dostává primárně inhalací z ovzduší (Lam et al. [2021]).

Na celém světě trpí astmatem přibližně 339 milionů obyvatel. Bylo zjištěno, že s každým zvýšením expozice formaldehydu o $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ byl značně spojován až 10% nárůst rizika astmatu u dětí, u dospělých vyšší riziko astmatu bývá spojováno s expozicí formaldehydu větší než $22,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Yu et al. [2020]).

Na základě testů na myších bylo dokázáno, že vystavení formaldehydu zesiluje alergický eozinofilní zánět dýchacích cest, jež se projevuje svěděním, vodnatou sekrecí či kýcháním. Bylo také zjištěno, že v domech, které byly nově vymalovány byla astmatická prevalence vyšší, což bylo v souladu s většími rozdíly v expozici formaldehydu. Vztah mezi astmatem, které diagnostikoval lékař a vnitřní koncentrací formaldehydu byl potvrzen i během nízkých hodnot expozice u malých dětí. Expozice formaldehydu v domácnostech může zdravým dětem vyvolávat v dýchacích cestách subklinickou zánětlivou reakci (Krčmová et al. [2018]; Ezratty et al. [2007]).

4.4.3 Karcinogenita

Zmínky a diskuse o tom, že by mohl být formaldehyd považován za lidský karcinogen, začaly být kolem roku 1980, kdy byla zjištěna jeho karcinogenita při sledování myší a potkanů během dlouhé inhalační expozice (Salthammer et al. [2010]).

Před více než čtyřiceti lety se vědci domnívali, že je formaldehyd pro lidské zdraví zcela neškodný, ovšem jen do té doby, než pokusy na krysách jasně neprokázaly, že při vystavení koncentraci 14,3 ppm se u krys začaly v nosní dutině projevovat karcinomy u 103 z celkového počtu 240 krys. Na základě tohoto zjištění Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny klasifikovala formaldehyd do skupiny A2, což je skupina látek, které jsou pro člověka karcinogenní pouze pravděpodobně. Formaldehyd byl poté dlouho považován za potenciální lidský karcinogen na základě experimentálních studií na zvířatech a omezených důkazech o lidské karcinogenitě. Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny však v červnu 2004 překlasifikovala formaldehyd na lidský karcinogen na základě „*dostatečných epidemiologických*

důkazů, že formaldehyd způsobuje u lidí rakovinu nosohltanu“. Tyto důkazy pocházely především ze šesti kohortových studií, při nichž byli sledováni zaměstnanci v průmyslu a sedmi případových a kontrolních studií rakoviny nosohltanu. Ze sedmi případových a kontrolních studií rakoviny nosohltanu bylo v pěti studiích zjištěno zvýšené riziko spojené s formaldehydem a jeho expozicí. Během studií bylo také vypořádáno zvýšené poškození DNA a též byly nalezeny významné změny v procentu B lymfocytů a cytotoxických T lymfocytů (Zhang et al. [2009]; Bachand et al. [2010]; Michel [2016]).

Jelikož v těle vzniká jako sekundární produkt oxidace lipidů, byl formaldehyd detekován ve vydechovaném vzduchu lidí, kteří měli rakovinu plic, což bylo s největší pravděpodobností zapříčiněno produkcí nekrotických proteinů indukujících zvýšenou oxidaci lipidů. Nejen u pacientů s rakovinou plic, ale také u žen s rakovinou prsu bylo naměřeno vyšší množství vydechovaného formaldehydu (u zdravých žen bylo vydechnuto 375-750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ formaldehydu, zatím co u pacientek s rakovinou prsu bylo vydechnuto 562,5-1500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ formaldehydu) (Ferus et al. [2008]).

Komplikací při zkoumání formaldehydu a jeho karcinogenity byla jeho přirozená přítomnost v nízkých hladinách v lidské krvi, jelikož tyto malé hladiny tvoří analytické nepřesnosti během odlišování změněné či poškozené DNA, což bývá výsledkem endogenně generovaného formaldehydu od těch, které bývají v přímé souvislosti s chemickou expozicí (Athanasiadis et al. [2015]).

Přesto, že byl formaldehyd klasifikován jako pro člověka karcinogenní, žádnou vládní regulační agenturou nebyl klasifikován jako známý lidský karcinogen. Studie, které uznaly, že je formaldehyd opravdu lidským karcinogenem, byly podrobeny dalším analýzám a výzkumům IARC, aby byla jeho klasifikace znovu přezkoumána (Kowatsch [2010]).

4.5 Limity pro množství používaného formaldehydu

Přípustný limit formaldehydu v ovzduší je stanoven dle Světové zdravotnické organizace (WHO) na 0,08 ppm, což je 0,1 mg/m³. Přípustný expoziční limit (PEL) je v České republice stanoven na 0,5 mg/m³, nejvyšší přípustná koncentrace v pracovním prostředí (NPK-P) je zde stanovena na 1,0 mg/m³ (Pitschmann et al. [2007]).

Ministerstvo zdravotnictví ČR vyhláškou č. 6/2003 stanovilo limit týkající se formaldehydu ve vnitřních pobytových prostředích na 60 µg/m³, v pracovních prostředích je jeho přípustná koncentrace maximálně 1 mg/ m³ (Zákony pro lidi [2003]).

Dřevotřískové desky, které jsou v dnešní době vyráběny, mají na 100 g absolutně suché hmoty maximální přípustný limit 8 mg formaldehydu (Petrlík, Válek [2010]).

5. FORMALDEHYD A STAVEBNICTVÍ

Formaldehyd bývá ve stavebnictví široce využíván k výrobě laků a barev, různých druhů dřevotřískových desek či linoleí a v bytových interiérech dochází k jeho časté emisi z nábytků či podlahových krytin. V dřívějších dobách byl formaldehyd velmi často používán, jelikož byl levný a měl široké využití, ovšem jeho vypařování do ovzduší vyvolávalo u obyvatel různé zdravotní problémy. Dříve byly domovní prostory dobře odvětrávány samovolně, jelikož okna ani dveře kvalitně netěsnila a zdívo bylo také z určité části prodyšné. V dnešní době vznikl problém díky kvalitním materiálům a těsněním, jelikož se vnitřní prostory kvůli snížení úniků tepla uzavírají, a tudíž nedochází k cirkulaci vzduchu. Pro snižování koncentrací formaldehydu v interiérech dnes bývají využívány například speciální sádrokartonové desky, které jsou schopny formaldehyd přeměňovat na inertní sloučeniny. Ve stavebnictví bývají populární klasické OSB desky, ovšem jejich používání se doporučuje snižovat, jelikož při jejich výrobě jsou používána lepidla, v nichž hlavní složkou bývají pryskyřice obsahující formaldehyd, a i emise z desek, které splňují kritéria třídy E1 bývají znatelně vyšší než ty, jež jsou stanoveny v hygienických normách (Bednářová, Krejsová [2009]; Godish [1989]; Gerberich et al. [2000]; Hejhálek [2015]; TECHNO EXPERTEXPRO.COM ©2019; Motyka, Mikuška [2005]).

5.1 Historie

Jako hlavním zdrojem znečištění vnitřních prostor byly na počátku 80. let 20. století považovány dřevovláknité desky střední hustoty, což byl izolační materiál z močovinoformaldehydové pěny, který ze sebe vypařoval velké množství formaldehydu (World Health Organization et al. [2010]).

Zvýšené množství formaldehydu ve vnitřních prostorech, včetně mobilních domů, domů postavených s dřevotřískovou podlahou či domů izolovaných močovinoformaldehydovou pěnou, vedly k četným stížnostem obyvatel na zápach a zdravotní problémy, které vznikly v souvislosti s kontaminací vnitřních prostor formaldehydem, a to zejména na konci 70. a začátkem 80. let (Godish [1989]).

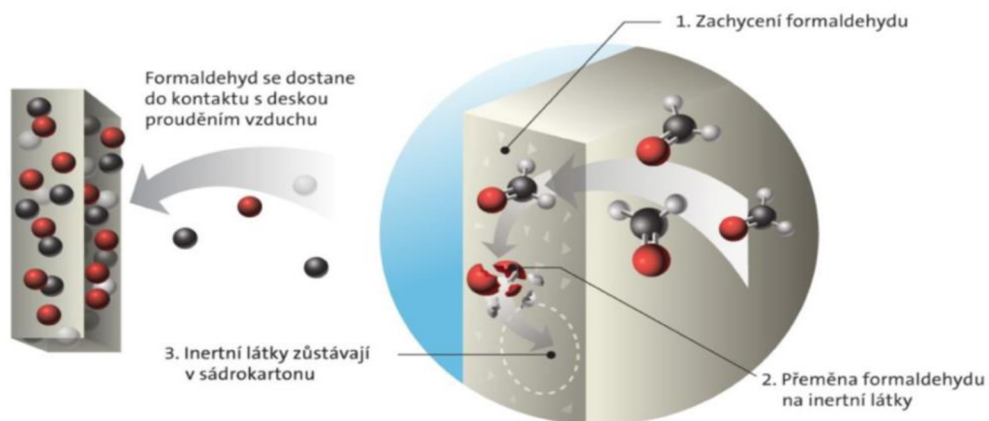
Formaldehyd představoval riziko také v 70. letech u montovaných dřevěných domů typu OKAL. Tyto domy byly velmi populární nejen pro jejich rychlou a jednoduchou montáž, ale také jelikož byly dostupnou alternativou panelových sídlišť. Konstrukce těchto domů bývaly provedeny z dřevěných sloupkových systémů, které byly z vnitřní strany opláštěny dřevoštěpkovými deskami. Právě ve zmíněných dřevoštěpkových deskách byl formaldehyd využíván jako pojivo, ze kterých se časem vypařoval (Šulanová [2021]; Přerušíl [2012]; SZÚ ©2023).

Jelikož bylo velké množství stížností obyvatel kvůli zápachu formaldehydu, byla bývalou Německou Federální Zdravotní Agenturou v roce 1977 navržena hodnota 0,1 ppm, aby došlo k omezení expozice obyvatel formaldehydu v jejich domovech. Roku 1981 byla vyhlášena kritéria k omezení emisí z materiálů na bázi dřeva v Dánsku a Německu. Další země je následovaly v polovině 80. let (Salthammer [2019]).

Domy, u kterých byly k jejich konstrukci použity dřevotřískové desky, případně močovinoformaldehydové izolace, mohou i po desítkách let v dnešní době stále vykazovat koncentrace formaldehydu v rozmezí 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tyto domy, také označované jako domy nezdravé či nemocné (charakterizovány únavou či drážděním sliznic, ovšem tyto potíže odeznívají ve velmi krátkém čase po odchodu z dané místnosti či budovy, v níž byly tyto potíže vyvolány), je možné na základě nálezů ústavního soudu reklamovat (Petrlík, Válek [2010]; Čech et al. [2014]).

5.2 Současnost

V současné době je ke snížení emisí formaldehydu v interiérech využívána technologie sádrokartonových desek Activ'Air®. Sádrokartonové desky Activ'Air® fungují tak, že polární molekuly formaldehydu se s pomocí slabých elektrostatických sil vážou na molekuly vody, či se rozpouštějí v mikroskopických vodních kapičkách. Další možností, jak tyto desky fungují, je ta, že technologie po absorpci formaldehydu sádro, kterou obsahují obkladové desky (sádrokarton, sádrovláknité desky) jej následně aktivně z ovzduší odstraní jeho přeměnou na inertní a zároveň bezpečnou sloučeninu, která se nebude zpětně vylučovat. Jelikož si sádra s vnitřním ovzduším vyměňuje velké množství vodní páry, jedná se v tomto případě o výměnu decilitrů či litrů vody v jedné místnosti za hodinu. Výhodou těchto sádrokartonových desek je také to, že je lze využít ve všech typech konstrukcí, kde jsou využívány klasické sádrokartonové desky (příčky, podhledy, předsazené stěny) a také k jejich montáži jsou využívány postupy jako u klasických sádrokartonových desek (tmelení, řezání, upevňování). Jediným rozdílem oproti klasickým sádrokartonovým deskám je u technologie Activ'Air® ten, že je zde při finální úpravě nutné použití difuzně otevřených barev či tapet. Ideální je na 1 m³ vzduchu v místnosti využít 1 m² sádrokartonové desky Activ'Air®. Tato technologie se využívá nejen u sádrokartonových desek, ale také u desek akustických či akustických sádrokartonových stropních kazet. Na základě testování bylo ověřeno, že technologie Activ'Air® dle laboratoří Eurofins a normy ISO 16000-23 redukuje formaldehyd a trvale jej odstraňuje v minimálním množství 70 % z ovzduší a zároveň ze sebe nevypouští škodlivé látky (Časopis stavebnictví [2020]; Hejhálek [2015]).



Obrázek 4: Proces zachycení a přeměny formaldehydu technologií Activ'Air® (Časopis stavebnictví [2020])

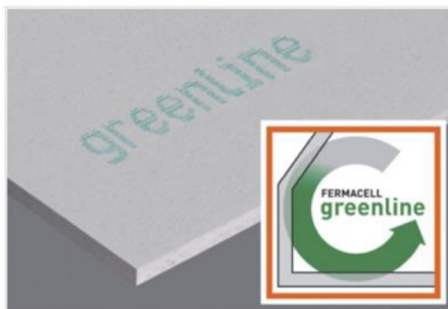
Dalším využívaným materiálem jsou OSB desky SUPERFINISH® ECO, což jsou desky tvořené z 95 % přírodním dřevem. Tyto desky jsou využívány především pro stavby typu dřevostaveb. Desky vznikají lisováním velkoplošných třísek. U výroby těchto desek je v Evropě využíváno jehličnaté dřevo (především smrk a borovice) a lepidla močovino-formaldehydová (UF), fenol-formaldehydová (PF), melamin-močovino-formaldehydová (MUF) či polyuretanová (MDI). K výrobě desek SUPERFINISH® ECO se využívá především lepidlo MDI, které neobsahuje formaldehyd, a tím je formaldehyd emitující z desek pouze přírodního charakteru, který se nachází jedině v použité dřevní hmotě. Na trhu je možné se setkat se dvěma typy desek, a to s broušenými či nebroušenými. Broušené desky jsou bez dalších povrchových úprav matné, zatímco ty nebroušené jsou díky roztavené pryskyřici a hydrofobizujícímu parafínu na povrchu lesklé. Mezi největší výhody tohoto typu OSB desek se řadí například zdravotní nezávadnost, relativně nízká cena, značná pružnost materiálu či možnost provádět různé povrchové úpravy (Kníže [2008]; Kníže [2009]).



Obrázek 5: Deska SUPERFINISH ECO (Kníže [2009])

Proti formaldehydu ve vnitřních prostorech jsou ve stavebnictví také hojně využívány desky FERMACELL greenline. Jedná se o homogenní desky, které jsou určeny pro suchou stavbu, jež jsou složeny z papírových vláken, sádry, a navíc jsou z výroby již hydrofobizované. Inspirací při výrobě desek FERMACELL greenline byl přírodní účinek ovčí vlny, jelikož keratin, jež ovčí vlna obsahuje, se pyšní vlastností, která pomáhá absorbovat škodlivé látky a následně je přeměněn na látky neškodné. Tyto desky mají po svých obou stranách účinnou látku, která je na bázi keratinu, a proto co nejpřirozenějším způsobem zachycují a trvale na sebe váží emise formaldehydu a různé škodliviny, které se nacházejí ve vzduchu ve vnitřním prostředí, ale také navíc neutralizují nepříjemné pachy. Velkou výhodou těchto

desek je jejich zaručený dlouhotrvající účinek (ABS [2010]; Fermacell ©2023; ESTAV.cz [2014]).



Obrázek 6: Deska FERMACELL greenline (Tzbinfo ©2023)

Ke snižování formaldehydu ve vnitřním ovzduší mohou pomáhat i tapety Novelio® Classic CleanAir. Tyto tapety fungují na jednoduchém principu, kdy emitovaný formaldehyd v ovzduší je tapetou zadržen a již se dále do ovzduší neuvolňuje. Výhodou těchto tapet je také jejich ohnivzdornost či rezistence proti nárazům, a proto jsou velmi vhodné k použití ve školách či nemocnicích. Po použití těchto tapet dochází až k 50% eliminaci formaldehydu v ovzduší po jednu dekádu, ale může to být samozřejmě i déle (ADFORS ©2022).

Velmi populární se také stala certifikace LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*). Jedná se o certifikační systém, který je uznávaný na mezinárodní úrovni pro zelené budovy. Program LEED začal fungovat roku 1998, jakožto dobrovolný národní standard, jež se zakládal na součinnosti v rámci vývoje udržitelných budov. Prvotně se tento program orientoval na nové výstavby, ovšem časem byl rozšířen o budovy již postavené a také o komerční interiéry. Podstatou této certifikace je ochrana životního prostředí a opatření co nejlepších podmínek pro život obyvatel daných budov jak již v průběhu výstavby, tak následně po výstavbě v běžném provozu. Tato certifikace nabádá nejen majitele budov, ale především projektanty společně s dodavateli materiálů k většímu používání novějších hospodárnějších technologií a materiálů, čímž by docházelo k značným úsporám, co se týče energetické náročnosti budov. V rámci vnitřního ovzduší budov je zde nezbytně nutné, aby v žádném dřevěném výrobku či výrobku, který dřevo obsahuje (dřevotřísky, dýhy) nebyl přítomen močovinoformaldehyd. Tuto certifikaci lze získat po absolvování hodnotícího procesu, v němž je bodově hodnoceno celkem 7 kategorií, mezi které patří například kvalita vnitřního ovzduší, udržitelný rozvoj území či hospodaření s vodou. Poté, co jsou všechny kategorie bodově ohodnoceny, se následně všechny body sečtou

a na základě získaného množství bodů je věnován certifikát odpovídající příslušné bodové kategorii. Certifikace LEED se dělí do 4 kategorií, a to Certifikováno, Stříbro, Zlato a Platinum (řazeny vzestupně), kdy maximální možný počet získaných bodů je 100, ovšem je možné získat i bonusové body v dodatečných kategoriích, za které je možné získat celkem 10 bodů (Bowyer et al. [2006]; Lamaczová [2017]; Mrňová [2021]).



Obrázek 7: Logo certifikace LEED (EkoWATT ©2023)

Další populární certifikací je certifikace BREEAM (*Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*). Tato certifikace vznikla roku 1990 a proto se jedná o nejstarší hodnotící systém na světě. Certifikace BREEAM se specializuje především na udržitelnost při projektování staveb a charakterizuje působení staveb na životní prostředí. Certifikace se dělí na dva typy, jimiž jsou certifikace BREEAM New Construction a BREEAM In-Use. Při klasifikaci je zde hodnoceno celkem 10 skupin na základě jejich působení na životní prostředí, a to například management, inovace, zdraví a vnitřní prostředí či doprava. Každá z 10 skupin dále obsahuje další podskupiny, a až podle nich je stavba hodnocena. Na základě kvality splnění nároků těchto podskupin jsou stavbě přiděleny kredity. Oproti certifikaci LEED je hodnocení prováděno pouhým sčítáním získaných kreditů, jelikož zde nejsou žádné bonusové kredity. Každá podskupina je ovšem hodnocena jiným počtem kreditů a zároveň mají tyto podskupiny jinou váhu. Výsledný součet se následně stanovuje v procentech (Mrňová [2021]; Česká rada pro šetrné budovy [2020]).



Obrázek 8: Logo certifikace BREEAM (EkoWATT ©2023)

Nejmladším certifikačním systémem je certifikace WELL. Především se uplatňuje k certifikaci interiérů a pomáhá zhodnotit kvalitu jejich vnitřního prostředí především z hlediska nastávajících obyvatel. Zjednodušeně by tato certifikace měla zaručovat vhodné prostředí k práci. U této certifikace je posuzováno celkem 7 kategorií, mezi které patří například světlo, vzduch a komfort. V každé kategorii je celkem 40 povinných a 60 volitelných předpokladů a na základě jejich výsledků je přidělena příslušná skupina certifikace, která může být WELL SILVER, WELL GOLD či WELL PLATINUM (Mrňová [2021]; AURA ©2021).



Obrázek 9: Logo certifikace WELL (AURA ©2021)

6. FORMALDEHYD A DŘEVO

V dnešní době jsou v interiérech velmi často využívány dřevěné desky, přičemž z nich vypařující se formaldehyd a těkavé organické látky jsou jedním z hlavních faktorů, které způsobují zhoršování kvality vnitřního ovzduší, což mívá za následek ovlivnění lidského zdraví, pohodlí a produktivity (He et al. [2012]).

Přibližně více než 90 % celosvětové produkce dřevěných desek využívalo k jejich výrobě močovinoformaldehydové pryskyřice. Tyto pryskyřice mají velké množství výhod, jako je například snadné použití, rozpustnost ve vodě, nízká cena či výborné tepelné vlastnosti. Ovšem jednou z největších nevýhod těchto pryskyřic je fakt, že během svého vytvrzování uvolňují do okolí formaldehyd, jelikož jsou používány především jako pojivová složka. Tyto emise formaldehydu způsobovaly různé zdravotní potíže, což vedlo k rozhodnutí snížit či až odstranit emise formaldehydu z dřevěných výrobků v celosvětovém měřítku (Boran et al. [2011]).

Známý obchodní prodejce s interiérovým nábytkem IKEA také ve svých výrobcích z dřevotřískových desek využívá formaldehyd, ale intenzivně pracuje na snižování jeho emisí do ovzduší. Zaměřuje se především na lepidla, která jsou používaná k lepení materiálů na bázi dřeva a provádí průběžné testy nejen materiálů, které jsou použity ve výrobcích, ale také již hotových výrobků. Formaldehyd, který se nacházel v lacích

a barvách používaných k dekorování výrobků je již mnoho let prodejcem IKEA zakázán (IKEA FAQ ©2017).

6.1 Chemické látky využívané k lepení dřeva

Poslední léta se technologie lepení stala zcela běžnou díky své schopnosti spojovat různé typy materiálů, jelikož jejich nízká cena, přizpůsobivost různým podmínkám vytvrzování a nízká hmotnost jsou velké výhody pro jejich využití v průmyslu. V dřívějších dobách byla k lepení dřeva hojně využívána lepidla na přírodní bázi, což byla lepidla kaseinová, albuminová či glutinová. Lepidla kaseinová jsou bílkovinou, která pochází prášku získaného z odstředěného mléka, ze kterého je získávána srážením. Suchá kaseinová lepidla se před použitím smíchají s vodou a následně tvoří teplovzdorné a voděodolné lepidlo, kdy odolávají teplotám až do 70 °C, ovšem ve vlhkých prostředích ztrácejí svou pevnost. Tato lepidla jsou používána především při pokojové teplotě, kde tuhnou díky vsáknutí a odpaření obsažené vody a následně se z nich stává méně rozpustný vápenatý derivát. Albuminová lepidla jsou vyráběna z krve jatečných zvířat. Prášek získaný z usušené krve je dále smíchán s vodou společně s různými chemikáliemi, mezi které patří například vápno či hydroxid sodný NaOH. V suchém stavu jsou tato lepidla oproti lepidlům kaseinovým více odolná proti vlhkosti. Glutinová lepidla jsou tvořena především glutinem, jež je získáván ze zvířat, konkrétně z jejich kostí, chrupavek či kůží. Z tohoto důvodu se lze u těchto lepidel setkat i s označením jako kožní či kostní klič. Tato lepidla bývají používána ve formě želé, ze které jsou následně zpracovávána při teplotě 50-70 °C. Co se týče odolnosti proti vlhkosti a teplu, jsou tato lepidla málo odolná, jelikož při kontaktu s vlhkem či vyššími teplotami měknou. V dnešní době již byla tato lepidla v průmyslové výrobě nahrazena lepidly umělými, která jsou nazývána syntetickými. Mezi tato lepidla patří lepidla polyuretanová (MDI), která bývají nejvíce využívána při výrobě OSB ECO desek. Tato lepidla jsou vhodná pro použití v interiérech, jelikož jsou bez formaldehydu, zároveň jsou také velmi rychle tvrdnoucí a voděodolná. Jako další mezi lepidla syntetická patří polyvinylacetát (PVAC), jež bývá v truhlářských dílnách jedním z nejběžnějších lepidel. Stejně jako lepidla polyuretanová, i tato lepidla jsou bez formaldehydu a tím pádem nejsou zdraví škodlivá. Dalšími druhy syntetických lepidel jsou močovinoformaldehydová, melaminformaldehydová či fenolformaldehydová lepidla, což je skupina lepidel obsahující formaldehyd a nejsou

tudíž vhodná pro použití v interiéru. Močovinoformaldehydová lepidla (UF) bývají hojně využívána při výrobě dřevotřískových desek. Tato lepidla neodolávají vodě, jsou poměrně levná a bezbarvá. Melaminformaldehydová lepidla (MF) jsou velmi pevná, bezbarvá, voděodolná a množství v nich obsaženého formaldehydu je velmi malé. Nejvíce bývají využívána pro lepení dřevěných panelů. Posledním zástupcem těchto lepidel jsou fenolformaldehydová lepidla (PF), která bývají tmavé barvy, odolávají mikroorganismům, vodě i stárnutí a formaldehydu obsahují minimální množství (Böhm et al. [2012 b]; Williams [1998]; Dorieh et al. [2022]; Ebnesajjad [2010]; Eckelman [1999]; Richter [2015]; Josten et al. [2010]; DŘEVO&stavby.cz [2013]; Pizzi [2003]).

6.2 Certifikace dřeva

Certifikace zabývající se uvolňováním škodlivin z desek na bázi dřeva došla k celosvětovému zpřísnění podmínek s platností od 22. března 2019. Tyto změny zpřísnily požadavky na certifikační autority a více je spojily s národními akreditačními orgány. Po tomto drastickém zpřísnění je pouze 5 zemí Evropské unie oprávněno certifikace vydávat. Mezi tyto země patří i Česká republika, která má pouze jediného zástupce, a to konkrétně Dřevařský ústav v Praze (Výzkumný a vývojový ústav dřevařský Praha, s. p.), který certifikační postupy uplatňuje pro celý svět. Kromě České republiky lze certifikace získat v Německu, Španělsku, Polsku a Itálii (Beránková, Kotenová [2019]).

6.2.1 Certifikace CE

Certifikace se zkratkou CE jsou certifikace desek určených pro stavebnictví. Pokud jsou desky pro stavební účely uváděny na trh, je jejich výrobce povinen je nechat posoudit dle *nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 z 9. března 2011 (CPR) a normy ČSN EN 13986+A1 Desky na bázi dřeva pro použití ve stavebnictví – Charakteristiky, hodnocení shody a označení*. Na základě finálního využití desky jsou následně posuzovány příslušným systémem, jímž je Systém 3 (nenosné desky, je vydán *protokol o zkoušce typu výrobku*, platnost 3 roky), Systém 2+ (nosné desky, je vydáno *osvědčení o shodě řízení*, dvakrát za rok je proveden průběžný dozor) a Systém 1 (nenosné i nosné desky jež mají protipožární úpravu, je vydáváno

osvědčení o stálosti vlastností, dvakrát ročně je proveden průběžný dozor). Poté, co desky projdou systémem posuzování, je výrobcem vydáno *Prohlášení o vlastnostech* a následně dodáno označení CE. Je důležité, aby označení bylo na dobře viditelném místě, dobře čitelné a především nesmazatelné. Iniciály označení CE musejí být minimálně 5 mm vysoká, na jejich barvu nejsou kladeny žádné požadavky, jen musejí být stále dobře viditelné a čitelné. V případě, že není možné, aby bylo označení přímo na výrobku, je možné jej umístit do průvodní dokumentace či na jeho obal (Beránková, Kotenová [2019]); YOUR EUROPE ©2023).

6.2.2 Certifikace CARB

Tato certifikace je určena dřevovláknitým deskám (MDF), překližkám a surovým dřevotřískám (DTD), jejichž výrobci plánují jejich uvedení na trh Kalifornie (Beránková, Kotenová [2019]).

CARB (*California Air Resources Board*, 1 ze 6 správních rad, oddělení a kanceláří, které jsou zaštiťovány Kalifornskou agenturou pro ochranu životního prostředí) roku 2001 navrhla, aby bylo vypracováno nařízení ke snížení vystavování obyvatel formaldehydu. Tímto nařízením CARB stanovilo s platností od 1.1. 2009 limity pro panely na bázi dřeva a množství z nich emitovaného formaldehydu. Certifikace CARB I dříve stanovovala jako maximální přípustné množství emise formaldehydu 0,08 ppm. Tato certifikace má od roku 2010 svého nástupce, a to certifikaci CARB II, u níž je hodnota maximální emise formaldehydu snížena na 0,05 ppm a v současné době je jednou z nejpřísnějších. Jelikož je Kalifornie jedním z nejdůležitějších trhů, CARB řídí změny nejen v rámci amerického, ale hlavně také mezinárodního průmyslu, co se týče dřevěných desek a panelů (DYAS ©2023; Ruffing et al. [2011]; Salem et al. [2011]).



Obrázek 10: Logo certifikace CARB (*California Air Resources Board* ©2023))

6.2.3 Certifikace PEFC a FSC

Tyto certifikace mají za úkol získávat a produkovat dřevo za dodržování sociálních, ekologických a etických standardů. V současné době se jedná o nejvíce rozšířené certifikační standardy. Jsou určeny především dodavatelům dřeva a podnikům, které jsou orientovány na dřevozpracující průmysl, jež svým zákazníkům chtějí garantovat, že jimi nabízené a dodávané výrobky pocházejí z certifikované suroviny (SIGMA POINT ©2022).

Certifikace PEFC (*Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes*) je celosvětově nejrozšířenějším systémem co se týče certifikace lesů. Jejich cílem je jak zachování, tak i rozšiřování lesů nejen pro současné generace, ale i pro ty budoucí, aby bylo stále možné využívat všech jejich přínosů a byl současně stále zachován zodpovědný přístup a respekt k přírodě. PEFC podporuje trvale udržitelné hospodaření v lesích, zaručuje, že dřevo a lesní produkty, jsou produkovány za dodržování nejpřísnějších standardů. Mezi 11 zakládajících zemí rady PEFC 30.3.1999 patřila také Česká republika, kde byl roku 2001 uznán Český systém certifikace lesů. Lesy certifikované PEFC společně na celém světě zabírají rozlohu větší než 242 milionů hektarů, co se týče České republiky, lesy s touto certifikací zabírají 1,85 milionů hektarů, což představuje více než 70 % z rozlohy všech lesů v ČR (PEFC ©2017; Mikulková et al. [2015]; Hájková [2012]).



Obrázek 11: Logo certifikace PEFC (PEFC ©2017)

FSC certifikace dávají záruku, že byl výrobek zhotoven ze dřeva, které bylo legálně vytěženo a má původ v lesích, jež byly obhospodařovány způsobem šetrným k přírodě a v nichž byly dodržovány přísné sociální i environmentální požadavky. Vznik těchto certifikací se pojí k roku 1993. Jejich myšlenkou je podpora obhospodařování lesů, které jsou environmentálně odpovědné a ekonomicky životaschopné, čímž pomáhají chránit světové lesy které velmi rychle mizí a jsou devastovány či ohroženy. Certifikace FSC jsou na výrobcích označovány třemi druhy štítků, kterými jsou FSC 100% (toto označení mají jediné výrobky, které jsou vyrobeny pouze ze dřeva

a papíru, které pocházejí z šetrně obhospodařovaných lesů), FSC MIX (výrobky takto označené obsahují mix surovin, které pocházejí z certifikovaných lesů, případně ze suroviny, která byla recyklována, či kontrolovaného dřeva) a FSC RECYCLED (má-li výrobek tento štítek, je vyhotoven především ze dřeva nebo papíru, které již dříve prošly procesem recyklace) (Forest Stewardship Council ©2023).



Obrázek 12: Logo certifikace FSC (Forest Stewardship council ©2023)

6.3 Vypařování formaldehydu

V Evropě bylo více než 90 % dřevovláknitých desek spojováno pomocí močovinoformaldehydových pryskyřic. Od roku 1970 byla problematika týkající se uvolňování formaldehydu z desek na bázi dřeva lepených aminoplastovými pryskyřicemi předmětem intenzivní výzkumné práce (Schäfer and Roffael [2000]).

Využívání lepidel pro lepené dřevo a lepené lamelové dřevo je podmíněno tím, že lepidla musí zajistit trvalé lepené spoje během doby jejich životnosti, a to dle normy EN 1995-1-1. Ovšem nejvíce je kladen důraz na sledování uvolňování formaldehydu, přičemž dle oblasti, kde jej využíváme, rozeznáváme 2 třídy jeho uvolňování dle normy EN 717-1, a to třídu E1 (v tomto případě je uvolněné množství formaldehydu 10 mg ze 100 g výrobku) a třídu E2 (zde se ze 100 g výrobku uvolní do 30 mg formaldehydu, což lze také vyjádřit jako 1,5 mg/l). Momentálně jsou povolena pro lepení dřeva lepidla fenolická a aminová (MF, MUF, UF, PRF), jednosložková polyuretanová (PUR) která vlivem vlhkosti vytvrzují a emulzní polymerová izoakrylátová lepidla (EPI) (Mynář, Teslík ©2023; Ferus et al. [2008]).

V případě dřevěného nábytku je povrchová úprava potenciálním zdrojem znečištění, samozřejmě jsou kladeny striktní nároky na dětský nábytek, kdy uvolňování znečišťujících látek musí vyhovovat evropské normě EN 71-3. Co se týče dřevotřískového nábytku, je vyráběn ze dřevotřísek, které jsou ve třídách E1 či E2, a tudíž splňují emisní limity formaldehydu (Havel [2014]).

Faktory, které velmi ovlivňují vypařování formaldehydu ze dřeva, jsou například druhy a množství používaného tvrdidla, množství volného formaldehydu v použitém

lepidle, vlhkost povrchových třísek (se zvyšující se vlhkostí těchto třísek se zvětšuje množství výparu volného formaldehydu) a změny vlhkosti materiálu či doba skladování (Sedliačik [2005]).

Měření dokázala, že množství vypařovaného formaldehydu z dřevovláknitých desek o střední hustotě se pohybuje v rozmezí 100-1000 $\mu\text{g/g}$ prachu, kdy měření probíhalo ve vodě o teplotě 35-37 °C po dobu šesti hodin. Z tohoto měření lze usuzovat, že z prachových částic, které jsou člověkem vdechovány, je množství uvolnitelného formaldehydu maximálně 2 $\mu\text{g/den}$ (v případě, že je respirační frekvence 20 m^3/den a koncentrace vdechovaných částic 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Množství takto vypařovaného formaldehydu se dá považovat pro lidské zdraví za zanedbatelné ve srovnání s ostatním formaldehydem, který se dostává do dýchacích cest inhalací (Kaden et al. [2010]).

7. VÝSLEDNÉ ZHODNOCENÍ

Podstatou této práce je literární rešerše, která se zaměřuje především na negativní účinky formaldehydu a „boj“ proti nim. Na základě získaných informací lze usuzovat, že co se týče především jeho vlivů na lidské zdraví, různé odborné studie zaměřené na zdravotní rizika spojená s formaldehydem došly k různorodým závěrům.

Salthammer et al. [2010] popisuje, že již kolem roku 1980 byly vedeny diskuse o tom, zdali formaldehyd nezařadit mezi lidské karcinogeny, zvláště, když se při pozorování myši a potkanů projevily jeho karcinogenní účinky. Ovšem před více než čtyřiceti lety vědci znovu pochybovali o jeho karcinogenitě, jenže po opakovaných pokusech na kryších bylo potvrzeno, že se u nich začínají projevovat karcinomy, především pak v dutině nosní, a proto byl následně formaldehyd zařazen do skupiny potenciálních karcinogenů. Roku 2004 byl již formaldehyd překlasifikován na lidský karcinogen Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny, jelikož byly k dispozici výsledky několika kohortových studií, které potvrzovaly souvislost formaldehydu a rakoviny nosohltanu (Zhang et al. [2009]; Bachand et al. [2010]; Michel [2016]). Po roce 2004, kdy byl formaldehyd klasifikován jako karcinogen, i nadále panovaly mezi odbornou veřejností ohledně této klasifikace určité pochybnosti, a proto byl účinek formaldehydu zkoumán ještě novými studiemi a analýzami, jak uvádí Kowatsch [2010].

V problematice astmatu se autoři Yu et al. [2020] a Ezratty et al. [2007] shodují, že opravdu existuje spojitost mezi zvyšující se expozicí formaldehydu a vznikem či případným zhoršováním astmatu především u dětí.

Zhang et al. [2009] uvádí, že formaldehyd opravdu může způsobovat leukemii poškozením buněk, ať už hematopoetických či časných progenitorových, jež se nacházejí například v cirkulující krvi a následně se z nich v kostní dřeni stávají leukemické kmenové buňky. Goldstein [2011] však objasňuje, že tomu, aby byl formaldehyd zařazen do skupiny lidských leukemogenů, i přes důrazné doporučení Vědeckého poradního výboru národního toxikologického programu USA, brání kategorie hematologických a toxikologických překážek. Jedna kategorie bývá spojována s formaldehydem a jeho transportem z místa nímž byl inhalován do hematologických prekurzorových buněk a druhá kategorie bývá spojována s nedostatečnými podobnostmi s ostatními lidskými leukemogeny.

Naopak Allegra et al. [2019] tvrdí, že formaldehyd a jeho expozice nepředstavuje riziko vzniku leukemie, i přes to, že nemá k tomuto tvrzení dostatečné důkazy.

V dnešní době se již ve stavebnictví používají certifikované materiály bez formaldehydu, a tam, kde nelze původní materiály se škodlivým formaldehydem plně nahradit novými bezformaldehydovými, jsou využívány technologie napomáhající k jeho eliminaci, jako jsou například obklady speciálními sádrokartonovými či FERMACELL deskami, které zadržují více jak 70 % uvolněného formaldehydu. Ostatní technologie či materiály také napomáhají ke snižování vypařovaného formaldehydu, ovšem ne v tak velkém množství, jako výše zmiňované desky.

I přes to, že Kaden et al. [2010] tvrdí, že měření, která zkoumala vypařování formaldehydu z dřevovláknitých desek střední hustoty prokázala pro člověka neškodnost prachových částic obsahující formaldehyd, které jsou vdechovány v množství 2 µg/den za dané respirační frekvence a koncentrace vdechovaných částic, je jistě vhodné se těmito materiály obsahující formaldehyd vyhýbat a omezovat jejich používání, jelikož lze jen těžko odhadnout, jak na to bude konkrétní lidské tělo reagovat a zdali je opravdu vdechováno pouze 2 µg/den, jelikož každý jedinec dýchá nepatrně jinou frekvencí a plicní objem se také liší.

8. DISKUSE

I přes fakt, že již bylo v České republice publikováno značné množství odborných článků, je problematika formaldehydu laické veřejnosti stále málo známá. Tato bakalářská práce přináší vhled do této problematiky a může být využita pro seznámení veřejnosti s negativy formaldehydu.

Tato práce se zaměřuje na rešerši odborných článků uveřejněných v mezinárodních časopisech, které se zabývají formaldehydem a jeho vlivy na lidské zdraví. Především autoři Zhang et al. [2009]; Bachand et al. [2010]; Michel [2016] publikovali o formaldehydu a jeho karcinogenitě velmi obsáhlé články a studie, ovšem autorka jejich výsledky sepsala do takové podoby, aby čtenářům srozumitelně, a přitom stručně předložila všechna důležitá fakta.

Co se týče lidského zdraví, je jisté, že má na něj formaldehyd nepříznivé vlivy. V nižších koncentracích mezi 0,4-1 ppm způsobuje podráždění nosní sliznice, očí a krku. Vyšší koncentrace, které jsou nad 3 ppm, mohou způsobovat poškození lidských buněk a tkání. Při koncentracích kolem 6 ppm se z formaldehydu stává karcinogen, především se jedná o karcinom nosohltanu. Byla také nalezena spojitost mezi zvyšováním koncentrace formaldehydu ve vnitřních prostorech o $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a zvýšeným rizikem astmatu u malých dětí a u dospělých s nárůstem o více než $22,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I když se odborníci na tomto tvrzení shodují, autorka považuje za znepokojivé, že takto malé množství vede ke vzniku či zhoršení astmatu. Výzkumy, zdali formaldehyd způsobuje leukemii zatím nedospěly k dostatečným důkazům, ovšem je možné, že formaldehyd působí na kostní dřeň, ale zatím jeho expozice nepředstavují zvýšené riziko ke vzniku leukemie. V tomto případě se však autorka nejvíce přiklání k tvrzení Zhanga et al. [2009], jelikož se formaldehyd může běžně vyskytovat v krvi (ve vyšších koncentracích především u kuřáků) a je tudíž dle jejího názoru reálné, aby došlo k vytvoření leukemických kmenových buněk a následnému rozvoji leukemie.

Výhodou dnešní doby je množství materiálů, které napomáhají emitovaný formaldehyd zachytávat, především sádrokartonové a FERMACELL desky, které by bylo dle autorky jistě efektivní zakomponovat především do starých domů a bytů, aby došlo ke snížení formaldehydových emisí, ovšem za finanční podpory od státu.

Maximální přípustný limit formaldehydu ve vnitřním ovzduší je Světovou zdravotnickou organizací (WHO) doporučen na hodnotu $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$, ale v České

republice je přípustný expoziční limit stanoven na hodnotu $0,5 \text{ mg/m}^3$, což je pětinasobek doporučení WHO. Autorka se domnívá, že by tato hodnota měla být pro všechny země jednotná, a proto by považovala za vhodné, aby i v České republice byl limit snížen na $0,1 \text{ mg/m}^3$.

Dle názoru autorky by bylo příhodné doplnit závěry této bakalářské práce o vlastní měření v navazující bakalářské či diplomové práci.

9. ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala problematikou formaldehydu, který je vypařován ze zpracovaného dřeva a otázkou, jaké jsou jeho vlivy na lidské zdraví.

V minulosti představoval formaldehyd značné zdravotní riziko především ve stavebnictví, jelikož obyvatelé domů trpěli na časté bolesti hlavy a podávali stížnosti na silný zápach (právě zmiňovaného formaldehydu), poněvadž byly v budovách hojně využívány močovinoformaldehydové izolace, a proto byla roku 1977 stanovena jako maximální přípustná koncentrace formaldehydu 0,1 ppm (parts per million).

Bylo zjištěno, že pouhé větrání vnitřních prostor ke snižování koncentrací formaldehydu nestačí, a proto se v dnešní době ve stavebnictví stále více využívají technologie, které napomáhají emitovaný formaldehyd eliminovat a snižovat použitými doplňkovými materiály a konstrukcemi. Čím dál více populární se také stávají certifikace budov, které napomáhají zkvalitňovat jejich vnitřní prostředí a též se zabývají jejich udržitelností již během projektování.

K eliminování množství formaldehydu ve dřevu a dřevěných výrobcích značně napomáhají certifikace dřeva, které zavedly přísnější limity pro maximální množství emitovaného formaldehydu, ale také typy a množství používaných lepidel.

Jelikož je málo odborných článků o formaldehydu a jeho zdravotních rizicích v českém jazyce, může být tato bakalářská práce použita pro zlepšení povědomí veřejnosti o formaldehydu, protože přináší podrobnou rešerši světově odborné literatury.

Bakalářská práce přinesla čtenářům poznatek, že je formaldehyd pro lidské zdraví opravdu škodlivý a poukázala na nové metody a technologie, díky kterým je možné se před jeho škodlivými emisemi v domovech chránit. Jelikož byla tato práce pouze rešeršního charakteru, nabízí se zde velký potenciál k provádění vlastních výzkumů a měření v rámci navazující bakalářské či diplomové práce, která by přinesla aktuální poznatky o koncentracích formaldehydu v různorodých prostředích a jejich následné vlivy na zdraví jedinců zde žijících. Poutavý by také jistě byl i chemický rozbor a ověřování lepidel, která jsou využívána k lepení dřeva, u nichž je uváděno, že formaldehyd neobsahují či jen v rámci povolených množství, ale také by bylo vhodné dotazování obyvatelstva různých věkových kategorií týkající se povědomí o formaldehydu a jeho účincích. Celý tento výzkum by dle autorčina názoru jistě došel k zajímavým zjištěním, díky nimž by se následně mohla více rozrůstat osvěta o další

aktuální fakta, například k edukaci na školách v rámci atraktivních pokusů při hodinách chemie, či více zapojit výrobce dřevěných výrobků, aby své zákazníky více informovali, že již nevyužívají materiály obsahující formaldehyd. Osvěta zabývající se formaldehydem by jistě mohla dopomoci ke zkvalitnění lidských domovů, a tudíž i jejich životů.

PŘEHLED POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY

1. ABS. Nové sádrovláknité desky proti škodlivým látkám. *ABS* [online]. 2010 [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <<https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/pricky/nove-sadrovlaknite-desky-proti-skodlivym-latkam>>.
2. ADFORS. Novelio® Classic CleanAir. *ADFORS* [online]. ©2022 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <<https://eu.adfors.com/cs/sklovlaknite-tapety-novelio/paintable/novelio-classic-cleanair>>.
3. Allegra Alessandro, Spatari Giovanna, Mattioli Stefano, Curti Stefania, Innao Vanessa, Ettari Roberta, Gaetano Allegra Andrea, Giorgianni Concetto, Gangemi Sebastiano, and Musolino Caterina. Formaldehyde exposure and acute myeloid leukemia: a review of the literature. *Medicina*, 55(10):638, 2019.
4. Allouch Alaa, Guglielmino Maud, Bernhardt Pierre, Christophe A. Serra Christophe A., and Le Calvé Stéphane. Transportable, fast and high sensitive near real-time analyzers: Formaldehyde detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 181:551–558, 2013.
5. Athanassiadis Basil, George GA, Abbott PV, and Wash LJ. A review of the effects of formaldehyde release from endodontic materials. *International endodontic journal*, 48(9):829–838, 2015.
6. Aung Win-Yu, Sakamoto Hironari, Sato Ayana, Yi Ei-Ei-Pan-Nu, Thein Zaw-Lin, Nwe Myint-San, Shein Nanda, Linn Htin, Uchiyama Shigehisa, Kunugita Naoki, et al. Indoor formaldehyde concentration, personal formaldehyde exposure and clinical symptoms during anatomy dissection sessions, university of medicine 1, yangon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2):712, 2021.
7. AURA. What is WELL?. *AURA* [online]. ©2021 [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <<https://www.auraoffice.ca/blog/well-certification/>>.
8. Bachand Annette M., Mundt Kenneth A., Mundt Diane J., and Montgomery Renika R.. Epidemiological studies of formaldehyde exposure and risk of leukemia and nasopharyngeal cancer: a meta-analysis. *Critical reviews in toxicology*, 40(2):85–100, 2010.

9. Bednářová Petra a Krejsová Jana. Kvalita vnitřního ovzduší v budově – měření formaldehydu. *Tzbinfo* [online]. 2009, 6.7. [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <<https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/5764-kvalita-vnitriho-ovzdusi-v-budove-mereni-formaldehydu>>.
10. Beránková Jitka a Kotenová Ludmila. Zpřísnění certifikace výrobců desek na bázi dřeva. *iMATERIÁLY* [online]. 2019, 23.12. [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <https://www.imaterialy.cz/rubriky/legislativa/zpriseni-certifikace-vyrobcu-desek-na-bazi-dreva_47593.html>.
11. Blahetová Tereza. *Vybrané aspekty problematiky toxických látek* [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/5038/1/Bp_Blahetova_Tereza.pdf>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
12. Böhm Martin, Reisner Jan, and Bomba Jan. Materiály na bázi dřeva. *Prague, Czech Republic: Česká zemědělská univerzita v Praze*, 2012 b.
13. Böhm Martin, Salem ZM Mohamed, and Srba Jaromír. Formaldehyde emission monitoring from a variety of solid wood, plywood, blockboard and flooring products manufactured for building and furnishing materials. *Journal of hazardous materials*, 221:68–79, 2012.
14. Boran Sevda, Usta Mustafa, and Gümüşkaya Esat. Decreasing formaldehyde emission from medium density fiberboard panels produced by adding different amine compounds to urea formaldehyde resin. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(7):674–678, 2011.
15. Bowyer J., Howe J., Fernholz Kathryn, and Lindburg Alison. Designation of environmentally preferable building materials—fundamental change needed within leed. *Dovetail Partners Inc.: White Bear Lake, MN, USA*, 2006.
16. California Air Resources Board. CARB kicks off 50th anniversary celebrations with a new logo. *California Air Resources Board*[online]. ©2023 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <<https://ww2.arb.ca.gov/news/carb-kicks-50th-anniversary-celebrations-new-logo>>.
17. Castro-Hurtado I., Garcia Mandayo, G. and Castaño EJTSF. Conductometric formaldehyde gas sensors. a review: From conventional films to nanostructured materials. *Thin Solid Films*, 548:665–676, 2013.

18. Časopis stavebnictví. Stopku formaldehydu vystavila technologie Activ´Air®. *Časopis stavebnictví* [online]. 2020 [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: <<https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-stopku-formaldehydu-vystavila-technologie-activ-air.html>>.
19. Čech Petr et al. Vliv lepení na množství emisí voc. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 56(4):29–36, 2014.
20. Česká rada pro šetrné budovy. Šetrné budovy a komplexní certifikační systémy. *Česká rada pro šetrné budovy* [online]. 2020 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <<https://www.czgbc.org/files/2021/01/738fb89879d9a56abcc3fb11ed7acce7.pdf>>.
21. Doležilková Hana. *Kvalita vnějšího a vnitřního vzduchu* [online]. 2010 [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <<https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/6486-kvalita-vnejsiho-a-vnitriho-vzduchu>>.
22. Dorieh Ali, Peyman Pouresmaeel Selakjani, Shahavi Mohammad Hassan, Pizzi Antonio, Ghafari Movahed Sogand, Pour Mohammad Farajollah, and Aghaei Roozbeh. Recent developments in the performance of micro/nanoparticle-modified urea-formaldehyde resins used as wood-based composite binders: A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, page 103106, 2022.
23. DŘEVO&STAVBY.CZ. Dřevostavba a její lepidla. *DŘEVO&stavby.cz* [online]. 2013, 18.9. [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <<https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/stavebni-chemie/2488-drevostavba-a-jeji-lepidla>>.
24. Duan Jingchun, Tan Jihua, Yang Liu, Wu Shan, and Hao Jimin. Concentration, sources and ozone formation potential of volatile organic compounds (vocs) during ozone episode in Beijing. *Atmospheric Research*, 88(1):25–35, 2008.
25. DYAS. TEST CERTIFIKÁT CARB II – PRO TŘÍDU LEPENÍ 1. *DYAS* [online]. ©2023 [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <<http://www.dyas.eu/palivove-drivi/13-certifikaty/213-cerifikat-carb-ii>>.
26. Ebnesajjad Sina. *Handbook of adhesives and surface preparation: technology, applications and manufacturing*. William Andrew, 2010.
27. Eckelman Carl A.. *Brief survey of wood adhesives*. Purdue University Cooperative Extension Service West Lafayette, 1999.

28. EkoWATT. CERTIFIKACE LEED. *EkoWATT* [online]. ©2023 [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <<https://www.leed.cz/certifikace-budov/certifikace-leed/>>.
29. ESTAV.cz. Sádroláknité desky fermacell greenline sniží množství škodlivých látek v interiéru. *ESTAV.cz* [online]. 2014, 11.11. [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <<https://www.estav.cz/cz/877.sadrolaknitate-desky-fermacell-greenline-snizi-mnozstvi-skodlivych-latek-v-interieru>>.
30. Ezratty Véronique, Bonay Marcel, Neukirch Catherine, Orset-Guillossou Gaëlle, Dehoux Monique, Koscielny Serge, Cabanes Pierre-André, Lambrozo Jacques, and Aubier Michel. Effect of formaldehyde on asthmatic response to inhaled allergen challenge. *Environmental Health Perspectives*, 115(2):210–214, 2007.
31. FERMACELL. Sádroláknité desky fermacell greenline. *Fermacell* [online]. ©2023 [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <<https://www.fermacell.cz/cz/produkty/sadrolaknitate-desky/sadrolaknitate-desky-fermacell-greenline>>.
32. Ferus Martin, Cihelka Jaroslav, and Civiš S.. Formaldehyde in the environment—determination of formaldehyde by laser and photoacoustic detection. *Chemické listy*, 102(6), 2008.
33. FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. Logo FSC a ochranné známky. *Forest Stewardship Council* [online]. ©2023 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <<https://www.czechfsc.cz/cz-cs/o-fsc/logo-fsc-a-ochranne-znamky>>.
34. Gebauer Günter. Formování vnitřního prostředí budov. *Časopis stavebnictví* [online]. 2008, 20.11 [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <<https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-formovani-vnitriho-prostredi-budov.html>>.
35. Gerberich Robert H., Seaman George C., and Updated by Staff. Formaldehyde. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, pages 1–22, 2000.
36. Godish Thad. *Indoor air pollution control*. CRC press, 1989.
37. Goldstein Bernard D.. Hematological and toxicological evaluation of formaldehyde as a potential cause of human leukemia. *Human & experimental toxicology*, 30(7):725–735, 2011.
38. Gonzalez-Martin Javier, Norbertus Kraakman Johannes Richardus, Perez, Raquel Lebrero Cristina, and Munoz Raul. A state-of-the-art review on indoor air pollution and strategies for indoor air pollution control. *Chemosphere*, 262:128376, 2021.

39. Hájková Klára. *Certifikace spotřebitelského řetězce C-o-C* [online]. Pardubice, 2012 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/45877/HajkovaK_CertifikaceSpotrebiteleskeho_JZ_2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.
40. Havel Milan. Vnitřní prostředí staveb a chemické látky. *Tzbinfo* [online]. 2014, 28.4. [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <<https://stavba.tzb-info.cz/podlahy-pricky-povrchy/11134-vnitri-prostredi-staveb-a-chemicke-latky>>.
41. He Zhongkai, Zhang Yinping, and Wei Wenjuan. Formaldehyde and voc emissions at different manufacturing stages of wood-based panels. *Building and Environment*, 47:197–204, 2012.
42. Hejhálek Jiří. Zdravý sádrokarton Rigips s technologií Activ' Air. *STAVEBNICTVI3000.cz* [online]. 2015 [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <<https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/zdravy-sadrokarton-rigips-s-technologiei-activ-air>>.
43. Hejhálek Jiří ml.. Způsoby větrání bytů a rodinných domů. *STAVEBNICTVI3000.CZ* [online]. 2016, 27.1. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <<https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/zpusoby-vetrani-bytu-a-rodinnych-domu>>.
44. IKEA FAQ. Formaldehyde. *IKEA FAQ* [online]. ©2017 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.ikea.com/us/en/files/pdf/e1/12/e11228df/ikea_faq_formaldehyde.pdf>.
45. Jass Herman E.. History and status of formaldehyde in the cosmetics industry. ACS Publications, 1985.
46. Jefferies Heather, Coster Jane, Khalil Alizan, Bot Joan, McCauley Rosalie D., and Hall John C.. Glutathione. *ANZ Journal of Surgery*, 73(7):517–522, 2003.
47. Jelínek Vladimír a Linhartová Vladimíra. Interní mikroklima v bytových domech. *Tzbinfo* [online]. 2014, 27.10. [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <<https://m.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/11888-interni-mikroklima-v-bytovych-domech>>.
48. Josten Elmar, Reiche Thomas, and Wittchen Bernd. Dřevo a jeho obrábění. Grada Publishing as, 2010.

49. Kaden Debra A., Mandin Corinne, Nielsen Gunnar D., and Wolkoff Peder. Formaldehyde. In *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants*. World Health Organization, 2010.
50. Kadlčková E., Rohoň P., Navrátil M., Křen L., Zimová I., Pališek J., Staníček J., and Ryšavý I. Příklad diferenciální diagnostiky pancytopenie. *Transfusiologie & Haematology Today/Transfuze a Hematologie Dnes*, 20(3), 2014.
51. Kníže Jan. Ekologické dřevostavby s použitím desek OSB SUPERFINISH ECO. *Časopis stavebnictví* [online]. 2009 [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: <<https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-ekologicke-drevostavby-spouzitim-desek-osb-superfinish-eco.html>>.
52. Kníže Jan. Použití desek OSB SUPERFINISH® ECO v interiéru. *STAVEBNICTVI3000.CZ* [online]. 2008, 3.9. [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <<https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/pouziti-desek-osb-superfinish-eco-v-interieru>>.
53. Kolečková M., Srovnalová E., Boriková A., and Nakládalová M.. Rizikové faktory práce na oddělení patologie. *Occupational Medicine/Pracovní Lékařství*, 72, 2020.
54. Kotlík Bohumil a Mikešová Miroslava. Venkovní a vnitřní ovzduší. *STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV* [online]. 2009 [cit. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://archiv.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz_dny_a_seminare/2009/02_vzorkovani_ovzdusi.pdf>.
55. Kotlík, Mikešová. Vnitřní ovzduší. *Státní zdravotní ústav* [online]. 2007 [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://archiv.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz_dny_a_seminare/2007/kurs_ovzdusi_1/4_vnitri_ovzdusi.pdf>.
56. Kowatsch Stefan. Formaldehyde. In *Phenolic Resins: A Century of Progress*, pages 25–40. Springer, 2010.
57. Krahulová Markéta a Jiří Vorlíček. *Akutní leukemie: informace pro pacienty a jejich blízké*. Brno: Masarykova univerzita, 1998. ISBN 80-210-1783-x.
58. Krčmová Irena, Novosad Jakub, et al. Moderní aspekty alergické rýmy. *Interní med*, 20(2):74–80, 2018.

59. Lam Juleen, Koustas Erica, Sutton Patrice, Padula Amy M., Cabana Michael D., Vesterinen Hanna, Griffiths Charles, Dickie Mark, Daniels Natalyn, Whitaker Evans, et al. Exposure to formaldehyde and asthma outcomes: A systematic review, meta-analysis, and economic assessment. *PloS one*, 16(3): e0248258, 2021.
60. Lamaczová Iveta. Požadavky na projektanty a dodavatele v rámci certifikace LEED. *iMateriály* [online]. 2017, 27.1. [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: <https://www.imaterialy.cz/rubriky/legislativa/pozadavky-na-projektanty-a-dodavatele-v-ramci-certifikace-leed_44293.html>.
61. Li Baizhan, Cheng Zhu, Yao Runming, Wang Han, Yu Wei, Bu Zhongming, Xiong Jie, Zhang Tujingwa, Essah Emmanuel, Luo Zhiwen, et al. An investigation of formaldehyde concentration in residences and the development of a model for the prediction of its emission rates. *Building and environment*, 147: 540–550, 2019.
62. Liteplo Robert Gregory, Beauchamp R., Chénier R., Meek ME, World Health Organization, et al. *Formaldehyde*. World Health Organization, 2002.
63. Michel O.. For expert evaluation of a possible connection: formaldehyde and nasopharyngeal cancer. *HNO*, 64:122–124, 2016.
64. Mikulková A., Hájek M., Štěpánková M., and Ševčík M.. Forest certification as a tool to support sustainable development in forest management. *Journal of forest science*, 61(8):359–368, 2015.
65. Morávek Petr. Mikroklima pasivních domů. *Tzbinfo* [online]. 2011, 26.12. [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <<https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/8144-mikroklima-pasivnich-domu>>.
66. Motyka K., Mikuška P.. A survey of methods for determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in atmosphere. *Chemické listy*, 99(1), 2005.
67. Mrňová Zuzana. Environmentální certifikace budov – situace v České republice. *Tzbinfo* [online]. 2021, 30.4. [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <<https://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/22180-environmentalni-certifikace-budov-situace-v-ceske-republice>>.
68. Musial Agata, Gryglewski Ryszard, Kielczewski Stanislas, Loukas Marios, and Wajda Justyna. Formalin use in anatomical and histological science in the 19th and 20th centuries. *Folia Medica Cracoviensia*, 56(3), 2016.

69. Mynář Josef a Teslík Jiří. MATERIÁLY PRO DŘEVOSTAVBY. *Moravskoslezský dřevařský klastr* [online]. ©2023 [cit. 2023-01-25]. Dostupné z: <<https://docplayer.cz/9092079-Materialy-pro-drevostavby-autori-ing-josef-mynar-ing-jiri-teslik.html>>.
70. National Library of Medicine. Formaldehyde. National Library of Medicine ©2023 [cit. 2022-11-08] Dostupné z: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/712>>.
71. PEFC. *PEFC* [online]. ©2017 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <<https://www.pefc.cz/pefc/>>.
72. Petrlík Jindřich a Válek Petr. Formaldehyd. *ARNIKA* [online]. 2010, 29.11. [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <<https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/formaldehyd>>.
73. Pitschmann Vladimír, Kobliha Zbyněk, Haláček Emil, and Tušarová I. Determination of formaldehyde in air using reflectance spectrophotometry. *Chemické listy*, 101(10), 2007.
74. Pizzi A.. Melamine-formaldehyde adhesives. *Handbook of adhesive technology*, 2, 2003.
75. Přerušil Aleš. Co nám daly a vzaly okály. *DŘEVOSTAVITEL* [online]. 2012, 2.5. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <<https://www.drevostavitel.cz/clanek/co-nam-daly-okaly>>.
76. Rajnoch Martin. *Zdravotní rizika spojená se zhoršenou kvalitou ovzduší* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <<https://core.ac.uk/download/pdf/8994998.pdf>>.
Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
77. Reingruber Hernán and Pontel Blas Lucas. Formaldehyde metabolism and its impact on human health. *Current opinion in toxicology*, 9:28–34, 2018.
78. Richter Klaus. Wood adhesion: status and trends for future development. *Pro Ligno*, (11 (4)):3–9, 2015.
79. Rovira Joaquim, Roig Neus, Nadal Martí, Schuhmacher Marta, and Domingo José L.. Human health risks of formaldehyde indoor levels: An issue of concern. *Journal of environmental science and health, part a*, 51(4):357–363, 2016.

80. Ruffing Thomas C., Brown Nicole R., Smith Paul M., et al. Review of united states and international formaldehyde emission regulations for interior wood composite panels. *Wood and Fiber Science*, pages 21–31, 2011.
81. Salem Mohamed, Böhm Martin, Barčík Štefan, and Beránková Jitka. Formaldehyde emission from wood-based panels bonded with different formaldehyde based resins. *Drvna Industrija*, 62(3):177–183, 2011.
82. Salthammer Tunga, Mentese Sibel, and Marutzky Rainer. Formaldehyde in the indoor environment. *Chemical reviews*, 110(4):2536–2572, 2010.
83. Salthammer Tunga. Formaldehyde sources, formaldehyde concentrations and air exchange rates in European housings. *Building and environment*, 150: 219–232, 2019.
84. Sedliačik Ján. *Procesy lepenia dreva, plastov a kovov*. Zvolen: Technická Univerzita, 2005. ISBN 80-228-1500-4.
85. Schäfer M. and Roffael E.. On the formaldehyde release of wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 58(4):259–264, 2000.
86. SIGMA POINT. Norma PEFC a FSC – certifikace lesů a výrobků ze dřeva. *SIGMA POINT* [online]. ©2022 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <<https://sigmapoint.cz/norma-pefc-a-fsc/>>.
87. Státní zdravotní ústav. Emise ze stavebních výrobků: často kladené dotazy. *Národní zdravotnický informační portál* [online]. ©2023 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <<https://www.nzip.cz/clanek/873-emise-ze-stavebnich-vyrobku-faq>>.
88. Státní zdravotní ústav. Indoor základní faktory ovlivňující kvalitu vnitřního prostředí. *Státní zdravotní ústav* [online]. 2015 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://archiv.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/Vnitri_ovzdusi/indoor_Zakladni_faktory_ovlivnujici_kvalitu_vnitriho_prostredi_4_.pdf?highlightWords=základn%C3%AD+faktory+ovlivňuj%C3%ADc%C3%AD+kvalitu+vnitřn%C3%ADho+prostřed%C3%AD>.
89. SVĚT OKEN. Jak správně větrat. *SVĚT OKEN* [online]. ©2023 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <<https://www.svet-oken.cz/cz/plastova-okna/jak-spravne-vetrat.html>>.

90. Šulanová Štěpánka. Domy typu OKAL mohou způsobovat zdravotní komplikace. *TVARCHITECT.CZ* [online]. 2021, 18.10. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <<https://www.tvarchitect.com/clanek/domy-typu-okal-mohou-zpusobovat-zdravotni-komplikace/>>.
91. Talaiekhosani A., Fulazzaky MA, Ponraj M., and Majid ZM Abd. Formaldehyde from production to application. In *the 3th Conference of Application of Chemistry in Novel Technologies*, pages 1–16, 2013.
92. TECHNO EXPERTEXPRO.COM. *Sporák OSB: poškození zdraví a šetrnost k životnímu prostředí materiálu. TECHNO EXPERTEXPRO.COM* [online]. ©2019 [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <<https://techno.expertexpro.com/cs/stroitelnye-materialy/441-osb-plita-vrednost-dlya-zdorovya.html>>.
93. Torpy R. Fraser, Irga J. Peter, and Burchett D. Margaret. Reducing indoor air pollutants through biotechnology. In *Biotechnologies and biomimetics for civil engineering*, pages 181–210. Springer, 2015.
94. Tzbinfo. Nové sádrovláknité desky FERMACELL greenline čistí vzduch od škodlivých látek. *Tzbinfo* [online]. ©2023 [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: <<https://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/6237-nove-sadrovlaknite-desky-fermacell-greenline-cisti-vzduch-od-skodlivych-latek>>.
95. Unacademy. Formaldehyde Formula. *Unacademy* [online]. ©2023 [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <<https://unacademy.com/content/cbse-class-11/study-material/chemistry/formaldehyde-formula/>>.
96. van den Broek Jan, Klein Cerrejon David, Pratsinis Sotiris E., and Güntner Andreas T. Selective formaldehyde detection at ppb in indoor air with a portable sensor. *Journal of Hazardous Materials*, 399:123052, 2020.
97. Wadden Richard A. and Scheff Peter A.. Indoor air pollution. 1983.
98. Williams Donald C.. A survey of adhesives for wood conservation. In *The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, 24–28 April 1995*, page 79. Getty Publications, 1998.
99. World Health Organization et al. *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. World Health Organization. Regional Office for Europe, 2010.

100. Your Europe. Jak umístit označení CE na váš výrobek?. *Your Europe* [online] ©2023. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_cs.htm#shortcut-4>.
101. Yu Linling, Wang Bin, Cheng Man, Yang Meng, Gan Shiming, Fan Lieyang, Wang Dongming, and Chen Weihong. Association between indoor formaldehyde exposure and asthma: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Indoor air*, 30(4):682–690, 2020.
102. Zákony pro lidi. Vyhláška č. 6/2003 Sb.: Vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. *Zákony pro lidi* [online]. 2003 [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-6/zneni-20221012>>.
103. Zhang Hemiao, Zheng Zihao, Yu Tao, Liu Cong, Qian Hua, and Li Jingguang. Seasonal and diurnal patterns of outdoor formaldehyde and impacts on indoor environments and health. *Environmental research*, 205:112550, 2022.
104. Zhang Luoping, Steinmaus Craig, Eastmond David A., Xin Xianjun K., and Smith Martyn T.. Formaldehyde exposure and leukemia: a new meta-analysis and potential mechanisms. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 681(2-3):150–168, 2009.
105. Zhang Luoping. Introduction to formaldehyde. *Issues in Toxicology; Royal Society of Chemistry: London, UK*, 2018:1–19, 2018.
106. Zmrhal Vladimír. *Větrání rodinných a bytových domů*. Grada Publishing as, 2013.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Graf průměrných podílů jednotlivých složek na celkovém stavu vnitřního mikroklimatu	13
Obrázek 2: Tabulka zdrojů znečištění vnitřního ovzduší a jejich příklady	15
Obrázek 3: Strukturní vzorec formaldehydu	16
Obrázek 4: Proces zachycení a přeměny formaldehydu technologií Activ' Air®	25
Obrázek 5: Deska SUPERHINISH ECO	26
Obrázek 6: Deska FERMACELL greenline	27
Obrázek 7: Logo certifikace LEED	28
Obrázek 8: Logo certifikace BREEAM	28
Obrázek 9: Logo certifikace WELL	29
Obrázek 10: Logo certifikace CARB	32
Obrázek 11: Logo certifikace PEFC	33
Obrázek 12: Logo certifikace FSC	34