

SS02030008

CENTRUM ENVIRONMENTÁLNÍHO VÝZKUMU ODPADOVÉ A OBĚHOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍ BEZPEČNOST

Odborná zpráva o řešení projektu 2021 – 2022 Výstup 3.A.1.4 Stárnutí objektu



MUNI
ECON



VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

T VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

VÚV
TGM

Reportovací období: 01.01. – 31.12.2022

Kontaktní osoba: prof. Dr. Ing. Aleš Bernatík, ales.bernatik@vsb.cz, +420 597 322 833

Datum vypracování: 5. 1. 2023

T A
Č R

Projekt SS02030008 Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH) je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Prostředí pro život.

Obsah

ÚVOD.....	4
1. PŘÍPADY NEHOD ZPŮSOBENÝCH PROKAZATELNÝM STÁRNUTÍM TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍ..	6
1.1. Základní informace o nehodách a jejich příčinách	6
1.2. Související informace a následky havárií	7
1.3. Databáze havárií a nehod.....	8
1.4. Výbuch a požár v rafinerii Tesoro.....	9
1.5. Rafinerie Silver Eagle	10
1.6. Analýza dat shromážděných v databázích.....	12
1.7. Rizikové faktory vyplývající z analýz	15
2. PŘÍPADY Z VYŠETŘOVÁNÍ HAVÁRIÍ SPOJENÝCH S PROVOZEM CHEMICKÝCH LÁTEK	17
2.1. Únik nebezpečné látky, požár a výbuch v plynárně Enterprise Products Midstream.....	17
2.2. Únik isobutanu a jeho požár v ExxonMobil Baton Rouge Refinery	17
2.3. Únik nebezpečných chemických látek do vodního zdroje v Charlestonu	18
3. KOROZE.....	20
3.1. Koroze kovů	20
3.2. Druhy koroze podle zasažené oblasti	20
3.3. Korozní rychlost.....	21
3.4. Ušlechtilost kovů	21
3.5. Koroze v průmyslu	22
3.6. Ekonomické aspekty.....	22
3.7. Sociální aspekty	22
3.8. Prevence proti korozi	23
3.9. Stárnutí a koroze polymerů se zaměřením na plasty	23
3.10. Metody hodnocení vhodnosti polymerů pro dlouhodobé používání	25
3.11. Další způsoby ovlivnění stárnutí - životnost provozních a kontrolních zařízení	25
4. PŘÍKLAD LEGISLATIVY EU A ČR	27
4.1. Legislativa stanovující povinnosti provozovatelů zařízení.....	27
4.2. Legislativa stanovující povinnosti dodavatelů.....	27
4.3. Další významné dokumenty a publikace	27
4.4. Existující programy řízení stárnutí zařízení	27

4.5.	Legislativa v oblasti stárnutí zařízení v ČR.....	28
4.6.	Využití norem pro zajištění bezpečného používání zařízení	28
5.	REŠERŠE ODBORNÝCH PUBLIKACÍ ZABÝVAJÍCÍCH SE PROCESEM ŘÍZENÉHO STÁRNUTÍ	33
6.	NÁVRH OPATŘENÍ K ŘÍZENÉMU STÁRNUTÍ	39
6.1.	Definování Monitorovacího programu řízeného stárnutí technologických zařízení.....	39
6.2.	Pravidla pro Monitorovací program řízeného stárnutí technologických zařízení	40
6.3.	Efektivita programu řízení stárnutí a využívání provozních zkušeností pro zajištění dlouhodobého provozu technologických zařízení:.....	41
6.4.	Hlavní atributy Monitorovacího programu managementu řízení stárnutí pro systémy, konstrukce (včetně konstrukčních prvků) a komponenty technologických celků:	41
6.5.	Pravidla vedení statistik o haváriích spojených s přítomností chemických látek.....	41
	ZÁVĚR	43
	POUŽITÁ LITERATURA.....	44

WP 3.A Hodnocení rizik závažných havárií 2021-2022

STÁRNUTÍ DOTČENÝCH OBJEKTŮ NAKLÁDAJÍCÍCH S CHEMICKÝMI LÁTKAMI

Cíl WP 3.A.4: dílčí metodické doporučení k problematice stárnutí objektů

ÚVOD

Cíl projektu souvisí se zákonem 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií, a předmětem této dílčí části je hodnocení vlivu stárnutí na bezpečný provoz vybraných technologických celků, v nichž dochází k nakládání s nebezpečnými chemickými látkami a jejich směsmi.

V ČR je prevence závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými směsmi v gesci Ministerstva životního prostředí. Základním právním předpisem ČR pro tuto problematiku je zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií (ČR, 2015). Tento zákon ČR stanoví systém prevence závažných havárií pro objekty, ve kterých je umístěna a používána nebezpečná látka, s cílem snížit pravděpodobnost vzniku havárií a omezit jejich následky na životy a zdraví lidí a zvířat, životní prostředí a majetek v těchto objektech a v jejich okolí. Tento zákon vychází z příslušného předpisu Evropské unie, tj. ze Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU, ze dne 4. července 2012, o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek a o změně a následném zrušení směrnice Rady 96/82/ES, tzv. Seveso III. (EU, 2012)

Problematikou havárií v průmyslových provozech se nezabývá jen legislativa EU, ale je předmětem zájmu dalších zemí nebo mezinárodních sdružení.

Jednou z těchto mezinárodně působících organizací je OECD (The Organisation for Economic Co-operation and Development) - mezivládní organizace, která sdružuje zástupce 34 průmyslových států ze Severní a Jižní Ameriky, Evropy, Asie a pacifické oblasti, včetně států Evropské unie. Cílem organizace je koordinovat a harmonizovat politiky týkající se společných zájmů a spolupráce na řešení mezinárodních problémů. Více než 200 specializovaných komisí a výborů se zabývá specifickými problémy a jejich činnosti je koordinována Sekretariátem OECD, se sídlem v Paříži, Francie.

Organizace OECD se kromě jiného zabývá problematikou havárií v chemickém průmyslu a jedním z výstupů její činnosti je vydání publikace „Základní principy OECD pro prevenci, havarijní připravenost a zásahy při chemických haváriích“. Její první vydání v 90. letech minulého století bylo reakcí organizace OECD na velké havárie v Bhopalu a ve Schweizerhalle. Druhé vydání následovalo v roce 2003. (OECD EHS Publications, 2003) Třetí vydání je v současné době připravováno a podle informací OECD (2022) bude dostupné v roce 2023.

T A
Č R

Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

K tématu chemických havárií s ohledem na prevenci, připravenost a represivní opatření byly organizací OECD vydány další publikace, se zaměřením na nejrůznější aspekty havárií, jako například používání specifických materiálů, změna majitele podniku, změna výrobní technologie nebo podmínek zpracování atd. Samostatná publikace je také věnována problematice stárnutí nebezpečných zařízení. (OECD EHS, 2017).

Z dalších organizací lze jmenovat například HSE (Health and Safety Executive). Tato organizace je britským národním regulačním orgánem pro bezpečnost a ochranu zdraví na pracovišti. Její úloha přesahuje rámec ochrany zaměstnanců a zahrnuje i zajištění bezpečnosti veřejnosti i životního prostředí. (HSE, 2009). V rámci své mise se tato organizace také zabývá haváriemi chemických provozů s účastí nebezpečných chemických látek a stárnutí zařízení je jedním z parametrů, kterému věnuje pozornost. (HSE, 2006).

Z rozboru provedeného v rámci této zprávy vyplývá, že problematice stárnutí je v posledním desetiletí věnována značná pozornost, jak ze strany státních orgánů, tak z pohledu tvorby legislativy a její realizace v praxi. Z tohoto důvodu zpráva obsahuje přehled informací z různých oblastí, do kterých problematika stárnutí zasahuje, především legislativa, teorie jevů, které s procesem stárnutí probíhají, vybrané případy havárií, metodiky zjišťování stavu zařízení, metodiky predikce a návrhy opatření pro zajištění bezpečnosti.

1. PŘÍPADY NEHOD ZPŮSOBENÝCH PROKAZATELNÝM STÁRNUTÍM TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍ

Informace o nehodách průmyslových zařízení jsou obsahem řady publikací, především v odborných časopisech a publikacích. Kromě těchto zdrojů jsou údaje k průmyslovým nehodám shromažďována ve specializovaných databázích. Součástí vyjmenovaných zdrojů informací jsou také analýzy uvedených údajů, jejich hodnocení podle vybraných kritérií a návrh opatření pro zvýšení bezpečnosti. V této kapitole jsou uvedeny příklady takto zpracovaných informací.

1.1. Základní informace o nehodách a jejich příčinách

Jedním z nejznámějších autorů, který se dlouhodobě zabývá problematikou bezpečnosti průmyslových, především chemických provozů, je Trevor Kletz. Jeho poslední publikace (Kletz T., Amyotte, P., 2019) se systematicky zabývá příčinami nehod a havárií. V souvislosti se stárnutím upozorňuje na nutnost volby správného materiálu.

Veškeré vybavení a zařízení chemických provozů, jako nádrže, komíny, nádoby, pomocné jednotky a spojovací potrubí, ventily a armatury, jsou vyrobeny z materiálů, které musí odpovídat svými vlastnostmi podmínkám prostředí, ve kterém se nacházejí a také vlastnostem látek, se kterými přicházejí do styku. Výběr vhodných materiálů často není prováděn adekvátně těmto požadavkům, například materiál rychle degraduje vzhledem k procesním podmínkám, kterým je vystaven. Také může dojít k omylům při výběru správných materiálů, to se vztahuje například k těsnícím a izolačním materiálům, které jsou častěji vyměňovány.

Mnoho incidentů se stalo, protože zvolený materiál nebyl vhodný pro dané podmínky. To bylo obvykle důsledkem chyb údržby nebo dodavatelů, kteří nepoužili nebo nedodali správné materiály. Také dokumentace, která je dodávána s daným výrobkem, nebyla doplněna příslušnými specifikacemi a určením prostředí, ve kterém se výrobek může používat. Zpracování návodu k používání nebo správné označení výrobku je jednoznačně povinností výrobce nebo dovozce při uvedení výrobku na trh, jak vyplývá ze zákona 102/2001 Sb. o obecné bezpečnosti výrobků, (ČR, 2001) a to pro výrobky z regulované i neregulované sféry. Jen málo poruch bylo důsledkem chyb materiálových specialistů, kteří přesně specifikovali materiály, které mají být použity, i když i k tomu dochází.

Jako příklad je v publikaci (Kletz T., Amyotte, P., 2019) uveden případ nedostatečné specifikace materiálu: Titanová příruba byla namontována na potrubí se suchým chlórem. Po namontování se příruba vznítla. Titan je ideální pro mokré chlóry, ale při kontaktu se suchým chlórem se vznítí. K podobné nehodě došlo v jiném závodě, když byla použita příruba, označená jako materiál vhodný pro kontakt s chlórem bez specifikace, zda se jedná o suchý nebo vlhký chlóry.

1.2. Související informace a následky havárií

V odborných publikacích jsou kromě konkrétních příčin nehod diskutovány také další souvislosti a následky havárií. Například v publikaci R. Semmlera (2016) upozorňuje autor na nebezpečí spojené se stárnutím provozu považovaného za bezpečný podle bezpečnostní analýzy pro snížení rizik na místech s nebezpečím závažných havárií podle směrnice 2012/18/EU. Jak vyplývá z dále uvedeného příkladu, může stárnutí zařízení skrývat latentní nebezpečí. Proto musí být **budoucí bezpečnostní analýzy komplexnější, aby odhalily tato latentní rizika a** naplnily je požadavky článku 10 c) navíc s přílohou II „Minimální údaje a informace, které je třeba vzít v úvahu bezpečnostní zprávu uvedenou v článku 10“ Směrnice SEVESO III (EU, 2012)

Rozbor následujícího incidentu ukáže, že zastaralá zařízení v provozech, všechny druhy energií a zásob, mohou vytvořit nebezpečí jako např. vnější povodeň. Staré potrubí pro hlavní přívod chladicí vody způsobilo jev nazývaný vodní kladivo nebo také vodní ráz. Tento jev je krátkodobý, ale významný tlakový nárůst v systému naplněném tekutinou, k němuž dochází, když se proud tekutiny srazí s překážkou v jeho cestě. Mezi typické příklady výskytu takových překážek patří ostré překrytí uzavíracích ventilů, náhlé zastavení čerpadla, vzduchová zátka atd.) Ve velkém průmyslovém chemickém parku způsobilo hlavní potrubí chladicí vody (nominální šířka 1000 – 1400 mm) vodní ráz, což vedlo následně ke ztrátě integrity několika menších potrubí v suterénu výrobní budovy, a tím došlo k zatopení celého suterénu a havarijnímu odstavení technologického zařízení z důvodu zkratů a vodou způsobených poruch v instrumentaci a ovládání zařízení.

Je všeobecně známo, že uzavření ventilu může způsobit vodní ráz v závislosti na rychlosti uzavření ventilu a impulsu média v potrubí. Ale co jiného to může způsobit, když můžete vyloučit ventily, čerpadla nebo zhroutil velké plynových/parních dutin jako hlavní příčinu?

Při analýze bylo zjištěno, že hlavní potrubí pro chladicí vodu je starší než 40 let. Potrubí bylo vyrobeno z oceli s betonovou vložkou. Občas operátoři našli nějaké tenké kusy betonu v chladicí věži a přemýšleli, odkud mohou pocházet, protože systém chladicí vody je uzavřený a nebyly k dispozici žádné informace o stavebních pracích s betonem v blízkém okolí.

Podle analýzy **docházelo z důvodu stáří potrubí k vnitřní korozi**, která vedla k místnímu oddělení betonové vložky od ocelového potrubí. Oddělení by mohlo vést ke vzniku malých ale i velkých kusů betonu. V posuzovaném případě velký kus betonové vložky blokoval potrubí u ventilu s menším průměrem uvnitř ventilu. Tenký kousek betonové vložky nevydržel impuls pohybující se vodní masou a byl okamžitě zničen. Ale nakonec toto krátké ucpání potrubí způsobilo vodní ráz, který byl potvrzen simulačním výpočtem a porovnáním s naměřenými hodnotami tlaku. Při další analýze byla nalezena další příčina netěsnosti. Maximální vypočítaná úroveň tlaku vodního kladiva byla nižší než přípustný tlak pro třídy potrubí, které byly použity pro následné zásobování chladicí vodou ve výrobní budově a mohly by selhat pouze s ohledem na **zmenšení tloušťky stěny způsobené korozi**.

Před incidentem nebyl zaveden žádný program vizuální kontroly potrubí pro chladicí vodu, protože izolace potrubí byla provedena pomocí povlaku polyuretanové pěny a kontrola koroze

pod izolací nebo měření tloušťky stěny by bylo velmi náročné. Napadení korozí je zřejmé z obr. 1.

I ve vodovodních potrubích bez betonové vložky může dojít k masivnímu usazování vodního kamene, pokud má voda vysoký obsah vápníku nebo uhličitanu hořčnatého v průběhu desetiletí. Pokud se koroze kombinuje s tvrdostí vody, může usazování vodního kamene způsobit potíže s odlupujícími se kousky šupin, stejně jako v případě betonu.



Obr. 1: Odebraný vzorek potrubí vykazuje velké napadení korozí

1.3. Databáze havárií a nehod

Rozbory příčin havárií jsou také prováděny v rámci databázi shromažďujících data o nehodách těchto zařízení. V rámci EU se jedná především o databázi eMARS. Tato databáze je vytvořena na základě systému hlášení závažných nehod (Major Accident Reporting System), zavedeného od roku 1982. Hlášení jsou poskytována Úřadu pro nebezpečí velkých nehod (Major Accident Hazard Bureau) Společného výzkumného centra EK ze strany států EU. Účelem databáze eMARS je usnadnit výměnu zkušeností z havárií a nehod. Zprávy z vyšetřování jsou zaměřeny na procesy zahrnující nebezpečné látky s cílem zlepšit prevenci chemických havárií a zmírnit potenciální následky. (European Commission, 2022) V současné době je podle legislativy Seveso I až III v této databázi evidováno 1177 nehod chemických zařízení.

Databáze jsou vedeny i v rámci jednotlivých států a také mimo Evropskou unii. Jednou z těchto databází je Agentura U. S. Chemical Safety Board. Jedná se o nezávislou federální agenturu se sídlem ve Washingtonu, DC, která je pověřena vyšetřováním průmyslových chemických havárií v rámci USA. Cílem vyšetřování je především nalezení příčin havárie a návrh opatření pro zvýšení bezpečnosti provozu zařízení obdobného typu. Protože stárnutí zařízení je považováno za jednu z hlavních příčin nehoda a havárií, je této příčině věnována jedna sekce záznamů o nehodách v této databázi. (CSB, 2022) Popsány jsou 2 závažné havárie, k nimž došlo v rafinerii Tesoro a v rafinerii Silver Eagel.

1.4. Výbuch a požár v rafinerii Tesoro

Tato nehoda je popsána a analyzována v databázi vedené agenturou CSB (2022). Zpráva o nehodě je uvedena v databázi pod názvem Tesoro Refinery Fatal Explosion and Fire. (CSB, 2014)

Popis nehody: Výbuch a požár vedly ke smrtelnému zranění sedmi zaměstnanců, když během údržby v rafinerii Tesoro v Anacortes ve státě Washington katastrofálně selhal téměř čtyřicet let starý výměník tepla. Vyšetřování CSB zjistilo, že bezprostřední příčinou tragédie bylo dlouhodobě probíhající a nezjištěné vysokoteplotní působení (HTHA – high temperature hydrogen attack) ocelového zařízení, který vedl k poškození stěny a následnému prasknutí nádoby. Poškození vodíkem je obecný název pro velký počet degradačních procesů, k nimž dochází v důsledku interakce s vodíkem s kovem (ocel, hliník, titan, zirkon) při vysokých teplotách. Na obr. 2 níže je soubor tepelných výměníků uvedeného provozu poškozených při havárii.

Firma Tesoro, stejně jako mnoho další provozů v tomto oboru, použila publikovaná data z American Petroleum Institute (API), nazvaná Nelson Curves, k předpovědi náchylnosti výměníků tepla k poškození HTHA. CSB zjistila, že tyto křivky jsou nespolehlivé, protože používají historické zkušenosti týkající se HTHA, které nemusí dostatečně odrážet skutečné provozní podmínky. Například počítačová rekonstrukce CSB procesních podmínek ve výměnících určila, že část výměníku z uhlíkové oceli, která selhala, pravděpodobně fungovala pod použitelnou Nelsonovou křivkou – což naznačuje, že je „bezpečná“. CSB zjistil, že doporučené postupy API nevyžadují, aby uživatelé ověřovali skutečné provozní podmínky při stanovení provozních limitů zařízení nebo potvrdili, že materiály zvolené konstrukce zabrání poškození. K nehodě přispěla inspekční strategie, která se spoléhala spíše na projektované provozní podmínky než na ověřování skutečných provozních parametrů. CSB zjistil, že kontroly na takové poškození jsou nespolehlivé, protože mikroskopické trhliny mohou být lokalizovány a obtížně identifikovatelné. CSB poznamenal, že zatímco API identifikovalo oceli s vysokým obsahem chromu, které jsou vysoce odolné; tyto nebyly nainstalovány společností Tesoro.



Obr. 2: Sestava tepelných výměníků

1.5. Rafinerie Silver Eagle

Tato nehoda je popsána a analyzována v databázi vedené agenturou CSB (2022). Zpráva o nehodě je uvedena v databázi pod názvem Silver Eagle Refinery Flash Fire and Explosion and Catastrophic Pipe Explosion. (CSB, 2014 a)

Popis nehody: Večer 12. ledna 2009 utrpěli dva operátoři rafinerie a dva dodavatelé vážné popáleniny v důsledku bleskového požáru v rafinerii Silver Eagle ve Woods Cross v Utahu. K nehodě došlo, když se z atmosférické skladovací nádrže č. 105 uvolnil velký oblak hořlavých par, který obsahoval odhadem 440 000 galonů lehké nafty. Oblak páry našel zdroj vznícení a následný bleskový požár se rozšířil až 230 stop západně od tankoviště. 4. listopadu 2009 došlo k druhé nehodě v rafinerii Silver Eagle ve Woods Cross v Utahu, kdy silná tlaková vlna způsobená selháním 10palcového potrubí poškodila okolní domy. Vyšetřovací tým CSB zkoumal prasklý segment potrubí a přilehlých částí potrubí. Bylo zjištěno, že došlo **ke ztenčení stěny v potrubní komponentě**. Koleny sousedící s trubkovým segmentem, který selhal, mělo původní tloušťku 0,719 palce. Měření tloušťky kolena v roce 2007 ukázalo tloušťku stěny 0,483 palce, což naznačuje roky ztenčování. Bylo zjištěno, že sousední přímý segment, který selhal, měl tloušťku stěny pouhých 0,039 palce a **nebyly zaznamenány žádné předchozí kontroly**. CSB zjistila, že v této rafinerii, ale i v řadě dalších podobných provozů, programy kontroly mechanické integrity opakovaně zdůrazňují strategie inspekcí spíše než použití inherentně

T A
Č R

Projekt SS02030008 Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH) je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Prostředí pro život.

bezpečnějšího designu ke kontrole mechanismů poškození. Z tohoto nevhodného přístupu pak vyplývá, že dochází k ohrožení bezpečnosti provozu. Na obrázku 3 níže je uveden záběr z kamerového systému při výbuchu v rafinerii Silver Eagle, obrázek 4 představuje prasklý konec potrubního systému.



Obr. 3 : Okamžik vznícení unikajícího oblasku hořlavých par



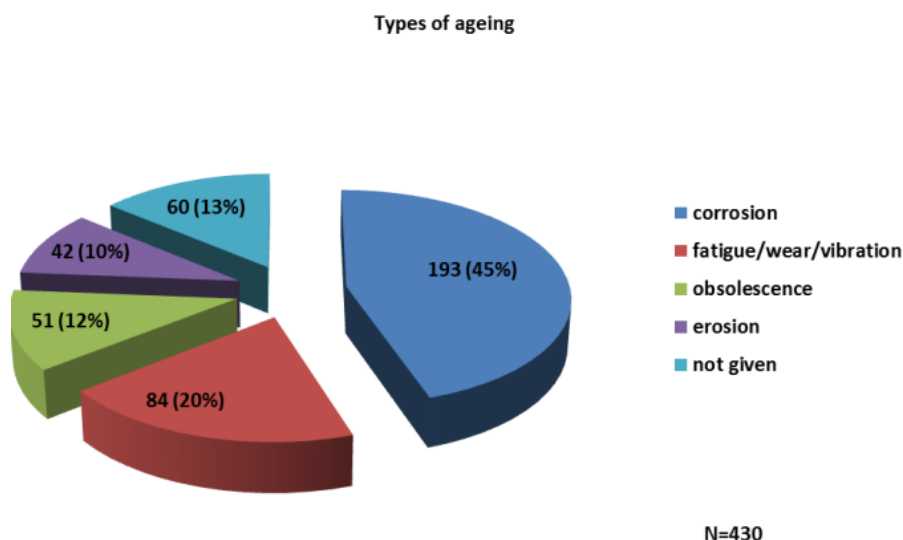
Obr. 4: Prasklý konec potrubí na ohnutém nosníku konstrukce

1.6. Analýza dat shromážděných v databázích

Těchto několik příkladů **ukazuje latentní nebezpečí stárnutí a stárnocích zařízení** a také běžné denní údržby a potenciálního dopadu na bezpečný provoz na místě závažné havárie. Tyto případy nebyly systematicky podrobně zvažovány při bezpečnostní analýze místa, kde k nim došlo. S ohledem na zlepšení bezpečného provozu místa s velkým nebezpečím závažné havárie, je doporučeno zvážit nejen spolehlivost zařízení a všech druhů energií a dodávek, ale také bezpečnost ohrožující příčiny, jako jsou praskliny a trhliny k negativnímu dopadu na lokalitu, ve které se chemický provoz nachází. **Zejména to bude platit pro velké průmyslové areály s historií sahající až do 80. let a dříve.**

Z analýzy dat uvedených v databázích vyplývají důležité informace o důležitosti jednotlivých parametrů. Například v publikaci AGEING OF HAZARDOUS INSTALLATIONS (OECD EHS, 2017) kterou vydala organizace OECD, je kromě jiného také kapitola, které je věnována haváriím v souvislosti se stárnutím zařízení. Na základě rozboru 430 případů nehod souvisejících se stárnutím byla nalezeny hlavní příčiny těchto nehod a havárií. Analýza byla provedena Úřadem pro závažné nehody Společného výzkumného střediska Evropské komise. Pro všechny případy nehod byly připraveny jednotné formuláře umožňující kvalitativní analýzu získaných dat. Použité případy se týkaly nehod, k nimž došlo po roce 2000 za účasti nebezpečných látek ve větších objemech.

Jedním z hlavních parametrů, které byly vyhodnoceny, byl typ jevů stárnutí, které se podílely na hlášených nehodách. Nejčastějším jevem, který souvisel se stárnutím byla jednoznačně stanovena koroze, která byla příčinou nehod ve 45 % případů. Dále byly významně zastoupeny jevy jako únava/opotřebení a vibrace, nebo jejich kombinace a dále eroze - viz obr. 5.



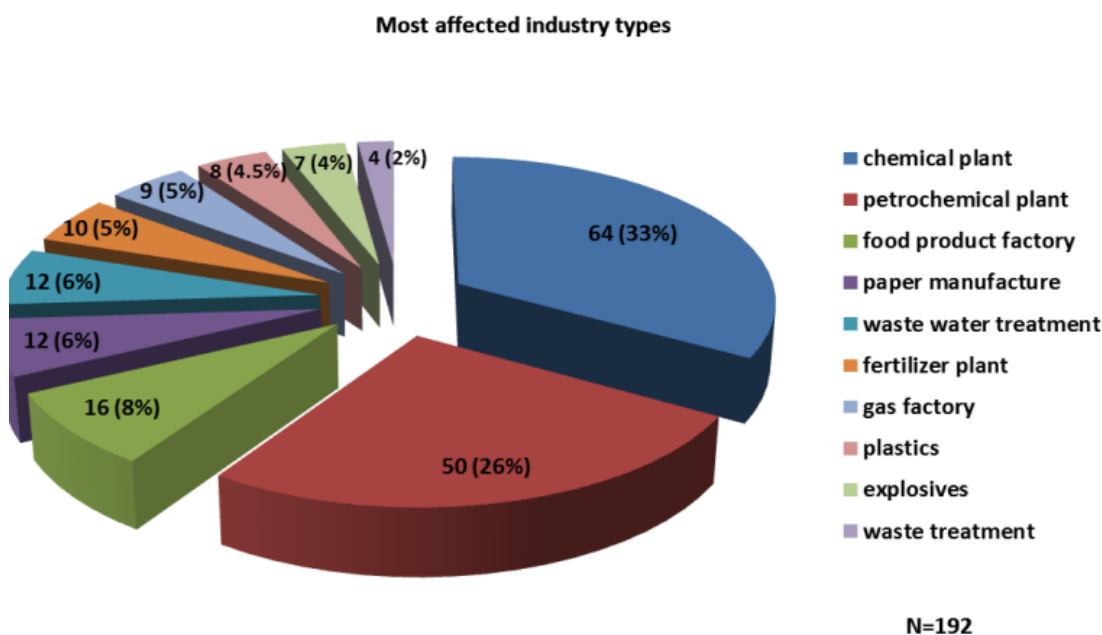
Obrázek 5: Rozložení typů jevů stárnutí (OECD, 2017)

Dále byly z analýza odvozeny hlavní důsledky nehod spojených se stárnutím, které byly rozděleny do 4 kategorií. Jednalo se o úniky nebezpečných látek, následky pro obyvatelstvo, následky pro životní prostředí a finanční ztráty.

V polovině ze 430 případů došlo k úniku významného množství nebezpečných látek do ovzduší. V 70 případech z nahlášených havárií byla hlášena alespoň jedna oběť. V 63 z nahlášených havárií došlo k závažným následkům na životním prostředí a v 52 případech došlo ke značným finančním ztrátám.

Při analýze bylo také zjišťováno, ve kterých průmyslových odvětvích dochází nejčastěji k nehodám s účastí nebezpečných látek. Bylo zjištěno, že chemický a petrochemický průmysl patří k nejvíce postiženým průmyslovým oborům. Vyskytovaly se přibližně v 30 % hlášení. V těchto případech byly látkami, k jejichž úniku docházelo nejčastěji, především hořlavé plyny nebo kapaliny, a také chlor a kyselina chlorovodíková.

Třetí nejvíce postižené odvětví je v kategorii výroby potravin, kde hlavní nebezpečnou látkou byl amoniak. Jeho úniky byly zaznamenány také v ocelářství a při výrobě hnojiv – viz obr 6.



Obr. 6: Průmyslová odvětví nejvíce postižená nehodami

Dalším hodnoceným parametrem byl typ zařízení, v němž k havárii došlo. Údaje nebyly k dispozici u všech případů, ale pouze u 217 z nich bylo uvedeno, které zařízení selhalo nebo utrpělo poruchu jako následek různých jevů stárnutí. Ve 45 % případů se jednalo o potrubí (N=98) a v případě 33 % (N=71) skladovací nádrže. V 50 % nehod, které se týkaly potrubí a

skladovacích nádrží, bylo stárnutí spojeno s jevem koroze. Tento jev byl také určen jako hlavní příčina poruchy v 70 % případů havárií zahrnujících výměníky tepla (N=18) a reaktorové nádoby (N=13).

Z provedené analýzy vyplývá, že hlavním jevem, který probíhá při stárnutí a je příčinou největšího počtu havárií, je jednoznačně koroze. Nejčastějším typem zařízení, ve kterém dochází k nehodám, je potrubí. Tato skutečnost může také souviset s tím, že potrubí je nezbytnou součástí téměř každého provozu a jeho údržba je velmi nákladná. Nelze také zanedbat vliv izolace, která zakrývá reálný stav potrubí.

Hlavní příčiny analyzovaných nehod

Z analyzovaných hlášení mimo jiné vyplynulo, že nejčastěji byly uváděny technické příčiny poruch a nehod, ale pozornost nebyla věnována lidským chybám nebo organizačním nedostatkům. Nejčastější faktory, které vedly k nehodám v hlášených případech jsou následující:

- Nedostatečný dohled nad otázkami stárnutí ze strany společnosti: zdá se, že v některých případech provozovatel nedokázal sledovat zařízení podléhající stárnutí, přestože postižené zařízení bylo pravidelně používáno. Například degradace byla uvedena jako hlavní faktor, který přispěl k mnoha nehodám, protože provozovatel nedokázal identifikovat zařízení, která stárnutí zvláště podléhají.
- nevhodná konstrukce zařízení: například zařízení nebylo odolné vůči poškození, přetlaku nebo kov nebyl odolný vůči korozi na kolenech/svarech, vadná konstrukce ventilu, nebo nevhodný materiál s ohledem na skladované chemické látky.
- Absence řádné analýzy nebezpečí a posouzení rizik: zdá se, že v některých případech provozovatelé nedokázali identifikovat nebezpečí spojená se stárnutím některých provozů. Proto nebyly předmětem posouzení rizik, na rozdíl od jiných částí podniku, které byly považovány za rizikové. Toto selhání souvisí i s nedostatečným vedením dokumentace, zejména co se týká dokumentování změn zařízení v čase.
- Nedostatek řádného systému monitorování/kontrol/auditů: některé z případů poukázaly na nedostatečnou inspekci, a to jak z hlediska kvality, tak i četnosti, u kritických zařízení, která jsou zvláště vystavena riziku poškození v důsledku stárnutí. Selhání inspekce a údržby může znamenat, že vedení společnosti neurčuje priority včasných zásahů, nebo že harmonogramy zásahů byly založeny na nesprávných údajích a předpokladech, například v důsledku nedostatečného posouzení rizik nebo ztráty dokumentace v souvislosti se změnou vlastníka atd.

Hlavní důsledky nehod spojených se stárnutím:

- uvolněné nebezpečné látky
- následky pro člověka
- následky pro životní prostředí
- finanční ztráty.

Většina nehod analyzovaných v této zprávě byla spojena s mechanismy degradace (hlavně s korozí), které byly důsledkem závady v systému a také ve způsobu, jakým bylo stárnutí řešeno v systému řízení bezpečnosti zařízení.

Stárnutí se netýká pouze fyzického stárnutí, ale zahrnuje také všechny ostatní prvky zařízení, které mohou podléhat stárnutí a mít vliv na bezpečnost, jako je stárnutí lidí, postupů a technologií. Stárnutí jako takové by mělo být považováno za obecnou tematickou oblast, nikoli za něco, co je specifické například pro jedno odvětví průmyslu.

Pro zvládnání jevů stárnutí je velmi důležité vedení záznamů, a to včetně aktuální dokumentace o historii zařízení, sledování uvádění do provozu a používání zařízení zvláště citlivých na jevy stárnutí. Jak je patrné ze zprávy, pozornost by měla být věnována zařízením, která prošla změnou vlastníka, aby bylo zajištěno, že vedení záznamů a pokračování porozumění procesu v zařízení.

1.7. Rizikové faktory vyplývající z analýz

- zapojení pracovníků třetích stran do práce v zařízení s nedostatečnou znalostí historie zařízení, nedostatečné informace o zařízeních, u nichž je stárnutí nejpravděpodobnější, a/nebo nedostatečný dohled a monitorování;

- chybějící nebo neúplná dokumentace o konstrukci, provozu a historii zařízení, včetně informací o výměně zařízení, jakémkoli novém zařízení, minulých závadách a informací o frekvenci a typu používání jednotlivých zařízení, zejména těch, která mohou být ovlivněna stárnutím;

- dostupnost informací: může být ztížena přechodem z tištěných systémů na elektronické nebo jinými změnami;

- ztráta znalostí o konstrukci a provozu zařízení: v závislosti na stáří konkrétního zařízení je pravděpodobné, že mnozí nebo všichni z původního konstrukčního a provozního týmu již budou mít důchodový věk nebo odešli do důchodu. Pokud tyto znalosti a zkušenosti nebyly zachyceny, tito pracovníci si s sebou odnesli nepsanou historii, znalosti o předchozích událostech, které jsou cenné pro pokračování v provozu;

- plány inspekcí, které dostatečně nezajišťují monitorování kritických částí zařízení, která podléhají zejména stárnutí,

- absence posouzení rizik před změnou způsobu používání, jakým má být zařízení provozováno. To může například vést k vyššímu mechanickému namáhání zařízení, nikoliv k jeho změně, a v konečném důsledku vést k poruše.

Souhrnně lze říci, že bezpečný provoz staršího zařízení závisí na schopnostech obsluhy, porozumění jeho provozu a začlenění různých aspektů stárnutí do monitorování a plánů údržby. Závisí také na podnikové strategii řízení organizace, která zařízení vlastní.

Zařízení mohou "stárnout" rychleji, pokud nejsou správně řízena, a dvě zařízení podobného stáří by se mohla ve svém stavu velmi lišit v závislosti na tom, jak byla udržována.

Dílčí závěr

Z analýzy vyplývá, že hlavní příčinou havárií spojených s únikem nebezpečných látek je koroze. Zasaženou částí technologických celků je především potrubí. Nicméně dalším zjištěním bylo, že kromě konkrétních mechanických poruch se na haváriích podílejí i další faktory spojené s nedostatky v systémech řízení bezpečnosti, provozu a integrity, které by pravděpodobně souvisí se ztrátou znalostí, dokumentace a zkušeností s daným provozem.

2. PŘÍPADY Z VYŠETŘOVÁNÍ HAVÁRIÍ SPOJENÝCH S PROVOZEM CHEMICKÝCH LÁTEK

2.1. Únik nebezpečné látky, požár a výbuch v plynárně Enterprise Products Midstream

Dne 27. června 2016 v nočních hodinách (23:22) došlo k úniku methanu, propanu a několika dalších uhlovodíků ze záchytné jímky v plynárenské společnosti v Pascagoule v Mississippi. Uhlovodíky vzplanuly a způsobily tak sérii dalších požárů a výbuchů, které vyřadily tuto společnost z provozu na dalších bezmála šest měsíců. Během noční směny, kdy událost nastala, byli přítomni dva pracovníci, kteří byli zraněni.

Pravděpodobnou příčinou této havárie bylo selhání mosazného tepelného výměníku, k čemuž došlo tepelným namáháním. Absence spolehlivého procesu, který by potvrdil neporušenost tepelného výměníku, přispěla ke katastrofálnímu selhání jednotky. Tepelné namáhání, jakožto zdroj poškození, běžně způsobuje malé prasklinky v tepelném výměníku. Tyto praskliny jsou místy, kde dochází k úniku uhlovodíků. Mohou být velmi snadno opraveny za minimální náklady či s minimálními následky předtím, než dojde k významnému úniku nebezpečné látky. Již čtyři dřívější poruchy tepelných výměníků ukazují, že spoléhat se na to, že před havárií dojde k malému úniku (který bude snadno detekován a povede k opravě), není dostatečně spolehlivé. Namísto toho operátoři těchto procesů potřebují hodnotit a řídit rizika náhlých a katastrofálních scénářů, způsobených poruchami, závadami tepelných výměníků, kde hraje zásadní roli tepelné namáhání.

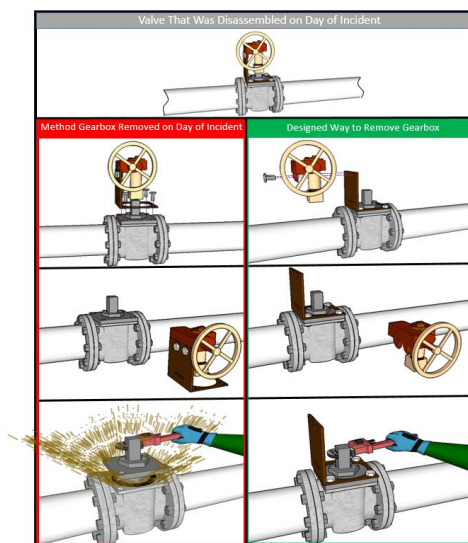
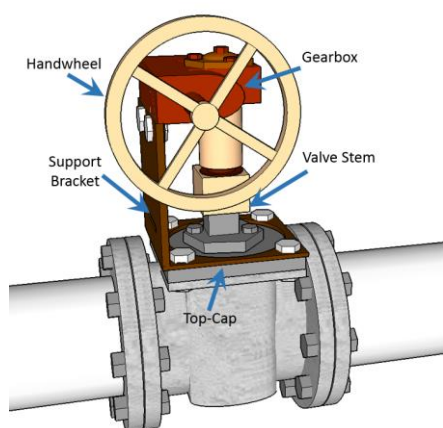
Pro snížení tepelného namáhání těchto výměníků je doporučen maximální limit jednotlivých cyklů, kdy dochází k výrazným změnám teploty a k výraznému tepelnému namáhání.

2.2. Únik isobutanu a jeho požár v ExxonMobil Baton Rouge Refinery

Dne 22. listopadu 2016 docházelo ve společnosti Baton Rouge k přípravám údržbářských prací. Klíčovou technologií této havárie je alkylace isobutanu. Součástí údržbářských prací je odpustit zbytkový isobutan z potrubí do záložních zásobníků. Pro otevření těchto ventilů je potřeba otevřít přívodní ventil. Tato společnost používá ve svých provozech tzv. čtvrt otáčkové ventily. Protože ventily v částech provozu, sloužících pro údržbu, jsou používány řídicěji než v hlavním provozu, jsou ovládané manuálně. Při otevírání ventilu dochází k povytažení šoupátka, a tedy ke zprůchodnění potrubí. Jako pojistka je v tomto druhu ventilu použita „spojka“ mezi přírubou, kde vstupuje ventil do potrubí a ovládacím pístem šoupátka. Při činnosti údržby operátor ventil otevřel, ale nedošlo k vysunutí šoupátka – otevíracím kolem se pohybovat dalo, ovšem ventil zůstal netečný. Jeden z údržbářů odstranil kolo a vrchní část ventilu, aby mohl šoupátko vysunout pomocí francouzského klíče (takto lze šoupátko přímo otočit a potrubí zprůchodnit). Tento krok je brán jako přijatelný a nejedná se o porušení technologického postupu, na obrázku lze vidět odstranění správných částí, aby nedošlo k případné havárii. Údržbář bohužel odstranil

i pojistku s částí příruby, dal pokyn druhému údržbáři k otevření přívodního ventilu isobutanu, a protože byl do potrubí vpuštěn pod tlakem, došlo k jeho úniku právě v prostoru povoleného ventilu. Došlo tak ke vzniku bílého oblaku hořlavých par. Jakmile zpozorovali únik, ihned informovali ostatní osoby, nacházející v objektu a nařídili jim se evakuovat, došlo také k informování řídicího operátora, aby byla jednotka zastavena. Vizualizace nakládání se šoupátkem při uzavírání a otevírání toku nebo propojování kanálů s proudící provozní látkou je uvedena na obr. 7.

Celkově došlo k úniku 2 000 liber isobutanu do atmosféry, přibližně 70 stop od místa úniku byla používána svářečka, která byla iniciačním zdrojem, a vzniklý oblak hořlavých par byl iniciován. Došlo ke zranění čtyř pracovníků.



Obr. 7: Vizualizace manipulace se šoupátkem

2.3. Únik nebezpečných chemických látek do vodního zdroje v Charlestonu

Dne 9. ledna 2014 dorazil do skladu chemických látek společnosti Freedom Industries inspektor ochrany životního prostředí pro Západní Virginii na základě stížností obyvatel na chemický zápach. Touto kontrolou byl zjištěn únik látky z nadzemního zásobníku, kde měl být skladován surový methylycyklohexanmethanol (MCHM). O 13 dní později, po kontrole, bylo ohlášeno, že se ale jednalo o směs surového MCHM a polyglykol etherů (Shurflot 944/PPH). Tato směs unikala ze zásobníku dvěma malými dírkami ve dně zásobníku a dostala se snižujícím se svahem až do řeky Elk. Otvory byly způsobeny korozí zásobníku (jedná se o specifický druh koroze, která se projevuje dírami v kovových výrobcích), která byla způsobena z vnitřní strany zásobníku na dně. Sekundární ochranná zeď, která měla sloužit k zabránění či korigování malých úniků, měla v sobě díry a praskliny díky havarijnímu stavu (působení směsi MCHM a PPH. Směs „využila“ cesty do řeky i odvodňovacím kanálem, který zde slouží jako prevence či ochrana zásobníků před velkým objemem vody, například při povodních). Mapa a záběry ze společnosti jsou na souboru obr. 8.

T A
Č R

Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Po upozornění na tento únik zamezila společnost Freedom dalšímu unikání směsi do půdy, stejně jako zahájila práce na dekontaminaci zasažené půdy. Tak jako tak došlo k úniku téměř 11 000 galonů této směsi, která bohužel zasáhla i řeku, kterou byla zanesena až do vzdálenosti 1,5 míle. V této vzdálenosti se nachází čistírna odpadních vod (West Virginia American Water). Technologie, využívané v této čistírně nedokázaly odstranit veškeré zbytky této směsi ze zasažené vody a došlo tak i ke kontaminaci pitné vody v celém WVAW systému, což je přibližně 300 000 domácností v devíti zemích.



Obr. 8: Havárie ve společnosti Freedom Industries (vlevo nahoře na situace na mapě včetně odvodňovacího kanálu, nadzemní zásobníky vpravo nahoře, vlevo dole díry způsobené korozí, vpravo dole situace zásobníků vůči řece).

T A
Č R

Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostedí pro život**.

3. KOROZE

Jak již bylo stanoveno v předchozích částech dokumentu, hlavní příčinou havárií spojených s únikem nebezpečných látek je koroze. V této kapitole budou představeny zásadní aspekty koroze se zaměřením na kovy a polymery.

3.1. Koroze kovů

Koroze kovů je fyzikálně chemická reakce mezi kovem či slitinou kovů a prostředím, při které dochází k nežádoucím změnám vlastností kovů. Může být výrazně snížena jeho odolnost, funkce, mechanické vlastnosti, zhoršení přestupu a vedení tepla, nebo může docházet ke ztrátě integrity či zhoršení prostředí v daném technickém systému, jehož je kov součástí.

Ke korozi bude docházet nejčastěji působením tekutin, a tedy reakcím s ionty, vyskytujícími se v prostředí kolem kovových součástí – na fázovém rozhraní. Technicky se jedná o přesun elektronů z jedné fáze do druhé, přičemž kovová část je oxidována – koroduje. To je způsobeno právě přesunem elektronů a změnou chemického stavu kovového prvku či sloučeniny.

Chemická koroze způsobuje změnu oxidačního stavu povrchové části kovu. V této relativně tenké vrstvě dochází ke tvorbě oxidů daného materiálu. Tato vrstva pak může sloužit jako ochrana před hlubší korozi (prostupu do hloubky v exponovaném místě), v případě, že oxidy nevytváří komplexní vrstvičku, ale pouze krystalické shluky, ochrannou funkci zde očekávat nemůžeme. Dochází pak k odlučování těchto zkorodovaných (zoxidovaných) částíček a koroze postupuje hlouběji nebo se šíří dál.

Informace uvedené v této kapitole vycházejí z mnoha odborných textů, které jsou citovány v kapitole Použitá literatura a jsou uvedeny jako ucelený soubor citací.

3.2. Druhy koroze podle zasažené oblasti

Rovnoměrná (plošná) koroze – stejnosměrné rozpouštění kovu po celé délce zasaženého povrchu. Nejčastěji se vyskytuje v systémech s homogenním povrchem kovu a homogenním prostředím, kdy teploty a koncentrace složek na jejich rozhraní jsou vyrovnané.

Důlková koroze je nerovnoměrným typem oxidace, kdy vznikají malé důlky na rozměrné ploše. V případě, že se důlky shlukují na jinak nenapadnuté části povrchu, jedná se o korozi skvrnitou.

Štěrbínová koroze vzniká nejčastěji v místech spojů dvou součástí (štěrbínách), kde lze předpokládat zbytky kapalin. Tento druh koroze podporují chloridové a fluoridové ionty, které se mohou uvolňovat z těsnících materiálů a celý proces oxidace zintenzivnit.

Bodová koroze se objevuje u materiálů s tzv. pasivní vrstvou (vrstva oxidů, bránící další korozi) a nastává v místech, kde je tato vrstva porušena. Samotná koroze se projevuje jednotlivými hlubokými důlky, přičemž ostatní povrch zůstává neporušený.

Selektivní koroze je oxidací některé ze složek slitiny kovu. V tomto místě dochází k ochuzování a ztenčování vrstvy kovu, což vede ke změně krystalové mřížky a rozrušení povrchu.

Mezikrystalová koroze vzniká v místech svarů korozivzdorných ocelí. Působením teploty při svařování zde dochází ke snížení obsahu chromu, tyto části jsou pak náchylnější ke korozi, která není okem pozorovatelná.

Erozní koroze je typem koroze, který nastává v systémech s rychle proudícím prostředím. Příčinou je porušování pasivní vrstvy prostředím a její intenzivní odstraňování. Při působení korozního média tak tato vrstva nestíhá „narůstat“ a dochází tak ke korozi hlouběji.

3.3. Korozní rychlost

Korozní rychlost je zavedeným pojmem, který vyjadřuje, po jakou dobu lze daný kovový povrch vystavovat intenzivnímu působení korozivního prostředí bez nepříjemných změn vlastností výrobku nebo kvality prostředí.

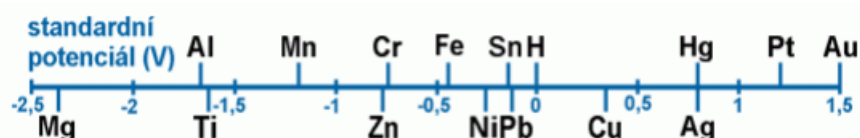
Tato rychlost se vyjadřuje rozměrovým úbytkem kovové vrstvy – podle povahy procesu a umístění či využívání kovu se toto množství může pohybovat v rozmezí několika μm až několika mm za rok. Materiály s korozní rychlostí vyšší než 1 mm za rok jsou využívány zcela výjimečně, protože takové opotřebení je dost neekonomické a zároveň materiál degraduje natolik rychle, že lze předpokládat jeho destrukci v relativně krátkém časovém horizontu, což není žádoucí.

Pro plošnou korozi je v korozních sbornících uvedena horní hranice dostačující korozní odolnosti materiálu na 0,1 mm za rok. Zde se ale jedná o materiály využívané v průmyslu s očekávanou životností 10 až 20 let, nikoli pro podmínky dlouhodobé atmosférické expozice kovů.

Kovy s korozní rychlostí menší než 0,1 μm za rok, jedná se o přijatelné napadení a materiál je tak vhodným pro použití v místech s očekávanou dlouhodobější expozicí korozivnímu prostředí.

3.4. Ušlechtilost kovů

Každý kov lze popsat pomocí standardního rovnovážného potenciálu. Tato vlastnost říká, do jaké míry se bude kov nechat oxidovat – jakou má termodynamickou stabilitu. Podle velikosti rovnovážných potenciálů lze kovy seřadit do tzv. řady napětí kovů (Beketova řada kovů), kde se jasně ukáže, které kovy jsou snadněji oxidovatelné a budou tak podléhat korozi a které jsou naopak korozi odolnější.



Reálně dochází k využívání neúspěšných kovů právě v průmyslovém prostředí. Volba vhodného materiálu je ovlivněna právě korozním prostředím, tvořícím daný technický systém. Korozní rychlost kombinace kovu a prostředí bude natolik malá, že i neúspěšné kovy jsou dostatečně odolnými materiály.

3.5. Koroze v průmyslu

Průmysl by nedokázal existovat bez použití kovových prvků. Je tak naprosto očekávatelné, že jedním z nejčastěji využívaných materiálů budou kovové komponenty a celé provozy. Kromě chemických látek, médií nebo mechanického opotřebení jsou tyto části vystavovány povětrnostním podmínkám, atmosférickému prostředí a jejich životnost se projektuje v řádech desítek let. Proto je potřeba uvažovat rizika, která mohou být spojena s degradací kovových materiálů.

3.6. Ekonomické aspekty

Ekonomické aspekty budou ve hře od prvopočáteční myšlenky každého jediného průmyslového podniku. Stojí na nich myšlenka celé společnosti a bude se od nich odrážet kvalita jednotlivých zařízení. Navržení a uvažování chemických a biologických procesů je odrazovým můstkem pro volbu materiálů a pro systém jejich údržby.

V případě nedostatečné údržby lze očekávat narušení části provozu až nutnost ukončení jeho činnosti. Koroze může způsobit zneprůchodnění provozu, únik chemických látek – ztráta chemických látek, znečištění životního prostředí, znehodnocení (mezi)produktu, kompletní znehodnocení stroje či části výrobního kolosu. Všechny tyto možné události bude potřeba nahradit, k čemuž bude potřeba neočekávaných finančních prostředků.

Náklady na nápravu škod se ročně vyšplhají přibližně na 2,2 triliony USD, což představuje více než 3 % světového HDP.

Je otázkou, zda se nevyplatí investovat do údržby, oprav a obnovování či obměňování jednotlivých kovových komponentů. Tento přístup bude sice vyžadovat finanční náklady, tyto ovšem nemusí být natolik vysoké, jako případné náklady na odstranění vzniklých škod.

3.7. Sociální aspekty

Kromě technických poškození může ale samozřejmě docházet k újmě na zdraví pracovníků a jejich bezpečnosti, stejně jako znehodnocení životního prostředí. Bude je potřeba pokrýt i finančně, ale ponесou si s sebou i tíhu zásahu obyvatel a možné nevratné poškození životního prostředí.

Nejpravděpodobnějšími možnostmi jsou následný únik nebezpečných látek, vedoucí k intoxikaci okolního prostředí, požáru, výbuchu, až k narušení infrastruktury, znečištění ovzduší jak zplodinami, tak samotnými nebezpečnými látkami a rozvinutí koroze i na ostatních částech provozu. Obecně bude takový provoz nebezpečnější a náchylnější k dalším haváriím.

3.8. Prevence proti korozi

Ke korozi bude docházet v systému obsahujícím kov, elektrolyt (médium přepravované či skladované v prostředí kovu) a elektronový akceptor, kterým bývá nejčastěji vzduch. Omezením jedné z těchto tří podmínek bude efektivně zamezeno průběhu koroze, jejím postupu a v zásadě i vzniku. Například aplikace izolační vrstvy zamezí styku kovu se vzduchem a nebude tak umožněn přenos elektronů na fázovém rozhraní. Tuto funkci plní i pasivní vrstva, která ovšem není aplikována uměle a je právě, produktem oxidace kovů.

Ochranná vrstva může být tvořena kovovými materiály, jakožto příměs dané slitiny, které snadněji podléhají oxidaci než majoritní kov směsi. To pak zapříčiní korozi nejdříve přidaného materiálu a až pokud dojde k vyčerpání této složky, bude korodovat zbytek. Oxidací majoritního kovu lze oddálit údržbou (doplňováním) této vrstvy.

Volbou nekovového materiálu, jakožto ochranné vrstvy zabráníme kontaktu kovu se vzduchem a eliminujeme jednu z podmínek pro průběh koroze. Tato metoda ošetřování kovů je provozována nejčastěji aplikací barev ať už nátěrem nebo nástřikem. Kromě efektivní ochrany lze touto metodou ovlivnit i barvu a obecně vzhled zařízení.

Volbu vhodného krycího materiálu je potřeba postavit na povaze a umístění zařízení – pro vnitřní proozy jsou doporučovány alkydové smalty, které zajistí antioxidační ochranu v horizontu 3–5 let. V případě, že není podstatná barva zařízení, ideální protekční vrstvou bude epoxydová směs. Tato vrstva je vhodná jak do vnitřního, tak do vnější prostředí a má lepší ochranné vlastnosti než smalt. Ještě o úroveň kvalitnější jsou vrstvy polyurethanu, které mají barevnou stálost, lesk a odolnost proti poškrábání (abrazivitě) a destrukci povrchu.

Údržba zařízení je efektivní cestou ke zpomalování stárnutí a působení koroze. Primárně může jít o odstraňování vrstev již zkorodovaného kovu a následnému ošetření celého zařízení.

Ovlivněním působení prostředí v daném systému lze snížit pravděpodobnost, že se koroze projeví. Například lze ovlivnit složení vody v potrubích jejím změkčováním, změnou pH či obsahu kyslíku – obecně aspektů (vlastností) média v daném zařízení, které mají oxidační vlastnosti. Ochranou proti korozi je i vhodné umístění zařízení v závislosti na místních mikroklimatických podmínkách – daleko náchylnější ke korozi budou zařízení v místech s velkou vzdušnou vlhkostí, obsahem iontů ve vzduchu nebo v prostředích s větším výskytem oxidů síry a dusíku.

3.9. Stárnutí a koroze polymerů se zaměřením na plasty

V chemickém zpracovatelském průmyslu může být provozní prostředí extrémně náročné na zařízení jako reaktorové nádoby, skladovací nádrže, pračky plynů, komíny, potrubí, ventily atd. V mnoha případech se musí používat korozi odolné slitiny, jako vysoce legované nerezové oceli, titan a další slitiny, a přesto i ty v nich mohou při působení prostředí korodovat. Jedním z řešení přijatých v tomto odvětví je použití plastů zesílených vlákny – kompozitů, při výrobě takového zařízení nebo jeho dílů. Volba vhodného náhradního materiálu vždy odpovídá

podmínkám provozního prostředí. Stárnutí a degradace technologických zařízení probíhá vždy i během jeho odstávky, z čehož vyplývá nutnost zvýšené kontroly zařízení.

Stárnutím materiálu rozumíme pomalý, neúmyslný, nevratný proces, při kterém dochází ke změně fyzikálně-chemických vlastností, což vede k postupné degradaci materiálu, snižování jeho funkčnosti a může skončit až celkovou destrukcí. Tomuto procesu jsou vystaveny všechny materiály, které tvoří technologické zázemí v chemickém průmyslu.

Korozi polymerů rozumíme degradaci (porušení) polymerů při působení chemických látek, pokud polymer chemickou látku absorbuje a ta následně způsobí fyzikální či chemické změny polymeru. Další možností je kombinace působení chemické látky při porušení/korozi polymeru pod napětím, tedy při mechanickém namáhání, neboť ve struktuře polymeru dochází ke vzniku napětíových mikrotrhlin a zintenzivnění působící chemické látky.

Fyzikální změnou polymerů rozumíme absorpci spojenou s bobtnáním, která může být vratná – po odstranění rozpouštědla získá polymer původní vlastnosti, pokud nedojde k jeho plnému rozpuštění. Chemické změny jsou vždy nevratné. Chemická odolnost polymerů vůči organickým rozpouštědlům je vždy závislá na polaritě rozpouštědla i polymeru.

Fyzikálně-chemické změny při působení chemických látek jsou vždy závislé na celé řadě faktorů, jako je krystalinita vnitřní struktury polymeru, doba expozice, vnější teplota, mechanické namáhání, resp. kombinace výše zmíněných vlivů. Chemická změna materiálu má taktéž vliv na změnu fyzikální, tedy pokud dojde ke změně délky polymerního řetězce, je možné tuto změnu zachytit pomocí změny mechanických vlastností.

Stárnutím polymerů se také rozumí atmosférická koroze, tedy dlouhodobé působení vnějších vlivů – působením okolní atmosféry, a to světlem (fotooxidace, největší vliv zde má složka ultrafialového záření), vodou (hydrolyza), kyslíkem (oxidace), ozonem (ozonizace), proměnlivou teplotou (termální degradace), které vedou zejména k tvorbě povrchových prasklin, které významným způsobem zhoršují mechanickou odolnost polymeru. Atmosférickou korozi lze simulovat uměle tzv. veterometry, xenotesty či fadeometry, z čehož lze odhadovat další životnost polymerů.

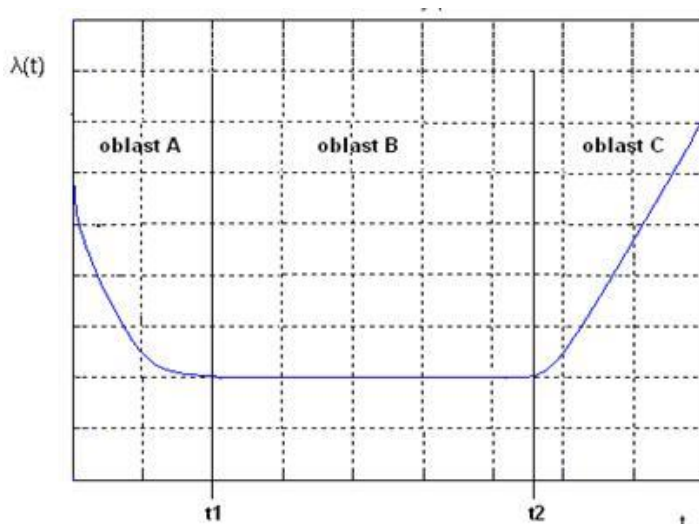
Jednou z metod k zachycení změn ve struktuře materiálu způsobené jeho degradací je reologická charakterizace. Zařízení pro tyto testy se nazývá reometr. Reometry dělíme na tzv. kapilární a rotační. Kapilární reometr pracuje na principu vytlačování materiálu ze zásobníku skrz přesně definovanou kapiláru (o známé délce a průměru). V této kapiláře je měřen tlak. Z informací o tlaku a rychlosti posunu pístu v zásobníku jsme schopni spočítat rychlost smykové deformace a smykovou viskozitu (viskozita = míra vnitřního odporu materiálu vůči vnějšímu namáhání). Naproti tomu reometr rotační využívá rotačního pohybu mezi dvěma kruhovými deskami (kuželem a deskou nebo dvěma souosými válci). Zde jsou měřeny otáčky a krouticí moment vyvolaný materiálem, který je umístěn mezi těmito deskami. Z těchto veličin je opět stanovena rychlost smykové deformace a smyková viskozita. Oba typy reometrů mohou změřit taktéž tzv. tahovou viskozitu (odpor vůči natahování materiálu).

3.10. Metody hodnocení vhodnosti polymerů pro dlouhodobé používání

- Norma ASTM C581-03 – uvádí vhodné zkoušky, např. tvrdost, modul pružnosti a pevnost, a také intervaly pro jejich použití – obvykle 1 rok. Pokud se vlastnosti nesníží pod určitou hodnotu, materiál může být schválen pro dlouhodobé používání. Tato metoda však nenabízí přístup, který by umožnil extrapolaci na dlouhodobé použití při různých teplotách.
- Výpočty podle Arrheniovy rovnice – skládá se ze dvou kroků – experimentálně se vyhodnotí vliv urychleného stárnutí na materiál, zvýšená teplota působí jako urychlovač stárnutí. Podle Arrheniova vztahu se vypočítá změna vybrané vlastnosti materiálu v souvislosti s teplotou a časem.
- Semi - empirické metody, které vycházejí z podobnosti jevů při korozi kovů a plastů.

3.11. Další způsoby ovlivnění stárnutí - životnost provozních a kontrolních zařízení

Životnost kontrolních a měřicích zařízení je obvykle kratší než životnost zařízení, které řídí, z čehož pro provozovatele vyplývá nutná výměna během životnosti zařízení. Starší zařízení je často analogové – operátoři musí mít přístup k podrobným znalostem o typech starých zařízení, a jejich bezpečnostním významu. Zastarávání zařízení se stává klíčovým faktorem a projekty výměny zařízení musí proběhnout dříve, než zařízení dosáhne pravé strany křivky spolehlivosti (oblast C v níže uvedeném obrázku). Přenos softwaru ze starších digitálních zařízení na nová zařízení může být náročná.



Obr. 9 : Závislost intenzity poruch $\lambda(t)$ na čase t (BOZP INFO)

Oblast A se nazývá etapa časných poruch. Intenzita poruch $\lambda(t)$ je zde dána především vlivem materiálových vad a nedokonalostí výrobní technologie. V časovém horizontu trvá tato etapa několik desítek až stovek hodin. V této oblasti vanové křivky by měl výrobce nechat výrobek ve zkušebním provozu.

T A
Č R

Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Oblast B je tzv. etapa ustáleného provozu. Intenzita poruch $\lambda(t)$ v této oblasti je dána především vlivem náhodných poruch. Tato etapa řádově trvá několik desítek tisíc hodin.

Oblast C představuje etapu stárnutí. V této etapě dochází k nárůstu intenzity poruch $\lambda(t)$ vlivem stárnutí objektu.

Příklad specifického mechanismu selhání způsobeného stárnutím měřicích a kontrolních zařízení: Buncefield (2005).

Dne 11. prosince 2005 došlo ve skladišti a distribučním terminálu ropných produktů Buncefield poblíž města Hemel Hempstead ve Velké Británii k přeplnění zásobníku č. 912. Mrak par, který se utvořil z uniklého paliva, zakrátko explodoval za následného vzniku rozsáhlého požáru, při němž bylo zraněno více než 40 osob. Vyšetřování mj. ukázalo, že instalovaný servomechanický hladinoměr indikoval neměnnou polohu hladiny, ačkoliv zásobník byl v té době plněn benzinem. Na zásobníku byl současně nainstalován mechanický detektor horní mezní polohy hladiny, který ale také selhal a nevydal výstražný signál.

4. PŘÍKLAD LEGISLATIVY EU A ČR

4.1. Legislativa stanovující povinnosti provozovatelů zařízení

- SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2012/18/EU, ze dne 4. července 2012, o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek a o změně a následném zrušení směrnice Rady 96/82/ES, článek 10, odst. 1 a)-c) – tzv. SEVESO DIRECTIVE

- Zákon 224/2015 Sb. o prevenci závažných havárií, především Hlava III, o bezpečnostní dokumentaci

4.2. Legislativa stanovující povinnosti dodavatelů

- Zákon 22/1998 Sb., o technických požadavcích na výrobky

- Zákon 90/2016 Sb. o posuzování shody stanovených výrobků při jejich dodávání na trh

- Zákon 102/2001 Sb. o obecné bezpečnosti výrobků

Obsah dokumentace výrobků: přesné určení prostředí a podmínek, odhad životnosti, hlavní pokyny pro údržbu

4.3. Další významné dokumenty a publikace

Základní principy OECD (Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj) pro prevenci, havarijní připravenost a zásahy při chemických haváriích – Návod pro průmysl (včetně managementu podniků a pracovníky), správní úřady, obce a ostatní zainteresované subjekty, **kapitola Údržba a opravy.**

Trevor Kletz; Paul Amyotte. **What Went Wrong?: Case Histories of Process Plant Disasters and How They Could Have Been Avoided** - Metodologie tvorby dokumentů pro zajištění bezpečného používání zařízení, porovnání přístupů v různých zemích (USA, Kanada, UK, EU).

4.4. Existující programy řízeného stárnutí zařízení

- stárnutí populace

- stárnutí budov

- stárnutí jaderných zařízení

- stárnutí komponent v automobilovém a leteckém průmyslu

4.5. Legislativa v oblasti stárnutí zařízení v ČR

21/2017 Sb. - Vyhláška o zajišťování jaderné bezpečnosti jaderného zařízení – zejména §11 Postupy provádění procesu řízeného stárnutí a §12 Požadavky na program řízeného stárnutí

Tato vyhláška zapracovává předpisy společnosti Euratom (Směrnice Rady 2009/71/Euratom ze dne 25. června 2009, kterou se stanoví rámec Společenství pro jadernou bezpečnost jaderných zařízení. Směrnice Rady 2014/87/Euratom ze dne 8. července 2014, kterou se mění směrnice 2009/71/Euratom, kterou se stanoví rámec Společenství pro jadernou bezpečnost jaderných zařízení) a stanoví např. lhůty pro oznamování provozní události Úřadu, okruh informací využívaných systémem zpětné vazby, postup šetření provozní události, výčet veličin a skutečností důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti jaderného zařízení, rozsah, způsob a dobu sledování, měření, hodnocení, ověřování a zaznamenávání veličin a skutečností důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti jaderného zařízení a dobu uchovávání informací o nich, a řadu dalších skutečností. Pro jaderná zařízení je zásadní část věnovaná zejména postupy provádění procesu řízeného stárnutí a požadavky na program řízeného stárnutí, kterými byla inspirována doporučení pro hodnocení procesu stárnutí průmyslových objektů nakládajících s chemickými látkami.

4.6. Využití norem pro zajištění bezpečného používání zařízení

Pojem bezpečnost strojního zařízení bere v úvahu schopnost stroje vykonávat jeho předpokládanou funkci (funkce) během jeho životnosti při odpovídajícím snížení rizika.

Normy se zaměřením na bezpečnost strojních, elektrických a elektronických zařízení (třída 83 Ochrana životního prostředí, pracovní a osobní ochrana, bezpečnost strojních zařízení a ergonomie).

ČSN EN ISO 12100 – Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika

Tato mezinárodní norma specifikuje základní terminologii, zásady a metodologii pro dosažení bezpečnosti při konstrukci strojního zařízení. Norma specifikuje zásady posouzení a snižování rizika jako pomoc konstruktérům k dosažení tohoto cíle. Tyto zásady jsou založeny na znalosti a zkušenosti z konstrukce, používání, nehod, úrazů a rizik u strojních zařízení. Jsou popsány postupy pro identifikaci nebezpečí a pro odhad a hodnocení rizik v relevantních fázích životního cyklu stroje, a pro vyloučení nebezpečí nebo pro opatření dostatečně snižující riziko. Je uveden návod na dokumentaci a ověřování procesu posouzení rizika a snížení rizika. Tato mezinárodní norma je také určena k tomu, aby byla používána jako základ při zpracování bezpečnostních norem typu B a typu C. Norma se nezabývá rizikem a/nebo poškozením týkajícím se domácích zvířat, majetku nebo prostředí. Příloha B uvádí v samostatných tabulkách příklady nebezpečí, nebezpečných situací a nebezpečných událostí tak, aby byly objasněny tyto pojmy a pomohly konstruktérovi v procesu identifikace nebezpečí.

TNI ISO/TR 14121-2 – Bezpečnost strojních zařízení – posouzení rizika – Praktický návod a příklady metod

Tato technická zpráva poskytuje praktické pokyny pro provádění posouzení rizik pro strojní zařízení v souladu s normou ISO 12100 a popisuje různé metody a nástroje pro každý krok procesu. Uvádí příklady různých opatření, která lze použít ke snížení rizika, a je zamýšleno k použití při posouzení rizika u nejrůznějších strojů z hlediska složitosti a možnosti poškození. Určenými uživateli jsou osoby podílející se na konstrukci, instalaci nebo úpravách strojního zařízení (například konstruktéři, technici nebo bezpečnostní specialisté). Příloha A poskytuje konkrétní příklad pro posouzení rizik a proces snižování rizik.

ČSN EN ISO 12944-2 – Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Klasifikace vnějšího prostředí

Norma se zabývá klasifikací základních prostředí, kterým jsou ocelové konstrukce vystaveny, a jejich korozní agresivitou. Definiuje stupně korozní agresivity atmosfér na základě úbytku hmotnosti (nebo tloušťky) standardních vzorků, popisuje typická atmosférická prostředí vyskytující se v přírodě, kterým jsou ocelové konstrukce vystaveny, a udává postup pro odhad korozní agresivity. Popisuje různé kategorie prostředí pro konstrukce ponořené ve vodě nebo uložené v půdě. Podává informace o některých speciálních korozních namáháních, která mohou být příčinou významného zvýšení korozní rychlosti nebo zvyšují nároky na ochrannou účinnost nátěrových systémů. Korozní namáhání, která odpovídají určitému prostředí nebo stupni korozní agresivity, jsou významným parametrem pro volbu ochranných nátěrových systémů.

Celá řada norem řeší konkrétní účinky stárnutí na různé druhy materiálů, komponentů a zařízení, a to zejména s ohledem na definici metod a zkoušek vyhodnocujících procesy sestárnutí. Výčet těchto norem je uveden níže se zaměřením na zkoušky stárnutí materiálů, které byly v analýzách vyhodnoceny jako nejrizikovější.

ČSN EN 60544-5 ED.2 (346411). Název: Elektroizolační materiály - Stanovení účinků ionizujícího záření - Část 5: Postupy hodnocení stárnutí během provozu

Tato norma zahrnuje metody hodnocení stárnutí, které mohou být použity na komponenty z polymerních materiálů (např. kabelové izolace a pláště, těsnění z elastomerů, polymerní povlaky, manžety), které jsou používány v prostředí, kde jsou vystaveny záření. Předmětem této normy je záměr o poskytnutí metod pro posouzení stárnutí v provozu. Přístupy diskutované v následujících odstavcích zahrnují programy pro hodnocení stárnutí založené na sledování stavu, využití vložení vzorků do náročných prostředí a odběru vzorků z komponent stárnutých v reálném čase.

ČSN 42 0385 Zkoušení kovů. Zkouška náchylnosti oceli ke stárnutí po plastické deformaci za studena

Uvedená norma definuje metodu stanovení náchylnosti ke stárnutí po plastické deformaci při zkoušce rázem v ohybu, která má v případě deformace za studena proběhnout do 48 hodin po této deformaci a v případě náchylnosti oceli ke stárnutí vyjadřuje hodnotu nárazové práce nebo vrubovou houževnatost po umělém stárnutí. Metoda tedy definuje stanovení nárazové práce či vrubové houževnatosti po umělém sestárnutí nebo srovnání těchto hodnot s nárazovou prací či vrubovou houževnatostí ve výchozím stavu.

ČSN ISO 188 (621522) Pryž, vulkanizovaný nebo termoplastický elastomer - Urychlené stárnutí a zkoušky tepelné odolnosti

Tato mezinárodní norma specifikuje zkoušky urychleného stárnutí nebo tepelné odolnosti vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků. Jsou zde uvedeny dvě metody: Metoda A: metoda v teplovzdušné sušárně s použitím laboratorní komorové sušárny nebo klimatizační skříně s nízkou rychlostí výměny vzduchu, tak aby úplná výměna vzduchu v pracovním prostoru nastala nejméně 3krát a nejvíce 10krát za hodinu; Metoda B: metoda v teplovzdušné sušárně s použitím klimatizační skříně s nucenou cirkulací vzduchu pomocí ventilátoru, tak aby úplná výměna vzduchu v pracovním prostoru nastala nejméně 3krát a nejvíce 10krát za hodinu.

ČSN ISO 4665 (62 1528) Pryž, vulkanizovaný nebo termoplastický elastomer – Odolnost proti povětrnostnímu stárnutí

Tato mezinárodní norma specifikuje metody vystavení vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků přirozenému nebo umělému povětrnostnímu stárnutí a metody pro stanovení změn barvy, vzhledu a fyzikálních vlastností vyplývajících z expozice.

S tím souvisí:

ISO 877-1:2009 zavedena v ČSN EN ISO 877-1:2011 (64 0771) Plasty – Metody vystavení slunečnímu záření – Část 1: Obecné pokyny

Pro hodnocení vlastností plastů při vystavení slunečnímu záření jsou nutné zkoušky vystavení venkovním vlivům typu uvedeného v této normě. Výsledky těchto zkoušek by měly být považovány pouze za údaj o vlivu vystavení přímému působení povětrnostních vlivů. Výsledky zkoušek provedených podle kterékoli části této normy mohou vykazovat určitou variabilitu při porovnání výsledků z opakovaných expozic provedených na stejném místě v jiném čase. To je mnohem důležitější u materiálů, které vykazují významné změny po roce nebo kratší expozici. Obecně platí, že výsledky z opakovaných expozic na stejném místě jsou nezbytné pro stanovení rozsahu vlastností materiálu vystaveného slunečnímu záření podle této normy.

ISO 877-2:2009 zavedena v ČSN EN ISO 877-2:2011 (64 0771) Plasty – Metody vystavení slunečnímu záření – Část 2: Vystavení přímému stárnutí a vystavení sklem filtrovanému slunečnímu záření

Tato norma specifikuje metodu pro přímou expozici plastů slunečnímu záření a metodu pro expozici plastů slunečnímu záření filtrovanému sklem (expozice za okenním sklem), jejímž účelem je posoudit změny vlastností, ke kterým dochází po určitých fázích takové expozice.

ISO 877-3:2009 zavedena v ČSN EN ISO 877-3:2011 (64 0771) Plasty – Metody vystavení slunečnímu záření – Část 3: Zesílení intenzivního stárnutí vystavením koncentrovanému slunečnímu záření

Tento dokument specifikuje metodu vystavení plastů koncentrovanému slunečnímu záření pomocí reflexních koncentrátorů za účelem urychlení procesů zvětrávání. Účelem je posoudit změny vlastností, ke kterým dochází po určitých fázích takového vystavení. Odrazné koncentrátoři používané při těchto expozicích se někdy označují jako "Fresnelovy reflektory", protože soustava zrcadel, která se používá ke koncentraci slunečního záření, se v průřezu podobá průřezu Fresnelovy čočky.

ISO 1431-1 zavedena v ČSN ISO 1431-1 (62 1527) Pryž, vulkanizovaný nebo termoplastický elastomer – Odolnost proti vzniku ozónových trhlin – Část 1: Zkoušení za statické a dynamické deformace

Tato část ISO 1431 specifikuje metody určené pro stanovení odolnosti pryží nebo termoplastických elastomerů proti praskání za statické nebo za dynamické tahové deformace působením vzduchu s určitou koncentrací ozónu a při určité teplotě v příznivých poměrech vylučujících účinky přímého světla. Při aplikaci výsledků standardní zkoušky na chování materiálu v podmínkách jeho použití je potřeba velké opatrnosti, protože relativní odolnost různých pryží proti ozónu se může značně lišit vlivem podmínek, hlavně vlivem koncentrace ozónu a teploty. Kromě toho se zkoušky provádějí na tenkých zkušebních tělesech deformovaných tahem a velikost působení ozónu na předměty při praktickém použití může být úplně jiná vzhledem k rozměrům předmětu a vzhledem k typu a velikosti deformace. Vysvětlující poznámky týkající se povahy ozónového praskání jsou uvedeny v příloze A. Referenční a alternativní metody pro stanovení koncentrace ozónu jsou popsány v ISO 1431-3.

ISO 4892-1 zavedena v ČSN EN ISO 4892-1 (64 0152) Plasty – Metody vystavení laboratorním zdrojům světla – Část 1: Obecné principy

Tato část normy ISO 4892 poskytuje informace a obecné pokyny týkající se výběru a použití metod expozice podrobně popsanych v následujících částech. Popisuje také obecné požadavky na funkčnost zařízení používaných k expozici plastů laboratorními světelnými zdroji. Informace týkající se požadavků na provedení jsou určeny výrobcům zařízení pro umělé urychlené zvětrávání nebo umělé urychlené ozařování. V této části ISO 4892 se termín "zdroj světla" vztahuje na zdroje záření, které vyzařují UV záření, viditelné záření, infračervené záření nebo jakoukoli kombinaci těchto typů záření. Tato část normy ISO 4892 rovněž poskytuje

informace o interpretaci údajů z expozice umělému urychlenému zvětrávání nebo umělému urychlenému ozařování.

ISO 4892-2 zavedena v ČSN EN ISO 4892-2 (64 0152) Plasty – Metody vystavení laboratorním zdrojům světla – Část 2: Xenonové lampy

Tato část ISO 4892 specifikuje metody vystavení zkušebních těles světlu xenonové lampy za přítomnosti vlhkosti, aby simulovala účinky stárnutí (teplota, vlhkost a nebo zvlhčení), které se projeví, jestliže jsou materiály vystaveny dennímu světlu ve skutečném prostředí používání nebo dennímu světlu filtrovanému přes okenní sklo. Příprava zkušebních těles a vyhodnocení výsledků jsou obsaženy v dalších mezinárodních normách pro určité materiály. Obecné principy jsou uvedeny v ISO 4892-1. Vystavení barev a laků xenonovému světlu je popsáno v ISO 11341.

ISO 4892-3 zavedena v ČSN EN ISO 4892-3 (64 0152) Plasty – Metody vystavení laboratorním zdrojům světla – Část 3: Fluorescenční UV lampy

ČSN EN ISO 4892-3 Tato část ISO 4892 specifikuje metody vystavení zkušebních těles fluorescenčnímu UV záření, přítomnost tepla a vody v přístroji simuluje povětrnostní vlivy, které se projeví, jsou-li materiály vystaveny v konečném použití globálnímu slunečnímu záření nebo slunečnímu záření přes okenní sklo ve skutečném prostředí. Zkušební tělesa jsou vystavena fluorescenčním UV lampám za řízených podmínek (teploty, vlhkosti a/nebo vody). Lze použít různé typy UV lamp, které splňují všechny požadavky pro různé zkoušené materiály. Příprava zkušebních těles a vyhodnocení výsledků jsou obsaženy v dalších mezinárodních normách pro určité materiály. Obecné principy jsou uvedeny v ISO 4892-1. Vystavení barev, laků a dalších nátěrů fluorescenčnímu UV záření je popsáno v ISO 11507.

ISO 23529 zavedena v ČSN ISO 23529 (62 1401) Pryž – Obecné postupy pro přípravu a kondicionování zkušebních těles pro fyzikální metody zkoušení

ČSN ISO 23529 Tento dokument specifikuje obecné postupy pro přípravu, měření, označování, skladování a kondicionování pryžových zkušebních těles pro fyzikální zkoušky specifikované v jiných mezinárodních normách, a stanovuje přednostně používané podmínky během zkoušek. Norma nezahrnuje speciální podmínky pro určitou zkoušku nebo materiál, simulaci zvláštního klimatického prostředí, ani speciální požadavky na zkoušení celých výrobků. Tento dokument také specifikuje požadavky na časový interval mezi zhotovením a zkoušením zkušebních těles a výrobků z pryže. Tyto požadavky jsou nutné pro získání srovnatelných výsledků zkoušky a minimalizaci neshod mezi odběratelem a dodavatelem.

5. REŠERŠE ODBORNÝCH PUBLIKACÍ ZABÝVAJÍCÍCH SE PROCESEM ŘÍZENÉHO STÁRNUTÍ

V této kapitole zprávy je přehled zásadních aktuálních publikací, které jsou uvedeny ve vědeckých databázích Web of Science a Scopus, které se zabývají problémem bezpečného stárnutí zařízení a technologií.

Bragatto, P.A., Ansaldi, S.M., Patrizia, A., Di Condina, T., Zanzotto, F.M., Maria Francesca Milazzo, M.F., 2020. Ageing management and monitoring of critical equipment at Seveso sites: An ontological approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 66 (2020) 104204. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104204>

Jedním z požadavků, které musí řešit podniky spadající pod direktivu Seveso, je bezpečné stárnutí. Direktiva Seveso III vyžaduje zařazení problému integrity zařízení do systému řízení bezpečnosti pro prevenci závažných nehod. Proto italské úřady přijaly metodu pro rychlé hodnocení stárnutí, která hodnotí použití nejlepších technik pro kontrolu integrity a prevenci zhoršování stavu v souvislosti se stárnutím.

V tomto článku bylo navrženo využití ontologie pro podporu rozhodování o implementaci technických řešení pro kontrolu stárnutí zařízení a splnění požadavků směrnice Seveso III na technická řešení.

Jako nové a vhodné řešení se jeví automatizované on-line monitorování stavu zařízení za použití inteligentních nízkonákladových senzorů. Vyvinutý systém založený na ontologii poukazuje na zavedení on-line monitorování, pokud je to možné. Toto řešení poskytuje mnohem více údajů než tradiční měření. Je nezbytné, aby provozovatelé pochopili, jak propojit souběžné informace s tradičními měřeními

a přiměřeně kontrolovat zhoršování stavu zařízení. Přístup založený na ontologii se jeví jako životaschopným řešením i pro tento účel. Pro demonstraci potenciálu tohoto přístupu byl zvolen reálný případ použití, kdy model byl testován při hledání nejlepších technických řešení pro zlepšení řízení stárnutí atmosférického systému destilační jednotky v rafinérii, aby byly splněny bezpečnostní požadavky.

Další případ užití ukazuje, jak lze tento model použít při reakci na signály o poškození v reálném čase, aby se obnovily bezpečnostní podmínky prostřednictvím adekvátního rozhodování.

Kančev, D., Grigoriev, B., Čepin, B., 2011. Optimization of test interval for ageing equipment: A multi-objective genetic algorithm approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 24 (2011) 397 – 404. doi:10.1016/j.jlp.2011.02.003

Snížení nedosažitelnosti bezpečnostních systémů v jaderných elektrárnách pomocí využití metodiky pravděpodobnostní bezpečnosti (PSA - probabilistic safety assessment) je jedním z hlavních cílů v jaderném průmyslu. V tomto smyslu je optimalizace činností souvisejících

s testováním a údržbou, které jsou definovány v rámci technických specifikací, poměrně populární a zajímavou oblast. Získání optimálního plánu zkoušek a údržby má velký význam pro zlepšení dostupnosti a výkonnosti systému i provozuschopnosti zařízení obecně.

Na druhé straně se v jaderném průmyslu postupně stává velkým problémem **stárnutí zařízení**, protože počet komponent bezpečnostních systémů, které se blíží ke konci své životnosti v důsledku opotřebení, rychle roste. Velká nejistota spojená s dostupností databází s rychlostmi stárnutí komponentů představuje značné obtíže v procesu začleňování a kvantifikace efektu stárnutí komponent v rámci PSA a následně v rozhodovacím procesu.

V tomto článku je popsán přístup k optimalizaci intervalu dohledového testu pohotovostního zařízení s vysoce nejistými parametry stárnutí, založený na technice genetického algoritmu a PSA.

Jako případová studie je vybrán standardní záložní bezpečnostní systém v jaderné elektrárně. K posouzení šíření nejistoty na úrovni systému se používá přístup založený na simulaci Monte Carlo. Optimální interval testování je odvozen na základě minimální nedostupnosti systému a minimálního vlivu komponent nejistota parametrů stárnutí.

Výsledky získané touto aplikací naznačují, že požadavky na kontroly na základě informací o rizicích se liší od stávajících požadavků v technických specifikacích a také ukazují, jak je důležité brát v úvahu nejistoty dat stárnutí při modelování vliv stárnutí na součásti zařízení.

Milazzo, M.F., Ancione, G., Bragatto, P., Proverbio, E. 2022. A probabilistic approach for the estimation of the residual useful lifetime of atmospheric storage tanks in oil industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 77 (2022) 104781. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104781>

Atmosférické skladovací nádrže (AST) jsou nezbytné pro uložení nebezpečných látek v provozech s nebezpečím závažné havárie. Vzhledem k tomu, že se předpokládá, že budou v provozu po dlouhou dobu, jsou nádrže AST obzvláště z bezpečnostního hlediska kritické, pokud nebudou přijaty vhodné plány monitorování a řízení integrity. Jedním z důležitých kroků je předpověď zbytkové životnosti zařízení, na jehož základě se v ropném průmyslu přijímají důležitá rozhodnutí pro zajištění bezpečného a ziskového hospodaření.

Atmosférické skladovací nádrže jsou z hlediska bezpečnosti obzvláště kritické, protože jejich dno je postiženo lokální korozi (pitting), kterou není snadné monitorovat. Předpověď životnosti definuje dobu, po kterou může být zařízení ještě v provozu, než se vytvoří otvory, ve kterých dochází k největšímu ztenčení.

V této studii byly shromážděny údaje o tloušťce dna třiačtyřiceti velkých skladovacích nádrží ropných produktů, které byly zjištěny při po sobě jdoucích kontrolách. Tyto údaje byly zpracovány pomocí zdokonaleného pravděpodobnostního přístupu. Metoda je netradiční a kombinuje konsolidovanou teorii extrémních hodnot a Bayesův vzorec. Tento postup umožňuje kvantifikovat pravděpodobnost ztenčení pod pevně stanovenou mez, a tím předpovědět zbývající dobu životnosti a optimální dobu pro příští úplnou kontrolu. Na základě shromážděných dat byla ověřena platnost použitého modelu předpovědi.

Použití vybraného postupu výpočtu představuje jednu z možností, jak dosáhnout zvýšené četnosti realističtějšího a přesnějšího vyhodnocení a následně ke stanovení většího počtu účinných opatření k řízení nebezpečí závažné havárie v chemickém průmyslu i v petrochemickém průmyslu.

Leva, M.C., Baldissone, G., Caso, R., Demichela, M., Lawor, L., Mcaleer, B. 2018. Cost benefit evaluation of maintenance options for ageing equipment using monetised risk values: a practical application. *Procedia Manufacturing* 19 (2018) 119–126. 6th International Conference on Through-life Engineering Services, TESConf 2017, 7-8 November 2017, Bremen, Germany.

Vzhledem k neustálému tlaku na snižování nákladů na údržbu a krátkodobým rozpočtovým omezením v měnícím se tržním prostředí jsou správci majetku nuceni pokračovat v provozu stárnoucího majetku a zároveň odkládat údržbu a investice. Cílem tohoto článku je získat přehled o metodách používaných k hodnocení rizik a příležitostí pro zásahy odložené údržby stárnoucích zařízení a zdůraznit, že je důležité zahrnout úvahy o peněžním vyjádření rizik a o časovém plánu, aby bylo možné vyhodnotit různé scénáře spojené s možnými variantami. Článek je věnován speciálně zařízením elektráren, nicméně uvedená metodika pro hodnocení vlivu stárnutí na postup managementu s ohledem na rizika stárnoucích zařízení je aplikovatelná i na jiné průmyslové podniky a jejich vybavení. Peněžně vyjádřená hodnota rizika nabízí možnost podpořit rozhodování založené na riziku s využitím údajů shromážděných v terénu. Příspěvek uvádí příklady dvou různých metod a jejich praktickou použitelnost ve dvou případových studiích z oblasti energetiky pro společnost spravující elektrárny.

Kromě jiného je v článku uveden odkaz na normu ISO 55000, která se zabývá asset managementem a porovnává tento přístup k řešení problematiky stárnoucích zařízení s přístupem pomocí metody analýzy rizik.

ISO 55000:2014. Asset management — Overview, principles and terminology. https://img1.wsimg.com/blobby/go/b653c9ee-535c-4528-a9c5-bb00166ad0dc/downloads/1bsmknus2_894046.pdf

Tato mezinárodní norma poskytuje přehled o správě aktiv (asset management), jejích principech a terminologii, a očekávané přínosy plynoucí z přijetí managementu aktiv. Poskytuje také kontext pro normy ISO 55001 a ISO 55002.

Martin, R. 2008. Ageing of composites in the chemical processing industry. Chapt. 17, 448 – 466. Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, eBook ISBN: 9781845694937

Stárnutí kompozitů je velmi aktuální téma vzhledem k rostoucímu používání kompozitů v konstrukčních aplikacích v mnoha průmyslových odvětvích. Stárnutí kompozitů se zabývá mnoha nejasnostmi ohledně dlouhodobých vlastností kompozitů a jejich stárnutí za podmínek, které se vyskytují v provozu. První část knihy obsahuje přehled procesů a modelování stárnutí kompozitů, včetně fyzikálního a chemického stárnutí polymerních kompozitů, stárnutí kompozitů se sklokeramickou maticí, mechanismů chemického stárnutí, korozního praskání za napětí, termooxidačního stárnutí, spektroskopie stárnoucích kompozitů, modelování fyzikálního a zrychleného stárnutí a stárnutí kompozitů s karbidem křemíku.

Druhá část se zabývá stárnutím kompozitů v dopravních aplikacích včetně letadel, vozidel a lodí. Třetí část se zabývá stárnutím kompozitů v nedopravních aplikacích, jako jsou implantáty ve zdravotnických prostředcích, zpracování ropy a plynu, stavebnictví, chemické zpracování a podvodní aplikace.

Kniha Stárnutí kompozitů je díky svému významnému redaktorovi a mezinárodnímu týmu autorů cennou referenční příručkou pro výrobce a vývojáře kompozitů. Slouží také jako zdroj informací pro materiálové vědce, konstruktéry a inženýry v průmyslových odvětvích, která používají kompozity, včetně dopravy, chemického zpracování a lékařské techniky. Stárnutí kompozitů v chemickém průmyslu je řešeno v kapitole 17 této publikace.

Spetz, G. 1996. Recent Developments in Heat Ageing Tests and Equipment. *Polymer Testing*, 15 (1996), 381-395.

Je uveden přehled typů pecí používaných v gumárenském průmyslu pro zkoušky tepelného stárnutí. Jsou uvedeny výsledky mezilaboratorních zkoušek, které ukazují špatnou reprodukovatelnost získané při zkouškách stárnutí. Zkoumají se faktory ovlivňující výsledky stárnutí za tepla s použitím konvenčních a nových konstrukcí pecí. Nové pece jsou popsány, a jsou uvedeny kroky, které byly podniknuty k minimalizaci zdrojů chyb, a tedy i k omezení jejich výskytu a z toho plynoucí špatné reprodukovatelnosti. V článku jsou uvedeny také odkazy na normované metody zkoušek, jako například na ASTM D3045 a ISO 188 Heat Aging Of Rubber.

OECD Environment, Health and Safety Publications. 2017. AGEING OF HAZARDOUS INSTALLATION. , [ENV/JM/MONO\(2017\)9](#) Series on Chemical Accidents, No. 29. Ageing of Hazardous Installations | PDF | Risk | Ageing (scribd.com)

Publikace je věnována stárnutí nebezpečných zařízení v chemickém průmyslu a byla zpracována na základě výsledků projektu zahájeného v roce 2013, který byl řešen Pracovní skupinou OECD pro chemické havárie. Cílem projektu bylo lépe porozumět tomu, co je stárnutí a jak se projevuje a jaké jsou jeho důsledky.

V rámci projektu byly identifikovány rizikové faktory spojené se stárnutím zařízení, dále byly řešeny otázky, zda je stárnutí příčinou nehod, a jak ke stárnutí přistupují orgány veřejné správy, a také, zda se stárnutí věnuje zvláštní pozornost v politice a předpisech. Výsledky činností provedených v rámci tohoto projektu jsou uvedeny v této publikaci.

Jedním z hlavních závěrů zprávy je, že stárnutí je mnohoaspektový jev. Jedním z nejznámějších aspektů stárnutí je, že fyzické stárnutí zařízení nemusí být nutně spojeno s chronologickým stárnutím zařízení jako takovým, ale s degradací zařízení v průběhu času oproti jeho výchozímu stavu. To je ale pouze jeden z aspektů stárnutí zařízení a pouze jeden ze souvisejících rizikových faktorů. Vše spojené s pracovištěm a jeho procesy může stárnout, nejen zařízení, ale i lidé, postupy a procesy a technologie. Lze proto očekávat, že starší zařízení, zejména ta nejstarší, představují zvláštní problémy ve srovnání s modernějšími zařízeními, a proto vyžadují zvláštní pozornost.

Například zavedení legislativních rámců pro nebezpečná zařízení v minulých desetiletích, vypracování nových bezpečnostních norem a nových provozních postupů v návaznosti na nové

bezpečnostní objevy v oblasti vědy a techniky vedly k potřebě modernizace mnoha těchto zařízení. Tento posun ve znalostech a nových inženýrských postupech musí být řešen, a to představuje nové požadavky jak technické tak finanční.

Kromě toho se prostředí chemického průmyslu od 50. let minulého století výrazně změnilo a proběhly významné změny jak v technické sféře, tak ve vlastnictví společností. Starší zařízení byla pravděpodobně několikrát upravena a případně několikrát změnila majitele. Další jevem, který z projektu OECD výrazně vyplývá, je výrazný nárůst zadávání zakázek jiným subjektům, včetně klíčových činností v chemických zařízeních, například při inženýrské činnosti a při údržbě.

Tím se vytváří nové problémové oblasti, které souvisí například s potenciální ztrátou znalostí a zkušeností, zejména pokud jde o historii zařízení, nebo se způsobem, jakým jsou vybírány a kontrolovány třetí strany najaté pro práci v zařízení.

Souhrnně lze říci, že bezpečný provoz staršího zařízení závisí na schopnostech provozovatele porozumět jeho provozu a začlenit různé aspekty stárnutí do monitorování a plánů údržby. Určité nedostatky jsou také spojeny s tím, že chybí všeobecně přijímaná definice stárnutí a postup řešení této problematiky se v jednotlivých státech liší, i přes sjednocující vliv legislativních požadavků direktivy Seveso III.

Dílčí závěr:

Ze zpracovaného přehledu uvedených publikací i z dalších údajů literatury citované v této práci vyplývá, že problematika stárnutí zařízení je v posledních letech považována za jeden z faktorů, které souvisí s bezpečným provozem zařízení v průmyslových provozech, nejen chemických, ale také v energetických provozech atd. V chemických provozech se tento přístup projevil zejména v nových ustanoveních Směrnice 2012/18/EU o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek, tj. ve směrnici SEVESO III. Na rozdíl od předchozí verze je v tomto předpisu výslovný požadavek, aby se provozovatelé zařízení zabývali otázkami stárnutí ve svém systému řízení bezpečnosti. Tímto ustanovením se zásadně změnil dřívější stav, kdy stárnutí nebylo obecně považováno za samostatné téma vyžadující zvláštní pozornost, ale spíše se obecně řešilo a zahrnovalo do "běžného" monitorování degradace zařízení.

Některé státy EU mají i své vlastní předpisy, kde specifikují postupy monitorování a řešení problematiky stárnutí. Například Německo, nebo také Francie a Velká Británie, vypracovaly zvláštní plány pro řešení stárnutí zařízení, zejména s ohledem na způsob, jakým sledují stárnutí zařízení. O metodě, která byla přijata v Itálii se zmiňuje ve svém článku Bragato (Bragato et al, 2020). Dále navrhuje nové řešení založené na ontologii a automatizovaném on-line monitorování stavu zařízení za použití inteligentních nízkonákladových senzorů.

Stárnutí zařízení začíná v podstatě při jejich uvedení do provozu a časem může jejich degradace vést k poruchám. Nejznámějším jevem stárnutí je koroze, která je stále častou příčinou nehod. Metody využívající metodiku pravděpodobnosti bezpečnosti, které umožňují optimalizaci intervalu potřebných kontrol, uvádí Kančev (Kančev et al, 2011). Rovněž Milazzo (Milazzo et al, 2022) používá pro určení doby životnosti skladovacích nádrží, které jsou nezbytné pro uložení nebezpečných látek v provozech s nebezpečím závažné havárie, pravděpodobnostní přístup. Jiná metoda byla zvolena v článku M.C. Leva (Leva et al, 2018), ve kterém jsou rizika vyjádřena pomocí finančního hodnocení.

Metodika umožňující řešení problematiky stárnutí zařízení vychází z normy ISO 55000:2014 a přínosem této metody je systematický přístup k řešení problematice.

Kromě metodiky pro řešení problematiky stárnutí na obecné rovině existuje velké množství normovaných, které se zabývají zkouškami určitých materiálů. Jak vyplývá z článku (Spetz, 1996) a Martin (2008) nové materiály vyžadují také nový typ zařízení a nové metody pro experimentální hodnocení jejich vlastností.

Problematice stárnutí zařízení jsou také věnovány publikace organizace OECD a HSE, které touto problematikou zabývají komplexně, včetně uvedení rozboru opatření státních úřadů odpovědných za řešení bezpečnosti v chemickém průmyslu. (OECD, 2017)

6. NÁVRH OPATŘENÍ K ŘÍZENÉMU STÁRNUTÍ

V této kapitole jsou představena opatření pro zajištění řízeného stárnutí technologií, technologických celků a zařízení s cílem zvýšení bezpečnosti provozů nakládajících s chemickými látkami. Doporučení, opatření a způsoby hodnocení efektivnosti a účinnosti opatření vycházejí z programů řízeného stárnutí, které jsou v mezinárodním měřítku definovány zejména pro jaderná zařízení (přehled citovaných zdrojů je v části 7 jako ucelený soubor).

Zajištění bezpečného stárnutí technologií a zařízení při nakládání s chemickými látkami:

- před zahájením provozu technologického celku ověření shody stavu zařízení s požadavky právních předpisů a technických norem
- vytvoření vnitřních předpisů, které stanoví postupy pro zajištění stavu technologického zařízení, aby při provozu byla nepřetržitě zajištěna technická bezpečnost dílčích komponentů zařízení a bezpečnost osob
- zavedení vnitřních předpisů, které definují způsob monitorování stavu technologického celku a způsoby zvládnutí mimořádných událostí při odchylkách od normálního stavu
- soubor vnitřních předpisů musí být trvale dostupný, úplný a aktualizovaný na všech řídicích pracovištích
- stanovení účinnosti prvků ochranných a bezpečnostních systémů na ochranu technologických celků

6.1. Definování Monitorovacího programu řízeného stárnutí technologických zařízení

- stanovení pravidel pro definování technologických zařízení a jejich dílčích částí, které budou do programu řízeného stárnutí zahrnuta (výčet zařízení a určení kritérií, která k tomuto výběru vedla)
- pro vybrané komponenty technologických celků definovat:
 - metody sledování aktuálního stavu
 - výčet degradačních mechanismů a způsob jejich monitorování
 - parametry technologických systémů, konstrukcí a komponent sledovaných v programu stárnutí

- určení kritérií přijatelnosti těchto parametrů
- indikátory stavu těchto systémů
- periodicitu hodnocení sledovaných indikátorů
- určování dopadů stárnutí a jejich vývoje
- parametry, které mohou mít kumulativní charakter
- opatření k bezpečnému provozu a údržbě
- opatření k zajištění provozuschopnosti a spolehlivosti technologických celků
- nápravná opatření při překročení kritérií přijatelnosti sledovaných parametrů
- procesy a činnosti k zabránění rozvoje havarijních podmínek

6.2. Pravidla pro Monitorovací program řízeného stárnutí technologických zařízení

- musí být zpracován před zahájením činnosti nově zbudovaného technologického celku
- musí jednoznačně vymezovat technologické celky, které jsou zahrnuty do programu řízeného stárnutí
- musí být pravidelně a prokazatelně aktualizován v průběhu provozu zařízení a vždy při jakékoliv změně související s provozem technologií
- musí jednoznačně definovat degradační mechanismy a dopady stárnutí na jednotlivé komponenty technologického celku včetně opatření k provozu a následné údržbě systémů, aby došlo ke zmírnění či odstranění dopadů stárnutí a působení degradačních mechanismů
- na základě vytýčených parametrů a určení vývoje dopadů stárnutí musí být možné v rámci programu predikovat budoucí stav technologických systémů
- musí umožňovat zajištění zpětné vazby, která bude sloužit k měření účinnosti procesu řízeného stárnutí

V rámci programu musí být jednoznačně definováno dokumentování veškerých úkonů a činností spojených s řízeným stárnutím a degradací technologických zařízení.

V Monitorovacím programu řízeného stárnutí musí být řešeny předpokládané podmínky prostředí zahrnující poškození vnější nebo vnitřní infrastruktury a očekávané ztížené podmínky, iniciační události a jevy, které mohou způsobit havarijní podmínky a lidské zdroje a vliv lidského faktoru na zvládnutí havarijních podmínek.

Navazujícím dokumentem k Monitorovacímu programu řízeného stárnutí by měl být soubor dokumentace pro zvládnání havarijních podmínek.

6.3. Efektivita programu řízení stárnutí a využívání provozních zkušeností pro zajištění dlouhodobého provozu technologických zařízení:

- pravidelná hodnocení, jako jsou zprávy o stavu programu a cílená sebehodnocení, mohou přispět k tomu, aby bylo možné určit, kdy a v jakých částech je třeba programy upravit.
- důkladný proces přezkoumání stavu zařízení související s řízením stárnutí může zajistit, že program řízeného stárnutí má správný rozsah a zaměření pro účinné řízení stárnutí.
- účinnost programu je průběžně vyhodnocována v rámci stávajících provozních opatření pro konkrétní lokalitu na základě zkušeností a programů nápravných opatření

6.4. Hlavní atributy Monitorovacího programu managementu řízení stárnutí pro systémy, konstrukce (včetně konstrukčních prvků) a komponenty technologických celků:

- pochopení jevů stárnutí (významné mechanismy stárnutí, náchylná místa)
- zvážení účinků a interakce mezi mechanickými, tepelnými, chemickými, elektrickými, fyzikálními, biologickými a radiačními stresory na vlastnosti materiálů, stárnutí materiálů a jejich ochranu a na veškeré degradační procesy
- požadavky na konstrukční a licenční základnu relevantní pro stárnutí
- materiály, provozní podmínky, stresory, mechanismy a účinky stárnutí
- ukazatele stavu dílčích částí technologických systémů a kritéria přijatelnosti
- kvantitativní nebo kvalitativní prediktivní modely příslušných jevů stárnutí

6.5. Pravidla vedení statistik o haváriích spojených s přítomností chemických látek

Z materiálu OECD: Do komplexního řešení celé problematiky, která je velmi rozsáhlá a zahrnuje jak prevenci a průběžné kontroly stavu zařízení, tak zásah při havárii a opatření po havárii, se účastní řada subjektů. Kromě průmyslových podniků sem bezesporu patří správní úřady a veřejnost a další. Pro využití informací získaných v průběhu havárie všemi subjekty je

podle článku 14.b3 části D materiálu OECD (zdroj: Základní principy OECD pro prevenci, havarijní připravenost a zásahy při chemických haváriích).

Směrnice pro průmysl (včetně managementu a pracovníků), správní úřady, obce a ostatní zainteresované subjekty doporučeno vytvoření organizace zajišťující tuto činnost.

Správní úřady by měly zavést strukturovaný národní systém vedení statistiky a shromažďování informací o haváriích spojených s přítomností nebezpečných látek. Zásadní je také zapojení odborníků z praxe (odborní externí pracovníci), kteří by vyjížděli do terénu vyšetřovat havárie nikoliv z důvodu hledání viníka, ale pátrání po příčinách havárie.

ZÁVĚR

Podniky, které spadají pod direktivu Seveso, musí kromě jiného řešit problematiku stárnutí zařízení. Jedním z požadavků, které musí řešit tyto podniky, je bezpečné stárnutí. Direktiva Seveso III vyžaduje zařazení tohoto problému do systému řízení bezpečnosti pro prevenci závažných havárií, například formou řízení a kontroly rizik spojených se stárnutím vybavení a zařízení instalovaného v podniku s důrazem na kontrolu koroze.

Z údajů shromážděných v této práci vyplývá, že je k dispozici řada experimentálních zkušebních metod pro hodnocení stavu zařízení. Jejich vývoj neustále pokračuje v souladu s rozvojem úrovně techniky. Rovněž teoretické principy jevů, které probíhají při stárnutí, jsou dostatečně zpracovány.

Značná pozornost je také věnována zpracování informací získaných z havárií, ke kterým došlo. Z těchto údajů byl o například určeno, že hlavní příčinou havárií spojených s únikem nebezpečných látek je koroze. Zasaženou částí technologických celků je především potrubí. Nicméně dalším zjištěním bylo, že kromě konkrétních mechanických poruch se na haváriích podílejí i další faktory spojené s nedostatky v systémech řízení bezpečnosti, provozu a integrity, které pravděpodobně souvisí se ztrátou znalostí, dokumentace a zkušeností s daným provozem.

Pro management platí, že zachování znalostí o procesech, které v chemickém zařízení probíhají, ať už se jedná o výrobní nebo skladovací jednotky, pomocná zařízení nebo měřicí a kontrolní prvky, je základem pro správné vyhodnocení rizik a návrh opatření, která mohou snížit nebezpečí vzniku havárií nebo snížit jejich následky v případě úniku nebezpečných látek. Při řešení tohoto úkolu je především třeba postupovat systematicky nejlépe podle předem vypracovaného metodického postupu, který musí zahrnovat všechno hlediska systému řízení bezpečnosti.

Metodické postupy, které jsou dostupné, mají specifické prvky pro každé průmyslové odvětví, ale základní principy zaměřené na zajištění bezpečného provozu jsou společné, a proto mohou být použity i v jiném oboru, samozřejmě po doplnění o tyto prvky specifické. Příklad takového postupu je uveden v kapitole 6 této zprávy. Existují také normované postupy, které umožňují vytvoření systematicky zpracovaného postupu pro monitoring stavu zařízení.

Vytvoření předem zpracovaného metodického postupu, založeného na důkladné znalosti provozu a systému určení rizik pomocí klasických nebo nově navržených metod, je prvním krokem managementu podniku při snaze o zamezení vzniku havárií a snižování jejich následků. Při tom je do takového postupu třeba zahrnout nejen provoz, který pracuje s nebezpečnou látkou, ale i obslužné a řídicí systémy, protože jejich porucha může vést k selhání nebezpečných zařízení.

POUŽITÁ LITERATURA

- CSB, 2014. Tesoro Refinery Fatal Explosion and Fire. [CSB investigations involving ageing infrastructure of equipment at chemical facilities | CSB](#)
- CSB, 2014a. Silver Eagle Refinery Flash Fire and Explosion and Catastrophic Pipe Explosion. [Silver Eagle Refinery Flash Fire and Explosion and Catastrophic Pipe Explosion | CSB](#)
- CSB, 2022. [CSB investigations involving ageing infrastructure of equipment at chemical facilities | CSB](#), U.S. Chemical Safety Board.(cit. 5.10.2022).
- ČR, 2001. ZÁKON č. 102/2001 Sb., ze dne 22. února 2001, o obecné bezpečnosti výrobků a o změně některých zákonů (zákon o obecné bezpečnosti výrobků. In: *Sbírka zákonů ČR, částka 41/2001*.
- ČR, 2015. Zákon č. 224/2015 Sb., ze dne 12. srpna 2015, o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií). In: *Sbírka zákonů ČR, částka 93/2015*
- EU, 2012. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU ze dne 4. července 2012 o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek a o změně a následném zrušení směrnice Rady 96/82/ES. Text s významem pro EHP (europa.eu). In: *Úřední věstník EU L 197/1*
- European Commission, 2022. [EUROPA - eMARS Accidents Search - European Commission](#)
- HSE. 2006. Plant ageing. Management of equipment containing hazardous fluids or pressure. 2006. RR509. <https://books.hse.gov.uk/>
- HSE. 2009. Guidance on management of ageing and thorough reviews of ageing installations Offshore. 2009. Information Sheet No. 4/2009, <https://books.hse.gov.uk/>
- KLETZ, Trevor, AMYOTTE, Paul (2019). [What Went Wrong? - Case Histories of Process Plant Disasters and How They Could Have Been Avoided](#), (6th Edition). Elsevier. ISBN: 978-0-1281-0540-5
- OECD Environment, Health and Safety Publications, 2003. Základní principy OECD pro prevenci, havarijní připravenost a zásahy při chemických haváriích. Směrnice pro průmysl (včetně managementu a pracovníků), správní úřady, obce a ostatní zainteresované subjekty.
- OECD Environment, Health and Safety Publications, 2017. AGEING OF HAZARDOUS INSTALLATIONS, Series on Chemical Accidents No. 29. OECD Environment, Health and Safety Publications. Paris: Environment Directorate OECD, 2017. pp 34,

[https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2017\)9&d](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2017)9&d) (cit. 5.10.2022)

OECD Environment, Health and Safety Publications, Řada o chemických haváriích č. 10. Překlad Ing. Jan Bumba podle publikace OECD Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response. Guidance for Industry (including Management and Labour), Public Authorities, Communities and other Stakeholders, 2003. vyd. 2. Praha: VÚBP, 2004 [Prevence chemických havárií část A \(oecd.org\)](http://www.oecd.org)

OECD, 2022. First meeting of the Steering Committee - National Policy Dialogue for Industrial Safety Belgrade, Serbia, 16 March 2022, Session 3_7_OECD Guiding Principles Chemical Accidents. https://unece.org/sites/default/files/2022-03/Session%203_7_OECD%20Guiding%20Principles%20Chemical%20Accidents%20-%20online%20presentation%20Meeting%2016%20March%202022.pdf

Semmler R., 2016, Aging equipment in facilities and daily maintenance – latent risks on sites with major-accident hazards acc. directive 2012/18/eu, Chemical Engineering Transactions, 48, 523-528 DOI:10.3303/CET1648088

Zdroje informací ke stárnutí a korozi materiálů:

Běhálek, Luboš. Polymery. ISBN 978-80-88058-68-7. [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/03.html>

BOZP INFO, Dostupné z.: <https://www.bozpinfo.cz/sites/default/files/imports/obrazky/547975.jpg>

Druhy koroze kovů, koroze kovů v elektrolytech. [online]. Dostupné z: <https://www.av-equen.cz/wp-content/uploads/2020/09/Druhy-koroze.pdf>

Issues Resulting From Corrosion in an Industrial Setting [online] Available at: <https://www.dreiy.com/2019/11/08/issues-resulting-from-corrosion-in-an-industrial-setting/>

Koroze kovů a ochrana proti korozi [online]. Dostupné z: <https://digit.isste.cz/op-hs/assets/-352502173119.%20Koroze%20kovu%20a%20ochrana%20proti%20korozi.pdf>

Lundström Törnquist, P., Nimeka de Silva. Fighting metallic corrosion in the process industries. A push for corrosion resistant fasteners can decrease environmental impact and maintenance costs in the oil and gas, chemical and water treatment industries. 2019. [online] Available at: <https://www.watertechonline.com/industry/article/14072721/fighting-metallic-corrosion-in-the-process-industries>

Metals in the Chemical Industry. *Nature* **136**, 751–752 (1935).

<https://doi.org/10.1038/136751d0>. [online] Available at:
<https://www.nature.com/articles/136751d0>

Mleziva J., Šňupárek J.: *Polymery, výroba, struktura a použití*, Sobotáles, Praha 2000.

Novák, Pavel. Druhy koroze kovů. *Koroze a ochrana materiálu*. 2005, Sv. 49, 4, stránky 75-82. Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství, Fakulta chemické technologie Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Dostupné z

<https://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kovu.pdf?redirected>

Pivokonský Radek, Stárnutí polymerních materiálů – aneb jak nám může pomoci reologie. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v.v.i. [online]. Dostupné z: https://www.ih.cas.cz/files/uploads/4_verejnost/1_verejnost/Reologie_starnuti.pdf

Pospíšil, Ladislav. *Polymery a plasty v praxi - degradace a stabilizace*. 2017. [online]. Dostupné z: [Polymery a plasty v praxi DEGRADACE STABILIZACE PLAST \(slidetodoc.com\)](https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/eb020155/full/html?skipTracking=true)

Preventing Metal Corrosion. Minnesota Industrial Coatings. 2021. [online] Available at: <https://minnesotaindustrialcoatings.com/preventing-metal-corrosion/>

Products And Processes: Providing Industry With The Means To Combat Corrosion. *Anti-Corrosion Methods and Materials*. ISSN: 0003-5599 [online] Available at: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/eb020155/full/html?skipTracking=true>

Reza Javaherdashti. How corrosion affects industry and life. *Anti-Corrosion Methods and Materials* 47(1):30-34. 2000. DOI: 10.1108/00035590010310003. [online] Available at: https://www.researchgate.net/publication/249361700_How_corrosion_affects_industry_and_life

Types Of Corrosion And Corrosiveness Categories. BESA LAB. [online] Available at: <https://www.bernardoecenarro.com/en/besa-lab/types-of-corrosion-and-corrosiveness-categories/>

Understanding Corrosion and How to Protect Against It 2002. [online] Available at: <https://www.manufacturing.net/home/article/13217663/understanding-corrosion-and-how-to-protect-against-it>

Valdez, B., Schorr, M., Zlatev, R., Carrillo, M., Stoytcheva, M., Alvarez, L., Eliezer A. and N. Rosas. *Corrosion Control in Industry*. 2012. DOI: 10.5772/51987. [online] Available at: <https://www.intechopen.com/chapters/41213>

Dokumenty týkající se programu řízeného stárnutí pro jaderná zařízení:

Aging Management Program Effectiveness. Nuclear Energy Institute 2014. [NEI 14-12 - Aging Management Program Effectiveness. \(nrc.gov\)](#)

Aging Management for Nuclear Power Plants Regulatory Document RD-334, Minister of Public Works and Government Services Canada 2011. Catalogue number CC172-72/2011E-PDF. ISBN 978-1-100-18753-2. Published by the Canadian Nuclear Safety Commission. Available at: nuclearsafety.gc.ca.

Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA ISBN 978-92-0-104318-4 ISSN 1020-525X. Available at: <https://www.iaea.org/publications/12240/ageing-management-and-development-of-a-programme-for-long-term-operation-of-nuclear-power-plants>

Dimova Galya. Ageing management in NPP. Effectiveness of the methods for control, examination and monitoring in relation to mechanisms of degradation of mechanical properties, MATEC Web Conf., 145 (2018) 05015. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814505015>

IMPLEMENTATION OF NPP AGEING MANAGEMENT PROGRAMME, Resource document: Implementation and Review of NPP Ageing Management Programme, IAEA Safety Reports Series No. 15 (1999), Available at: [IMPLEMENTATION OF NPP AGEING MANAGEMENT PROGRAMME \(iaea.org\)](#)

Literární zdroje použité v kapitole 4 Příklady legislativy EU a ČR a v kapitole 5 Rešerše odborných publikací zabývajících se procesem řízeného stárnutí jsou uvedeny přímo v textu v plné citaci.