

Bezpečnost provozu technických zařízení pro úpravu bazénové vody - zahraniční zkušenosti

David Křivánek^{a,b}, Luboš Kotecký^a, Petr Trávníček^c, David Marek^b

^a Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Odbor výrobních systémů a virtuální reality, Technická 2896/2, 616 69 Brno

^b Krajská hygienická stanice Jihomoravského kraje se sídlem v Brně, Jeřábkova 4, Brno

^c Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky, Zemědělská 1, 613 00 Brno

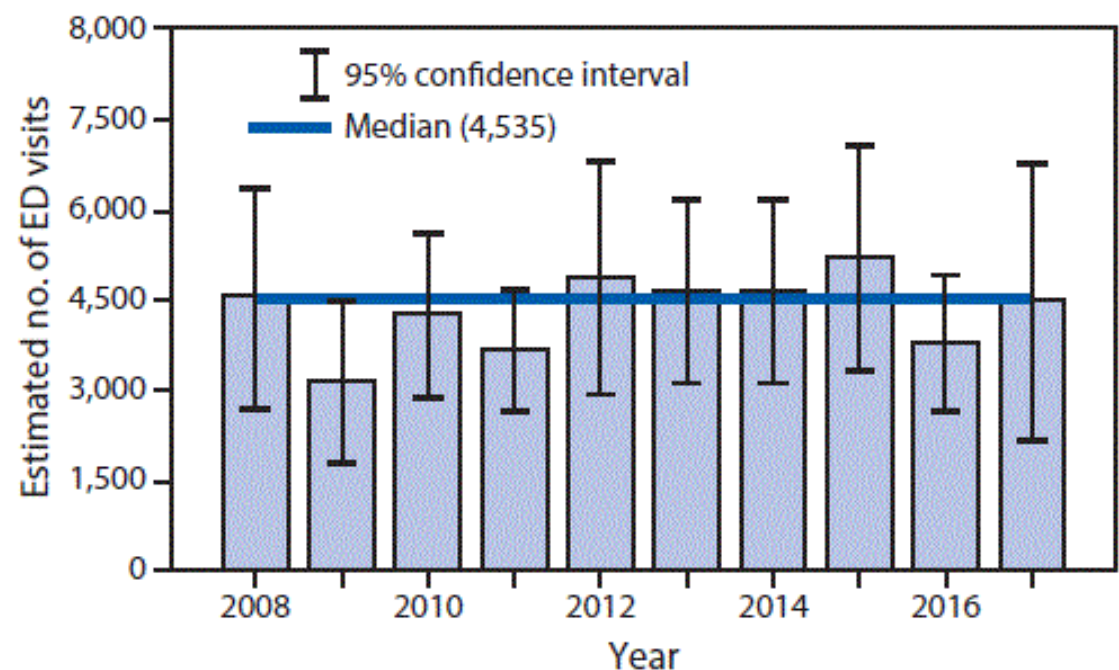
Email: 254416@vutbr.cz

Obsah prezentace:

- ▶ Data CDC
- ▶ Používané profesionální technologie
- ▶ Optimální hodnota volného chloru
- ▶ Prostředky na úpravu pH
- ▶ Vybrané havárie
- ▶ Příčiny havárií, následky na zdraví
- ▶ Návrhy opatření
- ▶ Shrnutí

Studie centra pro kontrolu a prevenci nemocí 2008-2017

- ▶ Vypracováno na základě dat z Národního systému elektronického sledování úrazů (NEISS)
- ▶ medián odhadovaného ročního počtu návštěv pohotovosti v USA kvůli úrazům způsobeným chemikáliemi v bazénech 4 535 (95% CI rozsah = 3 151–5 215)
- ▶ Nejméně 56,3 % zranění se vyskytlo v soukromých rezidencích a bazénech.
- ▶ Přibližně 36,4 % těchto úrazů se týkalo osob mladších 18 let



- ▶ Odhaduje se, že 93,9% (95% CI = 8,480–16,899) pacientů, kteří hledají péči na amerických pohotovostech pro poranění bazénovými chemikáliemi, bylo buď na místě ošetřeno nebo vyšetřeno a propuštěno bez léčby.
- ▶ Zbývající cca 5,245 pacienti (95% CI = 3,135–7,355; míra 0,5 na 100.000 obyvatel) byli diagnostikováni se závažnějšími zraněními.
- ▶ Otravy (~39–45 %), dermatitidy/záněty spojivek (~30–35 %), chemické popáleniny (~10–20 %)

Základy chemické úpravy bazénové vody

- ▶ I přes rychlý vývoj a zdokonalování bazénových technologií je i v dnešní době významný lidský činitel při nakládání s chemickými látkami, které pomáhají udržovat kvalitu vody
- ▶ Hlavní nebezpečí při provozu bazénových technologií spočívá v manipulaci s chemickými látkami. Především se jedná o činnosti spojené s dávkováním chemických látek.
- ▶ Za účelem redukce patogenních mikroorganismů se používají různé dezinfekční přípravky. Jedná se například o plynný chlor, chlornan sodný, chlordioxid, organický chlor, ozon, brom, jod, preparáty na bázi iontů mědi a stříbra a také peroxidy).

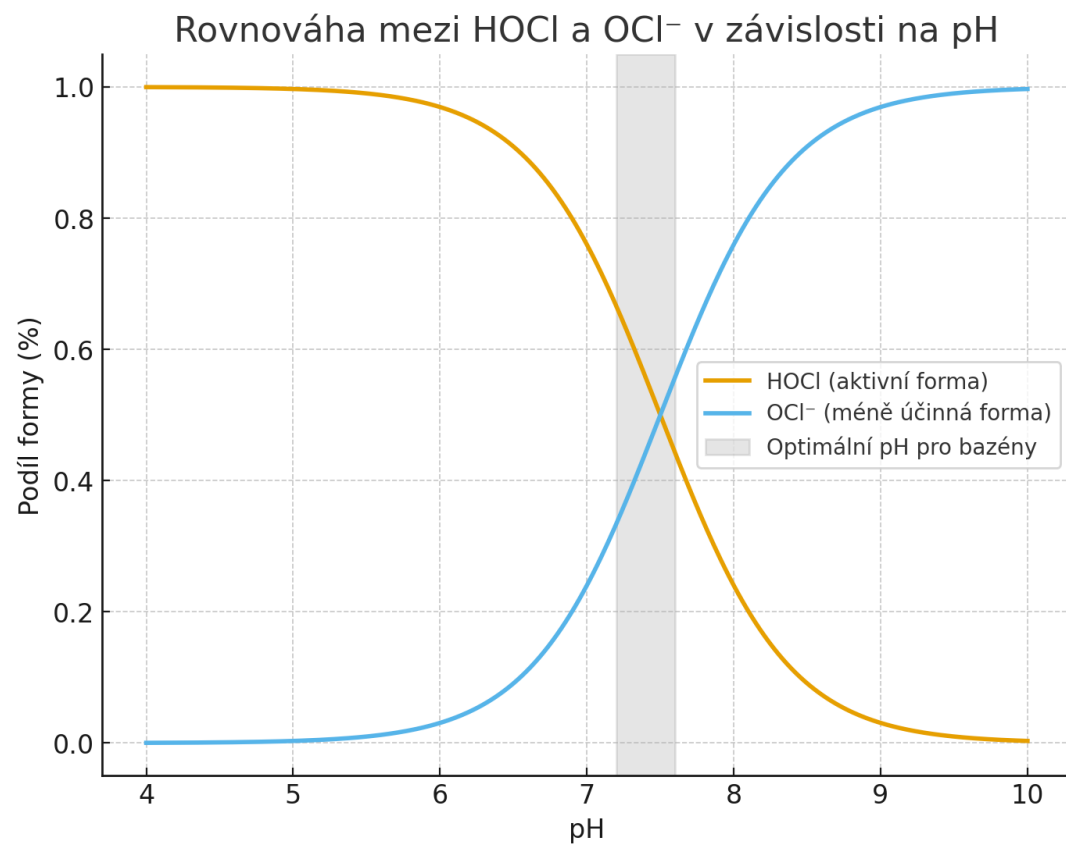
- ▶ V technologii čištění se dále používají srážecí látky (tzv. koagulanty) převážně na bázi hliníkových nebo železitých solí jako např. síran hlinitý $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, aluminiumhydroxychlorid PAC, nebo chlorid železitý FeCl_3 . Případně v podobě organických vysokomolekulárních polymerů (polyakrylamid – PAA) nebo různých algicidních přípravků.
- ▶ Ideální hodnota pH bazénové vody by se měla pohybovat v rozmezí 7,2–7,6.
- ▶ V tomto rozmezí se kombinuje nejvyšší dezinfekční účinek chloru a zachování neagresivnosti pro používané vybavení, ale i pro pokožku návštěvníků.

Výhody nevýhody použití chlorace (chlor, chlornan sodný)

- ▶ Výhodou použití chlorace oproti jiným způsobům čištění je relativně nižší cena a delší účinek. Na rozdíl od UV či ozonu rovněž zůstává aktivní ve vodě a chrání i během používání bazénu.
- ▶ Nevýhodou chlorace je poté nedostatečné narušení biofilmů či působení na některé rezistentní mikroorganismy (sporulující bakterie, viry). V biofilmech se nachází většina mikrobiální biomasy ve vodních systémech. Pro narušení biofilmů se mohou využít jiné chemické látky jako například jako chlordioxidy.

Proces chlorace bazénové vody zahrnuje přidání plynného chloru (Cl_2) nebo dezinfekčních prostředků na bázi chloru, které reagují s vodou za vzniku směsi chloru, kyseliny chlorné (HClO) a kyseliny chlorovodíkové (HCl) v poměru závislém na aktuálním pH vody ($\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HClO} + \text{HCl}$). Rozkladem kyseliny chlorné za působení organického materiálu, amoniaku a světla, vzniká méně účinný chloridový iont (OCl^-). Žádoucím výsledkem je dostatečná přítomnost kyseliny chlorné HClO , která má oxidační vlastnosti silnější jak chlor a tvoří aktivní složku v procesu inaktivace mikroorganismů nebo redukci tvorby řas.

Optimální hodnota volného chloru (součet HOCl a OCl^-) je v rozmezí 0,3–0,6 mg/l. Rostoucí pH společně s teplotou vody a dalšími faktory mění poměr reakce HOCl a OCl^- .



- ▶ Při používání dezinfekce na bázi chlornanů dochází ke zvyšování pH vody, proto bývá tato technologie doplněna současně dávkováním např. kyseliny sírové, která udržuje pH vody kolem hodnoty 7.
- ▶ Dávkování chemických látek do bazénů je již v dnešní době zajišťováno automaticky pomocí dávkovacích čerpadel, která umožňují nastavení dávkování dezinfekčního prostředku i prostředku pro úpravu pH s velkou přesností a automatickým záznamem.
- ▶ Ve sportovním plaveckém bazénu o délce 50m je přibližně 2500 m³ vody. Snížení pH o 0,1 v typické alkalitě kolem 80 mg/L pomocí kyseliny chlorovodíkové o koncentraci 31 % vyžaduje cca 8,5 litru.

Chemikálie	Vzorec	Vliv na pH	Poznámka
Hydroxid sodný	NaOH	Zvyšuje výrazně	Silně zásaditý
Uhličitan sodný	Na ₂ CO ₃	Zvyšuje	Zvyšuje i alkalitu
Hydrogenuhličitan sodný	NaHCO ₃	Mírně zvyšuje	Zvyšuje hlavně alkalitu, pH jen mírně, pro stabilizaci pH
Kyselina sírová	H ₂ SO ₄	Snižuje výrazně	Nebezpečná, zvyšuje sírany
Kyselina chlorovodíková	HCl	Snižuje výrazně	Rychlá úprava pH
Síran sodný / hydrogensíran	NaHSO ₄	Snižuje	Prášková forma, bezpečnější na manipulaci než HCl

Identifikované havarijní události

Pimpri Chinchwad, městský bazén, Indie, říjen 2023

Popis: po ranním zahájení provozu ochranka zjistila únik chloru z technické místnosti a povolala záchranáře. Exponováno cca 20 plavců, z nichž 17 bylo převezeno do nemocnice s dušností, kašlem a podrážděním dýchacích cest. Lahev s chlorem byla hasiči vybavenými dýchací technikou uvolněna a ponořena do bazénu pro ochranu obyvatel v okolí areálu.

Příčina: koroze 100 kg lahve s chlorem, vznik trhliny způsobil masivní únik plynu



Londýn, sportovní centrum Everyone Active ve Wembley, VB, srpen 2024

- ▶ *Popis události:* Jedenáct lidí převezeno preventivně po ošetření na místě do nemocnice. Devět dětí a dva dospělí. Dalších cca 150 lidí preventivně evakuováno, včetně uzavření přilehlé silnice. Únik chloru byl detekován v cvičném bazéně v přízemí této třípatrové budovy a nahlášen policii v 13:34. Prostor zajištěn přivolanými hasiči a dále ventilován 2 hodiny do doby naměření nulových hodnot. Centrum opět otevřelo v 16:00, cvičný bazén ponechán zavřený do druhého dne pro provedení zavedených bezpečnostních opatření.
- ▶ *Příčina:* nesdělena, předpoklad závady na technologii



Central City, Kentucky, Aquatic Exercise Pool, USA duben 2019

Popis události: K úniku chloru z technické místnosti došlo při hodině organizovaného cvičení seniorů. Vzhledem k omezeným evakuačním kapacitám bazénu a omezené mobilitě několika seniorů došlo k prodlevám při evakuaci (skoro 4 minuty) a intoxikaci seniorů i personálu, který pomáhal s evakuací. Intoxikace dále zjištěna i u poskytovatelů první pomoci ze záchranné služby. Evakuováno 50 osob, z toho 24 ošetřeno v nemocnici a z nich 7 hospitalizováno. 3 lidé mají dlouhodobé následky.

Příčina: řada pochybení v bezpečnostních postupech vedoucí k záměně zavedení plnicích hadic do zásobníků s chemií.



Orange Country, bazén bytového komplexu, USA, únor 2015

- ▶ *Popis:* muž byl nalezen částečně v bezvědomí, obklopen rozlitými chemikáliemi, které vydávaly žlutý plyn. Utrpěl těžké chemické popáleniny na zádech, obličeji a plicích. Byla přivolána záchranná služba a muž byl převezen do nemocnice, kde později svým zraněním podlehl. Hasiči místo a nebezpečné látky zajistili.
- ▶ *Příčina:* smíchání chloru s jinými čisticími prostředky

Zaragoza, městský bazén Luna, Španělsko, červenec 2021

- *Popis:* složky IZS přivolány po výbuchu v technické místnosti a masivním úniku chloru do prostor venkovního bazénu. Jeden zaměstnanec vážně zraněn, druhý zemřel záhy po převozu do nemocnice. Evakuace cca 60 návštěvníků. Chlorem exponovány tři nezletilé osoby ve věku tři, sedm a devět let. Po ošetření v nemocnici propuštěny. Vyšetřování poukazuje na chybu lidského činitele při manipulaci s chemickými látkami.
- *Příčina:* chyba lidského činitele



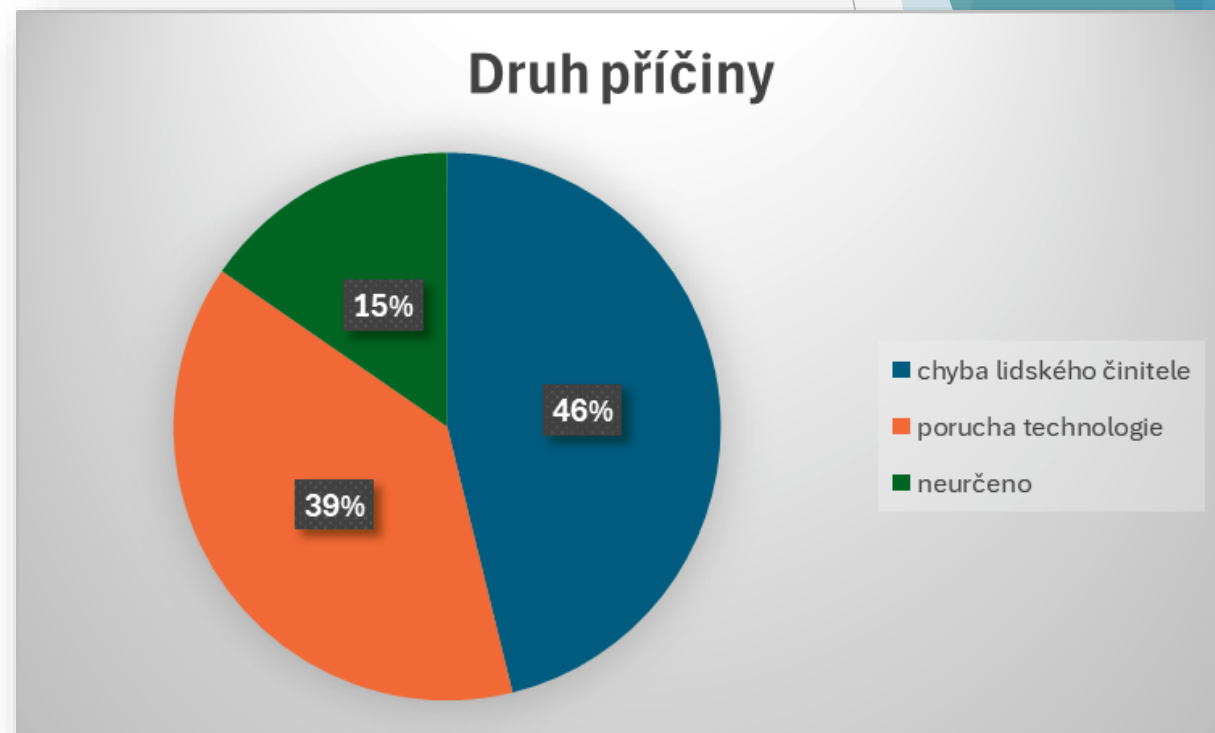
Pleasant Grove, Veterans Memorial Pool, Utah, USA, červen 2019

- *Popis:* ve venkovním bazéně po poruše dávkovacího čerpadla chloru začal nadbytečný chlor unikat v plynném skupenství. Bylo postiženo cca 50 osob, převážně dětí. Exponovaní trpěli dýchacími potížemi, kašlem, krvácením z nosu, nevolnostmi, zvracením a ztrátou vědomí. Desítky lidí byly ošetřeny v okolních nemocnicích, nikdo nebyl v ohrožení života, někteří dle ošetřujících lékařů však mohou mít chronické dýchací potíže. Přes počáteční chaos situace zvládnuta.
- *Příčina:* porucha dávkovacího čerpadla chloru



Analýza událostí

- ▶ Nejčetnější příčinou u vybraných událostí bylo selhání lidského činitele, následně selhání technického zařízení. Ve dvou případech nebyla příčina události uvedena. Je zřejmé, že i přes zvyšující se stupeň automatizace v posledních letech je důležité klást důraz na znalost správných operačních postupů obsluhy a rovněž provádět v pravidelných intervalech kontrolu těchto postupů vedoucími pracovníky.



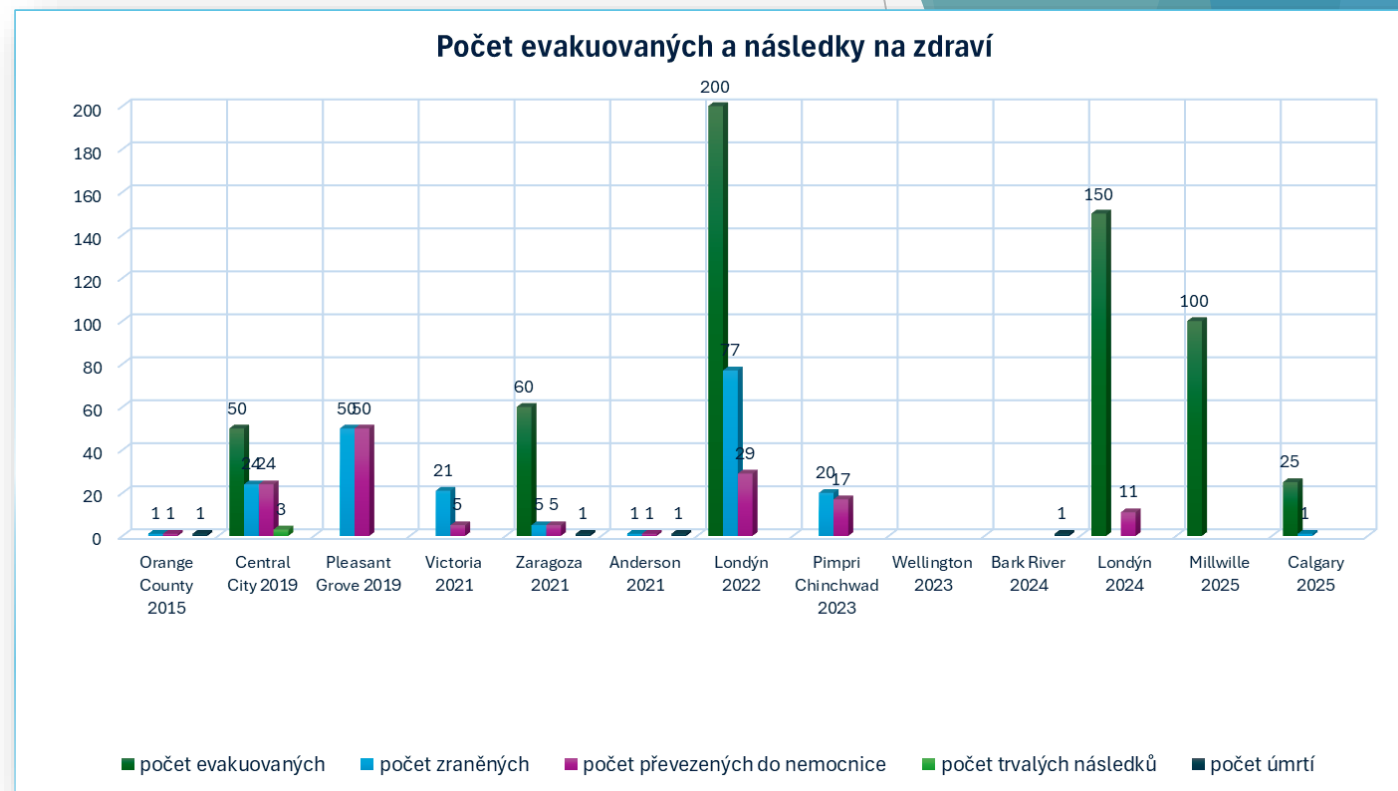
Provedené evakuace a následky na zdraví

► V případě provádění evakuace bylo u třech nehod uvedeno, že muselo být evakuováno 100 nebo více osob. K tomu je však nutné zahrnout případná omezení v podobě uzavření přilehlých ulic.

► Vzhledem k tomu, že bazény jsou prostory, kde se shromažďuje běžně větší množství osob, bývá jich poté i více nehodou zasaženo.

► Vzhledem k tomu, že některé identifikované události jsou poměrně aktuální, u některých zasažených osob se mohou v budoucnu trvalé následky teprve objevit.

Smrtelné nehody nejsou obecně často výsledkem náhody ani jediné izolované chyby. Jsou téměř vždy kulminací několika selhání na různých úrovních – od individuálních pochybení přes technické nedostatky až po organizační a systémové chyby.



Lidský činitel

- ▶ Lidská chyba je často uváděna jako bezprostřední příčina nehody, avšak je nutné zkoumat, jaké podmínky a nedostatky k této chybě vedly.
- ▶ Nedostatečné školení a povědomí o rizicích: Případy z Luny a Orange County jasně ukazují na fatální nepochopení základního chemického principu. Školení personálu musí jít nad rámec mechanického popisu postupu ("nalijte A do B") a musí zahrnovat hluboké pochopení rizik ("proč se A nikdy nesmí setkat s C").
- ▶ Nedodržování postupů a improvizace: Snaha "vyřešit problém" bez adekvátní přípravy, vybavení nebo znalostí, je opakujícím se motivem.
- ▶ Normalizace rizika: Tento psychologický fenomén hraje pravděpodobně významnou roli. Vysoká frekvence nefatálních incidentů a zranění, jak dokládají data CDC, může vést k postupnému otupění vůči vnímání rizika. Personál, který denně manipuluje s chemikáliemi bez zjevných následků, může začít podceňovat jejich skutečný smrtelný potenciál a zanedbávat bezpečnostní opatření, jako je používání OOPP.

Technické a návrhové faktory

- ▶ Technické vybavení a jeho návrh hrají klíčovou roli v prevenci lidských chyb. Selhání v této oblasti mohou vytvořit "pasti", které čekají na aktivaci lidským omylem.
- ▶ Absence "Fool-Proof" designu: Příklad z Luny je příkladem selhání v návrhu zařízení. Použití identických neoznačených plnicích ventilů pro dvě vysoce reaktivní a nekompatibilní chemické látky je chybou, která může vést k jejich záměně a vzniku nehody. Je vhodné využít princip Poka-yoke (zamezení chybám z nepozornosti), který by v tomto případě znamenal použití fyzicky nezaměnitelných spojek (různé velikosti, nebo tvaru), jež by nesprávné připojení znemožnily.
- ▶ Závady bezpečnostních systémů: Ačkoliv se mnohdy jedná o nefatální incidenty, případy jsou varovné. Např. selhání bezpečnostního systému (tzv. interlock), který má automaticky vypnout dávkování chemických látek při výpadku cirkulačního čerpadla, vede k nebezpečnému nahromadění koncentrovaných chemikálií a následnému vzniku plynného chloru v potrubí. To ukazuje na kritickou důležitost nejen existence, ale i pravidelných kontrol a údržby těchto bezpečnostních prvků.
- ▶ Údržba a degradace materiálu: Zanedbaná údržba může zcela eliminovat klíčovou bezpečnostní bariéru. Například se jedná o nečitelné identifikační značení v důsledku koroze.

Organizační a manažerské faktory

- ▶ Kultura bezpečnosti a manažerské postupy tvoří rámec, ve kterém se odehrávají všechny operace. Selhání na této úrovni mají dopad na systém jako celek.
- ▶ Absence kultury bezpečnosti: Nedostatečný dohled nad pracovníky, chybějící, neúplné nebo neaktuální bezpečnostní protokoly a nedostatečné prosazování povinného používání osobních ochranných pracovních prostředků (OOPP) jsou projevy slabé nebo neexistující kultury bezpečnosti.
- ▶ Řízení dodavatelského řetězce a změn: Změna dodavatele chemikálií může být zdrojem rizika. Pokud nový produkt např. přichází v jiném balení (jiná barva, tvar) a personál není řádně proškolen, může dojít k záměně, protože lidé se při opakujících se činnostech často spoléhají spíše na vizuální paměť a etikety již nečtou.

Doporučení

Existuje celá řada doporučení pro provozovatele a obsluhu bazénů, od jednotlivých dodavatelů nebo zainteresovaných organizací

- ▶ prověření dostatečného větrání technické místnosti, případně zvážení stavebních úprav pro jeho zlepšení
- ▶ dbát na teplotu skladování a dobu použitelnosti chemikálií
- ▶ v případě nutnosti společného uložení vzájemně reaktivních látek v technické místnosti dbát na jejich jednoduché rozlišení, či zajistit nemožnost záměny např. jiným průměrem používaných spojek apod. (stále častá příčina nehod)
- ▶ Zvážení dalších opatření proti možným únikům či smíchání chemikálií v technické místnosti
- ▶ Zajištění dostatečného osvětlení v technické místnosti (prevence vzniku části možných pochybení)
- ▶ Instalace a kontroly funkčnosti výstrahy při selhání či nestandardních stavech dávkovací technologie (v některých zařízeních zcela chybí, nebo nejsou kontrolovány).
- ▶ Pravidelné prověřování znalostí obsluhy z operačních postupů, ze základních vlastností používaných chemických látek s ohledem na jejich bezpečnou manipulaci.
- ▶ Tvorba a popularizace preventivních programů pro veřejnost se základy správné praxe, první pomoci, či praktickými radami pro případ mimořádných událostí.
- ▶ atd...

Závěr

Přestože počet úmrtí způsobených utonutím je celosvětově řádově větším problémem, zranění či úmrtí v bazénech při haváriích spojených s únikem chloru nelze podceňovat.

Dominantní příčinou vzniku těchto událostí je selhání lidského činitele. Konkrétně se jedná o nedodržování technologických (operačních) postupů, nesprávnou manipulaci s chemickými látkami a o nedostatečnou odbornou přípravu obsluhy. Dalšími významnými příčinami jsou technická selhání a nedostatečný systém vytvořených preventivních bariér.

Další problematika, která byla v článku pouze lehce zmíněna, je problematika spojená s expozicí trichloraminů a jiných látek, které se ve veřejných bazénech mohou vyskytovat. Tyto látky jsou spojovány se zdravotními riziky, které se týkají především častých návštěvníků těchto zařízení či zaměstnanců, kteří se v zařízení vyskytují každý den. Toto téma je již však rozsahem na další samostatnou práci...

Děkuji za pozornost!

David Křivánek
Email: **254416@vutbr.cz**
Tel: 602 751 836