

# Péče o chladicí okruhy kovových forem jsou podmínkou pro reprodukovatelně dobré mechanické vlastnosti odlitků ze slitin hliníku

Grzinčič, M.

Vedoucí procesního inženýrství, Nemak Slovakia s.r.o., Ladomerská Vieska 394, 965 01 Žiar nad Hronom, Slovensko  
[marko.grzincic@nemak.com](mailto:marko.grzincic@nemak.com)

## Abstrakt

Mechanické vlastnosti odlitků z Al-slitin určuje v první řadě rychlost tuhnutí. Kovové formy (kokily) je proto nutné chladit vodou a usazeniny na stěnách chladicích kanálů a vložek podstatně zhoršují intenzitu odvodu tepla z materiálu formy, respektive z odlitku. Efekt je způsoben řádově nižším součinitelem tepelné vodivosti usazeniny oproti materiálu formy. Příspěvek se věnuje řešení problematiky s usazeninami tvořenými buď kotelním kamenem nebo oxidy. Ignorování nebo podceňování specifické části technologie výroby odlitků vede k ztrátě produktivity jak ve výkonu, měřeném počtem odlitků vyrobených za časovou jednotku, tak kvalitě, zhoršenou výskytem typických slévárenských chyb jako staženin a mikrostaženin. Snížená intenzita odvodu tepla ovlivňuje mikrostrukturu – nižší parametr S-DAS, což ve spojitosti s mikrostaženinami snižuje mechanické vlastnosti, především tažnost. Proces chlazení forem je nutné v praxi kontinuálně monitorovat měřením teploty formy a praktikovat čištění chladicích okruhů. Nabídka trhu čistících zařízení je kupodivu limitovaná, což neplatí pro trh s chemickými prostředky. Čištění okruhů musí předcházet profesionální péče o kvalitu vody. Problematika se stává lépe řešitelná investicí do změny otevřeného chladicího systému na uzavřený. I v takových případech je nutné okruhy pravidelně čistit, ale proces je lépe říditelný a tím stabilnější.

## 1. Úvod

Odléváním velmi rozšířených slitin na bázi Al-Si do kokil je slévárenskou technologií zajišťující vyšší mechanické vlastnosti odlitků ve srovnání s formami netrválými. Tento fakt je způsoben vyšším součinitelem tepelné akumulace formy z oceli nebo litiny oproti formě např. z křemenného ostříva. Tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita a hustota materiálu jsou určující fyzikální vlastnosti ovlivňující odvod tepla z odlitku do formy. Ochlazovací účinek materiálu formy je však nedostačující, pokud se žádají ještě vyšší mechanické vlastnosti. Odvod tepla z odlitku ovlivňuje jak parametr S-DAS (vzdálenost sekundárních větví dendritů), tak velikost eutektických buněk nebo intermetalických fází, ale i výskyt slévárenských vad, které samozřejmě ovlivňují velmi zásadně opět mechanické vlastnosti. Slévárenské vady ovlivňují i základní funkčnost dílů, např. těsnost odlitků. Zvýšený ochlazovací účinek formy je žádoucí i z pohledu produktivity výroby, kdy *čas tuhnutí* je v přímé úměře s intenzitou odvodu tepla z odlitku. Tuhnutí v odlitku musí být usměrněné směrem k náliťkové soustavě, což lze podpořit řízenou intenzitou odvodu tepla z odlitku do formy a okolí.

Z vyjmenovaných důvodů se proto kovové formy běžně chladí vodou. Platí konstrukční zásady pro umístění chladicích okruhů od líce formy, kdy zjednodušeně okraj kruhového kanálu je vzdálen od líce formy 1,5násobek svého průměru. Záleží však na typu chlazení a především kvalitě nástrojové oceli pro práci za tepla, z které je forma vyrobena. Pak lze vzdálenost kanálu od líce formy zkracovat, což přináší rychlejší odezvu chladicího systému.

Chlazení forem vodou vyžaduje určité zásady, kterým se věnuje předložený článek. Vedle potřeby chladit maximálně, tj. v co nejkratším čase odvést z materiálu formy co nejvíce tepla, je dost zásadní požadovat od technologie jako takové stabilní proces odvodu tepla. Tj. od prvního vzorování kokily po konec životnosti náradí, od začátku lití po konec lícího cyklu (1 až několik týdnů mezi čistícími pauzami) stále registrovat stabilní odvod tepla měřitelný teplotou formy nebo odlitku v čase. K tomuto účelu jsou v kokilách instalovány stabilní termočlánky, které jsou v rámci poka-yoke systému zdrojem signálu pro povolení k lití, příp. dat k archivaci pro korelační analýzy příčin slévárenských vad. Pořizují se termosnímký líce kokil či odlitků, aby mohla být stabilita procesu identifikována kvantitativně plošně. Zaznamenávají se křivky tuhnutí v odlitku. Ve všech těchto případech je žádoucí se moci vždy spolehnout na stabilní chlazení kokil.

Problematika s kvalitou chladicí vody a usazeninami je přehlížena buď z důvodu, že je již vyřešena nebo se o dopadech na kvalitu a produktivitu málo ví. Nezáměr auditorů při procesních auditech poukazuje spíše na tu variantu obecného vědění, že se o dopadech izolantu v chladicích kanálech málo ví, respektive se celá problematika scvrkává na měření průtoku vody.

## 2. Rizika

Použitelnost a vhodnost vody pro chladicí účely je dána fyzikálními, chemickými a biologickými parametry. Pokud nejsou kvalita vody a chladicí okruhy pod stálou kontrolou, je proces tuhnutí odlitku nestabilní. Nejenom že nelze docílit nejkratších časů tuhnutí, ale kvalita výroby je ohrožena náhlými výskyty slévárenských vad. Vše se projeví

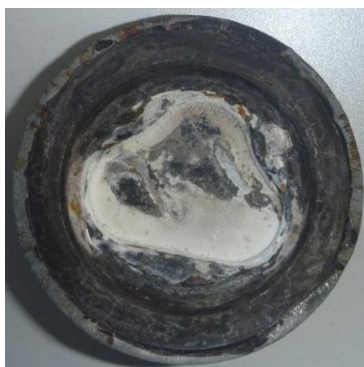
v celkové produktivitě výroby a nákladech na vyrobenou jednotku. Lze tedy uvést následující benefity kvalitní péče o chladicí okruhy:

- Snížení času tuhnutí a tím zvýšení výkonu výrobního zařízení (počet ks/hod nebo počet ks/směnu)
- Zvýšení kvality výroby, resp. stabilní výsledky
- Zvýšení dostupnosti výrobních zařízení
- Snížení nákladů na vyrobenou jednotku
- Snížení nákladů na údržbu zařízení (pravidelná dílčí péče je levnější než velké zásahy v rámci havárie)

V literatuře, především prospektech výrobců čistící chemie, lze nalézt odstrašující příklady zanesených okruhů, obr. 1. Takový stav je typický pro systém, kde není realizována dlouhodobě „preventivní údržba“ a lze označit jednoduše jako katastrofální. Pokud nefunguje v úpravně vody kvalitní demineralizace, vytvoří se na povrchu chladicího prvku, v tomto případě kaloty pro odformování spalovacího prostoru odlitku hlavy válců, vrstvička kamene typická světlou barvou, obr. 2. Na obr. 3 je identifikovatelná tmavá částečně rozrušená vrstvička magnetitu, který je rovněž tepelný izolant. Příspěvek se nezabývá detailně dalším fenoménem v chladicí vodě a to jsou škodlivé organismy. Z organismů se jedná o bakterie, sinice, řasy, mikromycety, prvoky a vyšší organismy. Jejich růstu a pomnožování lze zamezit dávkováním např. chloru či síranu měďnatého.



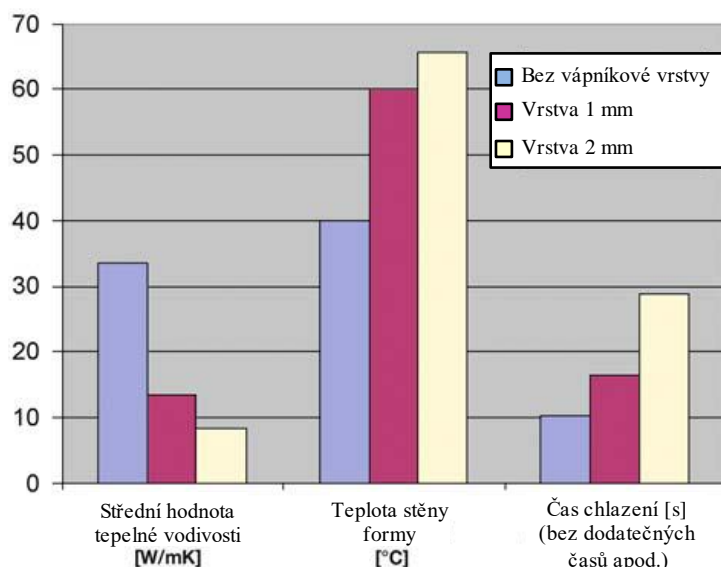
Obr. 1: Ukázky znečištění vodních rozvodů



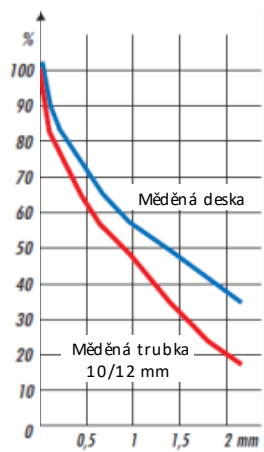
Obr. 2: Ukázka usazeného kamene na vnitřním povrchu ocelové chladicí vložky kokily



Obr. 3: Ukázka vrstvičky magnetitu (do 0,7 mm) na vnitřním povrchu ocelové chladicí vložky



Obr. 4: Usazeniny na stěnách chladicích kanálů snižují odvod tepla a zapříčiňují zvýšení teploty stěny formy a prodloužení cyklového času (chlazení a tedy tuhnutí odlitku) [1]



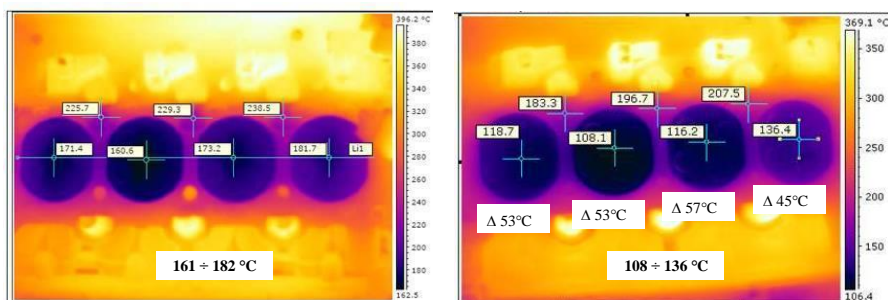
Obr. 5: Pokles hodnoty součinitele tepelného prostupu při tvorbě kotelního kamene – vrstvička 0÷2 mm [2]

Graf v obr. 4 prezentuje vliv izolantu na jednoduše měřitelnou fyzikální veličinu jako teplota formy nebo tolik praktický ukazatel, jakým je doba chlazení, udávající cyklový čas. Vrstva izolantu je až 2mm, co by se v provozu zvládajícím základy technologie nemělo nikdy přihodit. Je z grafu však názorné, že dopady jsou dramatické – prodloužení cyklového času v stovkách procent! Shodně sdělení přináší další obr. 5, který uvádí vliv izolantu na součinitel prostupu tepla  $U$  [ $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ ].

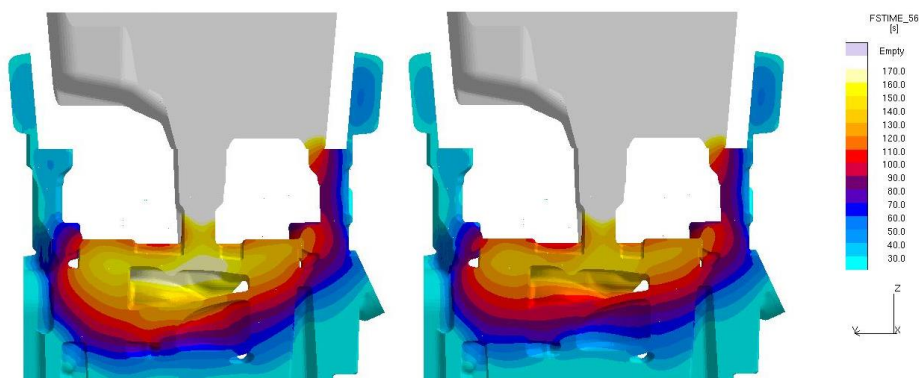
Společnost Nemark rovněž studovala vliv usazenin na teplotní pole formy a ze zjištění se dá konstatovat, že 0,1 mm silná vrstvička izolantu sníží přestup tepla o 19÷22 %, 0,2 mm vrstvička o 48÷60 % a jestli je 0,5 mm nebo 1 mm, tak shodně o 59÷74 % (záleží na tom, kdy se tepelný tok měří, jestli po 60 nebo 220 s). Experimenty se prováděly při teplotě kokily 320°C, teplotě vody 30°C, průtokem 15 l min<sup>-1</sup> chladicím kanálem o průměru 19 mm. Při této příležitosti je vhodné upozornit, že velmi rozšířená praxe, určovat čistotu chladicích kanálů měřením průtoku vody, je zpochybnitelná. Vždyť při vnitřním průměru kanálu např. 10 mm vrstvička izolantu 0,2 mm sníží světlost kanálu na 9,6 mm; průtok se tak sníží o necelých 8 %, avšak přestup tepla je dle měření Nemarku poloviční. Měřitelnost poklesu průtoku vody kanálem je silně odvislá od přesnosti měřidla, která je běžně  $\pm 3\div 5\%$ . V praxi slévárny se tak můžeme setkat se situací, kdy technolog registruje/měří zvýšené teploty kokil, nebo dokonce řeší „náhlé“ slévárenské chyby a oddělení, kde se pečuje o čištění forem, hlásí, že je vše v pořádku – jak kontrolní průtok na potrubí, tak třeba pH čistící chemie a výdrž času čistícího proplachu. Přestaňme měřit průtok jako určující indikátor čistých chladicích okruhů. Příklad byl veden na kanálu kruhového průřezu. Obvykle chladicí systémy mají daleko komplikovanější tvary a reálné procesy jsou složitější.

Předložený příklad z praxe dokumentuje, jak změna intenzity odvodu tepla do základové desky kokily ovlivňuje celé teplotní pole v odlitku. Obecně se dá říci, že pokud vodou chlazené části kokil neodvádí „konstruované“ množství tepla, začnou se nechlazené části kokil přehřívat. Nejprve obr. 6 předkládá informaci, jak se změnou péče o chladicí okruhy sníží teplota ve středu vodou chlazených vložek (kalot) o průměrně 52 °C. Kontrolní termočlánek umístěný v jedné z vložek tak mohl snímat maximální teplotu chlazené vložky během cyklu tuhnutí o 70 °C nižší. Stav

není ideální, protože stále nedosahují všechny 4 vložky shodné teploty. Termosnímek byl pořízen ihned po vyjmutí odlitku z kokily. Vliv intenzity odvodu tepla z odlitku do základové desky kokily lze identifikovat při počítačové simulaci tuhnutí, obr. 7. Levý obrázek charakterizuje stav, kdy chlazené kaloty neodvádí v shodném čase tuhnutí tolik tepla, jako tomu je na pravém obrázku. Daný stav může vést k podpoře vzniku staženin v centrální oblasti odlitku, případně u vnějších stěn odlitku. Technologické problémy s usazeninami lze v simulačních programech zohlednit tak jako v případě tvorby mezery při smršťování slitiny odlitku volbou koeficientu přestupu tepla. Jak však postupovat, když tvorba usazenin je proces dynamický? Řešení je prosté – usazeniny jsou v chlazení nežádoucí. Dalším podpůrným procesním vlivem může být teplota okolí (podporovaná průvanem na hale) a tak při změně ročního období se negativní faktory sčítají a slévarenská vada se náhodně objeví, nebo také zmizí. Z daného vyplývá jasný požadavek na ROBUSTNÍ technologické PROCESY.



Obr. 6: Termosnímky části kokily s 4 vodou chlazenými vložkami před a po revizi praxe čištění chladících okruhů



Obr. 7: Výsledky počítačové simulace tuhnutí odlitků s různou intenzitou odvodu tepla do základové desky kokily (obrázky charakterizují shodný čas tuhnutí)

Jaká nebezpečná rizika tedy lze registrovat při problémech s usazeninami na chladících okruzích kokil? Kromě vnitřních vad jsou to mechanické vlastnosti materiálu. V kontrolním plánu jsou předepsané frekvence odběru vzorků na tahovou zkoušku nebo měření S-DAS na metalografickém výbrusu a zaregistrovat náhlou změnu v technologii se takto spíše nepodaří. S určitostí lze zjistit trend. Stoupne procento vzorků z slitiny AlSi7Mg0,3, kde především tažnost A5 nedosáhne limitu 5% v nejrychleji tuhnoucí části odlitku a především limitu 2% v nejpomaleji tuhnoucí části odlitku. Meze  $R_m$  a  $R_{p0,2}$  nijak významně na zhoršený odvod tepla při tuhnutí vzorku nereagují (případ, kdy teplota kalot stoupla o 50 °C). Průměrné hodnoty S-DAS v blízkosti lící kůry a chlazené vložky stoupnou maximálně o 1  $\mu\text{m}$ . Z daného lze učinit závěr, že poměrně malé množství usazenin a díky tomu teplotní rozdíly na lící kokily přibližně 50 °C nejvíce ovlivňují rychlost tuhnutí a usměrněné tuhnutí a tím výskyt mikrostaženin, které se negativně nejvíce projevují na hodnotách tažnosti A5 v podnálitkové oblasti. Mechanické vlastnosti mají status význačného znaku, měřit je 100% prakticky nelze a proto je klíčové technologické procesy poznat a řídit.

### 3. Příčiny zhoršeného odvodu tepla

Zhoršený odvod tepla ze systému *odlitek – forma* je způsoben usazeninami na stěnách chladících okruhů. Rozlišujeme velmi důsledně 2 oblasti problematiky – tvorbu kamene a oxidů železa. Příčinou snížené intenzity odvodu tepla je sice kámen a oxidy, ale tzv. *root cause* je tvrdá voda a korozní procesy. V případě tvrdé vody ji lze změkčovat, v případě koroze lze opatření směřovat do více oblastí.

#### 3.1 Vodní a kotelní kámen

První oblast je daná rozpuštěnými solemi  $\text{Ca}^{++}$  a  $\text{Mg}^{++}$  v „tvrdé“ vodě. V praxi odlévání do kokil dochází k trvalé tvrdosti vody neodstranitelné varem a obsahuje rozpuštěné chloridy, sulfidy, dusičnany a křemičitany. Podle

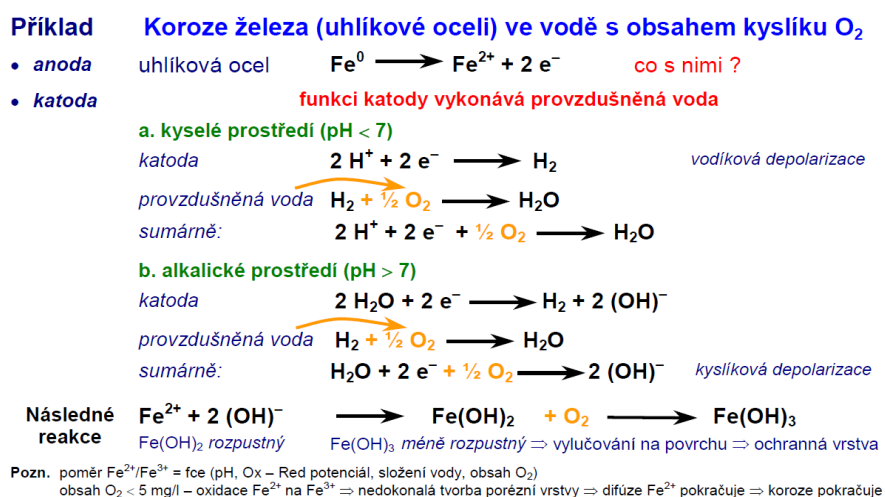


současných norem se tvrdost vody vyjadřuje jako suma vápníku a hořčíku v mmol l<sup>-1</sup>. Voda s tvrdostí do 0,7 mmol l<sup>-1</sup> se považuje za velmi měkkou, nad 3,75 mmol l<sup>-1</sup> za velmi tvrdou [Wikipedia, VIII/13].

Obvykle se při popisu usazenin setkáváme s pojmem *vodní kámen*. Jde však o nepřesnou terminologii, protože vodní kámen je pevný povlak, který se usazuje na stěnách kanálů/nádob, v nichž je přechovávána, vedena nebo především zahřívána a poté ochlazována tvrdá voda, jejíž teplota nedosahuje 100 °C. Základní složkou vodního kamene jsou obvykle uhličitany vápenatý a hořečnatý { Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> }. **Kotelní kámen** je správný výraz v případě praxe s kokilami, neboť jde o směs minerálů, které se vylučují ve formě pevného povlaku na stěnách kanálů, v nichž dochází k varu tvrdé vody. Obvyklé složení tvoří uhličitany vápenatý a hořečnatý { CaCO<sub>3</sub>; MgCO<sub>3</sub> }, síran vápenatý, křemičitan vápenatý, křemičitan hořečnatý, hydroxid hořečnatý, uhličitany hořečnatý, chlorid vápenatý, síran hořečnatý atd. Tyto látky se vyskytují v různých poměrech. Velkým problémem je zvláště u chladicích systémů s otevřeným oběhem vody, kdy je voda ochlazována v chladicí věži přímým kontaktem s velkým množstvím vzduchu. Kotelní kámen má velmi malou tepelnou vodivost (1,7 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>; uhličitany vápenatý má ještě nižší hodnotu 0,9 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>), a proto snižuje ochlazovací účinek. Havarijní stav se projevuje podstatně sníženou účinností odvodu tepla. Takový stav lze odborně řešit takzvaným chemickým čištěním technologických systémů.

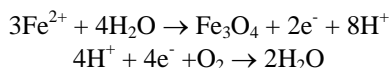
### 3.2 Magnetit

Jsou slévárny, které praktikují rozvod chladicí vody v plastovém nebo nerezovém potrubí, ale nejčastější řešení jsou rozvody z uhlíkové konstrukční oceli. Takové rozvody je nutné chránit proti korozi. Na rychlost koroze má největší vliv přítomnost a obsah kyslíku ve vodě, viz. obr. 8.



Obr. 8: Popis korozních reakcí na ocel při působení volného kyslíku obsaženého ve vodě [3]

Proto je vhodné u **uzavřených** vodních systémů zamezit přístup kyslíku, případně ho odstraňovat odplyňováním nebo chemickými činidly. Pod nízkým obsahem kyslíku se rozumí množství do 400 μg l<sup>-1</sup>, kdy ochranná vrstva magnetitu je stabilní a tzv. kyslíkový režim je založen na reakci:



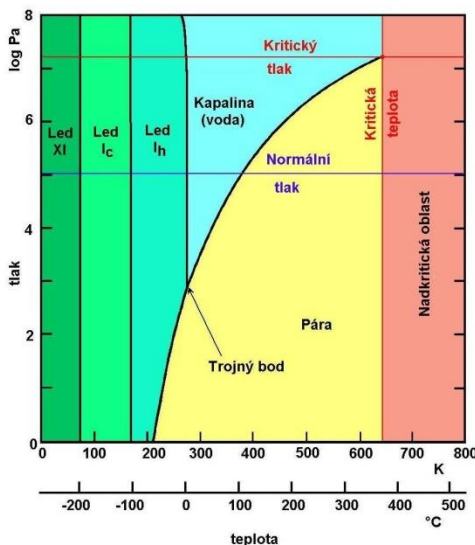
V **otevřeném** okruhu, kde je ohřátá voda z kokilových strojů ochlazována v chladicí věži (obr. 9) profukováním značným množstvím vzduchu, se zvyšuje koncentrace kyslíku. Takový typ vody je extrémně agresivní na ocelové rozvody. Volný kyslík za provozu oxiduje ochrannou vrstvu **magnetitu** s stechiometrickým chemickým vzorcem Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> na hematit Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (oxid železitý, barvy červenohnědé až oranžovohnědé). Stabilní vrstva magnetitu i při vyšších teplotách se pak stává porézní se značnou schopností rozrušování vlivem proudění, čímž se koroze stimuluje. Kyslíkové koroze probíhají zejména na místech, kde je ochranná vrstva porušena. Korozní proud se tedy koncentruje na malou plochu a v případě kyslíkové depolarizace vzniká nebezpečná důlková koroze. V případě vodíkové depolarizace má koroze plošný charakter. Volný kyslík se odstraňuje termickým odplyněním a popřípadě chemickým doodplyněním, avšak ne běžně v slévárenské praxi.



Obr. 9: Chladicí věž otevřeného systému

Úpravna vody v slévárně z tohoto důvodu přidává do systému inhibitory podporující na vnitřním povrchu potrubí vrstvičku oxidu železato-železitého hnědé barvy, magnetitu  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Problém je však v tom, že magnetit vykazuje tepelnou vodivost přibližně  $3 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  (hematit 0,6), avšak tepelná vodivost oceli je přibližně  $50 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , legované nižší a wolframové slitiny užívané pro chladicí vložky mají hodnotu  $\lambda 85 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ! [4]. Tak jako v případě kotelního či vodního kamene, i korozní usazeniny jsou izolanty s o řád až dva nižším součinitelem tepelné vodivosti.

Pokud lze při chlazení dosáhnout toho, že voda nedosáhne varu, tak je problém s usazeninami v jiné dimenzi. To lze např. ovládat tlakem vody v systému, viz. obr. 10. Při technologii vysokotlakého lití se daný efekt uplatňuje, protože zvýšením tlaku v systému jsem schopen i při teplotách výrazně nad  $100^\circ\text{C}$  v systému pracovat s kapalinou a nikoliv párou - především odvod tepla z systému odlitek – forma je tak intenzivní. Docílit v systému tlaku alespoň 6 bar je praktikovatelné a mělo by být zajištěno.



Obr. 10: Fázový diagram vody znázorňující závislost existence skupenství na tlaku a teplotě (Wikipedia, VIII/13)

Dalším opatřením je kontinuální průtok vody chladicími kanály formy, který se ovšem v podmínkách kokilového lití s jádru spojenými organickými pojivky (hot-box, cold-box) neprotéká. Při tepelné degradaci pojivových systémů se vytváří kondenzát, a pokud by forma v oblasti známek jader byla permanentně intenzivně chlazená, tak kondenzát ulpí a vytvrdne na líci formy a způsobí rozměrové odchylky, resp. jádra nesedí korektně v dimenzované známce a při zavírání kokily dojde k jejich zlomení. Přerušením cyklu chlazení stoupne lokálně teplota formy z max.  $250^\circ\text{C}$  na běžně  $\sim 350^\circ\text{C}$  a za takových podmínek se kondenzáty spolehlivě spalují. Nevýhodou a vlastně obětí daného opatření je tvorba páry v chladicí vložce/kanálu a intenzivnější tvorba usazenin, čemuž by mohla jít vstříc aktivita s vyšším tlakem v systému.

#### 4. Úprava vody v chladicím systému slévárny

Úprava vody pro chladicí účely zahrnuje několik technologických postupů, obdobných jako v případě úpravy pitné vody. Většina vláknitých sinic, řas a bakterií je odstraněna již v úpravně, z které vodu slévárna nakupuje, kde se

dále praktikuje čiření síranem hlinitým, sedimentace, filtrace, chlorace. Hrubé nečistoty se z vody odstraňují osazením filtrů na částice do 50  $\mu\text{m}$ , přičemž se nabízí speciální odlučovače na uvolněný magnetit. Dále se reguluje agresivita vody vůči betonové konstrukci nádrže a kovovému potrubí, provádí se změkčování vody, zásahy proti organismům a regulace teploty. Objem vody je vhodné volit menší, např. díky kratším tratím a průřezu trubek. To samé platí i pro zásobník vody a namísto betonu volit nerezovou ocel. Při betonové nádrži hrozí riziko kontinuálního přechodu minerálů do vody. Především v letních měsících je velký únik vody odparem a doplňování do systému nesmí překročit kapacitní možnosti úpravy. Při haváriích platí stejné pravidlo – nedopustit náraz celou ztrátu, ale dopouštět s kapacitami úpravy.

Dodavatelé úpraven vody jsou např. Eurowater, Aqua Osmotic, Vattenteknik, Power Plastics, Peraq, Deto, Wassertechnik, atd. Celá úprava je poměrně komplikovaná soustava zařízení. Obr. 11 dokumentuje příklad z praxe, kde jsou v sérii instalovaná zařízení jako filtry, změkčovače, jednotka reverzní osmózy, dávkovače inhibitorů, tester korozního účinku upravené vody, řídicí panely, rozvody a měřáky. Voda vstupující do systému musí projít přes kompletní kolonu zařízení. Klíčovou jednotkou je zařízení reverzní osmózy (membránová filtrace, výkon 900 l  $\text{hod}^{-1}$ ), které zajišťuje odsolení s účinností 98-99,4 % a zabezpečí elektrickou vodivost  $2\mu\text{S}$ . Jedná se o membránový proces, využívající k separaci látek rozpuštěných v kapalině semipermeabilní (polopropustnou) membránu, která je propustná pro vodu a zachycuje mikroorganismy, koloidy, ionty rozpuštěných solí i molekuly organických látek. Správná předúprava vody vstupující do systému osmózy je základní podmínkou dlouhodobě bezproblémového provozu. Je nutné zabránit zanášení membrán suspendovanými tuhými látkami a vytváření nerozpustných minerálních usazenin. Tvrdé minerály se odstraňují ve změkčovači, suspendované látky v mechanických filtrech, zatímco obsah volného chlóru a jiných desinfekčních prostředků je možné redukovat ve filtru s aktivním uhlím (zabrání se rozkladu membrán).



Obr. 11: Úprava chladicí vody v slévárenské praxi (změkčovače vody, filtry, osmóza, dávkovače inhibitorů)

Pro změkčování vody se používají změkčovací prostředky, které neutralizují kyselý účinek solí a tím chrání systém proti korozi a zabráňují tvorbě kamene. Místo něho se nerostné látky vylučují ve formě kalů. Základem změkčovacích prostředků jsou uhličitán sodný, hydroxid sodný nebo fosforečnan sodný. Při změkčování se ionty vápníku a hořčíku nahrazují ionty sodíku, jehož soli nezpůsobují problémy jako tvrdá voda.

Ochranu rozvodů vody zajišťují inhibitory - na trhu je řada firem nabízejících různé prostředky. Např. společnost Schweitzer-Chemie nabízí kombinaci 2 prostředků K370 obsahující hydroxid sodný, tolyltriazol a K320 s obsahem kyseliny polykarbonové, monohydrátu síranu zinečnatého, kyseliny hydroxifosfonové; německá společnost Kurita Europe prostředek Kurilex MP-704 (korozní a antibakteriální inhibitory s obsahem hydroxidu sodného, tolyltriazolu a kyseliny hydroxifosfonové). Bakteriální ochranu od Schweitzer-Chemie zajišťuje prostředek B-510 (směs 5chlór-2metyl-2H-izotiazol-3onu, 2metyl-2H-izotiacol-3onu, 2bróm-2nitro-1,3propán-1,3diolu).

Výhodou uzavřeného chladicího systému je i dávkování inhibitorů. Ty se nadávkuje při doplnění vody náraz a systém je tím chráněn bez nutnosti dávkovat kontinuálně, jako je tomu v případě systému otevřeného. Namísto o ochranné vrstvičce na stěnách kanálů se bavíme o filmu. Uzavřený systém zvládá 5  $^{\circ}\text{C}$  teplotní spád oproti otevřenému systému (8  $^{\circ}\text{C}$ ) a tak pouze chladicí systém za použití kompresoru zaručuje i v letním období nízké pracovní teploty (např. anorganika na jaderně vyžaduje max. 25  $^{\circ}\text{C}$ ).

Kvalita vody se pravidelně kontroluje a naměřené hodnoty se zaznamenávají, viz. tab. 1. Je vždy lepší volit elektronický záznam, který lze statisticky vyhodnocovat a provádět včasné zásahy při překročení kontrolních mezí. Frekvence měření je alespoň každý den a záznam se provádí pro hodnoty nakupované vody, změkčené a výstupní kvality ze zařízení. Obsluha kontroluje současně i stav procesních materiálů, kdy min. obsah v zásobníku je  $\frac{1}{4}$ , chod čerpadel, tlak v kompenzační nádobě, hladinu vody v nádrži a čistotu pracoviště.

Tab. 1: Měřené veličiny péče o chladicí vodu v praxi slévárny

Parametry	limit
Teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]	indiv.

Tlak [bar]	indiv.
pH	7-9
Celková tvrdost GH [ $^{\circ}$ d]	< 4
Karbonátová tvrdost KH [ $^{\circ}$ d]	< 3
Elektrická vodivost [ $\mu$ S / cm]	max. 450
Obsah chloridů [ppm]	< 90
Obsah železa [ $\text{mg l}^{-1}$ ]	0,3÷1
Obsah aditiv [ $\text{g m}^{-3}$ ]	indiv. (min 100)
Průtok přes osmózu [ $\text{l hod}^{-1}$ ]	indiv.

## 5. Čištění chladicích okruhů kokil

Usazeniny ve formě kamene nebo oxidů v prostorech kanálů chladicích okruhů je nutné z kokily odstranit chemickým proplachem nebo mechanicky. Mechanické čištění je pracné a proveditelné jen na kanálech s rozebíratelným zaslepením apod., navíc hrozí častým čištěním odběr materiálu formy a zvětšování kanálů. Praktický pozorováním v praxi je nutné určit frekvenci čištění a dobu trvání chemického proplachu.

### 5.1 Čištění chladicích okruhů kokil - Zařízení

Výběr zařízení na trhu je celkem limitovaný. Obr. 12 prezentuje mobilní zařízení od 3 výrobců, přičemž oba německé jsou primárně vyvinuty pro čištění forem na vstřikování plastů. Technologie vstřikování plastů, vysokotlaké, nízkotlaké i gravitační lití neželezných slitin mají jedno společné – materiál formy je nástrojová ocel (pro práci za tepla) a okruhy musí být čisté. Zařízení *Moldclean* německé firmy GWK\_Gesellschaft Wärme Kältetechnik je velmi kompaktní, mikroprocesorem řízené zařízení s nerezovým čerpadlem i vanou, nabízí manuální přepínání směru průtoku média, automatickou kontrolu pH-hodnoty a neutralizaci na konci čistícího procesu (použitou náplň lze vypustit do kanalizace), automatickou kontrolou průtoku a hladiny v jednotce a teploty média (topení 6kW). Reverzace průtoku je manuální a integrovaný filtr na výtlaku jednotky chrání proti zpětnému zanesení formy. Zařízení ZCF2 od české firmy Elap [5] je vysoce sofistikované zařízení s poloautomatickým i ručním režimem určené k odmašťování a odstranění vodního kamene. Zařízení používá plastovou vanou a speciální vzduchové čerpallo, čímž se rozšiřuje paleta použitelné chemie, gelovou pH-sondu, ohřev lázně, programovatelnou reverzaci chodu s kontrolou průtoku a tlaku v systému a rovněž neutralizaci lázně na konci cyklu. Zařízení RWR KST od německého výrobce Bio-Chem [6] je konstrukce s minimem kontrolních prvků, kterou lze postavit i svépomocně. Jde o princip zařízení, kde jsou všechny funkce manuálně nastavitelné, což vyžaduje vysokou kvalifikaci a zodpovědnost obsluhy. Výjimkou je automatické měření průtoku systémem, kdy se zařízení při dosažení nastavené hodnoty automaticky vypne. Čistící lázeň se ohřívá na teplotu 60°C. Po ukončení cyklu čištění se systém stále napojený na proplachovací zařízení vyprázdní profouknutím tlakovým vzduchem. Je doporučeno systém následně propláchnout demineralizovanou vodou, aby při náhřevu kokily opět nedošlo k kontaminaci stěn chladicích kanálů usazeninami.



Obr. 12: Zařízení k proplachu chladicích okruhů kokil od 3 firem GWK, ELAP a Bio-Chem [1,5,6]

### 5.2 Čištění chladicích okruhů kokil - Chemie



Ještě než se přistoupí k chemickému proplachu, je nutné identifikovat, jaké usazeniny v systému jsou. Nejjednodušším způsobem je posoudit usazeniny barevně. Vhodnější je shromáždit potřebné množství a nechat v akreditované laboratoři vzorek analyzovat. Tab. 2 představuje výsledky takových analýz. Vysoké obsahy Mo a Zn jsou dané použitím inhibitorů od spol. Wassertechnik. Vysoký obsah Cr se nepodařilo objasnit. Tab. 3 prezentuje výsledky chemické analýzy usazeniny v chladicí vložce z wolframové slitiny, kde se jeví jako hlavní problém výskyt křemičitanů. Výsledky v tabulkách 2 a 3 pro vložky z dvou různých materiálů v různém čase jsou rozdílné a názorně demonstrují, že je potřeba volit vždy individuální přístup k procesu čištění dle konkrétní usazeniny.

Tab. 2: Chemické rozborů usazenin z ocelové kaloty a přívodního potrubí (hlavní prvky Fe, Zn, Cr, Mo)

Ag	4,6	mg/kg	Na	3900	±	1300	µg/g	Y	<	3,1	µg/g	
Al	3270,9	mg/kg	Mg	<	720	µg/g	Zr	<	<	9,1	µg/g	
As	39,1	mg/kg	Al	485	±	39	µg/g	Nb	<	8,5	µg/g	
B	333,4	mg/kg	Si	8100	±	120	µg/g	Mo	5999	±	45	µg/g
Ba	94,9	mg/kg	P	8020	±	75	µg/g	Ag	<	2,3	µg/g	
Bi	46,9	mg/kg	S	790	±	25	µg/g	Cd	<	1,9	µg/g	
Ca	5318,4	mg/kg	Cl	786	±	12	µg/g	Sn	14,6	±	1,4	µg/g
Cd	11,6	mg/kg	K	<	110	µg/g	Sb	4,1	±	1,2	µg/g	
Co	18,9	mg/kg	Ca	2228	±	36	µg/g	Te	<	2,6	µg/g	
Cr	50883,5	mg/kg	Ti	154	±	24	µg/g	I	<	4,3	µg/g	
Cu	8957,0	mg/kg	V	<	49	µg/g	Cs	<	6,7	µg/g		
Fe	121613,0	mg/kg	Cr	<	52	µg/g	Ba	102,6	±	6,0	µg/g	
Hg	< 0,001	mg/kg	Mn	1552	±	43	µg/g	La	11,7	±	6,5	µg/g
K	671,5	mg/kg	Fe	634400	±	1100	µg/g	Ce	<	15	µg/g	
Li	< 0,004	mg/kg	Co	199	±	42	µg/g	Hg	<	12	µg/g	
Mg	8454,4	mg/kg	Ni	<	30	µg/g	Tl	<	8,1	µg/g		
Mn	1406,7	mg/kg	Cu	417	±	19	µg/g	Pb	30	±	14	µg/g
Mo	26852,8	mg/kg	Zn	19370	±	90	µg/g	Bi	<	6,9	µg/g	
Na	6428,3	mg/kg	Ga	<	15	µg/g	Th	<	25	µg/g		
Ni	391,2	mg/kg	Ge	<	13	µg/g	U	<	58	µg/g		
P	5130,7	mg/kg	As	<	6,7	µg/g						
Pb	208,1	mg/kg	Se	<	3,3	µg/g	Main Compounds					
S	3340,0	mg/kg	Br	38,1	±	2,6	µg/g	26 Fe	63,44	±	0,11	%
Sb	397,8	mg/kg	Rb	7,3	±	3,6	µg/g	30 Zn	1,937	±	0,009	%
Se	< 0,006	mg/kg	Sr	35,4	±	2,1	µg/g					
Si	989,8	mg/kg										
Sn	174,9	mg/kg										
Sr	42,5	mg/kg										
Ti	119,1	mg/kg										
Tl	9,5	mg/kg										
V	2669,2	mg/kg										
Zn	15915,9	mg/kg										

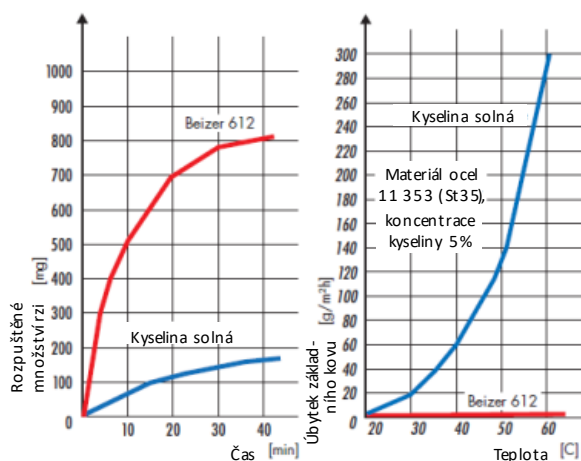
Tab. 3: Chemická spektrální analýza usazeniny z kaloty z wolframové slitiny; hlavní prvky Si, P (vzorek 4g lisován do tablety 32 mm, metoda analýzy Tq10471)

Na	<	300	µg/g	Y	<	1,0	µg/g			
Mg	<	100	µg/g	Zr	<	1,0	µg/g			
Al	3570	±	320	µg/g	Nb	<	1,0	µg/g		
Si	> 916900	±	6800	µg/g	Mo	6,5	±	0,1	µg/g	
P	> 105700	±	400	µg/g	Ag	<	0,8	µg/g		
S	2664	±	65	µg/g	Cd	<	0,7	µg/g		
Cl	<	30	µg/g	Sn	<	1,0	µg/g			
K	<	20	µg/g	Sb	<	1,5	µg/g			
Ca	713,8	±	2,1	µg/g	Te	<	1,5	µg/g		
Ti	<	20	µg/g	I	<	1,5	µg/g			
V	<	15	µg/g	Cs	<	1,5	µg/g			
Cr	<	15	µg/g	Ba	<	1,5	µg/g			
Mn	<	10	µg/g	La	<	2,0	µg/g			
Fe	77,4	±	0,3	µg/g	Ce	<	3,0	µg/g		
Co	<	3,0	µg/g	Hg	<	2,0	µg/g			
Ni	28,2	±	0,2	µg/g	Tl	<	2,0	µg/g		
Cu	<	1,0	µg/g	Pb	<	2,0	µg/g			
Zn	28,4	±	0,1	µg/g	Bi	<	2,0	µg/g		
Ga	<	1,0	µg/g	Th	<	2,0	µg/g			
Ge	<	1,0	µg/g	U	<	2,0	µg/g			
As	<	1,0	µg/g							
Se	<	1,0	µg/g	Main Compounds						
Br	<	1,0	µg/g	14 Si	> 91,69	±	0,68	%		
Rb	<	1,0	µg/g	15 P	> 10,57	±	0,04	%		
Sr	<	1,0	µg/g							

Pokud se odstraňuje klasický kámen, většina produktů pracuje s kyselinou chlorovodíkovou (solnou) nebo fosforečnou buď za teploty okolí nebo při teplotě zvýšené (do 80°C). Princip je v potřebě rozpuštění usazenin nebo jejich rozrušení do takové míry, aby mohly být odstraněny mechanicky. Z průmyslových aplikací společnost Chemsearch nabízí Brex nebo Descaler GS na bázi HCl, což je koncentrovaný chemický čistící přípravek obsahující korozní inhibitor, společnost Nicro produkt KalkOff nebo společnost Xintex produkt Kalk-X (oba na bázi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Oba poslední produkty mají tu výhodu, že neobsahují prchavou nebezpečnější kyselinu chlorovodíkovou. Další variantu představuje produkt CC507 od GWK na bázi kyseliny citronové. **Inhibitor koroze** je chemická látka (obvykle fosforečnany, chromany), která při přidání do kapaliny nebo plynu snižuje korozivní působení na materiál.

Pokud je žádoucí přímo v chladicím okruhu kokily spolehlivě odstranit magnetit (oxidy železa), tak pomůže spolehlivě chemie s kyselinou fluorovodíkovou, např. prostředek Beizer 612/640 od společnosti Wassertechnik z Gifhornu na bázi minerálních kyselin, korozních inhibitorů, dispergátorů a smácedel. Prostředek je určen na odstranění/rozpuštění usazenin kamene, silikátů, fosfátů a především rzi, avšak základní materiál kokily zůstane chráněn od úbytku materiálu, obr. 13. Hodnota pH (při 1 hmotn. %) je 1,3 ± 0,3. Pokud hodnota pH v lázni překročí limit 1,5, je zapotřebí dolít koncentrát, pokud se ustálí pod hodnotou 1,0, je proces čištění ukončen. Proplach okruhů s prvky z hliníkových slitin, nerezové oceli a pozinkované oceli vyžaduje jiný typ chemie (např. Beizer 614, 621, 630). V případě použití kyseliny fluorovodíkové je nutné přijmout přísná bezpečnostní opatření (věty R 21/22/23/24/25;

34;37;50) při skladování, používání (kvalitní větrání) a likvidaci chemie. Proplachovací zařízení včetně čerpadla vyžaduje materiály PP, PE, PVC.



Obr. 13: Rychlost rozpouštění korozní povrchové vrstvy a korozní ochrana – působení Beizer 612 ve srovnání s kyselinou solnou (kyselinou chlorovodíkovou) [2]

Určitým způsobem a vždy jen částečně zaberou i jiné kyseliny a to proto, že reagují s železnou složkou a tím narušují strukturu magnetitu, který může být takto rozrušen a odplaven. V tomto smyslu se jeví efektivní *kyselina aminosulfonová*, nabízí např. dodavatel GWK pod označením CC103 (plus obsahuje fosfát močoviny), Wassertechnik pod označením Beizer 618 nebo Chemsearch pod označením DS100, přičemž provozní teplota je 60°C. Výrobce nabízejícím prostředek pro práci za pokojové teploty je Rothenberger.

Proces čištění musí být volen profesionálně a je vždy žádoucí metodu konzultovat – nejlépe s vícero dodavateli. Obr. 14 dokumentuje nebezpečí v případě, pokud jsou čisticí prostředky zvoleny nevhodně, neobsahují korozní inhibitory nebo koncentrace je příliš vysoká. Chemie má rozpustit a odplavit usazeniny, nikoliv napadnout základní kov.



Obr. 14: Nežádoucí agresivní účinek proplachovacího čisticího média na přívodních trubkách chladicího okruhu

## 6. Závěr

Praxe potvrzuje, že na zcela novém nářadí se podaří dosáhnout nejnižších provozních teplot. Procesní řízení vyžaduje stabilitu procesů po dobu životnosti produktů a nářadí vystavené růstu a odpadávání usazenin s tepelnou vodivostí řádově odlišnou od materiálu formy působí proti požadavkům na stabilitu procesů. Pokud slévárna používá otevřený vodní chladicí okruh, tlak v systému do 5 bar a cyklované chlazení, tak udržet robustní procesy při odvodu tepla z kokily lze jen s maximální důsledností při péči o vodu a vyšší frekvenci proplachů dobře zvolenou čisticí chemií. Při volbě proplachovací chemie pro odstranění kotelního kamene a oxidů železa je nutné identifikovat, jaké usazeniny systém obsahuje. Manipulace s hadicemi pro připojení chladicí vody jak v slévárně, tak na pracovišti pro čištění kokily nesmí vést k znečištění chladicího okruhu, doporučují se rychlospojky. Nevhodně zvolená chemie může poškozovat rozvody chladicích okruhů nebo přímo vložky v formách. Jak zařízení úpravy vody, tak zařízení na proplach kokil je nutné udržovat v dobrém technickém stavu a pravidelně monitorovat měřitelné procesní veličiny. Jedině kontinuální sledování teploty nářadí na vhodně zvolených místech je spolehlivým měřítkem stability procesů. Aplikace poka-yoke systému završuje snahu proces aktivně řídit.

Nedostatečná péče o celý systém může způsobovat ztráty v hospodaření slévárny v oblasti kvality i kvantity, dané nižší produktivitou odlévání a ztrátami neshodných kusů. Zákazníkem předepsané mechanické vlastnosti a strukturální charakteristika může být taktéž nevyhovující nebo kolísavá.

## Literatura

- [1] Firemní prospekty společnosti GWK ([http://www.gwk.com/de/produkte/produkte\\_ausgabe.php?product=158 /](http://www.gwk.com/de/produkte/produkte_ausgabe.php?product=158/))
- [2] Firemní prospekty společnosti Wassertechnik (<http://www.ts-wassertechnik.de/>)
- [3] Šulc, R.: 8. Koroze. [online]. Ústav procesní a zpracovatelské techniky FS ČVUT Praha, 60 s. [cit. 2013-08].
- [4] VDI-Gesellschaft, VDI Wärmeatlas. 10. vydání, Berlin, Heidelberg, 2007, 1500 s.
- [5] Firemní prospekty společnosti ELAP (<http://www.elap.eu/spec/zcf.htm>)
- [6] Prezentace Bio-Chem ([http://www.reinigungstechnik.at/detail/rwr-kst---reinigungsanlage-.wmv\\_46467](http://www.reinigungstechnik.at/detail/rwr-kst---reinigungsanlage-.wmv_46467))