



**VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE**

Laboratoř oboru

Ústav organické technologie (111)

H

Sdílení tepla a multiskilling

Vedoucí práce: Ing. Marie Kaňková

Umístění práce: Tréninkové centrum, Litvínov

1. Úvod

Sdílení tepla je jedním z nejdůležitějších fyzikálních jevů, který ovlivňuje náš každodenní život. Sdílení tepla je proces, při kterém dochází k výměně energie ve formě tepelných toků mezi částmi systému nebo různými systémy v důsledku gradientu teploty. Náročnost této úlohy závisí na úrovni znalosti látky z předmětu Chemické inženýrství 1.

1.1. Mechanismy sdílení tepla

Sdílení tepla může probíhat třemi základními způsoby:

- **Vedení** (kondukce) - na molekulární úrovni
 - Dochází ke vzájemným interakcím mezi molekulami s různou energií
 - Zahříváme-li jednu část tělesa, atomy začnou kmitat “rychleji” a přes srážky předávají energii dále
- **Proudění** (konvekce) - přenos tepla při toku kapalin
 - Sdílení tepla v důsledku proudění kapaliny způsobeném rozdíly hustoty, prouděním bublin páry atd.
- **Sálání** (záření, radiace) - forma elektromagnetického záření
 - Fyzikální proces, při kterém látka emituje do prostoru energii ve formě elektromagnetického záření
 - Může probíhat i ve vakuu
 - Množství energie závisí na teplotě, barvě a ploše tělesa

V praxi je přenos tepla uskutečňován v krocích a může využívat kombinaci všech základních mechanismů sdílení.

1.2. Výměníky tepla

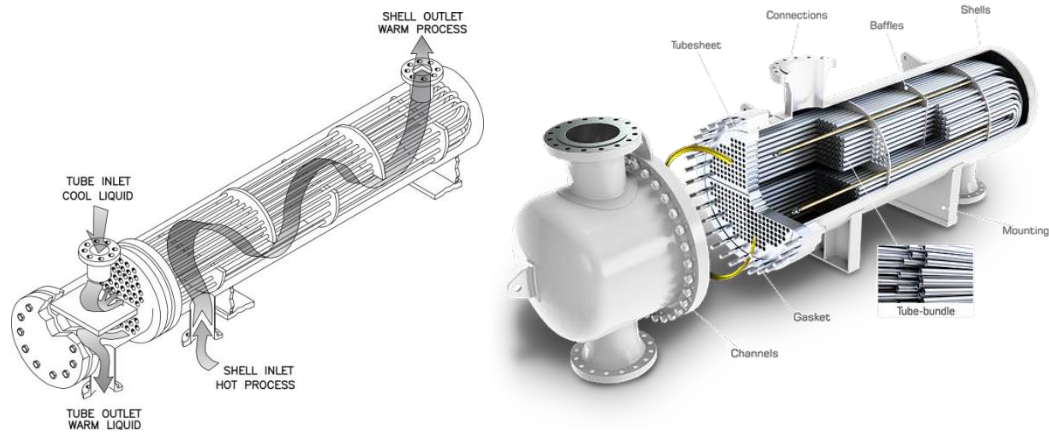
1.2.1. Dělení podle typu výměny tepla

- **Rekuprační** – výměna tepla probíhá plynule mezi tekutinami, které jsou odděleny teplosměnnou stěnou propustnou pro teplo a nepropustnou pro hmotu, která má vysokou tepelnou vodivost
- **Regenerační** – látky jsou střídavě přítomny v prostoru, ve kterém je uložena hmota se schopností akumulovat teplo, např. keramická vyzdívka. V první fázi protéká prostorem teplejší tekutina a předává teplo této hmotě a tím se ochlazuje. V druhé fázi protéká prostorem studenější tekutina a ta se ohřívá

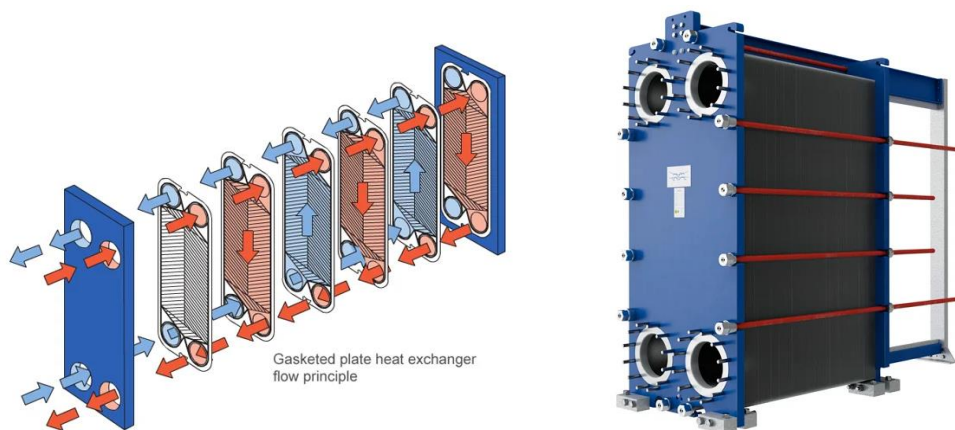
- **Směšovací** – obě tekutiny se smíchají v takovém poměru, aby bylo dosaženo požadované teploty

1.2.2. Dělení podle konstrukce

- **Trubkové (Shell and tube)** – jednoduché a svazkové, s různým počtem chodů



- **Deskové (Plate)**



1.2.3. Dělení podle směru proudění teplotnosných médií

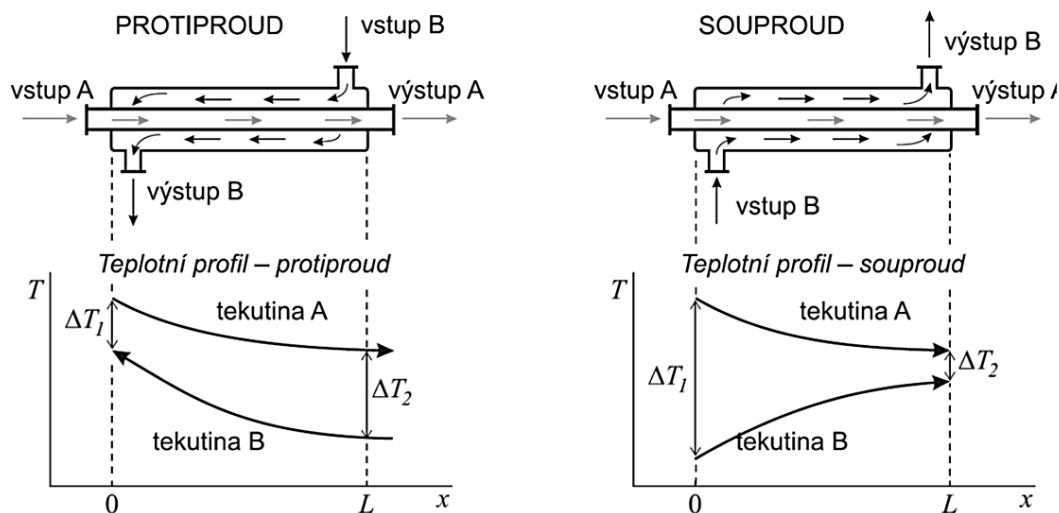
- Souproudé
- Protiproudé
- Ostatní (křížové, kombinované)

1.2.4. Technologické parametry a výpočetní vztahy

Trubkové výměníky jsou nejrozšířenějším typem výměníků. Výhodou je především jejich snadné čištění a údržba. Při poruše trubek lze jednotlivé trubky vyměnit nebo zaslepit. Jsou vhodné pro jakákoliv média. Pro zvýšení přestupu tepla v trubkách se používají statické mixéry, díky kterým dojde

ke zvýšení turbulence, narušení mezní vrstvy kapaliny a zvětšení výměnné plochy. Pro zvýšení přestupu tepla v plášti se používají přepážky a kroucené nebo nízkožebrované trubky.

Deskové výměníky jsou vhodné pro výměnu tepla mezi dvěma kapalinami. Mají vysoký koeficient prostupu tepla, ale kvůli velké ploše těsnění se nehodí pro škodlivé látky. Kvůli špatnému těsnění se nehodí do provozů, kde je problematická kontaminace mezi proudy. Jsou modulární – lze přidávat desky, a tím zvyšovat výkon.



Jelikož se rozdíl teplot podél výměníku mění (viz teplotní profily), lze jako vhodnou střední hodnotu použít střední logaritmický rozdíl teplot podle vztahu:

$$\Delta T_{ls} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (1)$$

Teplo prostupující rovinnou stěnou, respektive válcem, lze vypočítat podle vztahu:

$$Q = k \cdot A \cdot (T_A - T_B) = k \cdot A \cdot \Delta T_{ls} \quad (2)$$

$$Q = k_L \cdot L \cdot (T_A - T_B) = k_L \cdot L \cdot \Delta T_{ls} \quad (3)$$

kde k je koeficient prostupu tepla rovinnou stěnou, k_L je délkový koeficient prostupu tepla válcem, A je plocha rovinné stěny a L je délka trubky výměníku. Celkový tok tepla je také možné počítat z entalpické bilance (pokud například neznáme velikost výměníku):

$$\dot{Q} = \dot{m}_i \cdot c_{pi} \cdot \Delta T_i \quad (4)$$

1.3. Čerpadla

Při dopravě kapalin je nutné vzít v úvahu několik různých parametrů, jako je hustota kapaliny, výtlačná a sací výška a potřebná mechanická energie pro dopravu kapaliny z bodu A do bodu B. Pro bilanci těchto parametrů je používána **Bernoulliova rovnice**.

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + z_1 \cdot g + e_c = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + z_2 \cdot g + e_{dis} \quad (5)$$

kde e_c vyjadřuje měrnou mechanickou energii, kterou tekutina získá při průchodu čerpadlem a e_{dis} vyjadřuje měrnou ztrátu mechanické energie v sacím a výtlačném potrubí.

$$e_{dis} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta_i \right) \cdot \frac{v^2}{2} \quad (6)$$

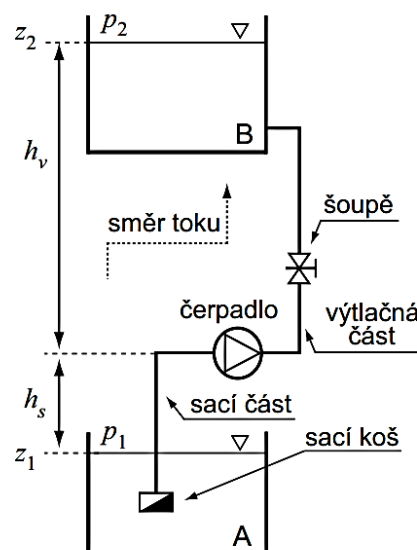
kde λ je součinitel tření obecně závislý na Reynoldsově kritériu Re a relativní drsnosti ε/d , l je délka potrubí a d jeho vnitřní průměr. $\sum \zeta_i$ pak označuje sumu součinitelů místních odporů armatur a v je střední rychlost tekutiny v potrubí, kterou lze vypočítat z objemového průtoku $\dot{V}$ podle vzorce:

$$v = \frac{4 \dot{V}}{\pi d^2} \quad (7)$$

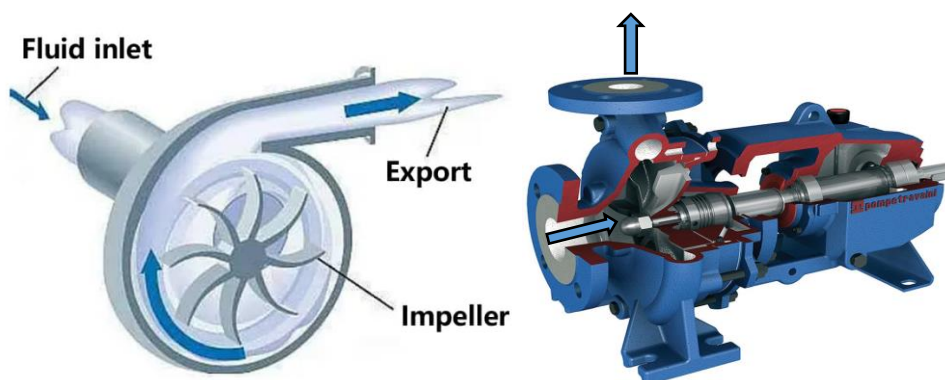
Obecně jsou čerpadla rozdělována na hydrostatická a hydrodynamická. Ty jsou dále rozlišována podle konstrukce:

- Hydrostatická
 - Plunžrová (pístová)
 - Zubová
 - Lamelová
 - Membránová
 - Vřetenová (šroubová)
- Hydrodynamická
 - Axiální
 - Radiální (odstředivá)

U hydrostatických čerpadel probíhá přeměna mechanické energie na tlak přímo na pracovním prvku čerpadla (píst, zub, lamela, membrána). Pístová čerpadla se používají pro dosažení vysokých tlaků na výtlačné části, zubová pro čerpání viskózních kapalin a membránová pro čerpání suspenzí, jedovatých



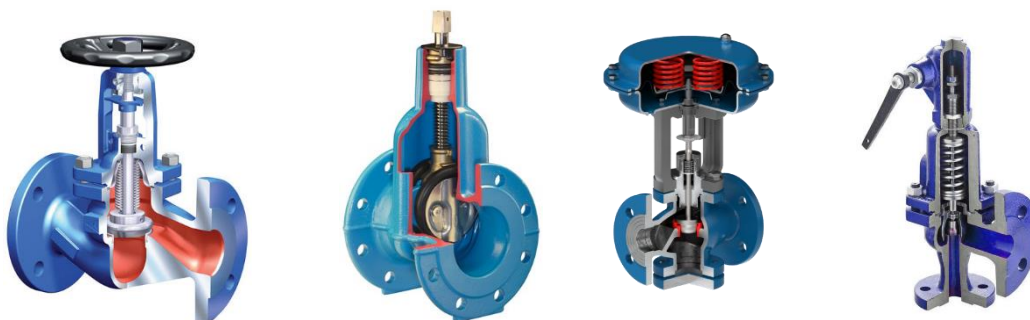
látek a hořlavin. U hydrodynamických čerpadel se mechanická energie přeměňuje nepřímo prostřednictvím změny kinetické energie tekutiny. Nejpoužívanějším typem čerpadla je odstředivé čerpadlo (centrifugal pump).

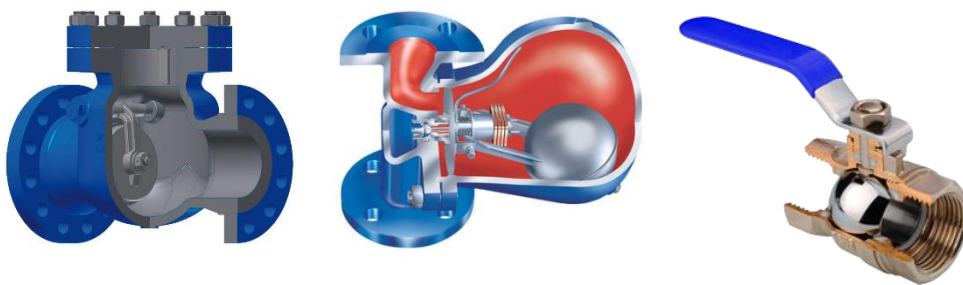


1.4. Armatury

Armatury obecně slouží k regulaci nebo změně toku dopravované látky v jednotlivých částech potrubí. Dělí se podle několika parametrů:

- **Podle funkce** – uzavírací, regulační, zpětné, pojistňovací
- **Podle ovládání** – mechanické, automatické
- Podle materiálu – litinové, ocelové a mosazné
- Podle způsobu připojení – přírubové, přivařovací, čepové, nátrubkové, hrdlové, se šroubením
- Podle polohy umístění – přímé (vodorovné a svislé), rohové





Uzavírací ventily slouží k úplnému uzavření nebo otevření cesty dopravované látky. Může se jednat například o kohouty, ventily nebo šoupátka. Kohoutem i šoupátkem může proudit kapalina v obou směrech, ventilem pouze jedním. Obecně neslouží k regulaci. Mezi uzavírací armatury patří i zpětná klapka. Při prudkém otevření či uzavření uzavírací armatury může docházet k rázům v potrubí.

Regulační ventily jsou používány pro menší průměry trubek (menší světlost potrubí). Cílem je změna světlosti potrubí.

Pojistné armatury chrání potrubí před nárůstem nebezpečně vysokého tlaku. Mohou být ovládány buď tlakem pružiny nebo tíhou závaží. V okamžiku, kdy je tlaková síla, působící na pružinu větší než síla pružiny samotné, kužel na konci pružiny se nadzvedne a odpustí část suroviny mimo tlakové potrubí.

2. Cíl práce

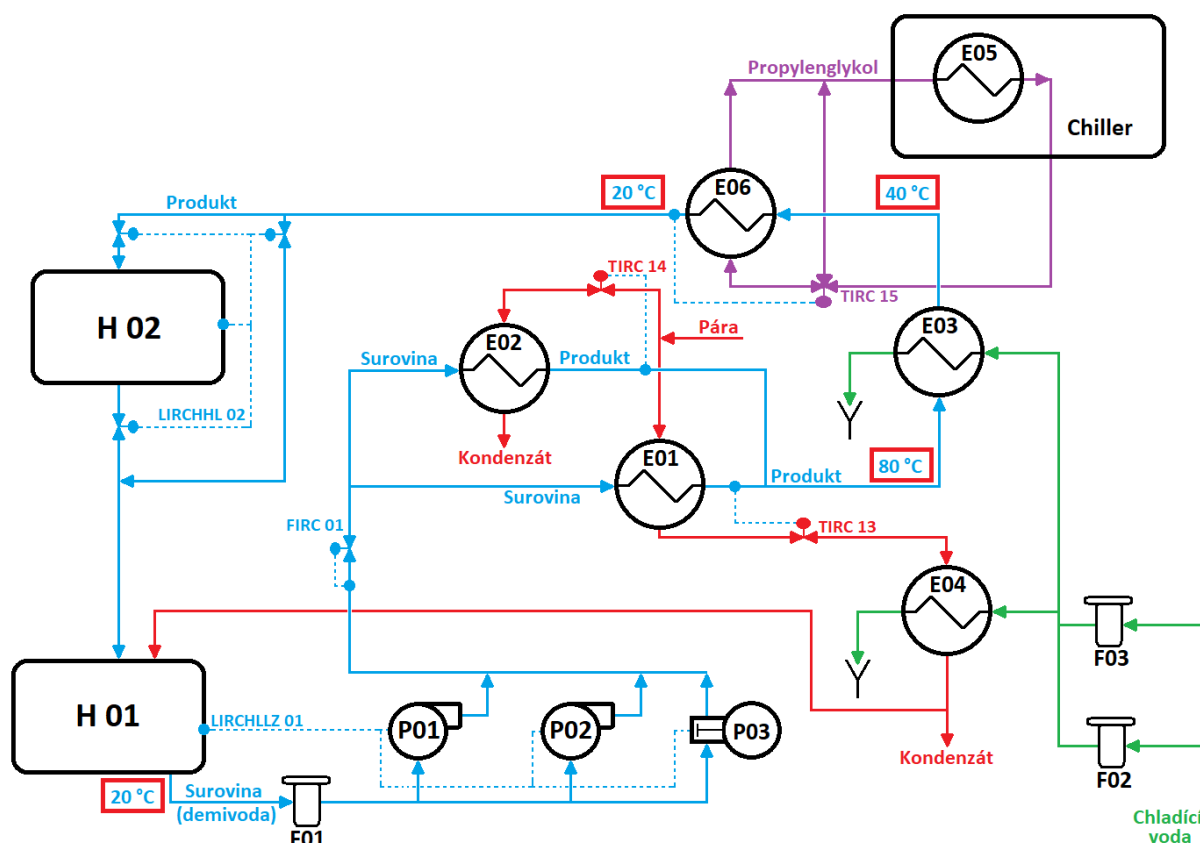
- Seznámit studenty s cvičnou jednotkou pro sdílení tepla s prvky MaR a armaturami, které jsou běžně používány v průmyslu.
- Seznámit studenty s dálkově ovládanými prvky a řízením cvičné jednotky.
- Popsat trasu suroviny-produktu s prvky MaR z PID schématu.
- Reprodukovat část cvičné jednotky v simulačním programu Aspen Plus.
- Výpočet výměníku/čerpadla.

3. Specifikace cvičné jednotky

Cvičná jednotka představuje zjednodušený technologický celek určený k nacvičení provozních postupů a kontrol zařízení. Jako hlavní surovina je použita demineralizovaná voda. Ta může být do jednotky vháněna pomocí 3 čerpadel (P), dvou odstředivých a jednoho pístového. Jednotka se skládá z 2 zásobníků (H) a 6 trubkových výměníků (E). Výměníky se liší svými technologickými parametry, specificky počtem chodů. Ohřívač E01 je čtyřchodý, ohřívač E02 je dvouchodý a výměníky E03 a E04 jsou jednochodé. Do výměníků/ohřívačů je přiváděna nízkotlaká pára (250 kPa, 139 °C). Chlazení je

zajištěno chladicí vodou (650 kPa, 25 °C) a chillerem s propylenglykolem (-5 °C). Dále můžeme na trase najít filtry (F), které zabraňují vniknutí hrubých nečistot do jednotky.

Na jednotce je několik prvků měření a regulace. Místně a dálkově je měřen průtok (FI), teplota (TI), hladina (LI) a tlak (PI). Regulovány jsou průtok suroviny (FIRC 01), ohřev suroviny (TIRC 13/14), chlazení produktu (TIRC 15) a hladina v zásobníku (LIRCHHL 02).



1.5. Najíždění a odstavování jednotky

Před najetím jednotky je důležité zkontrolovat jednotku a správně nastavit trasu suroviny-produktu. Dále jsou vyzkoušena čerpadla a jejich záskok. Před spuštěním čerpadel je nutné je zaplavit surovinou a uzavřít armaturu na výtlaku. Tím bude zajištěn stabilní tlak při najetí a bezpečné najetí čerpadla. Po uvedení čerpadla do provozu lze ventil postupně otevírat a kontrolovat průtok. Po naplnění celé trasy surovinou lze najet výměníky. Pára je do výměníků vpouštěna pomalu, aby se zabránilo rázům v potrubí. Vodní ráz je náhlé zvýšení tlaku v potrubí a je doprovázen hlasitým boucháním či klepáním jednotky. Pokud přesto k rázům dojde, je nutné s najížděním přestat a začít znovu od začátku. V provozu je vždy buď výměník E01 nebo E02, nikdy oba zároveň. Cílem této fáze je dostat na výstupu z výměníku E01 nebo E02 výstupní proud o teplotě 80 °C. Tento proud je před vstupem do zásobníku opět ochlazen na

20 °C. K dosažení této teploty je nutné použít nejen chladicí vodu, ale také tzv. chiller. Ten se uvádí do provozu ručně, pokud je teplota proudu za výměníkem E06 vyšší než 27 °C.

Při odstavování jednotky je důležité jako první vypnout přívod páry do výměníků. Při dostatečném poklesu teploty produktu je poté možné vypnout chiller. Dále lze vypnout čerpadla a zbytky produktu v potrubí jsou vytlačeny dusíkem do zásobníku, čímž je jednotka inertizována a odstavena.

1.6. Rizika spojená s provozem cvičné jednotky

Při práci na cvičné jednotce je důležité dodržovat pokyny vedoucího úlohy případně zaměstnanců Tréninkového centra.

1.6.1. Rizika spojená s použitými médii

Opaření, popálení:

- Nízkotlaká pára/kondenzát – až 140 °C
- Produkt – 80 °C
- Propylenglykol – -5 °C

Zasažení tlakem média:

- Surovina/produkt – až 600 kPa
- Nízkotlaká pára/kondenzát – 200-250 kPa
- Chladicí voda – až 850 kPa
- Dusík – 400 kPa
- Provozní vzduch – 400 kPa
- Propylenglykol – 200 kPa

1.6.2. Standardní rizika při práci v provozu

- Uklouznutí, zakopnutí – udržovat čistotu, odstraňovat vyteklé látky, bezpečná chůze.
- Propadnutí roštovými podlahami – pravidelná kontrola stavu uchycení roštů.
- Pád ze žebříku – kontrola stavu a průchodnosti žebříků, bezpečný pohyb.
- Pád předmětů – kontrola prostoru nad sebou (práce, uvolněné části zařízení atd.).
- Zimní období (uklouznutí / pád rampouchů) – aplikace posypu, odstraňování námrazy.
- Úder elektrickým proudem – kontrola stavu kabeláže el. rozvodů.
- Zachycení rotujícími částmi – kontrola zakrytování rotujících částí soustrojí čerpadel.
- Potřísnění unikající látkou – u zjištěných netěsností nevstupovat do proudu / úkapu.