



PROVOZNÍ ZKUŠENOSTI SE SYSTÉMY PROTIZÁMRAZOVÝCH OCHRAN

Ing. Karel Matějčiček

Inženýrská činnost
karel@ingmatejicek.cz

ANOTACE

V sestavách systémů technického zařízení budov (TZB) jsou prvky, jejichž celistvost může být ohrožena při styku s médii s podnulovou teplotou. Tyto prvky musí být chráněny tzv. **Protizámrazovou ochranou**. V příspěvku jsou uvedeny ty nejpoužívanější v systémech techniky prostředí.

ÚVOD

V našich podmínkách, kdy provozujeme zařízení techniky prostředí, je i období, kdy je venkovní teplota vzduchu v podnulových hodnotách, tzn. pod bodem mrazu vody. V některých případech se používá i technologie, u které i při venkovní nadnulové teplotě vzduchu, je teplota média pod bodem mrazu vody. U všech těchto systémů, kde dochází ke styku s vzdušnou vlhkostí nebo přímo s vodou jako náplní systémů, se musí zrealizovat protizámrazová ochrana, která chrání tato zařízení před problémem s provozováním, v některých případech přímo před destrukcí tohoto zařízení vlivem podnulové teploty. Použití protizámrazové ochrany je různé dle druhu provozovaného zařízení. Dále jsou uvedeny ty nejpoužívanější.

VZT ZAŘÍZENÍ PRO ZPĚTNÉ ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA REKUPERACÍ / REGENERACÍ

Zařízení pro zpětné získávání tepla může být instalováno buď jako součást klimatizačních jednotek jednotlivých vzduchotechnických (VZT) zařízení, nebo jako součást zařízení pro centrální úpravu vzduchu. Z hlediska maximálního využití odpadního tepla je výhodnější instalace v systémech centrální úpravy vzduchu pro celou strojovnu s VZT jednotkami. Tímto řešením je využito teplo i vlhkost z veškerého dostupného odpadního vzduchu a zároveň pro veškerý potřebný přívodní vzduch. U VZT zařízení pro vzduchem chlazené technologie s trvalými zdroji tepla je navíc vhodné nasávat čerstvý vzduch pro tyto jednotky před rekuperátorem na straně přívodu, zatímco odtahovaný vzduch je veden do společného odtahu před rekuperátor na straně výdechu. Tyto jednotky by měly být vybaveny směšovací komorou, která umožní namíchání požadované teploty jak v zimním, tak v letním provozu. Jednotky nemusí být osazeny ohřívačem, ale pouze chladičem, a to v následujícím uspořádání: směšovací komora, přívodní ventilátor (zajišťující promíchání obou vzduchových proudů na požadovanou teplotu a současně eliminující riziko zamrznutí chladiče) a následně chladič. V případě požadavku na odvlhčování v letním období při současném omezení minimální teploty přívodního vzduchu je nutné za chladič doplnit dohřívač, případně zónový ohřívač. Tímto způsobem se v centrální úpravě zbytečně neohřívá vzduch pro vzduchotechnická zařízení které to nepotřebují, a současně je maximálně využito veškeré dostupné teplo z odtahovaného vzduchu všech jednotek pro ohřev, event. ochlazení přívodního vzduchu rekuperací / regenerací.

Deskové výměníky křížové/protiproudé vzduch – vzduch

Tyto výměníky musí být vždy dodány s obtokem na straně čerstvého vzduchu, který je propojen s uzavírací klapkou na straně přívodu vzduchu do výměníku (mechanicky, elektronicky). Důvodem je to, že existují provozní období, kdy je zpětné získávání tepla nežádoucí. V přechodných obdobích totiž můžeme chladit pomocí venkovního vzduchu, a bez této možnosti by to nebylo možné. Obtok navíc slouží jako součást protizámrazové ochrany, protože umožňuje odmrazit namrzlou vlhkost v části výměníku určené pro odtahovaný vzduch.

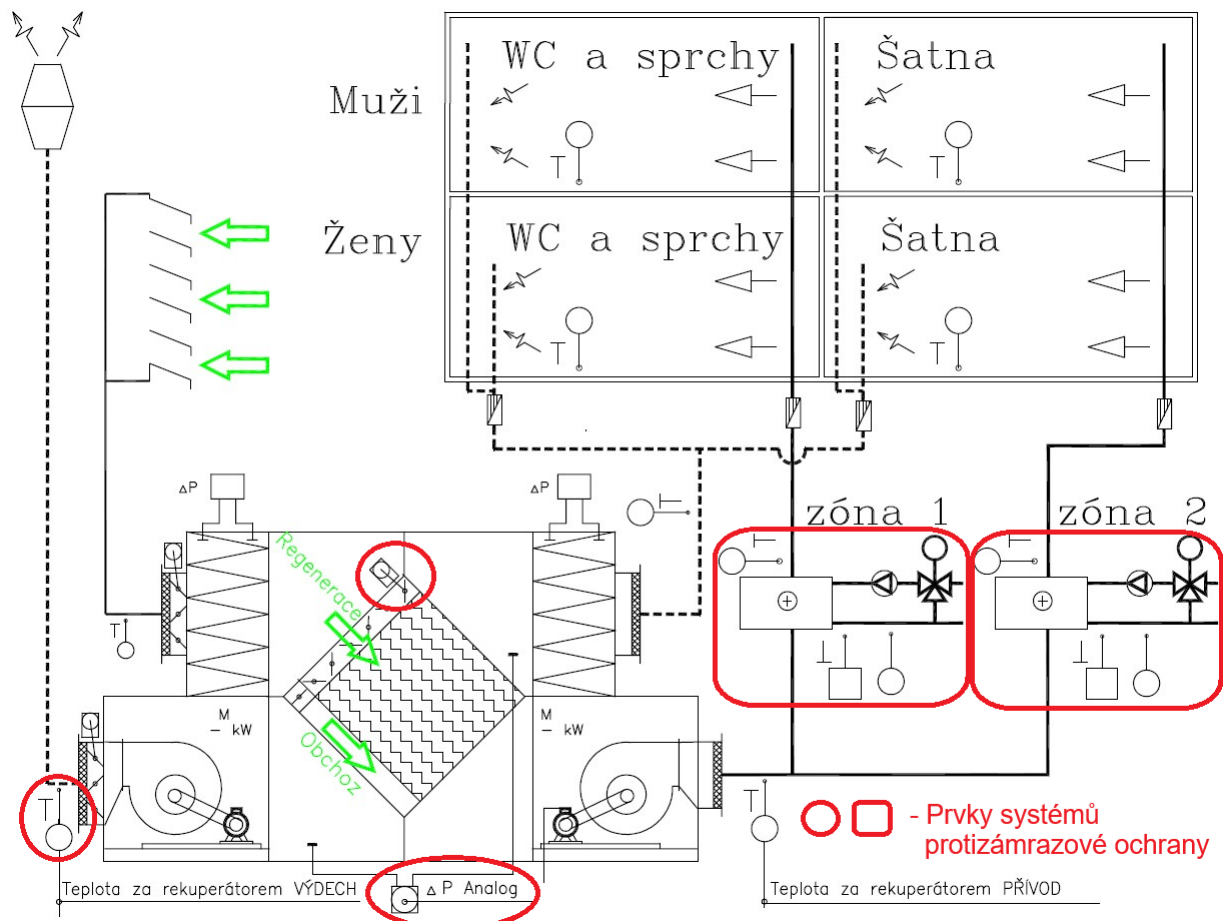
Protizámrazová opatření se zaměřují na omezení namrzání vzdušné vlhkosti z odtahovaného vzduchu a pokud již k namrzání došlo, tak jeho odtání. V provozu se používají dva systémy:

1. Regulace teploty vzduchu výdech za rekuperátorem

Vzhledem k riziku namrzání vlhkosti z odtahovaného vzduchu na vnitřních stěnách rekuperátoru v části odtah v zimním období, se plynule reguluje teplota odtahovaného (výdechového) vzduchu z rekuperátoru otevíráním obtoku čerstvého vzduchu na přívodu vzduchu do rekuperátoru. Tato regulace má přednost před řízením teploty přívodního vzduchu za rekuperátorem. Konkrétní hodnota teploty se doladuje při provozu v zimním období. Ve většině případů, kdy nemá odtahovaný vzduch vysokou měrnou vlhkost, není tato regulace nutná a je možné částečné namrznutí povolit s následným odtáním namrzlé vlhkosti.

2. Snímání tlakové ztráty rekuperátoru na straně odtahovaného vzduchu

Při zvýšení tlakové ztráty na výměníku v části odtahovaného vzduchu důsledkem namrzání vzdušné vlhkosti, například o 100 Pa nad běžnou provozní hodnotu (obecně by tuto mezní hodnotu měl stanovit výrobce), je nutné otevírat obtok rekuperátoru na straně čerstvého studeného vzduchu a umožnit tak odmrazení vzniklé námrazy teplým odtahovaným vzduchem. Po poklesu tlakové ztráty se obtok opět uzavře, případně se nastaví do stavu před zásahem protizámrazové ochrany. Přípustná tlaková ztráta musí být vždy nižší než maximální tlaková ztráta stanovená výrobcem pro tuto část výměníku.



Obr. 1 Prvky protizámrazové ochrany u deskového výměníku se zónami

Pokud vzduchotechnická jednotka s rekuperací nezajistí celoročně udržení teploty přívodního vzduchu za rekuperátorem v nadnulových hodnotách, musí být protizámrazovou ochranou vybavena také navazující zařízení. Typickým příkladem jsou ohřivače, zónové ohřivače. Pokud tam bude pouze chladič, měl by být až za ventilátorem přívod (zajistí teplotní homogenizaci přívodního vzduchu). V tom případě by měl být ventilátor odtah také za rekuperátorem.

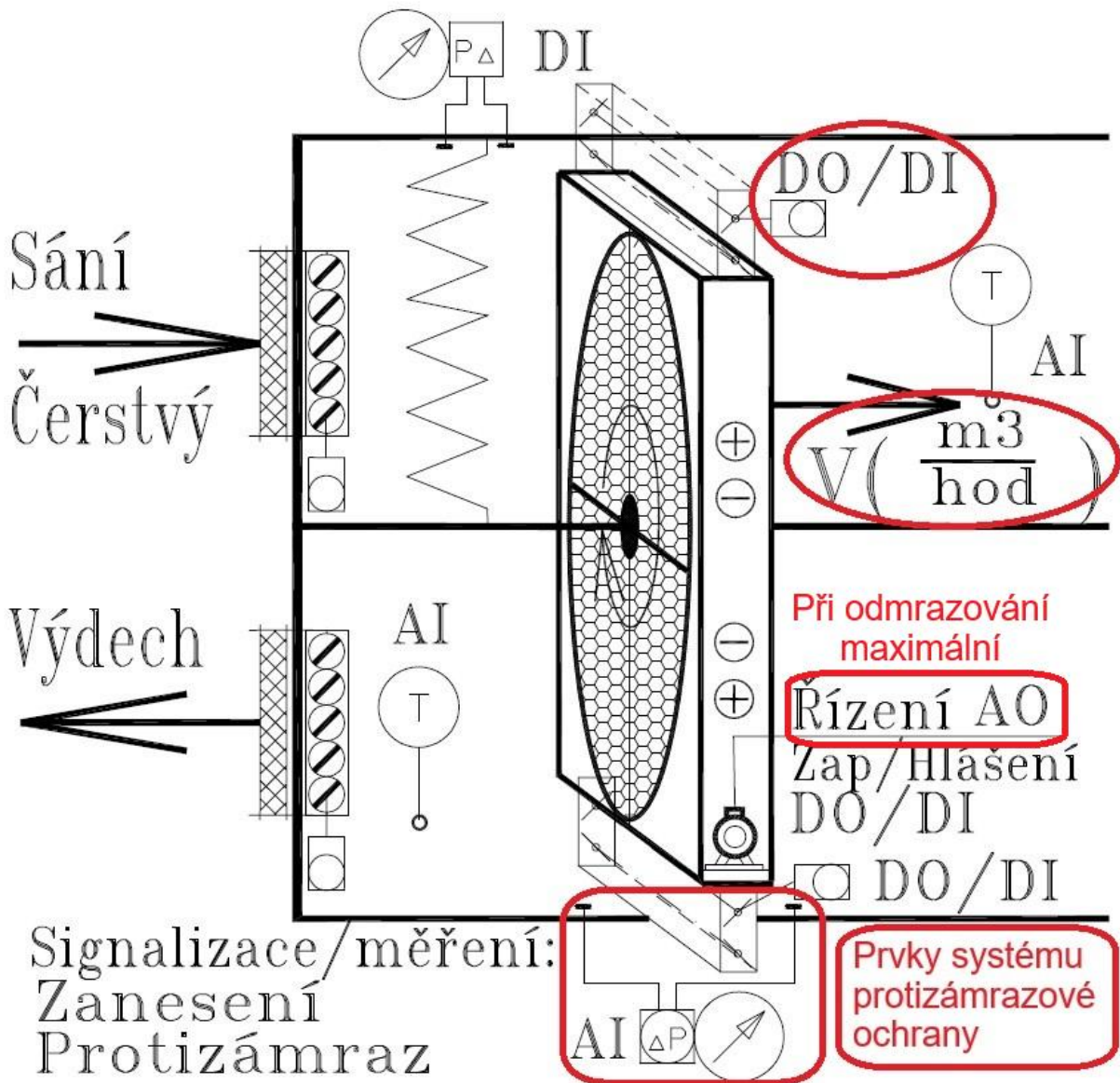
Také u deskových křížových výměníků záleží na umístění ventilátorů vůči vlastnímu výměníku. Ideální je, aby v obou sousedících komorách výměníku panoval buď podtlak, nebo přetlak. Pokud při provozu dochází k výraznější kondenzaci v části odtahu, musí být odtahový ventilátor vždy umístěn za výměníkem, aby v této oblasti byl podtlak a zabránilo se úniku kondenzátu netěsnostmi z jednotky. V takovém případě je vhodné, z důvodu minimalizace tlakového rozdílu mezi sousedními komorami přívodu, umístit za výměník také přívodní ventilátor. Obecně platí, že každý výrobce stanovuje maximální povolené přetlaky nebo podtlaky v jednotlivých komorách výměníku a maximální diferenční tlak mezi sekcemi přívodu a odtahu. Tyto hodnoty je nutné dodržet. Ideální stav nastává tehdy, když oba ventilátory vytvářejí v komorách shodně buď přetlak, nebo podtlak. Pokud se přetlak či podtlak v jednotlivých sekcích liší, dochází za provozu k deformacím jednotlivých desek a k výraznému nárůstu tlakové ztráty v části, kde je přetlak nižší event. podtlak vyšší oproti sousední sekci. A to dost značně.

Pokud za výměníkem je následující díl ventilátor, je vhodné umístit snímač teploty až za ventilátor. Bude měřit skutečnou (homogenizovanou) teplotu.

Rotační rekuperační/regenerační výměníky

Pokud to je technicky možné, je ekonomicky výhodnější, osadit rotační regenerační výměníky do centrální úpravy vzduchu a s přenosem entalpie (regenerace vzduchu). Tento požadavek je mnohdy dostačující na splnění požadované vlhkosti mikroklima prostorů v zimním období, bez nutnosti instalace zvlhčovacího zařízení do vlastních jednotek. Dále je vhodné opatřit rotační výměníky na přívodní i odtahové straně obchozy vzduchu s těsnými uzavíracími klapkami. Sníží se tak energetická náročnost ventilátorů v přechodném období, a navíc obchod na straně přívodu čerstvého vzduchu bude součástí funkce protizámrazové ochrany kola.

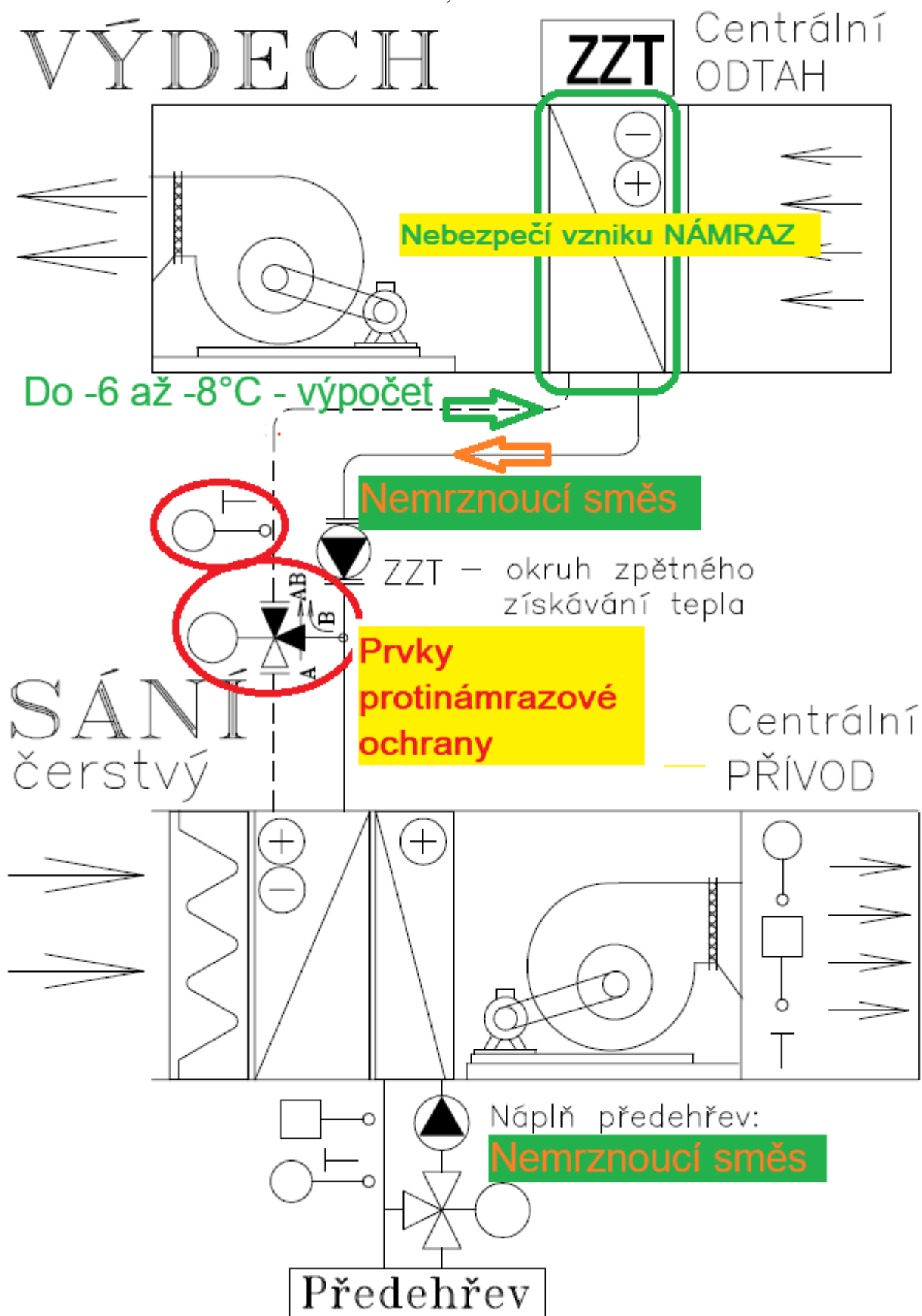
Protizámrazová opatření: Snímat analogovým snímačem tlakovou ztrátu kola na straně odtahovaného vzduchu. Při nárůstu této tlakové ztráty o cca 100Pa oproti provozní tlakové ztrátě (měl by stanovit výrobce – nesmí překročit povolenou tlakovou ztrátu kola výrobcem), snížit množství přívodního studeného vzduchu procházejícího RRV. Např. snížit otáčky přívodního ventilátoru, event. otevřít obchod RRV s čerstvým vzduchem a tuto námrazu odtahovaným teplým vzduchem odtát. Výkon RRV/otáčky kola musí být trvale maximální – požadujeme maximální výkon RRV. Po poklesu tlakové ztráty množství vzduchu vrátit na původní hodnotu.



Obr. 2 Prvky protizámrazové ochrany u rotačního výměníku – označeno červeně

Kapalinové okruhy zpětného získávání tepla ZZT.

Kapalinové okruhy zpětného získávání tepla musí být naplněny nemrznoucí směsí (hovorově glykolem) a běžně pracují v podnulových teplotách. Místo, kde může docházet k nežádoucímu namrznání vzdušné vlhkosti na a mezi lamelami jsou výměníky Glykol / Vzduch ve výdechu. Při požadavku na výpočet a návrh výměníku ZZT je nutno požádat o výpočet hodnoty minimální teploty glykolové náplně pro výměníky umístěné ve výdechu, při které nehrozí namrznání lamel výměníku. Ve většině případů nám byla vypočítaná hodnota minimální teploty glykolu pro výměníky ve výdechu stanovena na -6 až -8°C . Teprve pod touto teplotou glykolu přívod do výměníků v odvodu je nutno směřovat ohřátý glykol z výstupu výměníků do přívodní větve glykolu výměníků pro výdechovou část systému ZZT. Samozřejmostí je, že veškerá čerpadla jsou s řízeními otáčkami kola.

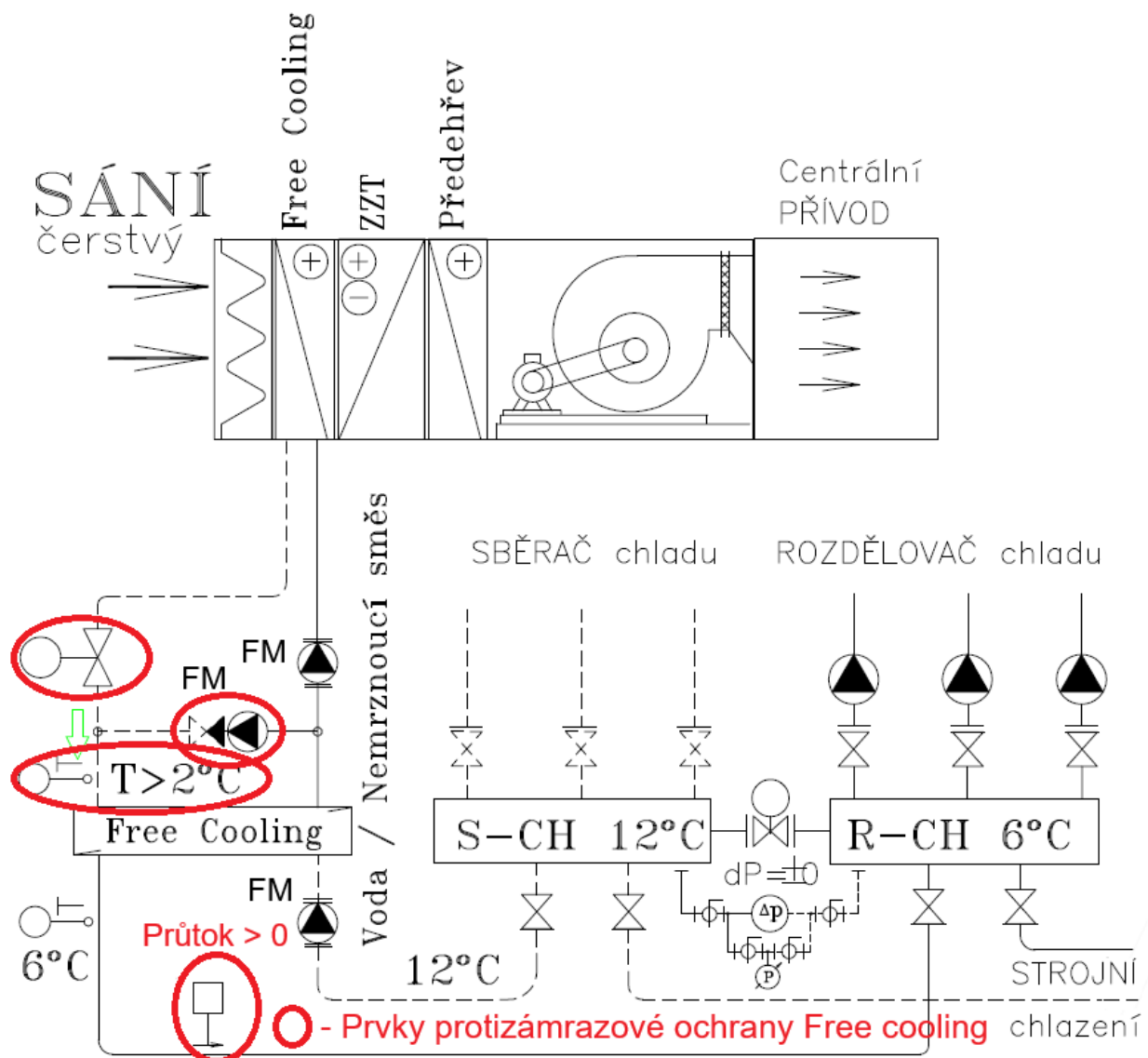


Obr. 3 Prvky protinámrazové ochrany systému ZTT

Volné chlazení – Free Cooling

U systému volného chlazení (Free Cooling) se chlazená voda vyrábí využitím venkovního studeného vzduchu nebo jiného přirozeného zdroje chladu, a nikoliv např. mechanickým

chlazením kompresorem. Ideální je, pokud lze ohřátý (resp. předehřátý) venkovní vzduch po průchodu chladicím výměníkem dále využít pro vytápění nebo větrání objektu. Např. pro větrání garážových stání nebo jako přívod do sání vzduchotechnických jednotek. A to buď přímo pro VZT jednotky nebo jako součást centrálního předehřevu. V tom případě nebezpečí zamrznutí hrozí ve výměníku Glykol/Chlazená voda. Protizámrazová ochrana se řeší na straně glykolu tak, aby teplota glykolové směsi vstupující do výměníku neklesla např. pod $+2^{\circ}\text{C}$ a při tom byl zajištěn trvalý průtok na straně chlazené vody. Pro tuto regulaci se nám v praxi osvědčilo zapojení smyčky systému s čerpadlem „v malém okruhu“. Je to obdoba „VSTRÍKOVÁNÍ“ - jeden z mála případů, kdy je tento systém zapojení výhodnější oproti třicestnému ventilu se směšováním. Čerpadlo malého okruhu se dimenzuje cca na $\frac{1}{4}$ až $\frac{1}{3}$ celkového průtoku a je v provozu až v čase, kdy teplota glykolu na přívodu do výměníku klesne pod $+4^{\circ}\text{C}$. Množství se počítá z požadovaného celkového chladicího výkonu při nízkých venkovních podnulových teplotách. Okruh je vhodné doplnit na přívodu glykolu do smyčky regulačním dvoucestným ventilem (RV). Je možné nainstalovat i uzavírací klapkou se servopohonem s AO řídicím signálem (máme vyzkoušeno hlavně u větších dimenzí). Tato klapka/RV se postupně uzavírá, když otáčky hlavního čerpadla okruhu jsou na minimálních otáčkách (řídicí signál 0%) a čerpadlo malého okruhu na maximálních otáčkách (signál 100%). To vše od řídicího signálu „Teplota chlazené vody“ např. 6°C a min. teplota glykolu vstup 2°C .



Obr. 4 Prvky protizámrazové ochrany Free Cooling

VZT ohřivače Voda/Vzduch pro podnulové venkovní teploty vzduchu

Tyto ohřivače jsou používány jako první v pořadí v sestavách klimatizačních jednotek, pokud nemá strojovna centrální předehřev nebo v zařízeních pro centrální úpravu vzduchu. U těchto

zařízení je nutno řešit problémy s nebezpečím zamrznutí registrů a s náchylností na kmitání regulace při venkovních podnulových teplotách. Je nutno zabránit zamrznutí vody v trubkách registru těchto ohřivačů dodržováním uvedených zásad:

Ohřivač nadimenzovat na menší teplotní spád voda / vzduch

Ohřivač nadimenzovat na menší teplotní spád voda / vzduch, se vstupní teplotou vody nižší, než je teplota vody ve zdroji (Nižší střední teplota ohřivače). Regulaci tohoto rozdílu teplot otopné vody a teploty vstupu do ohřivače provést zkratem s ručním regulačním ventilem před trojcestným regulačním ventilem s pohonem (tzv. konstantní vstřikování) a trojcestný směšovací regulační ventil nadimenzovat jen na množství otopné vody z rozdílu teploty vody na zdroji a teploty zpátečky do zdroje. Zdůvodnění: Velmi často dochází k zamrznutí ohřivače při teplotách těsně pod nulou a startu/najíždění zařízení (většinou zákmitem regulace), kdy vstupující otopná voda do ohřivače o vyšší teplotě stačí vzduch ohřát již v horních částech registru a v dalších částech dochází k vychlazení na velmi nízkou teplotu.

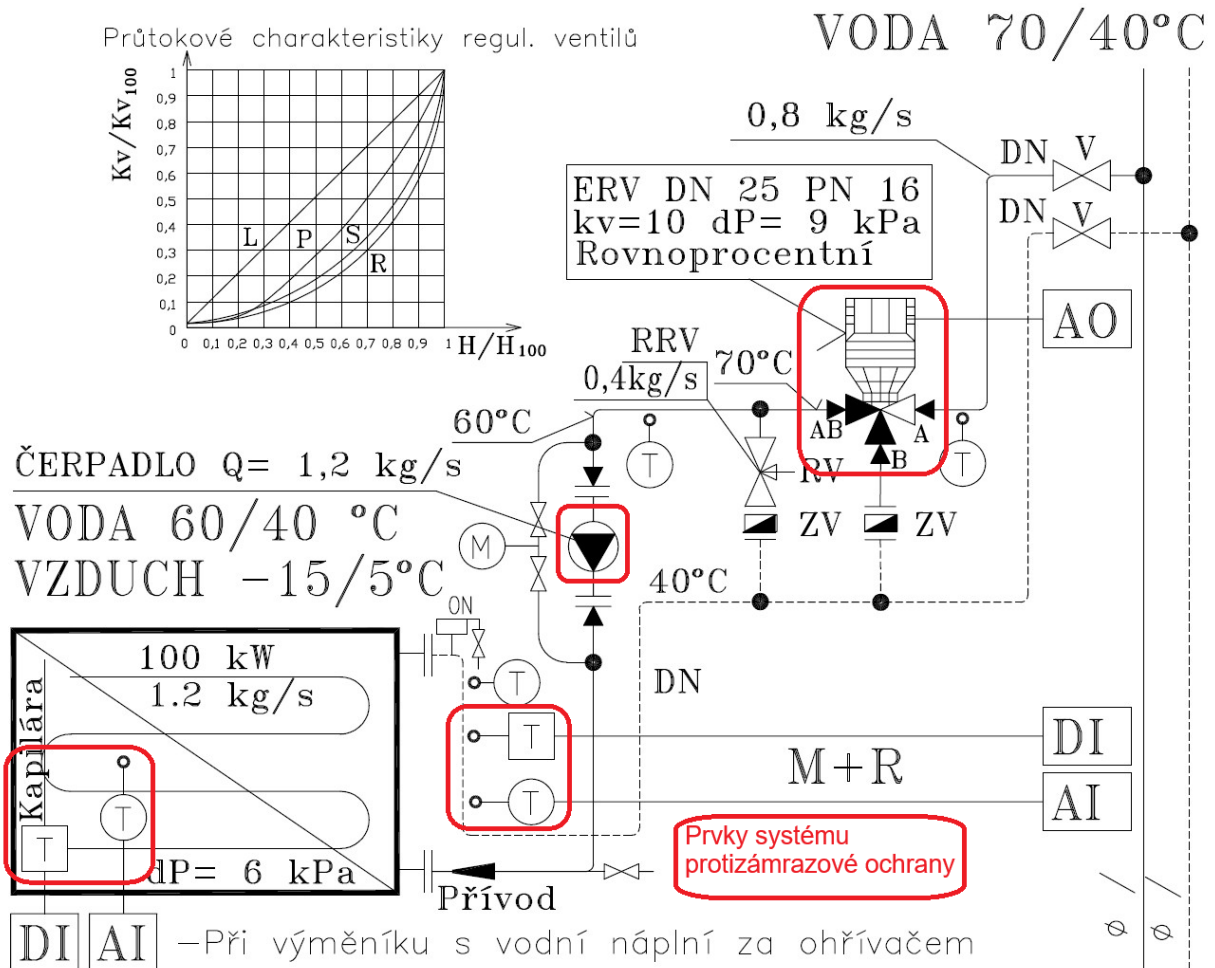
Zapojení „Protiproud“

Ohřivač zapojit v proudění Voda/Vzduch v protiproudu. Požadovat přívod do ohřivače v dolní části výměníku (dochází k samočinnému odvodu vzduchu ohřivače do výstupu vody z ohřivače).

Kvalitativní regulace otopné vody s čerpadlem v okruhu

Pro ohřivač použít samostatný otopný okruh s čerpadlem, trojcestným regulačním směšovacím ventilem, propojem pro zaregulování nominálního průtoku přimíchávání zpátečky do přívodu s cílem „namíchat“ požadovanou přívodní max. teplotu, zpětnými klapkami a teplotními čidly ve zpátečce a za ohřivačem. Dle požadované teploty přívodního vzduchu (kaskáda PID, PID z regulace prostorové teploty) regulovat teplotu vody ve zpátečce do hodnoty $+8^{\circ}\text{C}$ a vzduchu do 5°C – při instalaci chladiče za ohřivačem. Čerpadlo musí být trvale v chodu při venkovních podnulových teplotách (volím $+1^{\circ}\text{C}$ a méně). Tím se zachová trvale konstantní průtok otopné vody okruhem ohřivače při podnulových teplotách a odstraní se nebezpečí „nezatečení“ otopné vody do některé z trubiček výměníku. Důležitá je i průtoková charakteristika trojcestného regulačního ventilu. Měla by zajistit, aby předávaný výkon ohřivače byl lineární s vstupním signálem pro regulační ventil. Většinou se volí „Rovnoprocenní“. U regulačních ventilů od Fy LDM požadovat charakteristiku „LDMspline“. Tato charakteristika byla vytvořena výrobcem speciálně pro tyto ohřivače – křivka „S“ v charakteristice Obr. 5.

Pozn.: Pokud je požadavek na co největší vychlazení zpátečky otopné vody (kondenzační kotle, tepelná čerpadla), je možné do třetí cesty regulačního ventilu vložit uzavírací armaturu s elektropohonem a tuto otevřít jen při požadavku na protizámrazovou ochranu současně s trvalým chodem čerpadla smyčky od venkovní teploty. Při nadnulových teplotách se cirkulační čerpadlo malého okruhu většinou nemusí vůbec spínat. Výjimečně jen tehdy, když je regulační ventil otevřený nad 95% - autorem vyzkoušeno v provozu na několika instalacích.



Obr. 5 Blokové schéma algoritmu části protizámrazové regulace pro zajištění minimální teploty vody zpátečky z předehřevu a vzduchu za předehřevem

Vypínání integračního členu při stojícím zařízení

Při stojícím zařízení je vhodné vypínat integrační člen **I** u regulátorů **PID** a celou soustavu regulovat jen regulátorem **P**. Integrační člen uvolnit po startu zařízení. Např. od chodu přívodního ventilátoru. To zajistí i minimální teplotu uvnitř VZT jednotky a současně i nedovolí přehřátí prostoru v VZT jednotce.

Protizámrazová ochrana - hlídání chodu čerpadla a ochrana následného výměníku

Ve zpátečce otopné vody v místě snímače teploty nainstalovat regulátor teploty (tzv. termostat), s možností nastavení vypínací teploty na hodnotě 5°C (regulace je na 8°C) a povolené přehřátí do 70°C (podmínka nutná – běžné regulátory jsou většinou do max 50°C a při vyšší teplotě dojde k jejich destrukci). Tento regulátor zapojit přímo do silového ovládání přívodního ventilátoru, který bude tento ventilátor vypínat.

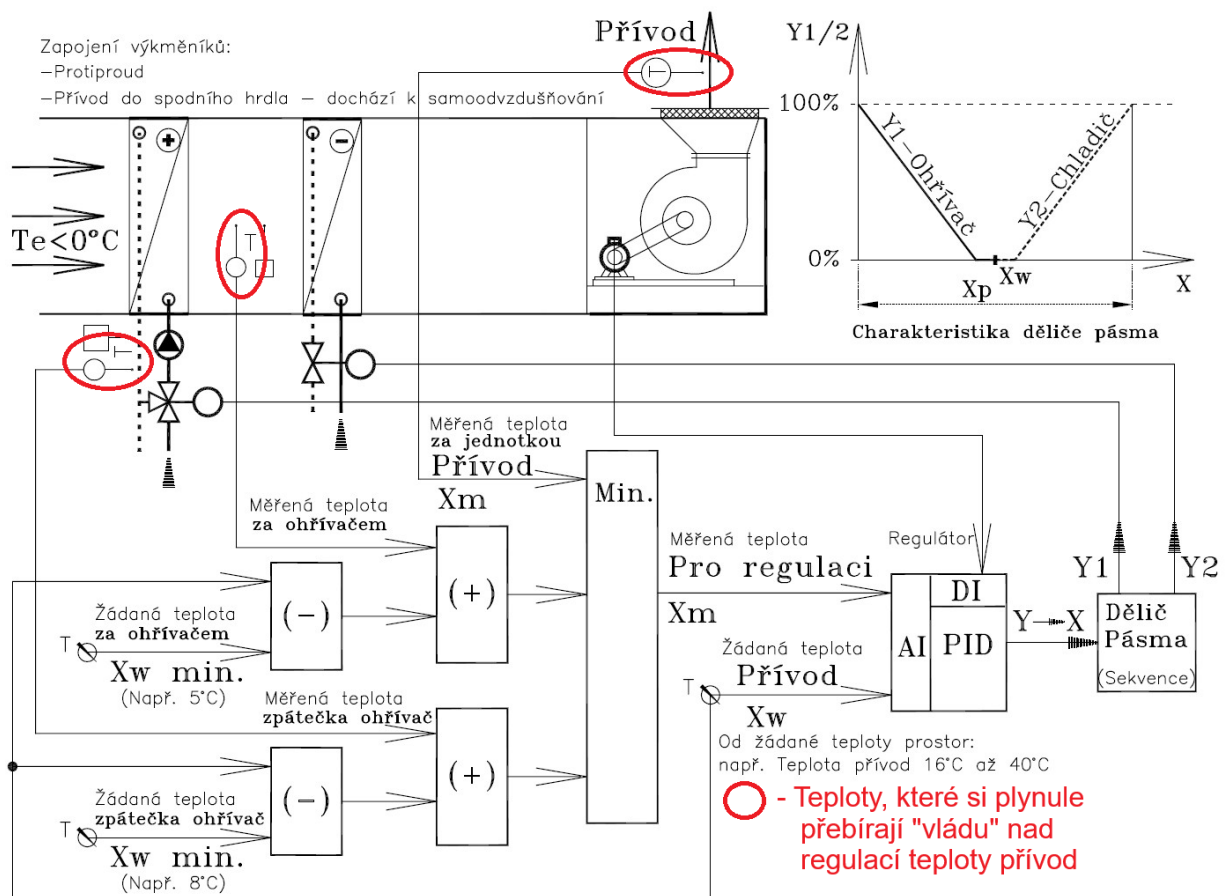
Za ohřivačem do proudu vzduchu nainstalovat regulátor teploty kapilárový, s možností nastavení vypínací teploty na hodnotě +1°C až 3°C (regulace je na 5°C). Tento regulátor zapojit také přímo do silového ovládání přívodního ventilátoru, který bude tento ventilátor vypínat. Při venkovních podnulových teplotách tento regulátor „hlídá“ chod cirkulačního čerpadla a zabrání zamrznutí event. následného výměníku voda vzduch (např. vodního chladiče) v sestavách klimatizačních jednotek při jeho poruše.

Pokud má VZT jednotka směšování, zapůsobení těchto protizámrazových ochrany vypíná pouze přívodní ventilátor a zajistí přestavení směšovačích klapky na 100% cirkulaci (0%čerstvého vzduchu) - většinou automaticky od signálu přívodní ventilátor „Stůj“. Tak se VZT jednotka okamžitě „naplní“ teplým odtahovaným vzduchem a zabrání dalšímu působení chladného vzduchu na zařízení. U VZT zařízení bez směšování, zapůsobení těchto protizámrazových ochrany vypíná přívodní ventilátor a zajistí uzavření klapky na sání. Ventilátor odtahu se v tomto případě od tohoto signálu vypínat může, ale nemusí. Záleží vždy na konkrétním

prostoru – musí posoudit projektant, event. provozovatel příslušného zařízení (např. zajistit minimální větrání pro lidi vytvořením podtlaku v prostoru).

Zapůsobení těchto ochran nastává převážně v zimním období při startu zařízení, kdy relativně mohutný chladič plný oteplené chladené vody má teplotu prostoru strojovny. Tento chladič nám těsně po startu ohřívá přivádějící vzduch tak, že regulace má snahu úplně uzavřít regulační ventil ohříváče. Proto je nutné v tomto případě vždy hlídat minimální teplotu vzduchu za ohříváčem. Jak analogově (měření pro regulaci), tak digitálně (protizámrazová ochrana, která aktivuje vypnutí přivodního ventilátoru).

Pro zajištění minimální hodnoty měřené teploty za ohříváčem a ve zpátečce ohříváče, není nutný samostatný regulační obvod. Jeho použití je ve většině případů nevhodné, protože není k dispozici vhodný signál pro vypnutí integračního členu tohoto obvodu v době, kdy tato regulace není třeba – je dostatečně teplá voda v místě snímače teploty. Tím pak dochází během provozu k naintegrovaní výstupu mimo požadovanou oblast regulace, a když dojde k poklesu teploty pod minimální teplotu, nezačne otevírat regulační ventil dřív, než dojde k poklesu teploty pod žádanou teplotu. Ale to je již pozdě. Zapůsobí regulátor protizámrazové ochrany a zařízení odstaví z provozu. Vhodnější je tyto teploty zavést do modulů (+), přičíst k nim velikost rozdílu teplot mezi hodnotou minimální teploty vystupující z celého zařízení, na které je zařízení regulováno a hodnotou minimální teploty za ohříváčem/ve zpátečce. Tento součet zavést do modulu pro výběr minimální hodnoty, do kterého se také zavede teplota vzduchu vystupující z celého zařízení, na které je zařízení regulováno. Výstup z tohoto modulu výběru minima se zavede jako měřená hodnota do obvodu regulátoru celého zařízení. Tím bude docházet k plynulému „přebírání teplot“ různých teplotních snímačů do vstupu jednoho regulátoru, od kterých bude celý systém regulován. Viz blokové schéma Obr. 6.



Obr. 6 Blokové schéma části protizámrazové regulace pro zajištění minimální teploty vody zpátečky z předehřevu a vzduchu za předehřevem

Např. Teplota Přívod je požadována např. 20°C. Tzn., je-li teplota za ohříváčem (žádaná je 20-5=15) nižší jak 5°C (5+15=20°C), přebírá plynule řízení teplota za ohříváčem.

Musí být zajištěno:

Protizámrazové opatření: Od poklesu venkovní teploty po $+1^{\circ}\text{C}$ zapnout trvale cirkulační čerpadlo malého okruhu ohřívače a regulační ventil ohřívače řídit tak, aby teplota ve zpátečce ohřívače byla trvale 8°C a víc. A je jedno, zda je VZT zařízení v chodu nebo v klidu

Protizámrazová ochrana: Od poklesu teploty ve zpátečce ohřívače pod 5°C a teploty vzduchu za ohřívačem pod 3°C (a je jedno, zda od kontaktu regulátorů teploty nebo od snímače měření teploty) zajistit:

- Povel pro start cirkulačního čerpadla malého okruhu (duplicitně od signálu z venkovní teploty)
- Přestavit regulační ventil na hodnotu min. 50% (výběr minima)
- U zařízení se směřováním vzduchu vypnout přívodní ventilátor a přestavit klapky na 100% cirkulace (směšování). Odtahový ventilátor nechat v provozu (naplní nám VZT jednotku teplým vzduchem)
- U zařízení bez směšování vypnout přívodní ventilátor a uzavřít klapku na sání čerstvého vzduchu. Ventilátor odtahu se od tohoto signálu vypínat může, ale nemusí. Záleží vždy na konkrétním prostoru – musí posoudit provozovatel příslušného zařízení (např. zajistit minimální větrání pro lidi vytvořením podtlaku v prostoru apod.)

ZÁVĚR

Protizámrazová ochrana technického zařízení budov (TZB) představuje základní prvek pro zajištění dlouhodobě spolehlivého, bezpečného a energeticky efektivního provozu. Nízké teploty mohou způsobit vážné technické poruchy, od prasknutí potrubí přes poškození armatur, výměníků, až po odstávky celých technologických celků. Tyto situace zpravidla vedou nejen k vysokým finančním ztrátám, ale i k ohrožení komfortu uživatelů objektu a v některých případech i k narušení bezpečnosti provozu. Opatření popsána v textu vycházejí z celoživotních praktických zkušeností autora s reálným provozem budov a jejich technických zařízení. Patří mezi ně správné technologické návrhy, jak technologických celků, tak regulace, včetně kontroly provozních stavů, pravidelná údržba a revize. Před zimním obdobím je vždy nezbytné fyzické ověření funkčnosti všech aktivních prvků protizámrazové ochrany, například pomocí mrazicího spreje. Samostatnou kapitolou je implementace monitoringu s včasným hlášením rizikových stavů. Důležitým aspektem technologických návrhů je již na začátku koordinace mezi projektanty, montážními firmami a provozovateli, která zajišťuje, že návrh i provedení ochranných opatření odpovídají skutečným potřebám objektu. Nedílnou součástí je také důsledná dokumentace a školení obsluhy, aby personál dokázal rychle reagovat na mimořádné situace a správně vyhodnocovat provozní signály.

Komplexní přístup k protizámrazové ochraně je investicí, která se dlouhodobě vyplácí. Přináší jistotu stabilního provozu, prodlužuje životnost technických zařízení a minimalizuje riziko havárií v období nízkých teplot. Výše popsané postupy představují osvědčené způsoby, jak těchto cílů dosáhnout a zajistit tak spolehlivou funkci TZB i v nejnáročnějších klimatických podmínkách.

Kontakt na autora a další podklady a publikace k uvedené problematice:

karel@ingmatejicek.cz

<https://www.ingmatejicek.cz/>