

Rubrika: xxx

Ing. Ondřej Nehasil

Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze

Ing. Daniel Adamovský Ph.D.

Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze

Automatická detekce a diagnostika poruch ve vzduchotechnických jednotkách.

Recenzent

Jméno recenzenta vč. titulů

Článek představuje expertní systém pro automatickou detekci a diagnostiku poruch vzduchotechnických (VZT) jednotek na základě expertních pravidel pracujících s kontinuálně sbíranými daty. Nástroj umožňuje odhalovat chybně provozované VZT stroje, které buďto spotřebovávají více energie než je nutné, nebo nedokáží zajistit komfort uživatel, případně jsou provozovány v režimech nevhodných z hlediska jejich životnosti. Tato analýza probíhá bez intervence lidského operátora.

Základem pro aplikaci expertního systému je přístup k datům v cloudovém dispečerském systému Mervis, dále standardizace dat z měření a regulace, na kterou navazuje aplikace expertních pravidel. Ta se obvykle opírají o známou kombinaci měřených hodnot, na které je možné ověřit správnou funkci jednotky například pomocí zákonů o zachování hmoty a energie.

Na základě této průběžné analýzy lze identifikovat chybný provoz jednotek a vytyčit potenciál úspor energie, který se nalézá v nehospodárném provozu stávajících zařízení. Rovněž umožňuje identifikovat vliv špatného provozu vzduchotechnického zařízení na kvalitu vnitřního prostředí a na životnost zařízení.

Záměrem expertního systému je vytvořit podporu pro správu budov s velkým počtem vzduchotechnických zařízení. Představovaný systém zatím pokrývá jednodanálové jednotky. Ověřovací analýza na skutečných jednotkách prokázala schopnost identifikovat chybné nastavení regulace jednotek či technické závady se značným dopadem na spotřebu energie.

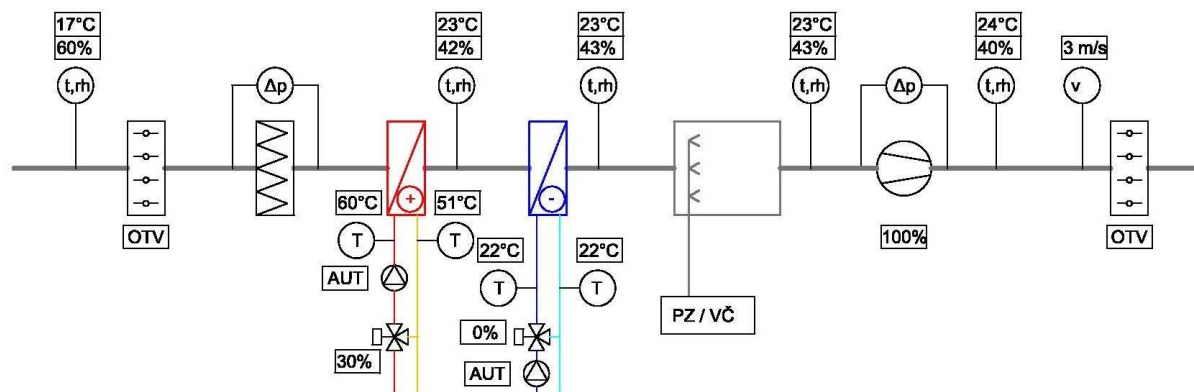
Klíčová slova: *diagnostika, AFDD, větrání, klimatizace, kontrola, chyba, provoz*

ÚVOD

Vzhledem k přibližně 40% podílu budov na celkové spotřebě energie [1], není překvapivé zjištění vycházející z výstupů IEA Annexů 25 [2] a 34 [3], že mnohé systémy technických zařízení budov jsou špatně udržované a nesprávně provozované, ačkoli nucené větrání je strojní zařízení, o které je potřeba se odpovídajícím způsobem starat [4]. Důsledkem jsou energetické ztráty ve výši 15-30 % v komerčních budovách [5], [6]. Moderní administrativní budovy mají poměrně značný potenciál pro to, aby byly provozovány s minimálními energetickými nároky [7]. Účinné a úsporné technické zařízení budov vč. systémů vzduchotechniky jsou podmínkou k minimalizaci celkové spotřeby energie. To ovšem vyžaduje automatický monitorovací systém s detekcí chyb vzniklých při provozu. Dnes je k dispozici několik možností, které mají původ v řízení průmyslových procesů a obvykle se sjednocují pod metody tzv. fault detection and diagnostics (dále FDD), neboli metody detekce a diagnostiky chyb.

V aplikaci ve vzduchotechnice nabízí FDD podporu v identifikaci chybných stavů centrálních i koncových jednotek a tím dosažení významné energetické i finanční úspory při nízkých nákladech [8].

ČVUT UCEEB, ve spolupráci s firmou Energocentrum Plus s.r.o. vyvíjí expertní systém pro automatickou kontrolu a detekci chyb v centrálních větracích a klimatizačních jednotkách. Vzduchotechnické jednotky mohou nabývat mnoha podob a sestav, od jednonábových větracích, až po komplexní vícenábových klimatizačních zařízení se zpětným získáváním tepla. Pravidla pro diagnostiku jednonábových jednotek nemusí platit pro klimatizační zařízení, a naopak. Tato práce se zaměřuje na diagnostickou větev jednonábových přívodních jednotek, podle Obr. 1.

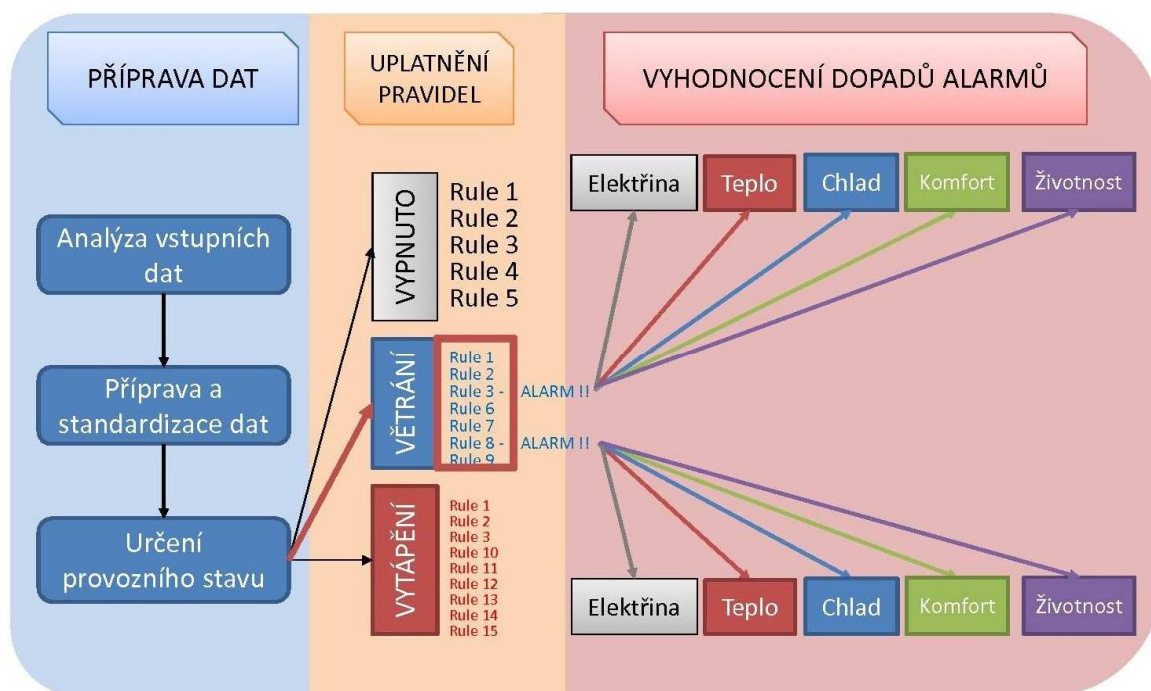


Obr. 1 – Jednonábových přívodních jednotek

METODIKA STANDARDIZACE DAT

Metodika expertního systému se vztahuje na vzduchotechnické jednotky, které jsou osazeny komunikativním měřením a regulací a data z jejich senzorů jsou sbírána do SCADA systému Mervis. Ve sbíraných datech jsou již často obsaženy potřebné informace k odhalení poruch nebo neekonomického provozu. SCADA data z regulačního systému ovšem pouze ukládá a zobrazuje ve formě datových bodů s aktuální hodnotou a historií, ale nevyhodnocuje je způsobem, který je představen v tomto článku.

Postup procesu diagnostiky (obr. 2) určuje způsob jak uložená data připravit pro vyhodnocení a stanovuje sadu expertních pravidel, která umožní VZT jednotky sledovat bez intervence lidského operátora. Pro dosažení praktického přínosu uvádí jakým způsobem vyhodnotit situace, kdy zmíněná pravidla nejsou dodržena. Metoda je nenáročná na vstupní data, vystačí si v základu s daty, která jsou běžně v systémech měření a regulace k VZT jednotkám dostupná.



Obr. 2 – Schéma procesu diagnostiky

Interpretace datových bodů

V oblasti SCADA systémů není uplatňován jednotný standard značení ani uspořádání proměnných. Diagnostika proto nemůže jednoduše datové body třídit podle názvu. Pro nasazení diagnostiky na větší množství zařízení je nutné propojit datové body s odpovídajícími vstupy diagnostického systému. To se děje pomocí „tagů“ (čili štítků), přiřazovaných k datovým bodům expertem. Při tagování je nutné data rovněž pre-analyzovat, aby nebyly tagovány neplatné body.

Pokud by diagnostika vycházela z nevhodných dat, generovala by velké množství falešných alarmů, nebo zcela selhala. K tomu může dojít zejména použitím nevhodného datového bodu. Například: Chod ventilátoru může být použit jako rozhodující datový bod pro určení provozního režimu mezi režimy *zapnuto* a *vypnuto*. Přitom se ale může jednat o nevalidní datový bod, který nemá vliv na chod VZT a setrvává stále v poloze „ZAP“ ačkoli VZT se zapíná a vypíná podle plánu. Chybné určení rozhodujícího bodu tak může zásadním způsobem ovlivnit celou diagnostiku.

Protože tagování probíhá před první diagnostikou ručně, byly vytvořeny kontrolní mechanismy, které pomáhají tagovat správné a platné body. Jsou to:

Indikátor aktivity bodu, který zobrazuje průměrný počet změn hodnoty bodu za 24 hodin, zkoumaný přes časové období uložených dat. Aktivita bodu nemusí být vždy dostatečně vypovídající, protože některé datové body spojené s letní nebo zimní sezónou mohou vykazovat třeba jen dvě změny hodnoty do roka. Ačkoli se pak jeví jako neaktivní, jsou ve skutečnosti platné.

Indikátor určenosti bodu, který je podílem platných hodnot v celé délce zkoumaného intervalu. Za neplatné je možné považovat body, které často vykazují hodnoty „null“, „unknown“, nebo neobsahují žádnou hodnotu. Takové body by neměly do diagnostiky vstupovat.

Délky spojených úseků jsou pomocnou informací, která doplňuje předchozí indikátory. Během analýzy se po každé změně hodnoty zjistí, jak dlouho byla tato hodnota ukládána beze změny.

Příklad použití indikátorů: Datový bod sleduje teplotu. Indikátor aktivity hlásí 42 změn za den, indikátor určenosti 0,97; nejkratší úsek má délku jednoho časového kroku a nejdelší úsek

má délku 62 dnů v celkovém intervalu 1 rok. Je velmi nepravděpodobné, až vyloučené, že by měřená teplota byla 62 dnů beze změny. Lze proto očekávat, že bod je sice platný, ale příslušný senzor byl dlouho mimo provoz. Spojitému úseku je třeba věnovat pozornost a rozhodnout se, zda například z diagnostiky určité období nevyloučit.

Standartní názvosloví tagování. Pro přiřazení významu datových bodů diagnostickým systémem je určeno trojicí tagů, které musí být přiřazeny ke každému bodu, který do diagnostiky vstupuje.

Datový bod je charakterizován podle veličiny, kterou představuje, místa ke kterému se vztahuje a podle jeho úlohy v regulaci

Vzájemné zastoupení signálů

Představovaný expertní systém diagnostikuje jednotky, které odpovídají schématu na obrázku Obr. 1, nebo takovým, které se jí podobají, ale mají například jiné pořadí prvků nebo některé prvky chybí. Uvedené schéma představuje jednotku „v plné výbavě“, ovšem v praxi prakticky žádný stroj není takto bohatě vybaven diagnostickými senzory.

Aby byla zajištěna maximální robustnost představeného systému, musí být zajištěna vzájemná zastupitelnost signálů. Znamená to, že například pokud potřebujeme znát teplotu v přívodním kanálu, budeme se opírat o senzor, který představuje měření teploty senzorem v přívodním kanálu. Pokud takový senzor ale není k dispozici, nemusí to diagnostiku zastavit, pokud požadovanou informaci můžeme získat jinak. Například může být využita teplota před filtrem na přívodním vzduchu, teplota klapky na přívodním vzduchu, a pokud ani tyto informace nejsou k dispozici, stále je možné použít senzor venkovní teploty vzduchu. Pokud ani tato hodnota není k dispozici, je možné využít informaci o venkovní teplotě z blízkého okolí (jiná budova v dispečerském systému nebo data z profesionálních metostanic).

Obdobným způsobem pro každou informaci můžeme najít celý seznam možných zástupců, seřazený od nejvhodnějších po nejméně vhodné. Aby se postihla skutečnost, že každá jednotka je vybavená jinými senzory. Mezi otagovaná data a diagnostiku je vložena převodní tabulka, která připravuje standartní signály pro diagnostiku. Díky tomu během vyhodnocení již jednotlivá diagnostická pravidla nemusí postupně prohledávat dostupné senzory, ale mají již připraveny signály typu „teplota přívodního vzduchu“, které vycházejí z nejlepšího dostupného zdroje. Tím je zajištěna vysoká míra robustnosti a přenositelnosti diagnostiky. Ta se tak stává méně citlivou na vstupní data a významně tak roste její potenciál uplatnění.

VLASTNÍ VYHODNOCENÍ STANDARTNÍCH SIGNÁLŮ

Většina pravidel je založena na znalosti provozního stavu jednotky. Například pravidlo zkoumající, zda jsou v režimu pouhého větrání zcela zastaveny všechny prvky vytápění či chlazení je možno uplatnit jedině tehdy, když víme, že VZT jednotka má pouze větrat. Protože tentýž jev se v různých provozních stavech hodnotí různými způsoby, je obvyklé, že jsou k tomu postavena i různá, ačkoli navzájem podobná pravidla. Celkem bylo vytvořeno 27 pravidel. Každé z pravidel se soustředí na konkrétní typ provozní chyby.

Byly identifikovány tyto provozní stavy:

- Vypnuto
- Větrání venkovním vzduchem bez úpravy teploty a vlhkosti
- Větrání s ohřevem přiváděného vzduchu
- Větrání s ohřevem a vlhčením přiváděného vzduchu
- Větrání s chlazením přiváděného vzduchu
- Neznámý provozní stav

Neznámý provozní stav nastává například tehdy, pokud VZT současně ohřívá a chladí a nejde proto rozhodnout, zda jde o režim vytápění nebo chlazení. Tento provozní stav je

detekovanou chybou sám o sobě, pokud se nejedná o řízené odvlhčování přiváděného vzduchu.

Rozhodnutí o provozním stavu

Systém SCADA obvykle informaci o provozním stavu nemá, musí proto být dovozena ze vstupních dat. Na provozní stav se proto usuzuje z informace o chodu ventilátoru, ohřívače, chladiče a zvlhčovače, přičemž vyhodnocení musí fungovat i tehdy, pokud některé z těchto součástí nejsou vůbec osazeny. Pro každou ze čtyř uvedených komponent se proto uvažuje s možností „je v provozu“, nebo „není v provozu“, případně „komponent vůbec neexistuje“. To tvoří 81 možných kombinací vstupů, přičemž 26 jich vede na známé provozní stavy a 55 kombinací vede na „neznámý stav“.

Obsah expertních pravidel

Vlastní pravidla jsou poměrně jednoduchá, a často se opírají o jednoduché přímočaré výpočty, které postihují určitý fyzikální nebo regulační fenomén. Pravidla tak zkoumají například:

- Zda vzduchotechnická jednotka běží v době, kdy jsou v budově lidé, a zda je vypnutá mimo pracovní dobu.
- Zda se jednotka rozeběhne, když k tomu dostane pokyn od MaR
- Sousednost provozních stavů po sobě – zda jednotka necykluje například mezi vytápěním a chlazením
- Současnost spouštění ventilátorů a otevírání klapek
- Současnost otevírání/zavírání a zapínání/vypínání ventilů a čerpadel u výměníku
- Posouzení, zda je aktuální provozní režim pro budovu vhodný
- Posouzení platnosti zákona o zachování energie ve vzduchu při průchodu VZT jednotkou
- Dohled nad teplotním spádem na vzducho-kapalinovém výměníku – na straně vody (glykolu)
- Dohled nad rozdílem teplot vzduchu a vody (glykolu) na vzducho-kapalinovém výměníku

Pokud některá z podmínek není splněna, příslušné pravidlo vybaví v daném okamžiku alarm, který signalizuje, že chod stroje není v pořádku.

Dopady chyb na efektivitu provozu

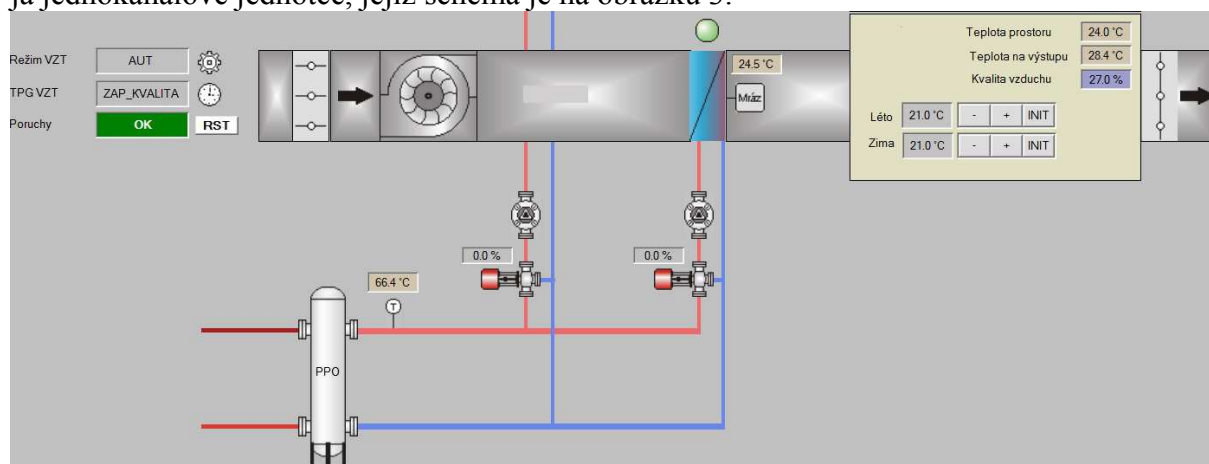
Alarm sám o sobě nemusí znamenat závažnou chybu. Například při rozběhu do režimu vytápění není prvních několik minut splněna podmínka pravidla pro teplotní spád na výměníku. Příslušný teplotní spád se totiž musí teprve rozvinout. Tyto časové konstanty jsou pro každé zařízení jiné, a přestože samotné pravidlo prvních pět minut odpouští, rozvinutí teplotního spádu může trvat déle. Podobných alarmů, které nemají závažné dopady, může vznikat velké množství a bylo by plýtvání časem operátora, kdyby se jim musel věnovat jednotlivě. Pro každý alarm je proto vytvořen následný výpočet zmařené elektrické energie, tepla, chladu, ohrožení komfortu a snížení životnosti zařízení. Úhrny těchto dopadů pak signalizují váhu chyby a umožňují soustředit pozornost operátora tam, kde jsou závady nejzávažnější.

Pro výpočet množství zmařené energie je potřeba znát doplňující parametry VZT zařízení. Zmařenou energii nelze uspokojivě odhadnout, pokud neznáme jmenovité příkony ventilátorů, oběhových čerpadel, výkony ohřívačů a chladičů. Tyto informace se obvykle nedají ve SCADA systému zjistit. Všeobecně lze říci, že tyto údaje podléhají faktoru měřítka a že větší VZT jednotka bude mít také silnější ventilátory, výkonnější výměníky, apod. V expertním systému byl proto vytvořen pomocný výpočet, který výkony jednotlivých součástí odhaduje z jedné známé hodnoty jmenovitého průtoku vzduchu. Pokud ani tato hodnota není známa, je možné uvažovat se základní hodnotou např. 1000 m³/h, aby výsledky

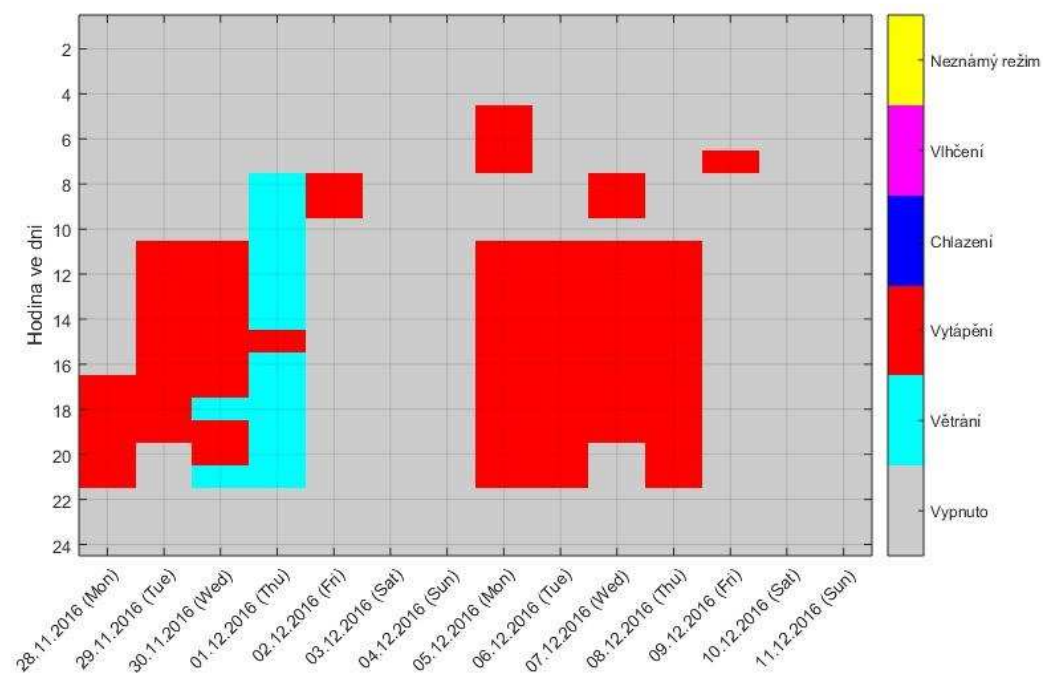
na různých zařízeních byly alespoň navzájem porovnatelné. Pokud je ovšem některý z těchto údajů k dispozici rovnou, expertní systém dává přednost zadané hodnotě před odhadnutou. Zmařená energie se pak typicky určuje jako součin délky časového kroku, ve kterém nastal alarm, jmenovitého výkonu daného zařízení a poměrné části výkonu, který je nasazen zbytečně, neboli „navíc“ oproti tomu co je nutné.

VÝSLEDKY A ANALÝZA

Během vývoje diagnostického systému bylo ve SCADA systému Mervis společnosti Energocentrum Plus s.r.o. vybráno a opatřeno tagy 12 VZT jednotek, aby byla vytvořena základna pro testování vyvíjených algoritmů. Popsané diagnostické metody byly zpracovány v prostředí Matlab do programu, který zajišťuje všechny části automatické kontroly od stažení dat konkrétní VZT jednotky, přes preprocessing a přiřazení k standardním signálům a vyhodnocení expertních pravidel i dopadů alarmů, až po uspořádání výsledků a jejich grafickou prezentaci. Výsledkem diagnostiky je kobercový diagram provozních stavů, úhrny zmařených energií zobrazené v čase, vizualizovaná matice alarmů, a k jednotlivým alarmům také příslušné vstupy, ze kterých alarm vyplývá. Jako příklad jsou uvedeny chyby detekované u jednonábové jednotky, jejíž schéma je na obrázku 3.

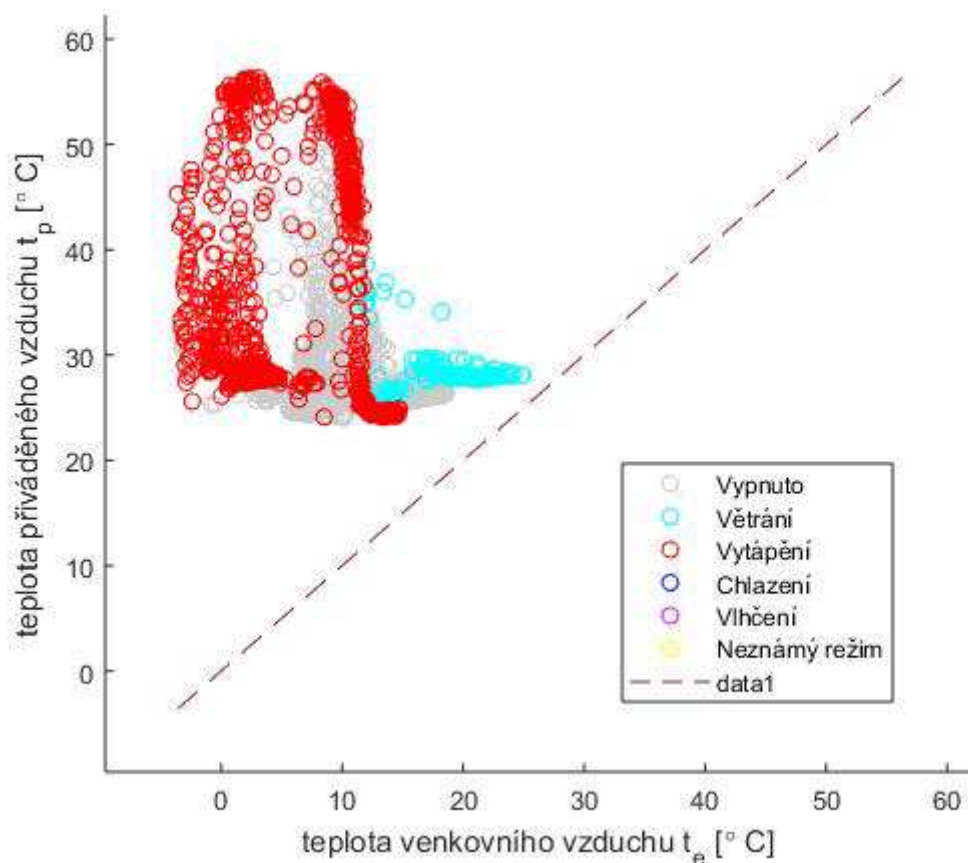


Obr. 3 – Schéma jedné z testovacích jednotek, z cloudového dispečerského systému Mervis.



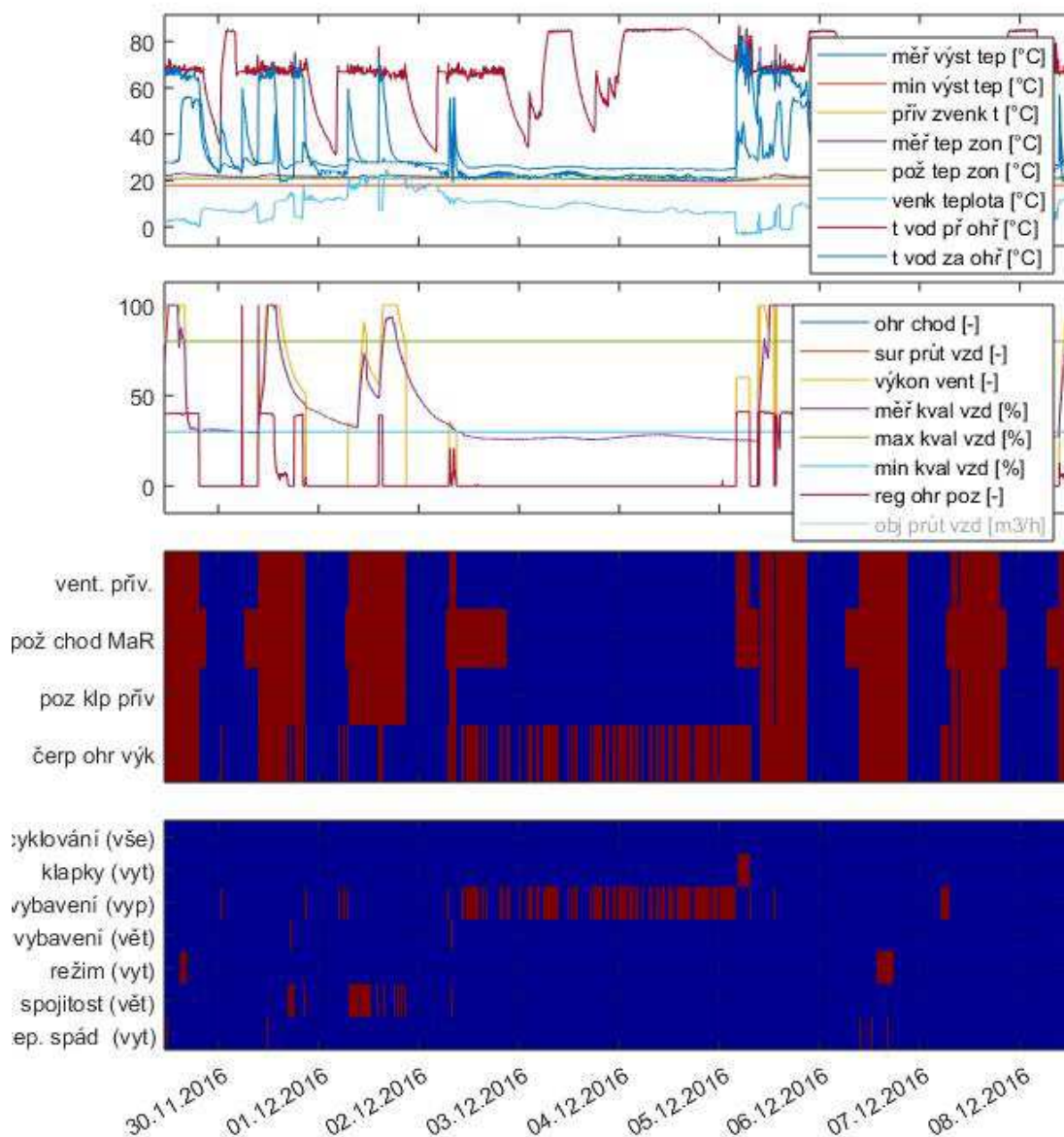
Obr. 4 – Kobercový diagram provozních stavů

Kobercový diagram na obrázku Obr. 4 přehledně ukazuje, v jakých provozních stavech VZT pracuje v daný den v týdnu a hodinu. Na první pohled je možné určit, zda někdy VZT neběžela zbytečně, stejně tak jako umožňuje dobře hledat kontext pro cyklování provozních stavů. Na Obr. 4 je například zajímavý podezřelý náběh vytápění v pondělí 5.12. před pátou hodinou ránní, nebo v pátek 9.12., když poté ani nedošlo k spuštění VZT. Rovněž je pozoruhodné, že v úterý 1.12. VZT dlouho běžela v režimu větrání, tedy bez ohřivače.



Obr. 5 – Scatter Plot

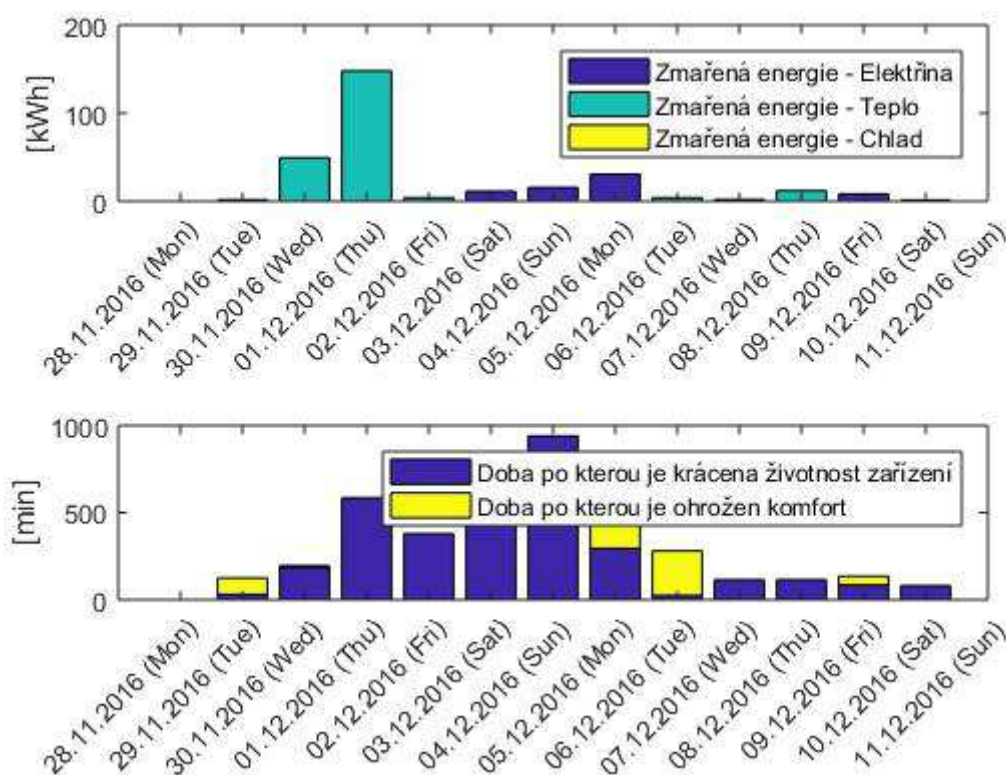
Pomocí tzv. ScatterPlotu na Obr. 5 je možné sledovat vzájemný vztah přivodní a venkovní teploty vzduchu, doplněný o informaci o provozním režimu. Na Obr. 4 může zaujmout, že daná VZT jednotka je někdy v režimu větrání, ačkoli přivádí vzduch o 10 až 20 K teplejší než je venku. Většina bodů však patří do režimu vytápění, kdy je zcela v pořádku, že teplota přivodního vzduchu je výrazně vyšší než teplota vzduchu venkovního.



Obr. 6 – Vyhodnocení provozních dat

Výstup na obrázku Obr. 6 prezentuje čtyři různé datové výstupy. Horní graf ukazuje průběhy teplot, jak měřených tak i požadovaných. Druhá část vykresluje spojitě signály z měření a regulace. Třetí část pak vykresluje logické signály z měření a regulace. Konečně spodní část prezentuje detekované chyby. Můžeme si všimnout, že 1.12. byla detekována chyba „spojitost (vět)“, jejíž pravidlo kontroluje změnu teploty vzduchu při průchodu VZT jednotkou. Protože na výstupu z VZT byla v prosinci teplota asi 30°C, ale nebyl detekován chod ohřívače, pravidlo zahlásilo podezřelý stav – ventilátor buďto neběžel, nebo do VZT někudy unikalo teplo. Kontext této chyby byl již vidět i v předchozích dvou grafech.

Další chybou, která stojí za pozornost, je „vybavení (vyp)“. Jde o pravidlo, které hlídá, zda při vypnuté VZT jsou vypnuty také všechny její komponenty. Pravidlo hlásí opakující-se chybu od 2.12. do 5.12.. Díky paralelnímu zobrazení logických signálů vidíme, že s chybou koreluje výkon čerpadla ohřevu, které se spouští i přesto že je vypnutý ventilátor.



Obr. 7 – Odhad zmařené energie

Poslední výstup (Obr. 7) ukazuje celkové dopady chyb v provozu VZT zařízení. Horní graf uvádí odhad zmařené elektrické energie, chladu a tepla v kilowatthodinách, dolní graf ukazuje, kolik minut běželo zařízení v režimu nevhodném pro jeho dlouhou životnost nebo v režimu ohrožujícím komfort osob ve větraných zónách. Tento druh výstupu umožňuje zabývat se přednostně těmi závadami, jejichž dopad je největší. Operátora využívajícího tento nástroj například bude zajímat, proč se prvního prosince zmařilo více než 200 kWh tepla. Z kontextu předchozích výstupů plyne, že se jedná o teplo, které uniklo do VZT z neznámého zdroje, a způsobilo nemalé zvýšení teploty přívodního vzduchu odhalené pravidlem „spojitost“.

Dále vidíme, že od 1.12. do 5.12. byla VZT až 900 minut denně ve stavu nevhodném pro její životnost. Jedná se o období, kdy bylo zbytečně v provozu čerpadlo vytápění.

Dále nás zajímá, proč VZT více než 200 minut denně porušovala komfort uživatel větrané zóny ve dnech 5. a 6. prosince. Zpětný pohled na obrázek 5 nám ukáže, že dne 5. 12. bylo aktivní pravidlo „klapky (vyt)“, tedy že ventilátor běžel proti uzavřené klapce. Tato chyba má vliv na komfort i na životnost celé VZT. Dne 6. 12. byla zase aktivní chyba „režim (vyt)“, která kontroluje, zda je provozní režim vhodně zvolen a nastaven. Graf průběhu teplot odhaluje, že teplota v zóně překročila požadovanou teplotu o více než je dovolená mez, a to spustilo signalizaci chyby.

Kromě výše uvedených závad byly v průběhu pilotního testování nalezeny další typické závady:

Běh ventilátoru proti uzavřené klapce: Jedna z VZT jednotek 34 dnů běžela plným výkonem ventilátoru proti uzavřené klapce. Odhadem bylo zmařeno přes 10 MWh elektrické energie s negativním dopadem na vnitřní prostředí, které nebylo větráno.

Ruční zásah obsluhy: Jednu z VZT jednotek obsluha krátkodobě ručně vypnula, ale již nevrátila do automatického režimu provozu. Deset měsíců jednotka neběžela, s veškerým dopadem na uživatelský komfort v nevětraných prostorách.

Špatně naprogramovaná regulace: U jednoho ze zkoumaných zařízení diagnostika odhalila chybné nastavení regulace. Střídavě byla požadovaná teplota vzduchu na výstupu z jednotky 16 °C a 35 °C, což vedlo k častému a zbytečnému přepínání mezi chlazením a vytápěním. Odhadovaná zmařená energie je 1 MWh tepla a 5 MWh chladu.

Chlazení vzduchu ohříváčem: Diagnostika u jednoho VZT stroje odhalila, že zapnutím čerpadla ohřevu se výrazně sníží teplota přiváděného vzduchu. Ve VZT bylo předáno nejméně 2,5 MWh chladu. Pouze z analyzovaných dat není jednoznačně zřejmý zdroj chladu, nicméně se může jednat o problém s chladičem, například podtékající ventil.

Nefunkční směšovací ventil vytápění: U jednoho ze strojů diagnostika zaznamenala opakující se alarm na rozdíl teplot mezi vzduchem a otopným médiem. Alarm indikuje pravděpodobně potíže se směšovacím ventilem. V tomto režimu, který nepříznivě ovlivňuje životnost, byla VZT v provozu 1056 hodin.

Nekontrolované unikání tepla do VZT potrubí: Jedno z pravidel odhalilo opakující se případy, kdy jednotka přivádí do prostoru výrazně teplejší vzduch, než jaký nasává, přestože má spuštěný chladič. Jednalo se jen o 50 kWh zmařeného tepla, ale zřídka používaný chladič tímto způsobem pracoval více než 50% provozní doby.

ZÁVĚR

Představený expertní systém odhaluje technické nebo regulační závady na jednodukálových VZT jednotkách. V neposlední řadě odhaluje také chyby způsobené neodborným zásahem obsluhy. Sada sedmadvaceti diagnostických pravidel postihuje širokou škálu možných závad a selhání. Pravidla nenahrazují úsudek analytika, který hledá možné úspory a optimalizace v provozu vzduchotechniky. Mohou ale výrazně urychlit jeho práci. Navíc, poté co byla diagnostika automatizována, může i upozorňovat na aktuální problémy právě běžících zařízení.

Metoda diagnostiky pomocí expertních pravidel je nenáročná na vstupní data, což je její velká výhoda. Nevýhodou je, že některé diagnostikované závady nelze bez místní prohlídky dobře posoudit. Pokud dojde na místní prohlídku, tak je již cílená a je velmi pravděpodobné, že je následně potvrzen problém. Tím se výrazně zefektivní využití času techniků, kteří mají údržbu zařízení na starosti.

Expertní systém byl zkušebně nasazen na 12 jednodukálových VZT jednotek, v různých budovách a s různým způsobem řízení. Téměř na každé VZT jednotce byly nalezeny chyby. Některé z nalezených chyb byly poměrně zásadní a měly přímý dopad na komfort nebo ekonomiku provozu.

V navazující práci je expertní systém rozšiřován i na rovnotlaké větrací jednotky se zpětným získáváním tepla. Rovnotlaké jednotky jsou diagnosticky složitější, ale představují největší podíl instalovaných zařízení celkem. Jedná se proto o oblast s velkým potenciálem na snižování energetické náročnosti a zvyšování komfortu uživatel.

Kontakt na autora: ondrej.nehasil@fsv.cvut.cz

Tato článek vznikl za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 - Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti.

Použité zdroje

[1] Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings, 2010

- [2] International Energy Agency. (1996). “Real-time HEVAC simulation”. 25
- [3] International Energy Agency. (2002). “Computer-aided evaluation of HVAC system performance” 34
- [4] ZMRHAL, V., DRKAL, F., ŠIMÁNEK, V. Ventilation concept, VYTAPENI, VETRANI, INSTALACE, 26 (3), 179-172, 2017, ISSN: 12101389
- [5] KATIMPAMULA, S., BRAMBLEY, M.,R. Methods for Fault Detection, Diagnostics, and Prognostics for Building Systems—A Review, Part I. *HVAC&R RESEARCH*, 11(1): 3 – 25, 2005
- [6] BRUTON, K. et al. Review of automated fault detection and diagnostic tools in air handling units. *ENERGY EFFICIENCY*, 7 (2), 335-351, 2014, doi:10.1007/s12053-013-9238-2.
- [7] LAIN, M. Winter operation of air conditioning systems in new office buildings. VYTAPENI, VETRANI, INSTALACE, 25 (3), 122-125, 2016, ISSN: 12101389
- [8] LEE, S.H., YIL, F.W.H. A study on the energy penalty of various air-side system faults in buildings, *ENERGY AND BUILDINGS*, 42 (1): 2-10, 2010, doi:10.1016/j.enbuild.2009.07.004.