

Ing. Karel MATĚJČEK

Ohřev čerstvého venkovního vzduchu teplem z výroby chladu v KCP Praha

Heating of Fresh Outdoor Air with Heat from Cold Production in PCC Prague

Recenzent

Ing. Vladimír Šulc, Ph.D.

Účinnost kapalinových okruhů zpětného získávání tepla (ZZT) je ve většině případů nižší než účinnost systémů s rotačními regeneračními výměníky. Je však možné docílit i opačného efektu propojením kapalinových systémů ZZT do systémů výroby a distribuce tepla a chladu tak, že dojde k „transportu energií mezi jednotlivými systémy“ TZB. Tento záměr byl zpracován pro realizovaný projekt EPC v Kongresovém centru Praha. Výsledkem je, že např. při teplotách venkovního vzduchu -20 až $+20$ °C se potřebné teplo pro ohřev vzduchu získává z převážné části z výroby chladu s relativně malou čerpací prací.

Klíčová slova: Kongresové centrum Praha (KCP), Energy Performance Contracting (EPC), zpětné získávání tepla (ZZT), free cooling (volné chlazení), ekonomická výroba chladu, ekonomická výroba tepla, propojení systémů výroby tepla s výrobou chladu, vychlazování zpátečky, přečerpávání energií, čerpací práce, úspory provozních nákladů

The efficiency of heat recovery (HR) fluid circuits is in most cases lower than the efficiency of systems with rotary regenerative heat exchangers. However, it is possible to achieve the opposite by coupling of HR fluid circuit systems with heat and cold production and distribution systems and thus transfer energy between individual HVAC systems. This study was prepared for the EPC project that was carried out at the Prague Congress Centre. As a result, for example, at outdoor air temperatures from -20 to $+20$ °C, the heat necessary for air heating is obtained mostly from the cold production system with relatively little pumping work.

Keywords: Prague Congress Centre (PCC), Energy Performance Contracting (EPC), Heat Recovery (HR), free cooling, efficient cold production, efficient heat production, coupling of heat and cold production systems, return water cooling, energy transfer, pumping work, operation cost savings

ÚVOD

Objekt Kongresového centra Praha

Výstavba neofunkcionalistické budovy Kongresového centra Praha, tehdejšího Paláce kultury, byla zahájena v roce 1976. Stavba byla dokončena roku 1981 jako jedno z největších a nejmodernějších společenských center v Evropě. Technologické systémy projektoval jako generální projektant VPÚ Praha. V letech 1998 až 2000 prošla budova rozsáhlou rekonstrukcí a byl dostavěn nový víceúčelový objekt s rozsáhlými hotelovými a kancelářskými kapacitami, dnešní Business Centre Vyšehrad a hotel Holiday Inn Prague Congress Centre, který disponuje celkem 254 pokoji.

Projekt EPC realizovaný společností ENESA a.s. v letech 2015 až 2018

Autor příspěvku je zároveň autorem navržené úpravy technologií (tzv. opatření) a algoritmů řízení MaR. Nová opatření realizovaná společností ENESA a.s. v rámci projektu EPC (Energy Performance Contracting – tzv.

zaručené úspory, kdy jsou investice hrazeny z následných úspor) v Kongresovém centru Praha byla velmi rozsáhlá. Hlavní inovace se týkaly výroby a distribuce tepla, výroby a distribuce chladu, systémů zpětného získávání tepla, osvětlení. Jako jedno z hlavních opatření byl realizován úplně nový systém měření a regulace od společnosti Honeywell (dodávka firmy Sofim spol. s r.o.) s úplně novými a pro KCP vytvořenými algoritmy řízení – v podstatě „šité na míru“ novými technologiím v KCP. Nad celý systém byl nasazen nadřazený optimalizační software OPERETA od společnosti ENESA a.s. pro řízení a optimalizaci provozu KCP. Tento systém v sobě integruje všechna technická i netechnická data (například rezervační systémy atd.), která v podobě řídicího algoritmu nadřazené předkládá systému MaR k řízení. V rámci provozování objektu KCP jsou archivována veškerá data a provozní stavy k následné pravidelné podrobné analýze a přijetí optimalizačních scénářů. V systémech byly odstraněny veškeré zkratky a propojení funkčního charakteru typu termohydraulický rozdělovač a nahrazeny systémem MaR – řízení otáček oběžných kol čerpadel dle požadovaných tlakových poměrů. Obecně



Obr. 1 Kongresové centrum Praha (KCP)

Fig. 1 Prague Congress Centre (PCC)

zrušení termohydraulických rozdělovačů a jejich nahrazení systémem MaR přináší v projektech EPC jednotky až desítky procent úspor a bezproblémové zajištění teplotních parametrů při následném provozu, a to jak pro vlastní stroje ve výrobě, tak pro technologii na straně spotřeby. Volba a realizace systémů promyšlených až do úplných detailů je zásadní a výsledky se dostávají okamžitě. V tomto příspěvku jsou krátce uvedeny úpravy systémů přímé výroby tepla a podrobněji se článek věnuje „výrobě tepla přečerpáváním energií“ z výroby chladu, která znamená:

- výrobu tepla pro ohřev čerstvého chladného venkovního vzduchu přímou výrobou chladu – modifikovaný free cooling – v zimním a přechodném období,
- výrobu tepla pro ohřev čerstvého venkovního vzduchu a teplé vody odpadním teplem vznikajícím při výrobě chladu – celoroční využití tepla z chlazení kondenzátorů a provozu kogenerační jednotky.

Systémy přímé výroby a distribuce tepla před a po realizaci projektu EPC

Původní instalace:

Původní instalace obsahovala zdroj tepla o výkonu 23 200 kW, s výstupní celoroční teplotou na rozdělovači 110 °C.

V centrální kotelně byly před zahájením rekonstrukce nainstalovány a provozovány 4 dvoupalivové (plyn/LTO) kotle o výkonu $4 \times 5\,800 = 23\,200$ kW. Systém regulace byl na požadovanou celoroční teplotu 110 °C, s konstantním průtokem otopné vody jednotlivých kotlů.

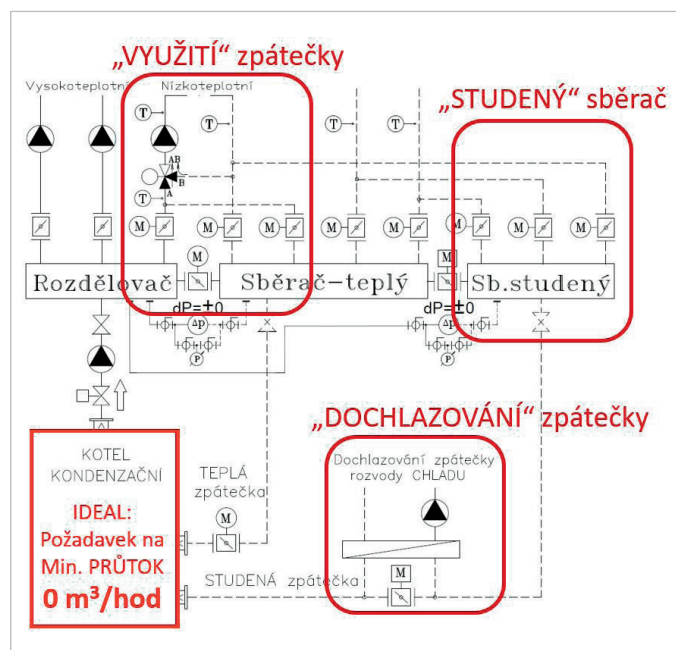
Nová instalace:

Celkové rekonstrukci tepelného hospodářství objektu KCP předcházely technicko-ekonomické výpočty, které prokázaly značné předdimenzování zdrojové části a zároveň naprosto nevhodný způsob regulace. Na základě těchto propočtů bylo přistoupeno k novému řešení. Byly osazeny nové zdroje tepla o celkovém výkonu jen 12 361 kW, s výstupní teplotou na rozdělovači 55 až 90 °C (ekvitemní regulace), s realizací nového sběrače pro studené zpátečky. Byla realizována kompletní rekonstrukce ohřevu teplé vody, s možností předeřhvu a akumulace tepla z kogenerační jednotky.

Hlavní technologie v kotelně:

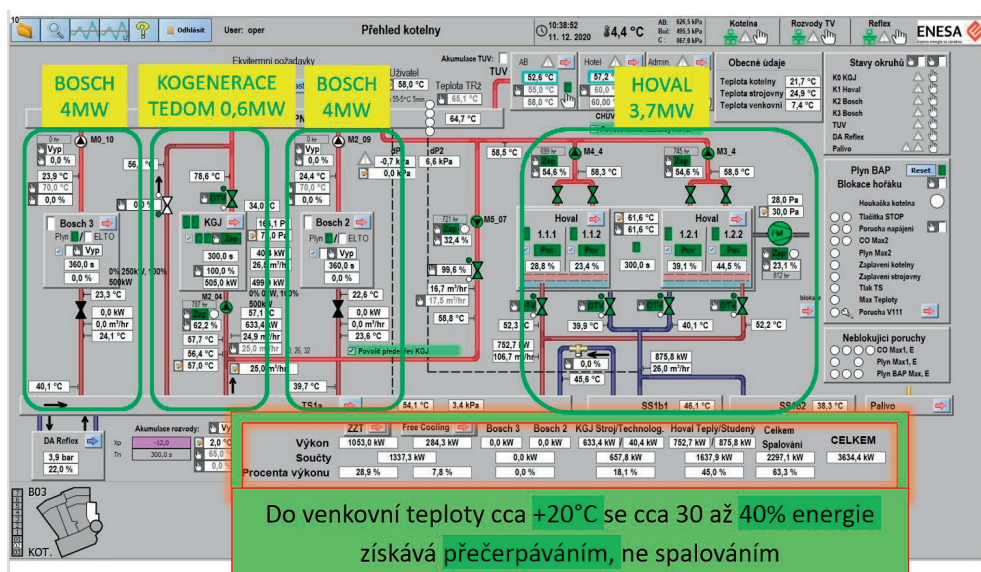
- kogenerační jednotka s výkonem na straně generátoru 500 kW a výkonem na straně „odpadního tepla z výfukových plynů“ 653 kW, teplotní spád otopné vody od 50/70 °C do 60/100 °C,
- sestava kondenzačních kotlů Hoval o celkovém výkonu $2 \times 1\,854$ kW (při 80/60 °C) = 3 708 kW,
- dva dvoupalivové (plyn/ELTO) kotle Bosch, každý o výkonu 4 000 kW, teplotní spád v rozmezí od 50/70 °C do 60/100 °C,
- koncentrické odkouření od kotlů Hoval s nasáváním předeřhátého spalovacího vzduchu spalninovou cestou – kotle Hoval jsou tak spotřebiči v kategorii „C“,
- rozdělovač otopné vody a dva sběrače pro zpátečky – teplý sběrač, studený sběrač – díky vytvoření sběrače pro „regulovaný sběr“ zpáteček s chladnější vodou je energetická účinnost kotlů Hoval cca 105 % celoročně (vzhledem k výhřevnosti paliva),
- byla zrušena všechna neekonomická propojení a zkratky, došlo k úpravě teplotních smyček pro nové teplotní spády a doplnění sys-

témů o možnost řízení otáček oběžných kol čerpadel s osazením potřebných snímačů tlaků, průtoků a teplot, byl instalován nový systém MaR s novými algoritmy.



Obr. 2 Kondenzační kotel – možnosti zapojení s maximální efektivitou

Fig. 2 Condensing boiler – connection options with maximum efficiency



Obr. 3 Kotelna KCP – vizualizace nové realizace

Fig. 3 PCC boiler room – schematic diagram of the new realization



Obr. 4 Kotelna KCP – nová realizace

Fig. 4 PCC boiler room – new realization

Stav systémů chlazení a ZTZ v KCP před realizací projektu EPC Systém chlazení

Ve strojově chlazení byly před zahájením rekonstrukce nainstalovány a provozovány 4 chladicí turbokompresory od firmy Trane:

- ❑ dva chladicí stroje TRANE CVGD 056 z roku 1992, s vodou chlazenými kondenzátory, o chladicím výkonu 2 095 kW, elektrickém příkonu 475 kW, teplotní spád chlazené vody činil 12/6 °C, teplotní rozdíl chladicí vody 28/34 °C,
- ❑ dva chladicí stroje TRANE ECVGE 71 z roku 2000, s vodou chlazenými kondenzátory, o výkonu 2 500 kW, elektrickém příkonu 458 kW, teplotní rozdíl chlazené vody činil 6/12 °C, teplotní rozdíl chladicí vody 28/34 °C.

Na jedné ze střech byly před zahájením rekonstrukce nainstalovány a provozovány 4 chladicí věže pro nepřetržitý celoroční provoz, 24 hod. denně, s elektricky vytápěnou vanou:

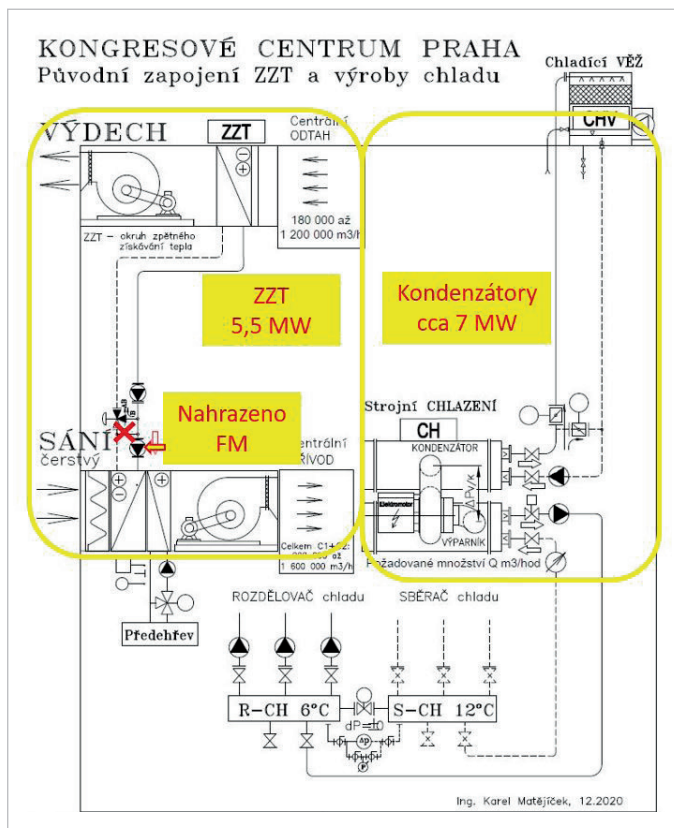
- ❑ dvě chladicí věže Evapco – LSTE-8P618 – CHV,
- ❑ dvě chladicí věže Baltimor CHV 3.

Veškeré „odpadní“ teplo z chladicích strojů bylo před rekonstrukcí EPC „mařeno“ v chladicích věžích.

Systém zpětného získávání tepla (ZZT)

V prostoru druhého podzemního podlaží jsou dvě hlavní velké strojovny vzduchotechniky s VZT jednotkami pro úpravu a přívod vzduchu do objektu. Každá strojovna má svou vlastní centrální úpravu vzduchu s filtrací, systémem ZZT, předehřevem a ventilátory, s řízeními otáčkami oběžného kola dle požadovaného tlaku v prostoru rozvodného kanálu vzduchu:

- ❑ strojovna VS1 se strojovnou centrální úpravy vzduchu C1 pro 122 000 až 900 000 m³/hod,
- ❑ strojovna VS2 se strojovnou centrální úpravy vzduchu C2 pro 100 000 až 700 000 m³/hod.



Obr. 5 KCP – původní zapojení ZTZ a výroby chladu

Fig. 5 PCC – original connection of HR and cold production systems

Pro systémy ZTZ strojoven C1 a C2 bylo společné glykolové hospodářství v prostoru druhého podzemního podlaží. V prostoru mezistropu pod střechou 6. nadzemního podlaží byla strojovna centrálního odtahu VS9 se strojovnou C9 centrálního odtahu s výměníky ZTZ a ventilátory, s řízenými otáčkami oběžného kola dle požadovaného podtlaku v prostoru sběrného kanálu vydechovaného vzduchu:

- ❑ strojovna VS9 se strojovnou centrálního odtahu vzduchu C9 pro 180 000 až 1 200 000 m³/hod. vydechovaného vzduchu.

Systémy výroby chladu i systémy ZTZ pracovaly každý samostatně, bez jakékoliv provázanosti jak technologicky, tak v řídicím systému.

Stav systémů chlazení a ZTZ v KCP po realizaci projektu EPC

Provoz chladicích strojů v KCP byl celoroční, 24 hodin denně. Tím vznikla možnost část tepla potřebného pro objekt v přechodném a zimním období získat z výroby chladu (v našem případě odpadní teplo). Jako hlavní se použily dvě základní metody/systémy:

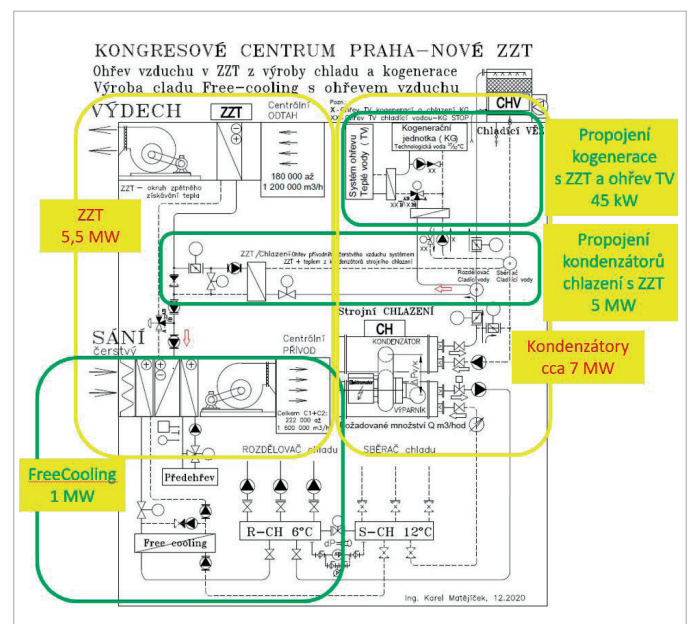
- ❑ přímá výroba chladu ohřevem nasávaného vzduchu – v podstatě free cooling,
- ❑ využití tepla v chladicí vodě kondenzátorů chladicích strojů, což znamenalo propojit systémy výroby chladu se systémy spotřeby tepla.

Systém chlazení

Ve strojově chlazení byla v rámci rekonstrukce provedena následující opatření EPC:

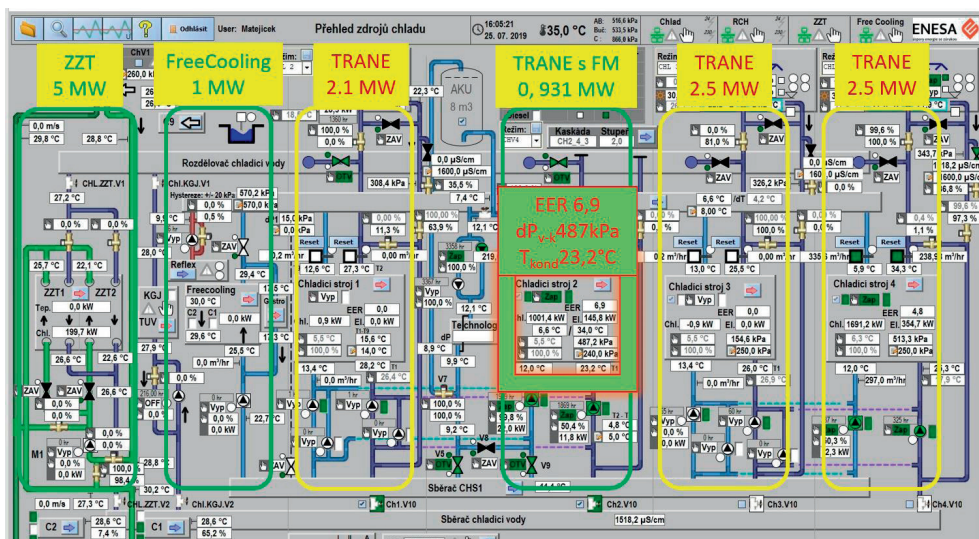
- ❑ jeden chladicí stroj TRANE CVGD 056 z roku 1992 o chladicím výkonu 2 095 kW byl nahrazen novým chladicím strojem – jednalo se o chladicí jednotku TRANE, s vodou chlazeným kondenzátorem, šroubovým kompresorem a frekvenčním měničem, řady R™ RTHD, o chladicím výkonu 931 kW, elektrickém příkonu 155 kW, teplotní rozdíl chlazené vody 12/6 °C, teplotní rozdíl chladicí vody 28/34 °C,
- ❑ byl zrealizován nový rozdělovač a sběrač chladicí vody, do kterého byly připojeny všechny kondenzátory chladicích strojů a všechny chladicí věže – do tohoto rozdělovače a sběrače chladicí vody byly připojeny nově zrealizované rozvody od systémů:

- zpětného získávání tepla,
- ohřevu teplé vody,
- technologického chlazení kogenerační jednotky (KG).



Obr. 6 KCP – nové zapojení ZTZ a výroby chladu

Fig. 6 PCC – new connection of HR and cold production systems



Obr. 7 KCP – strojovna chlazení – vizualizace nové realizace

Fig. 7 PCC – cooling plant room – schematic diagram of the new realization



Obr. 8 KCP – strojovna chlazení – nová realizace

Fig. 8 PCC – cooling plant room – new realization

Systém ZTT – zpětného získávání tepla s ohřevem vzduchu z výroby chladu

V systému ZTT se hlavní opatření projektu EPC realizovala v prostoru druhého podzemního podlaží, kde jsou dvě hlavní velké strojovny pro centrální úpravu přívodního vzduchu C1 a C2. Byla demontována filtrační stěna s kapsovými filtry, všechny výměníky systému ZTT a předehřevu a v prostoru strojovny glykolové hospodářství, byla zrušena všechna neekonomická propojení a zkratky, repasovány systémy a vytvořen prostor pro dodatečné výměníky voda/glykol. Prostřednictvím těchto výměníků se propojil systém chladicí vody kondenzátorů se systémem glykolového hospodářství ZTT. Dále v prostoru mezi stropu pod střechou 6. nadzemního

podlaží, kde je strojovna centrálního odtahu C9, byly kompletně repasovány systémy ZTT. V rámci opatření bylo realizováno:

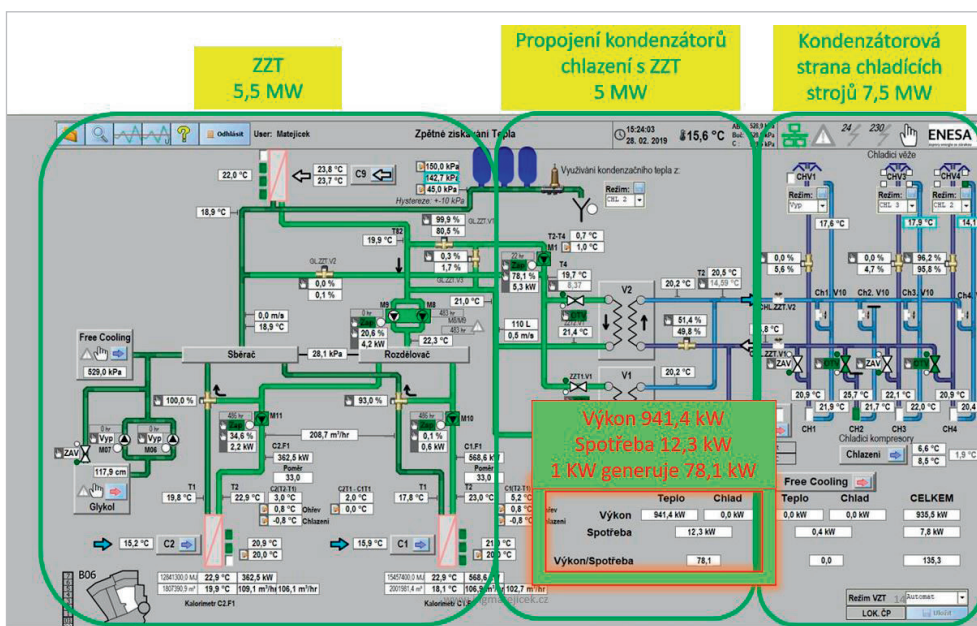
- filtrační stěna s vložkovými filtry náplň 2" sklo, díky které je tlaková ztráta podstatně nižší oproti „kapsám“, nedochází k „vyklepávání“ zachyceného prachu – tím jsou chráněny výměňkové sestavy,
- dodávka a montáž nových sestav výměníků pro předehřev, ZTT a free cooling,
- nová předávací stanice voda/glykol pro přenos tepla ze systémů chlazení do systémů ZTT pro předehřev vzduchu,
- dodatečné rozvody a osazení všech stávajících čerpadel frekvenčními měniči a příslušnými systémy řízení.

Systém free cooling – výroba chladu ohřevem čerstvého vzduchu

V prostorách strojoven pro centrální úpravu přívodního vzduchu C1 a C2 byly sestavám výměníků ZTT předřazeny výměníky free coolingu, které zajišťují výrobu chladu ohřevem nasávaného čerstvého vzduchu do venkovní teploty cca 14 °C. V nočních hodinách byl požadavek na chlazenou vodu do teploty 16 °C. Byla zrealizována nová strojovna volného chlazení (free cooling) voda/glykol pro přenos tepla ze systémů předehřevu vzduchu do rozvodů chladu.

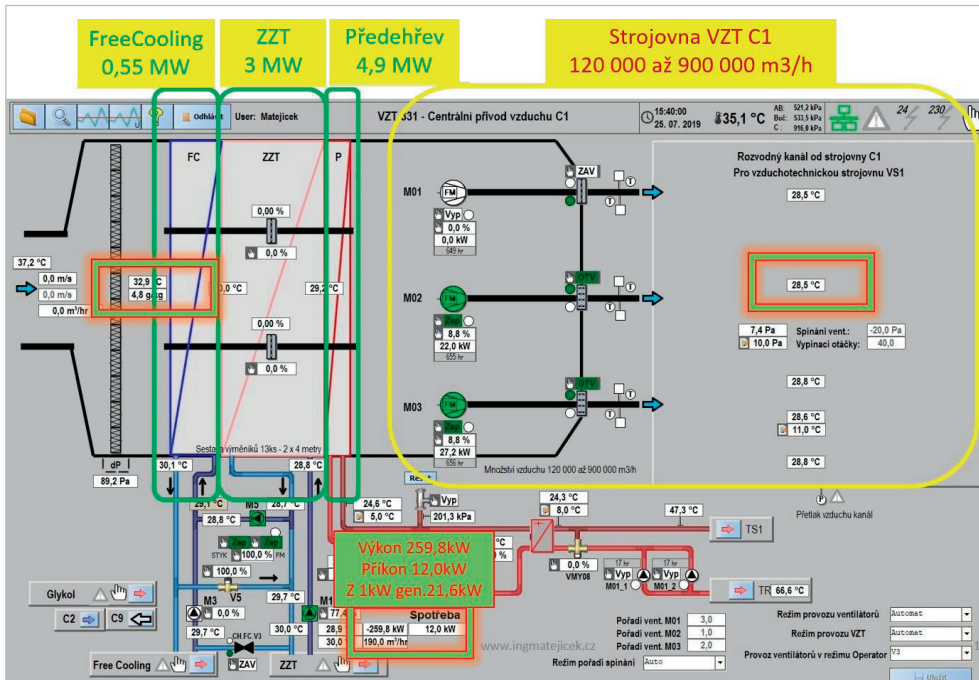
Systém ohřevu teplé vody – ohřev teplé vody ze systému kogenerace a z výroby chladu

V systému ohřevu teplé vody byl vyčleněn jeden zásobník o objemu 6,8 m³ pro její předehřev nízkopotenciální energií. Využívá se teplo z chlazení technologického okruhu kogenerační jednotky (výkon 45 kW, spád 37 na 32 °C) a teplo chladicí vody z kondenzátorů chladicích strojů.



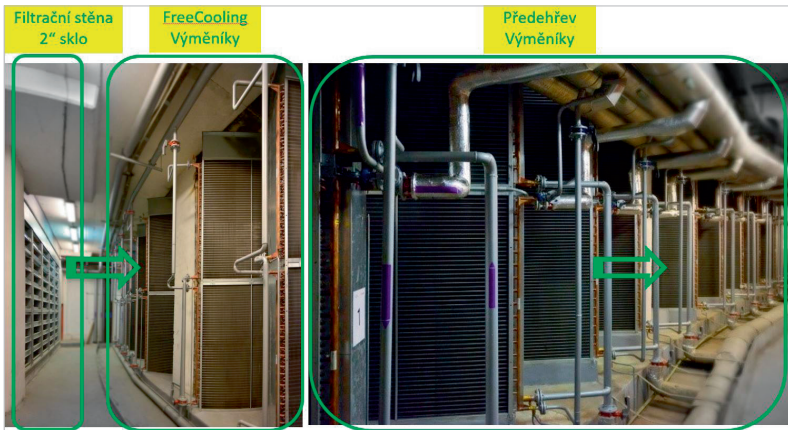
Obr. 9 KCP – systém ZTT a ohřev vzduchu z výroby chladu

Fig. 9 PCC – system of HR and air heating by cold production



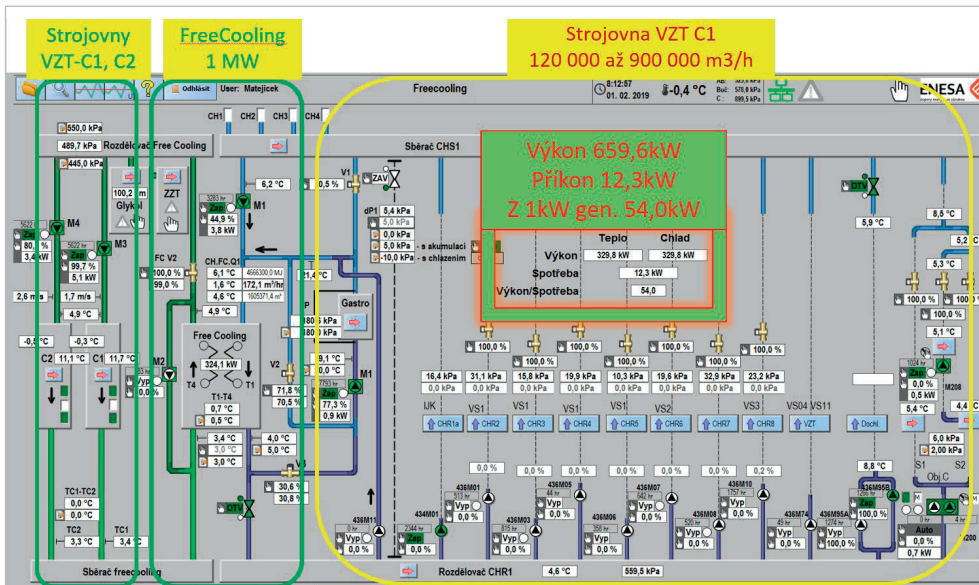
Obr. 10 KCP – strojovna – centrální úprava vzduchu C1 – vizualizace nové realizace

Fig. 10 PCC – plant room – central air treatment C1 – schematic diagram of the new realization



Obr. 11 KCP – strojovna – centrální úprava vzduchu C1 – nová realizace

Fig. 11 PCC – plant room – central air treatment C1 – new realization



Obr. 12 KCP – systém free cooling – vizualizace ohřevu vzduchu výrobou chladu

Fig. 12 PCC – free cooling system – schematic diagram of air heating by cold production system

Základní koncepce realizace zakázek s cílem maximální efektivity

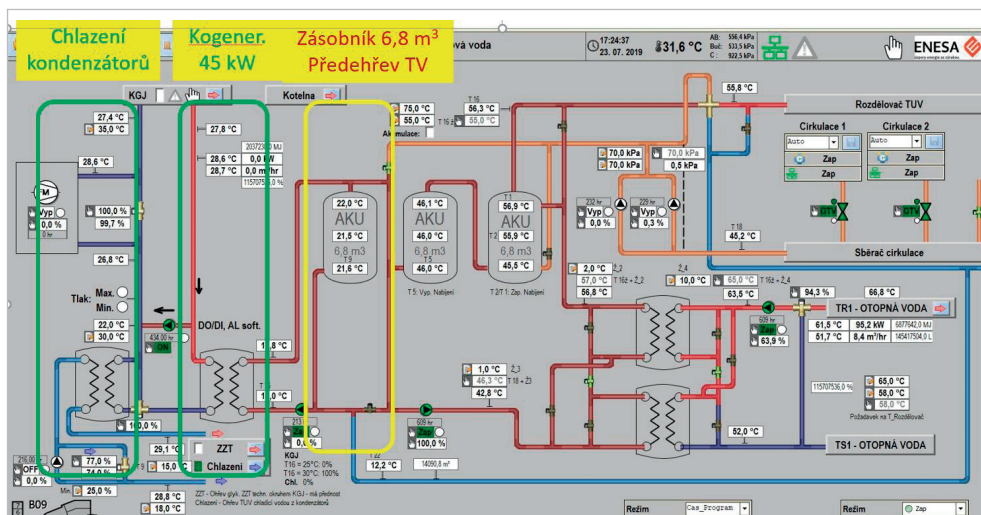
Pro efektivní a ekonomické provozování zařízení nestačí pouze nakoupit a nainstalovat špičkové technologie. Neméně důležitá (a v mnoha případech i důležitější) je jejich vzájemná spolupráce a provázanost v systémech rozvodu tepla a chladu, VZT a v systémech MaR. Pro to vše musí být vytvořeny a realizovány algoritmy řízení MaR – v podstatě „šité na míru“ konkrétním systémům a technologiím. Hlavním cílem je:

- ❑ požadované množství energie pro daný objekt (pokud je to možné) nevyrábět z primárních zdrojů, ale přečerpávat v rámci systémů objektů,
- ❑ používat teponosné látky z vratných větví pro další systémy s požadavkem na nižší teplotu a tlak – maximalizovat teplotní, tlakové spády,
- ❑ minimalizovat (a pokud možno nepoužívat) „škrčení“ vloženými odpory v rozvodech (vyvažovací ventily),
- ❑ vše regulovat/mít pod kontrolou systémem MaR.

Veškerá neregulovaná propojení a zkratky s nedefinovanými a neregulovanými parametry je nutné zrušit, event. nahradit jiným zapojením a doplnit systémy MaR. Např. pro realizaci zařízení s požadavkem na maximální efektivitu není v žádném případě možné použít zařízení typu termohydraulický rozdělovač. Ten je nutné vždy nahradit promyšleným zapojením a řádným systémem MaR.

ZÁVĚR

Pokud se propojí kapalinové okruhy ZTZ do systémů výroby a distribuce tepla a chladu, provoz systémů TZB se zásadním způsobem zefektivní. Důkazem je i uvedený projekt EPC v Kongresovém centru Praha, který je velice úspěšný. Místo předpokládané úspory cca 23 mil. Kč/rok je generována úspora cca 32 mil. Kč/rok. Projekt je úspěšný i z energetického hlediska, kdy do venkovní teploty cca +20 °C se přibližně 40 % spotřebované tepelné energie v KCP nevyrábí spalováním paliva (převážně s účinností cca 105 %), ale přečerpáváním energií. Do venkovní teploty cca +5 °C se vyrábí chlad s efektivitou v poměru cca 1 ku 50. Konkrétně se například v únoru 2019 získávalo cca 330 kW chladu tím, že se „vyrábělo“ 330 kW tepla na ohřev čerstvého vzduchu. Na toto přečerpávání energií s celkovým ziskem výkonu



Obr. 13 KCP – strojovna ohřevu teplé vody – předehřev vody z výroby chladu

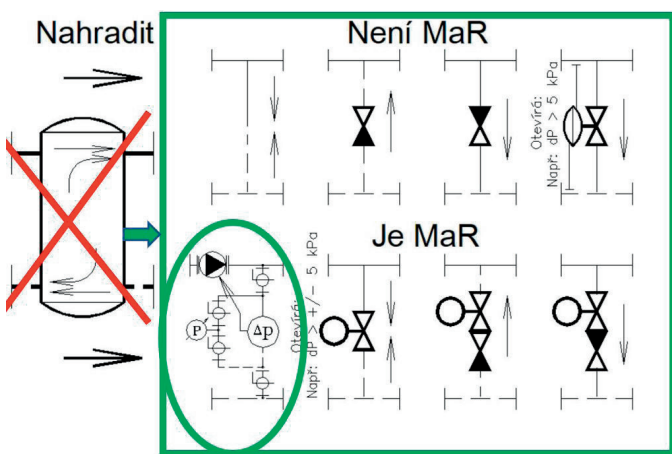
Fig. 13 PCC – hot water preparation plant room – preheating of water by cold production system

Uvedené stavy jsou zachyceny v obrázcích vizualizací příspěvku. Viz také: <https://praguecc.cz/cz/zelene-kongresove-centrum-praha>

Prezentace na toto téma viz: https://www.ingmatejcek.cz/ohrev-vzduchu-z-vyroby-chladu_kcp/

Kontakt na autora: karel@ingmatejcek.cz; <http://www.ingmatejcek.cz/>

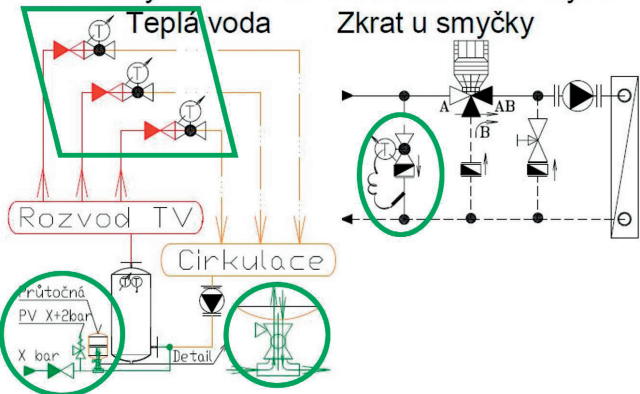
Poděkování: Na závěr bych chtěl poděkovat za tvůrčí přístup a trpělivost během realizace pracovníkům Kongresového centra Praha, ENESA a.s. a Sofim s.r.o.



Obr. 14 Možná náhrada termohydraulického rozdělovače

Fig. 14 Possible replacement of thermo-hydraulic distributor

Náhrada vyvažovacích ventilů termostatickými



Obr. 15 Použití termostatických ventilů

Fig. 15 Use of thermostatic valves

660 kW byla potřeba celková čerpací práce cca 12,3 kW. To znamená, že z každé vložené 1 kW čerpací práce jsme získávali cca 54 kW energie. Podobné to je během celého zimního období. V přechodném období, nad +3 °C během dne, kdy je v chodu chlazení, je výsledek ještě lepší. Je k dispozici teplejší voda z kondenzátorů a pro faktor získávání energie běžně platí, že z 1 kW čerpací práce navíc je 100 až 120 kW tepla využívaného pro ohřev vzduchu. Vše je zajišťováno několika navzájem propojenými systémy a využíváním synergických efektů.