

INWESTOR:

MUZEUM SZTUKI
90-734 ŁÓDŹ, ul. Więckowskiego 36

TEMAT:

**Opinia techniczna dotycząca funkcjonowania
systemów wentylacji, klimatyzacji i chłodzenia oraz
automatyki
w budynkach Muzeum Pałacu Herbsta wraz
z opracowaniem programu naprawczego**

OBIEKT:

MUZEUM PAŁAC HERBSTA
90-338 ŁÓDŹ; ul. Przędzalniana 72

AUTOR OPRACOWANIA:

PROJEKTANT:

mgr inż. Ewa Szaniawska
Upr. bud. Nr 112/96/ WŁ

Podpis:

Łódź, sierpień 2026 r.

SPIS TREŚCI :

1. PODSTAWA OPRACOWANIA	4
2. ZAKRES OPRACOWANIA.....	5
3. OPIS STANU ISTNIEJĄCEGO	6
4. ANALIZA ISTNIEJĄCEGO STANU TECHNICZNEGO INSTALACJI HVAC ORAZ SYSTEMU AUTOMATYKI Z OKREŚLENIEM NIEPRAWIDŁOWOŚCI W FUNKCJONOWANIU TYCH SYSTEMÓW.....	6
4.1. BUDYNEK Nr 1 i 1a – PAŁAC i ŁĄCZNIK	8
4.2. BUDYNEK Nr 2 i 3 – SALA BALOWA i SZWAJCARKA (HERBSTOWIE)..	8
4.3. BUDYNEK Nr 2a – OGRÓD ZIMOWY Z KAWIARNIĄ	9
4.4. BUDYNEK Nr 4 – ZAPLECZE KAWIARNI, HOTEL	9
4.5. BUDYNEK Nr 5 – POWOZOWNIA.....	9
4.6. BUDYNEK Nr 6, 6a – KORDEGARDA	10
4.7. BUDYNEK Nr 7 – MNOŻARKA	10
5. OCENA STANU TECHNICZNEGO ORAZ POPRAWNOŚCI FUNKCJONOWANIA URZĄDZEŃ I UKŁADÓW STEROWANIA.....	10
5.1. OCENA AGREGATU CHŁODNICZEGO I INSTALACJI WODY ZIĘBNICZEJ 10	
5.2. OCENA WĘZŁA CIEPLNEGO I INSTALACJI WODY GRZEWOCZEJ	10
5.3. OCENA KLIMAKONWEKTORÓW	11
5.4. OCENA PRACY CENTRAL WENTYLACYJNYCH.....	11
5.5. OCENA SYSTEMU AUTOMATYKI	18
6. IDENTYFIKACJA PRZYCZYŃ WYSTĘPIAJĄCYCH PROBLEMÓW ZWIĄZANYCH Z UTRZYMANIEM WYMAGANYCH PARAMETRÓW.....	20
7. OKREŚLENIE RZECZYWISTYCH PARAMETRÓW CENTRAL WENTYLACYJNYCH I INSTALACJI	21
7.1. WYDAJNOŚĆ POWIETRZA CENTRAL.....	22
7.2. SPRAWNOŚĆ ODZYSKU CIEPŁA	22
7.3. WYDAJNOŚĆ GRZEWOCZA	22
7.4. WYDAJNOŚĆ CHŁODNICZA	22
7.5. WYDAJNOŚĆ NAWILŻANIA.....	22
7.6. WYDAJNOŚĆ OSUSZANIA.....	22
8. BILANS POWIETRZA DLA WSZYSTKICH POMIESZCZEŃ	23
9. OCENA WPŁYWU OBECNEGO STANU INSTALACJI NA WARUNKI KLIMATYCZNE W POMIESZCZENIACH MUZEALNYCH ORAZ BEZPIECZEŃSTWA ZBIORÓW.	23
10. OCENA ZGODNOŚCI FUNKCJONOWANIA INSTALACJI Z WYMAGANIAMI DLA OBIEKTÓW PRZECHOWUJĄCYCH DOBRA KULTURY	24
11. OPIS ZIDENTYFIKOWANYCH PROBLEMÓW Z OKREŚLENIEM ICH PRZYCZYŃ	25
12. OCENA POPRAWNOŚCI DOBORU I WSPÓŁPRACY POSZCZEGÓLNYCH ELEMENTÓW SYSTEMU HVAC ORAZ ICH WPŁYW NA MOŻLIWOŚĆ UTRZYMANIA WYMAGANYCH PARAMETRÓW KLIMATYCZNYCH.....	26
13. ZALECENIA DOTYCZĄCE REGULACJI I OPTYMALIZACJI PRACY ISTNIEJĄCYCH INSTALACJI	28

14. PROGRAM NAPRAWCZY – WSKAZANIE KONIECZNYCH NAPRAW, WYMIANY LUB MODERNIZACJI POSZCZEGÓLNYCH ELEMENTÓW SYSTEMÓW	28
14.1. KLIMAKONWEKTORY	29
14.2. CENTRALE WENTYLACYJNE	31
14.2.1. Centrale nawiewne CN1 i CN2 i wywiew przewodami dymowymi (Opinia kominarska)	31
14.2.2. Centrala nawiewna CN4 i wywiew grawitacyjny lub mechaniczny	37
14.2.3. Centrala nawiewno – wywiewna CNW5	39
14.2.4. Centrala nawiewno – wywiewna CNW6	44
14.2.5. Centrala nawiewno – wywiewna CNW7	46
14.3. NAWILŻANIE PAROWE	48
14.4. INSTALACJE GRZEWcze	48
14.5. INSTALACJE CHŁODNICZE	48
14.6. INSTALACJE ELEKTRYCZNE	49
14.7. SYSTEM AUTOMATYKI	49
14.7.1. Klimakonwektory	49
14.7.2. Centrale	49
14.8. SYSTEM BMS	50
15. PROPOZYCJA ETAPOWANIA PRAC	51
16. OCENA SPODZIEWANYCH EFEKTÓW WDROŻENIA PROPONOWANYCH ROZWIĄZAŃ	52

SPIS ZAŁĄCZNIKÓW :

Tabela Nr 1	Bilans powietrza – Budynek 1 i 1a
Tabela Nr 2	Bilans powietrza – Budynek 2, 2a i 2b
Tabela Nr 3	Bilans powietrza – Budynek 4 i 5
Tabela Nr 4	Wykaz dotychczasowych klimakonwektorów
Tabela Nr 5	Typ dobranych klimakonwektorów v.1 (woda z 40% glikolu)
Tabela Nr 6	Typ dobranych klimakonwektorów v.1 (woda bez glikolu)
Tabela Nr 7	Typ dobranych klimakonwektorów v.2 (woda z 40% glikolu)
Tabela Nr 8	Typ dobranych klimakonwektorów v.2 (woda bez glikolu)
Tabela Nr 9	Zestawienie dobranych urządzeń do osuszania powietrza (<i>Alternatywnie chłodnice freonowe</i>)
Tabela Nr 10	Zestawienie dobranych urządzeń do osuszania powietrza (<i>Alternatywnie chłodnice wodne</i>)
Tabela Nr 11	Zestawienie dobranych urządzeń
Zał. Nr 1	Opinia nr 67/3 z wyniku przeprowadzonego sprawdzenia przewodów kominowych

SPIS RYSUNKÓW :

Rys. W1	PAŁAC – Rzut piwnic
Rys. W2	PAŁAC – Rzut parteru
Rys. W3	PAŁAC – Rzut I piętra
Rys. W4	PAŁAC – Rzut poddasza

1. PODSTAWA OPRACOWANIA

Podstawą opracowania jest:

- Umowa o dzieło 00/07/2026/D sporządzona w dniu 21.07.2026 roku w Łodzi pomiędzy Muzeum Sztuki w Łodzi, ul. Więckowskiego 36, 90-734 Łódź a Ewą Szaniawską, ul. Falista 136, 94-115 Łódź
- Instalacja ogrzewania Sali Balowej w Rezydencji „KSIĘŻY MŁYN” Łódź, ul. Przędzalniana 72, PB + PW wykonany przez FAWAPOL Sp. z o.o. Oddział: 91-071 Łódź, ul. Ogrodowa 72/74 w listopadzie 2008 roku. [1]
- Zmiany budowlane dla potrzeb remontu instalacji ogrzewania Sali Balowej w Rezydencji „KSIĘŻY MŁYN” Łódź, ul. Przędzalniana 72, PB + PW wykonany przez FAWAPOL Sp. z o.o. Oddział: 91-071 Łódź, ul. Ogrodowa 72/74 w grudniu 2008 roku. [2]
- Program funkcjonalno – użytkowy: Rewitalizacja i remont konserwatorski Pałacu Herbsta wraz z otoczeniem wykonany przez Scott Wilson Kirkpatrick & Co. Ltd, Sp. z o.o., Oddział w Polsce, Ove Arup & Partners International Ltd, Sp. z o.o., Oddział w Polsce oraz PM Group Ltd w czerwcu 2005 roku, aktualizacja wykonana przez MJ PRO Magdalena Sobiecka-Ziábka w czerwcu 2009 r. [3]
- Projekt przebudowy budynku Powozowni na cele ekspozycyjne, magazynowe i gospodarcze w Pałacu Herbsta w Łodzi, wykonany przez GRUPA 33_03 Anita Luniak i Teresa Mromlińska, ul. Parkowa 25/304, 51-616 Wrocław w czerwcu 2009 roku [4]
- Projekt przebudowy budynku Powozowni na cele ekspozycyjne, magazynowe i gospodarcze w Pałacu Herbsta w Łodzi, ARCHITEKTURA wykonany przez GRUPA 33_03 Anita Luniak i Teresa Mromlińska, ul. Parkowa 25/304, 51-616 Wrocław w sierpniu 2009 roku [5]
- Projekt rewitalizacji Pałacu Herbsta: Część I – DOKUMENTACJA FORMALNO – PRAWNA, Branża SANITARNA, Projekt budowlany wykonany przez wykonany przez RESTAURO Sp. z o.o. ul. Łazienna 4, 87-100 Toruń w grudniu 2011 roku wraz z Dokumentacją powykonawczą. [6]
- Projekt rewitalizacji Pałacu Herbsta: Część II – BUDYNEK NR 1, 1a, Branża SANITARNA, Projekt budowlany wykonany przez wykonany przez RESTAURO Sp. z o.o. ul. Łazienna 4, 87-100 Toruń w grudniu 2011 roku wraz z Dokumentacją powykonawczą. [7]
- Projekt rewitalizacji Pałacu Herbsta: Część III – BUDYNEK NR 2, 2a, 3, Branża SANITARNA, Projekt budowlany wykonany przez wykonany przez RESTAURO Sp. z o.o. ul. Łazienna 4, 87-100 Toruń w grudniu 2011 roku wraz z Dokumentacją powykonawczą. [8]
- Projekt rewitalizacji Pałacu Herbsta: Część IV – BUDYNEK NR 4, Branża SANITARNA, Projekt budowlany wykonany przez wykonany przez RESTAURO Sp. z o.o. ul. Łazienna 4, 87-100 Toruń w grudniu 2011 roku wraz z Dokumentacją powykonawczą. [9]
- Projekt rewitalizacji Pałacu Herbsta: Część V – BUDYNEK NR 7, Branża SANITARNA, Projekt budowlany wykonany przez wykonany przez RESTAURO Sp. z o.o. ul. Łazienna 4, 87-100 Toruń w grudniu 2011 roku wraz z Dokumentacją powykonawczą. [10]
- Lista wszystkich zainstalowanych materiałów i urządzeń z kartami doboru, deklaracjami zgodności, kartami gwarancyjnymi, atestami higienicznymi, instrukcjami obsługi oraz aprobatami technicznymi. [11]
- Projekt budowlany rozbudowy węzła ciepłego dla potrzeb ciepła technologicznego zasilającego centrale wentylacyjne, Branża SANITARNA + ELEKTRYCZNA

wykonany przez PROJEKTOWANIE MAŁGORZATA TRACZ Łódź, ul. Tatrzańska 62/64 m 93 w grudniu 2012 roku. [12]

- Rewitalizacja i remont konserwatorski Pałacu Herbsta wraz z otoczeniem. Dokumentacja Powykonawcza, Architektura i konstrukcja wykonana przez RESTAURO Sp. z o.o. ul. Łazienna 4, 87-100 Toruń w marcu 2013 roku. [13]
- Rejestr temperatury i wilgotności w wytypowanych pomieszczeniach w MPH w latach: grudzień 2020 ÷ czerwiec 2026 [14]
- INSTAL 3/20 s. 26-31 Artykuł DOI 10.36119/15.2020.3.3 Anny Charkowskiej: Warunki środowiskowe w salach wystawowych i magazynach muzeów. [15]
- Inwentaryzacja klimakonwektorów z określeniem ich stanu technicznego w BUDYNKU 1 (PAŁAC), 1a (ŁĄCZNIK), 2 (SALA BALOWA) i 3 (SZWAJCARKA) wykonana przez pracowników firmy COOLING SYSTEM Sp. z o.o., 55-093 Borowa, ul. Jaśminowa 2, serwisującej między innymi urządzenia chłodnicze w obiekcie Pałac Herbsta w obecności pracownicy Muzeum Sztuki Pani Marii Kryszki w dniu 29 czerwca 2026 roku i 31 lipca 2026 roku. [16]
- Protokół naprawy agregatu chłodniczego przez firmę serwisującą COOLING SYSTEM Sp. z o.o., 55-093 Borowa, ul. Jaśminowa 2 z dnia 6 lipca 2026 r. [17]
- Wydruki z BMS z dnia 22.07.2026r. i 30.07.2026 r. [18]
- Opinia nr 67/3 z wyniku przeprowadzonego sprawdzenia przewodów kominowych [19]
- Obowiązujące normy i przepisy:
 - PN-En 15757:2012P, Konserwacja dóbr kultury – wymagania dotyczące temperatury i wilgotności względnej w ograniczaniu mechanicznych uszkodzeń organicznych materiałów higroskopijnych powodowanych oddziaływaniem klimatu.
 - PN-ISO 11799:2006P, Informacje i dokumentacja – wymagania dotyczące warunków przechowywania materiałów archiwalnych i bibliotecznych.
 - Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 75, poz. 690) wraz z późniejszymi zmianami.
 - Obwieszczenie Ministra rozwoju i Technologii z dnia 15 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2022, poz.1225) wraz z późniejszymi zmianami.
 - Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz. U. Nr 129, poz. 844) wraz z późniejszymi zmianami.
 - Rozporządzenie Ministra Rodziny i Polityki Społecznej z dnia 4 listopada 2021 zmieniające Rozporządzenie w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz.U. 2021, poz. 2088).

2. ZAKRES OPRACOWANIA

Opracowanie zawiera opinię techniczną dotyczącą funkcjonowania systemów wentylacji, klimatyzacji, ogrzewania i chłodzenia oraz automatyki w budynkach Muzeum Pałacu Herbsta wraz z opracowaniem programu naprawczego, którego celem będzie zapewnienie wymaganych warunków środowiskowych (w szczególności temperatury i wilgotności względnej powietrza) dla przechowywania oraz eksponowania zbiorów muzealnych.

Opracowanie obejmuje pomieszczenia Pałacu, Salę Balową, Sale ekspozycyjne w Szwajcarce i Sale Galerii i Sztuki Dawnej w Powozowni.

3. OPIS STANU ISTNIEJĄCEGO

Muzeum Pałac Herbsta (MPH) – oddział Muzeum Sztuki w Łodzi mieści się w neorenesansowej willi Edwarda Herbsta w Łodzi. Oddział prezentuje oryginalne XIX – wieczne wnętrza pałacowe oraz kolekcję sztuki dawnej w budynku Powozowni. Rezydencja Pałac Herbsta wraz z otoczeniem została wybudowana w latach 1870 – 1879 według projektu Hilarego Majewskiego. Po wojnie kompleks willowy był użytkowany przez różne instytucje państwowe. Wieloletnie zaniedbania i niewłaściwa eksploatacja doprowadziły do dewastacji budynków. Rezydencja rodziny Herbstów została przejęta przez Muzeum Sztuki w Łodzi w 1976 roku. Przez niemal czternaście lat trwał generalny remont połączony z rekonstrukcją wewnątrz i innymi zabiegami konserwatorskimi. W 1990 roku pałac został oficjalnie otwarty dla zwiedzających jako oddział Muzeum Sztuki w Łodzi.

Rezydencja, to zespół obiektów otoczony ogrodem, obejmujący willę mieszkalną, salę balową, ogród zimowy, powozownię i budynki gospodarcze.

W skład zespołu wchodzi:

- Budynek Nr 1 – PAŁAC
- Budynek Nr 1a – ŁĄCZNIK
- Budynek Nr 2 – SALA BALOWA
- Budynek Nr 2a – OGRÓD ZIMOWY z KAWIARNIĄ
- Budynek Nr 3 – SZWAJCARKA (HERBSTOWIE)
- Budynek Nr 4 – ZAPLECZE KAWIARNI, HOTEL
- Budynek Nr 5 – POWOZOWNIA
- Budynek Nr 6 i 6a – KORDEGARA
- Budynek Nr 7 – MNOŻARKA

Pałac Herbsta 20 stycznia 1971 roku został wpisany do rejestru zabytków nieruchomych woj. łódzkiego i od tej pory podlega ochronie Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków w Łodzi. Wiąże się to z bezwzględnym przestrzeganiem wytycznych konserwatorskich.

4. ANALIZA ISTNIEJĄCEGO STANU TECHNICZNEGO INSTALACJI HVAC ORAZ SYSTEMU AUTOMATYKI Z OKREŚLENIEM NIEPRAWIDŁOŚCI W FUNKCJONOWANIU TYCH SYSTEMÓW

Normy konserwatorskie dotyczące ekspozycji i przechowywania muzealiów w MNK przewidują następujące parametry powietrza w pomieszczeniach:

- Temperatura T [$^{\circ}\text{C}$]
 - w sezonie grzewczym: $+18^{\circ}\text{C} \leq T \leq +21^{\circ}\text{C}$, ogrzewanie działa, gdy $T < +18^{\circ}\text{C}$
 - poza sezonem grzewczym: $+18^{\circ}\text{C} \leq T \leq +25^{\circ}\text{C}$, chłodzenie działa, gdy $T \geq +24^{\circ}\text{C}$
- Wilgotność względna RH [%]
 - w sezonie grzewczym: $35\% \leq RH \leq 55\%$
 - poza sezonem grzewczym: $40\% \leq RH \leq 60\%$
 - gdy RH spada poniżej 25% można obniżyć T do $+15^{\circ}\text{C}$

UWAGA:

1. Parametry warunków mikroklimatycznych (T i RH) dotyczą wszystkich rodzajów obiektów.
2. W przypadku obiektów wrażliwych lub wymagających szczególnych warunków, indywidualne normy będą każdorazowo ustalane przez konserwatora.
3. Wahania T i RH należy minimalizować. Fluktuacja dobową nie powinna przekraczać $T \pm 2^{\circ}\text{C}$ i $RH \pm 8\%$.

Ostatecznie w porozumieniu z konserwatorem, uwzględniając istniejącą infrastrukturę techniczną obiektu, ustalono wymagane parametry powietrza w pomieszczeniach muzealnych:

$$t_{\text{pom}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C} (\pm 4 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$\varphi_{\text{pom}} = 50 \% (\pm 10 \%)$$

Wymagana jest również zwiększona czystość powietrza przez stosowanie dodatkowej filtracji powietrza nawiewanego na filtrze wtórnym klasy EU 9 (według nowej klasyfikacji ISO ePM1 80% zgodnie z EN-ISO 16890).

Do ogrzewania pomieszczeń w zespole pałacowym używana jest woda z węzła ciepłego, znajdującego się w piwnicy pod Salą balową (pom. 2/-1.2), zmodernizowanego dla potrzeb ciepła technologicznego zasilającego centrale wentylacyjne w grudniu 2012 roku [12].

Parametry wody grzewczej na potrzeby c.o. (klimakonwektorów):

- 70/50 $^{\circ}\text{C}$

Parametry wody technologicznej na potrzeby zasilania nagrzewnic w centralach:

- zima – 80/70 $^{\circ}\text{C}$
- lato – 70/35 $^{\circ}\text{C}$

Do chłodzenia pomieszczeń w zespole pałacowym używana jest woda ziemnicza wytworzona w agregacie włoskiego producenta RIGEL IMPIATI Srl., model SA-23-S-PJS-AY z pompą ciepła, z chłodziwem R410A, wyprodukowanego w 2012 roku. Agregat znajduje się w północno – wschodniej części ogrodu. Z uwagi na prowadzenie przewodów zasilającego i powrotnego od agregatu do budynku Pałacu w ziemi, w warstwie narażonej na przemarzanie, w instalacji zastosowano mieszkankę wody z glikolem (40%).

Nominalna moc chłodnicza agregatu:

- 214,5 kW

Nominalna moc grzewcza agregatu (podczas zimy, przy temperaturze zewnętrznej od – 10 $^{\circ}\text{C}$ wytwarza wodę o temperaturze do 50 $^{\circ}\text{C}$):

- 236,0 kW

Ciśnienie robocze agregatu:

- 6 bar

Parametry mieszanki wody ziemniczej z glikolem (40%) na potrzeby zasilania chłodziw w centralach i klimakonwektorów (wspólna instalacja):

- 7/12 $^{\circ}\text{C}$

W niektórych urządzeniach czynnikiem chłodniczym jest freon. W tych przypadkach zarówno klimatyzatory jak i chłodziwce w centralach są zasilane z indywidualnych jednostek zewnętrznych z bezpośrednim odparowaniem.

Zarówno w projektach, jak i na obiekcie nie wszystkie centrale miały oznaczenia, dlatego na potrzeby niniejszego opracowania zostały nazwane nowymi symbolami, które będą wprowadzone do systemu BMS obiektu.

Nowe nazwy poszczególnych central:

- **CN1** – centrala nawiewna na poddaszu (obsługuje Pałac Piętro)
- **CN2** – centrala nawiewna w piwnicy pałacu – w magazynie (obsługuje Pałac Parter)
- **CN3** – centrala nawiewna na zapleczu kawiarni (obsługuje zaplecze kawiarni)
- **CN4** – centrala nawiewna w piwnicy pałacu – w magazynie (obsługuje Komunikację w piwnicy Pałacu)
- **CNW5** (dawna **CN5**) – centrala nawiewno–wywiewna w piwnicy budynku Sali balowej (obsługuje Salę balową i Sale ekspozycyjne Szwajcarki)
- **CNW6** – centrala nawiewno – wywiewna w piwnicy pałacu – w magazynie (obsługuje Magazyny w piwnicy Pałacu)

- **CNW7** – centrala nawiewno – wywiewna na poddaszu Powozowni (obsługuje Sale Galerii Sztuki Dawnej w Powozowni)

4.1. BUDYNEK Nr 1 i 1a – PAŁAC i ŁĄCZNIK

Do utrzymania stałej w ciągu roku temperatury w pomieszczeniach parteru i piętra zostały zastosowane klimakonwektory czterorurowe, produkcji firmy Aermec (rok produkcji 2009). Urządzenia te znajdują się za ażurowymi obudowami pod parapetami, we wnękach ściennych oraz w jednym przypadku w kominku. W piwnicy zastosowano grzejniki c.o.

Do wentylacji pomieszczeń parteru i piętra [7] zostały zastosowane dwie centrale nawiewne produkcji polskiej firmy CP CLIMA – PRODUKT wyposażone w nagrzewnicę wodną, chłodnicę wodno – glikolową i nawilżacz parowy. W centralach i klimakonwektorach wymienniki grzewcze są zasilane z węzła ciepłego, a wymienniki chłodzące z agregatu chłodniczego.

Centrala **CN1** (rok produkcji 2012) o wydajności **3.200 m³/h** nawiewa powietrze do trzech pokoi (pom. 1/1.2, 1/1.7 i 1/1.9) na piętrze Pałacu, kratkami umieszczonymi pod stropem. Centrala została umieszczona na poddaszu, z czerpnią na dachu Pałacu.

Centrala **CN2** (rok produkcji 2012) o wydajności również **3.200 m³/h** nawiewa powietrze do komunikacji (pom. 1/0.10) na parterze Pałacu, szesnastoma – nawiewnikami $\phi 200$, umieszczonymi w podłodze. Centrala została umieszczona w piwnicy Pałacu (pom. 1/-1.16). Czerpnię terenową umieszczono pod tarasem przed Salą balową, na zacienionym trawniku.

W piwnicy Pałacu znajdują się Magazyny ze zbiorami muzealnymi. Pomieszczenia te obsługiwane są przez centralę nawiewno – wywiewną produkcji czeskiej firmy REMAK, wyposażoną w wymiennik krzyżowy (rekuperator), kanałową nagrzewnicę wodną, zasilaną z węzła c.o. i chłodnicę freonową, zasilaną z indywidualnego agregatu z bezpośrednim odparowaniem.

Centrala **CNW6** (rok produkcji 2009) o wydajności **1.300 m³/h** nawiewa powietrze do wydzielonych pożarowo pomieszczeń: 1/-1.15, 1/-1.18 ÷ 1/-1.22 w piwnicy Pałacu, anemostatami $\phi 100$ umieszczonymi w ścianach na wysokości ok. 1,7 m. Wywiew powietrza z pomieszczeń: 1/-1.15, 1/-1.16, 1/-1.19 ÷ 1/-1.22 realizowany jest również anemostatami $\phi 100$ umieszczonymi w ścianach na wysokości ok. 1,7 m. Centrala została umieszczona w piwnicy, w pom. 1/-1.18 z czerpnią i wyrzutnią (terenowe) usytuowanymi pod tarasem przed Salą balową, na zacienionym trawniku.

Pozostałe pomieszczenia w piwnicy Pałacu są wentylowane mechanicznie lub grawitacyjnie. Wszystkie sanitariaty i pomieszczenie socjalne mają wyciągowe wentylatory łazienkowe, włączane przełącznikiem światła, podłączone do przewodów kominowych. W celu uzupełnienia powietrza wywiewanego zastosowano centralę nawiewną, wyposażoną w nagrzewnicę wodną, zasilaną z węzła c.o.

Centrala **CN4** (rok produkcji 2012) o wydajności **1.000 m³/h** nawiewa powietrze do czterech krątek podłogowych w komunikacji (pom. 1/-1.1 i 1/-1.3). Centrala została umieszczona w piwnicy, w pom. 1/-1.16. Powietrze zewnętrzne pobierane jest ze wspólnej terenowej czerpni z centralą CN2.

4.2. BUDYNEK Nr 2 i 3 – SALA BALOWA i SZWAJCARKA (HERBSTOWIE)

Do utrzymania stałej w ciągu roku temperatury w pomieszczeniach zostały zastosowane klimakonwektory czterorurowe. Urządzenia te znajdują się: w Sali balowej dwie sztuki firmy Lennox (rok produkcji 2009) za ażurowymi obudowami pod parapetami oraz sześć sztuk produkcji firmy Emco (rok produkcji 2009) we wnękach podłogowych, przykrytych drewnianymi osłonami, posiadającymi prześwit umożliwiający ruch powietrza wywołany wentylatorami w klimakonwektorach oraz salach ekspozycyjnych w Szwajcarce jedenaście sztuk firmy Aermec (rok produkcji 2009) za

ażurowymi obudowami pod parapetami, w wnękach ściennych lub jako wolnostojące. W piwnicy pod Salą balową zastosowano grzejniki c.o.

Do wentylacji pomieszczeń parteru w obu budynkach została zastosowana jedna centrala nawiewno – wywiewna produkcji CP CLIMA – PRODUKT wyposażona w wymiennik obrotowy (rekuperator), nagrzewnicę wodną, chłodnicę wodno – glikolową i nawilżacz parowy. W centrali i klimakonwektorach wymienniki grzewcze są zasilane z węzła ciepłego, a wymienniki chłodzące z agregatu.

Projekt wentylacji [8] przewidywał dwie centrale: jedna o zmiennej wydajności 4.000 m³/h lub 2.400 m³/h miała obsługiwać Salę balową, a druga o wydajności 2.770 m³/h miała obsługiwać sale ekspozycyjne w Szwajcarce. Na etapie wykonawczym podjęto decyzję o zamontowaniu jednej, wspólnej centrali.

Centrala **CNW5** (rok produkcji 2012) o wydajności **6.770 m³/h** nawiewa powietrze w ilości **4.000 m³/h** do Sali balowej (pom. 2/0.1), kratkami umieszczonymi pionowo w dwóch rzędach w ścianie od strony Łącznika, a w ilości **2.770 m³/h** trzynastoma kratkami, umieszczonymi w podłodze Sal ekspozycyjnych (pom. 3/0.3, 3/0.4, 3/0.5 i 3/0.8) Szwajcarki. Wywiew powietrza następuje dwoma kratkami, umieszczonymi na balkonie Sali Balowej (pom. 2/1.1), po stronie przeciwnej do nawiewu oraz jedną kratką, umieszczoną w ścianie Komunikacji Szwajcarki (pom. 3/0.5).

Centrala została umieszczona w piwnicy pod Salą balową (pom.2/-1.6). Czerpnię oraz wyrzutnię umieszczono na ścianie budynku Nr 2a, od strony północnej, na wysokości ok. 2 m od poziomu terenu.

4.3. BUDYNEK Nr 2a – OGRÓD ZIMOWY Z KAWIARNIĄ

Ogród zimowy z kawiarnią ogrzewany jest grzejnikami c.o., latem pomieszczenie chłodzone jest dwoma klimatyzatorami typu Split (z instalacją freonową). Pomieszczenie nie posiada wentylacji mechanicznej.

Instalacje są sprawne, dlatego nie są objęte niniejszym opracowaniem.

4.4. BUDYNEK Nr 4 – ZAPLECZE KAWIARNI, HOTEL

Zaplecze kawiarni, znajdujące się na parterze budynku, ogrzewane jest grzejnikami c.o., latem pomieszczenie chłodzone jest klimatyzatorami typu Split (z instalacją freonową). Do wentylacji mechanicznej zastosowana została centrala nawiewna **CN3** (rok produkcji 2012) o wydajności **630 m³/h**. Wywiew z pomieszczeń odbywa się indywidualnymi wentylatorami wyciągowymi.

Na piętrze tego budynku znajdują się pomieszczenia biurowe, sala konferencyjna oraz pomieszczenia hotelowe. Pomieszczenia ogrzewane są grzejnikami c.o., natomiast do chłodzenia latem pomieszczeń biurowych i sali konferencyjnej zastosowano klimatyzator kanałowy z instalacją freonową. Pokoje hotelowe są ogrzewane grzejnikami c.o.

Instalacje są sprawne, dlatego nie są objęte niniejszym opracowaniem.

4.5. BUDYNEK Nr 5 – POWOZOWNIA

Pomieszczenia dawnej Powozowni na parterze zostały zaadaptowane na sale ekspozycyjne. W 2012 roku w salach utworzono Galerię Sztuki Dawnej. Na piętrze znajdują się pomieszczenia biurowe, sala konferencyjna, pomieszczenie techniczne oraz dwa apartamenty dla specjalnych gości rezydencji Pałac Herbsta.

Do wentylacji sal ekspozycyjnych Powozowni [4], [5] została zastosowana centrala nawiewno – wywiewna produkcji SWEGON, wyposażona w wymiennik obrotowy (rekuperator), kanałową nagrzewnicę elektryczną, chłodnicę freonową zasilaną z indywidualnego agregatu z bezpośrednim odparowaniem i nawilżacz parowy.

Centrala **CNW7** (rok produkcji 2011) o wydajności **2.520 m³/h** nawiewa powietrze do sal ekspozycyjnych (pom. 5/1.2, 5/1.3 i 5/1.7), anemostatami umieszczonymi w

podwieszonych panelach pod stropem sal. Wywiew powietrza następuje spod stropu sal. Centrala została umieszczona w pomieszczeniu technicznym (pom.5/2.12) na piętrze (poddaszu) budynku Powozowni. Czerpię oraz wyrzutnię umieszczono w dawnych otworach drzwiowych w dwóch przeciwległych mansardach.

4.6. BUDYNEK Nr 6, 6a – KORDEGARDA

W budynkach dawnej Kordegardy znajduje się Biuro ochrony obiektu. Pomieszczenia są wentylowane grawitacyjnie i nie są objęte niniejszym opracowaniem.

4.7. BUDYNEK Nr 7 – MNOŻARKA

Pomieszczenia Mnożarki są wentylowane grawitacyjnie i nie są objęte niniejszym opracowaniem.

5. OCENA STANU TECHNICZNEGO ORAZ POPRAWNOŚCI FUNKCJONOWANIA URZĄDZEŃ I UKŁADÓW STEROWANIA

W 2005 roku zostało zlecone firmom: Scott Wilson Kirkpatric & Co. Ltd, Sp. z o.o., Oddział w Polsce, Ove Arup & Partners International Ltd, Sp. z o.o., Oddział w Polsce oraz PM Group Ltd wykonanie programu funkcjonalno – użytkowego: Rewitalizacja i remont konserwatorski Pałacu Herbsta wraz z otoczeniem. Aktualizacja tego programu została wykonana przez MJ PRO Magdalena Sobiecka-Ziábka w czerwcu 2009 roku [3]. Na podstawie tego pracowania w latach 2009 ÷ 2011 zostały wykonane projekty [4] ÷ [10] oraz sukcesywnie następowała ich realizacja. Ostatnie urządzenia zostały zamontowane w 2013 roku.

Po przeszło 13 latach ciągłej eksploatacji urządzenia okazały się zawodne.

5.1. OCENA AGREGATU CHŁODNICZEGO I INSTALACJI WODY ZIĘBNICZEJ

Agregat chłodniczy jest niesprawny. W dniu 06.07.2026 roku [16] został wymieniony transformator 400V/24V, ale z uwagi na brak czynnika chłodniczego w układzie jednej sprężarki oraz niezałączanie się wentylatorów skraplacza agregat nie został uruchomiony. Według firmy serwisującej konieczne jest również dopełnienie układu chłodniczego. Oceny instalacji można będzie dokonać po uruchomieniu agregatu.

5.2. OCENA WĘZŁA CIEPLNEGO I INSTALACJI WODY GRZEWOCZEJ

Węzeł cieplny został zmodernizowany w 2005 roku, według zaleceń zawartych w Programie Funkcjonalno – Użytkowym [3]. W tym samym roku w Pałacu przeprowadzono również remont instalacji. Rozprowadzenie instalacji zasilającej wykonano pod stropem piwnic, przewód powrotny poprowadzono w kanale podłogowym. Piony zasilające grzejniki prowadzone zostały w bruzdach ściennych. Instalacja w większości wyposażona została w grzejniki żeliwne, umieszczone w „szczelnych” obudowach podokiennych, skutecznie uniemożliwiających prawidłową wymianę ciepła oraz dostęp do armatury grzejnikowej. Ponadto, na skutek wprowadzonych przez Użytkownika zmian, wypłukania kryz, kamienia osadzającego się wewnątrz grzejników i rurociągów, instalacja uległa całkowitemu rozregulowaniu. W pozostałych częściach budynku instalacja ogrzewania znajdowała się w podobnym stanie, jak w Pałacu. Zaleceniem zawartym w PF–U była modernizacja systemu ogrzewania i podany był zakres robót dla budynku głównego oraz pozostałych budynków. W zaleceniach znalazł się również zapis, żeby w pomieszczeniach, w których konieczne było utrzymanie stałych parametrów powietrza, wymienić grzejniki na klimakonwektory. W 2011 roku powstał projekt [7], w którym przewidziano wymianę na parterze i piętrze Pałacu instalacji zasilającej dotychczasowe grzejniki na nowe piony, wykonane z rur z tworzywa sztucznego typu PEX-a, polietylenowych, sieciowanych, z warstwą zapobiegającą dyfuzji tlenowej, łączonych przez zgrzewanie.

Wydajnością klimakonwektorów, a co za tym idzie temperaturą w poszczególnych pomieszczeniach, miały sterować naścienne, aktywne, pokojowe regulatory temperatury. Przewidziano również wymianę całej armatury na pionach, czyli wymianę zaworów balansowych u podstaw pionów, zaworów odcinających i odpowietrzników. Rurociągi miały być izolowane otulinami z pianki poliuretanowej. Na odgałęzieniu z rozdzielacza w węźle cieplnym miał być zamontowany zawór regulacyjny, umożliwiający zrównoważenie poszczególnych obiegów grzejnych.

Pod koniec 2012 roku powstał projekt rozbudowy węzła cieplnego dla potrzeb ciepła technologicznego zasilającego centrale wentylacyjne [12]. Rozbudowa została zakończona w 2013 roku.

W otrzymanej od MS i MPH dokumentacji nie ma informacji, czy zalecenia zawarte w projekcie [7] były wykonane. Według pracowników technicznych Pałacu instalacja grzewcza zasilająca klimakonwektory nie funkcjonuje prawidłowo.

5.3. OCENA KLIMAKONWEKTORÓW

Klimakonwektory praktycznie nie funkcjonują. Według pracowników MPH nie załączają się wentylatory, nie dochodzi woda grzewcza, również nie ma zasilania w wodę ziemniczą z powodu awarii agregatu chłodniczego. W okresie ostatniej zimy w pomieszczeniach Pałacu, Sali balowej i salach ekspozycyjnych Szwajcarki była temperatura ok. 14°C. Latem temperatura jest zbliżona do temperatury zewnętrznej. W celu poprawy przepływu wody grzewczej firma serwisowa pozejmowała siłowniki na zaworach regulacyjnych tej instalacji, ale to nie poprawiło sytuacji, nadal klimakonwektory nie grzały.

W czerwcu 2026 roku [17] zostały sprawdzone wszystkie klimakonwektory, zamontowane w Pałacu (29 szt.), na Sali balowej (8 szt.) i w salach ekspozycyjnych w Szwajcarce (11 szt.). Na 48 szt. tylko 2 szt. okazały się sprawne. W pozostałych były uszkodzone płytki sterownicze, wentylatory albo brak było zasilania elektrycznego.

5.4. OCENA PRACY CENTRAL WENTYLACYJNYCH

Centrale wentylacyjne są sprawne, w przypadku centrali **CN1** trzeba wymienić uszkodzoną nagrzewnicę, ale to jest już zlecone firmie serwisującej. Natomiast nie można stwierdzić jaką wydajność mają centrale, czy zgodną z projektowanymi wartościami, ponieważ nie zostały wyposażone w czujniki przepływu powietrza. Według założeń projektowych [4] ÷ [10] wszystkie centrale miały zimą nawilżać powietrze nawiewane, w tym celu były zaopatrzone w wytwornice pary i lance kanałowe (do wprowadzenia pary do powietrza nawiewanego), a latem osuszać powietrze nawiewane na chłodnicy wodnej. To założenie miało zagwarantować utrzymanie wymaganych stałych parametrów powietrza w pomieszczeniach:

$$t_{\text{pom}} = 20^{\circ}\text{C} (\pm 1^{\circ}\text{C})$$

$$\varphi_{\text{pom}} = 50\% (\pm 5\%)$$

O ile funkcję nawilżania powietrza (zimą) można zrealizować, to funkcji osuszania powietrza (latem) do zapisanych powyżej wartości, przy istniejących sekcjach centrali, nie da się zrealizować. Aby to udowodnić, przedstawiono psychrometryczne wykresy Molliera i-x (oznaczenie czeskie h-x) dla każdej centrali osobno. Skorzystano z czeskiego programu firmy C.I.C. Jan Hrebec i wyniki załączono do niniejszego opracowania.

Wykresy sporządzono na podstawie danych zawartych w kartach doboru central [11], wykonanych przez producenta centrali. Zarówno w doborach, jak i na wykresach i-x wartość wilgotności powietrza schłodzonego latem do 20°C jest dużo wyższa od wymaganej 50% i wynoszą dla centrali:

- **CN1 i CN2** – 76%
- **CNW5** – 90%

- **CNW6** – 74%
- **CNW7** – 69%

Chłodnice w centralach zostały dobrane do schłodzenia powietrza nawiewanego do temperatury 20°C, ale ich powierzchnia i ilość chłodu doprowadzona do tych wymienników jest niewystarczająca do wykroplenia takiej ilości wilgoci, aby osiągnąć wymagane 50%.

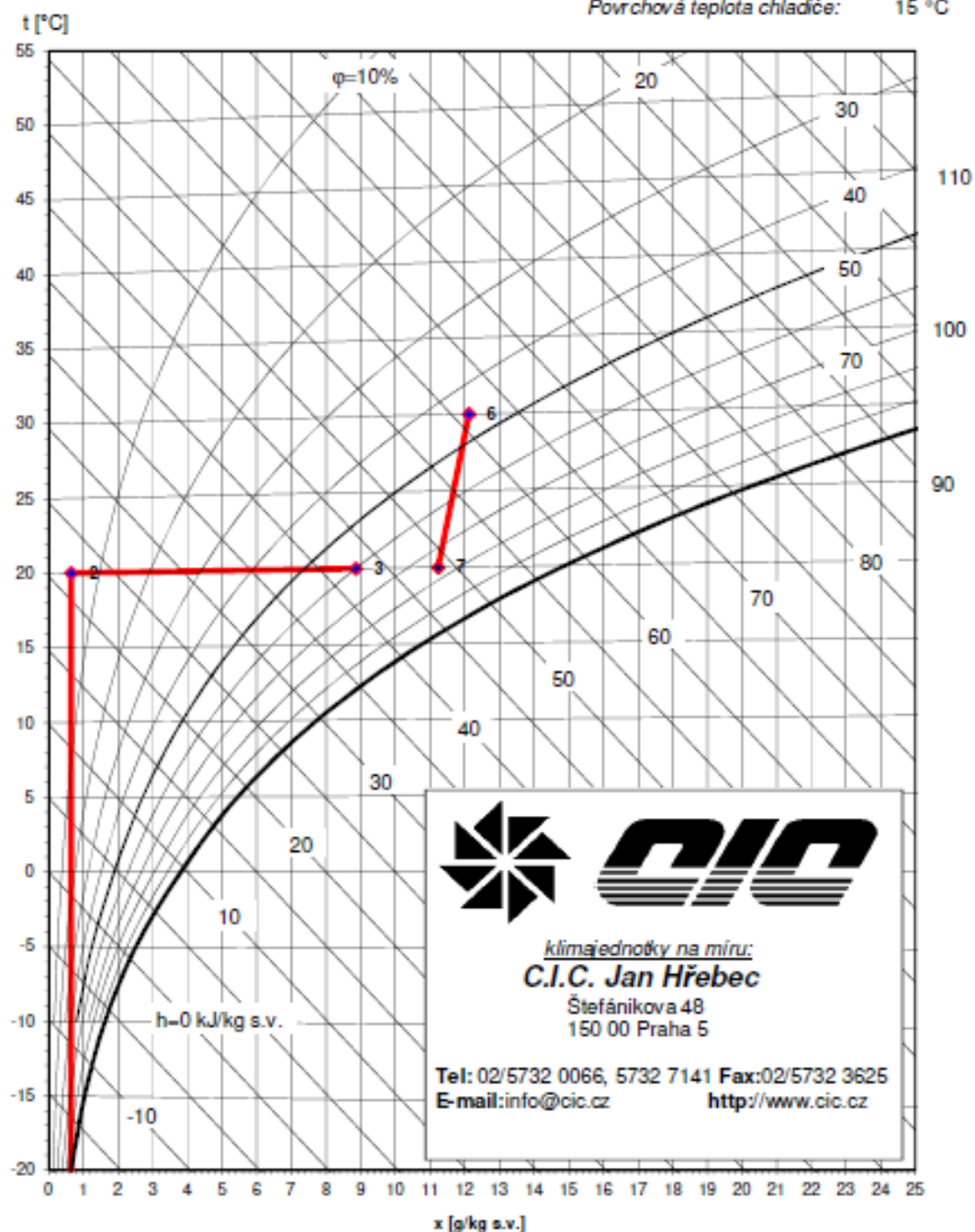
Zauważono również fakt, że przy doborach chłodnic przyjęto do obliczeń różne parametry powietrza zewnętrznego, które mają wpływ na wielkość chłodnicy i zapotrzebowania na chłód:

- dla **CN1** i **CN2** przyjęto $t_{zew}=30^{\circ}\text{C}$ i $\phi_{zew}=45\%$
- dla **CNW5** przyjęto $t_{zew}=35^{\circ}\text{C}$ i $\phi_{zew}=45\%$
- dla **CNW6** przyjęto $t_{zew}=32^{\circ}\text{C}$ i $\phi_{zew}=45\%$
- dla **CNW7** przyjęto $t_{zew}=30^{\circ}\text{C}$ i $\phi_{zew}=45\%$

Problemem zgłaszanym przez pracowników MPH obsługujących centrale są kłopoty z nawilżaniem. Oprócz częstej konieczności odkamieniania wytwornic pary, zgłaszane są problemy z wyłączaniem procesu nawilżania po przekroczeniu ustawionej wilgotności. Bywało, że para „zalewała” kanał. Również nie zawsze automatycznie załącza się nawilżanie, mimo, że wilgotność spada poniżej ustawionej. W konsekwencji pracownicy ręcznie włączają i wyłączają wytwornice pary.

Psychrometrický diagram dle Molliera
CN1 i CN2 - Piętro i Parter Palac (dobór CP)

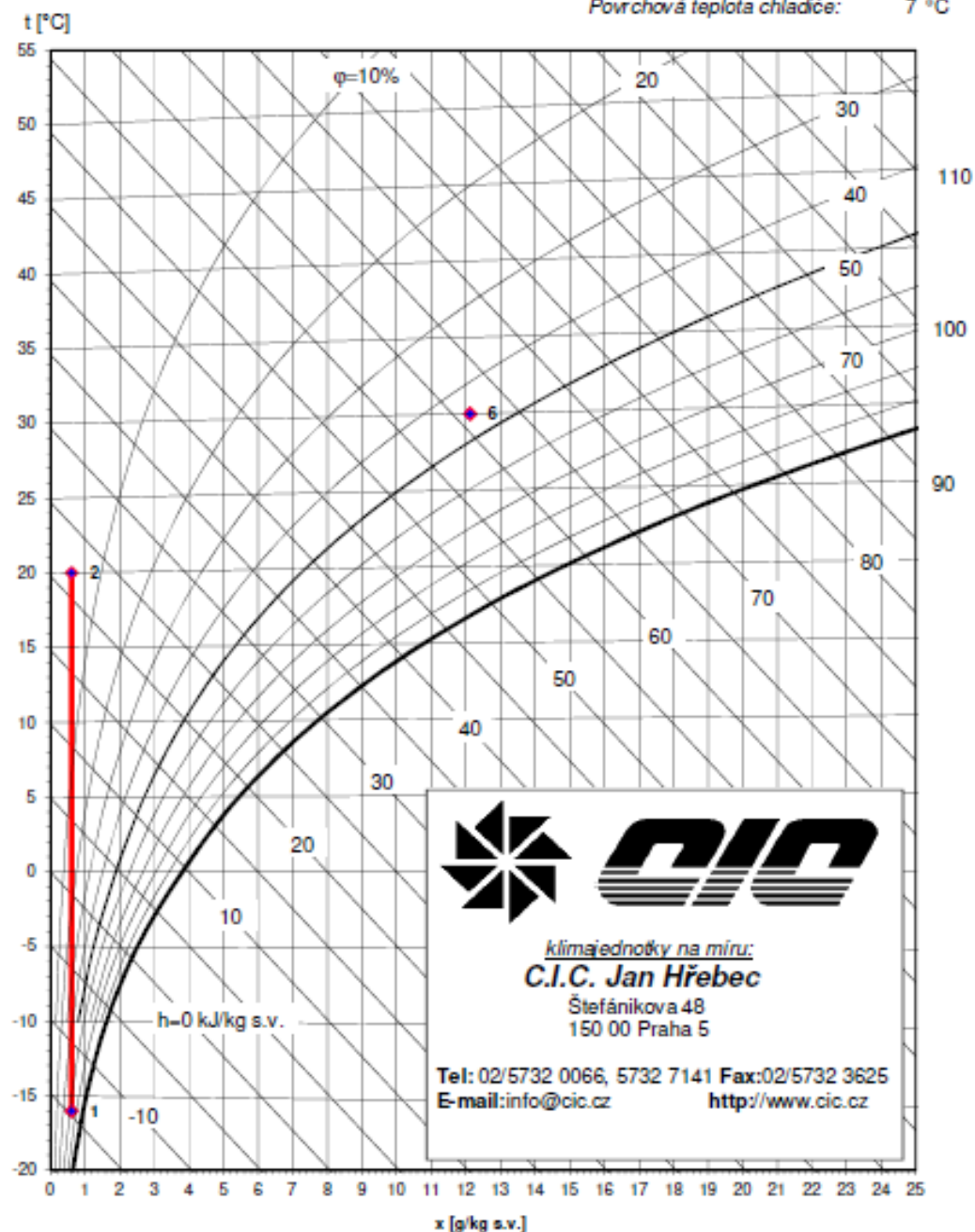
Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladíče: 15 °C



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			zima	ogrzew.	naw. par.			lato	chlod.			
Teplota	t	°C	-20,0	20,0	20,0			30,0	20,0			
rel. vlhkost	φ	%	100%	4%	60%			45%	76%			
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	0,6	8,9			12,1	11,2			
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-18,6	21,8	42,7			61,3	48,7			
hustota	ρ	kg/m ³	1,38	1,19	1,18			1,14	1,18			
t. vlhkého tepl.	tw	°C	21,5	13,2	16,1			17,0	22,5			
Skut. průtok	Vs	m ³ /h	2794	3235	3278			3407	3290			
Norm. průtok	Vn	m ³ /h	3200	3200	3200			3200	3200			
Předaný výkon	P	kW		43,1	22,2				-13,4			
Odpadná voda	qw	kg/h		0,0	31,5				-3,4			

Psychrometrický diagram dle Molliera
CN4 - Piwnice_Komunikacja Palac (dobór CP)

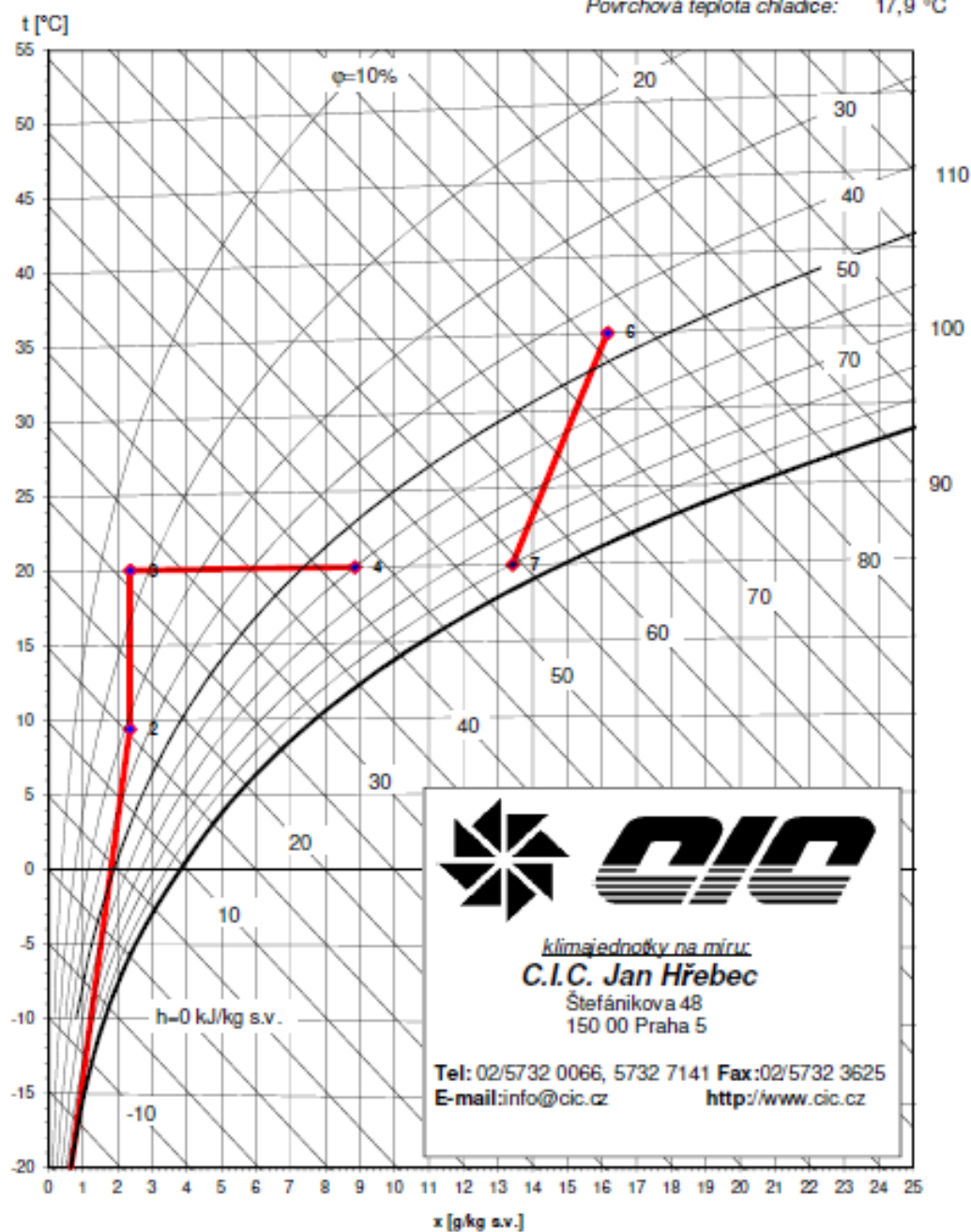
Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladiče: 7 °C



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			zima	ogrzew.				lato				
Teplota	t	°C	-16,0	20,0				30,0				
rel.vlhkost	φ	%	65%	4%				45%				
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	0,6				12,1				
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-14,7	21,7				61,3				
hustota	ρ	kg/m³	1,35	1,19				1,14				
t.vlhkého topl.	tw	°C	21,5	13,2				17,0				
Skut. průtok	Vs	m³/h	887	1 011				1 065				
Norm. průtok	Vn	m³/h	1 000	1 000				1 000				
Předaný výkon	P	kW		12,1								
Odpadová voda	qpw	kg/h		0,0								

Psychrometrický diagram dle Molliera
CNW5 - Sala balowa+Szwajcarka (dobór CP)

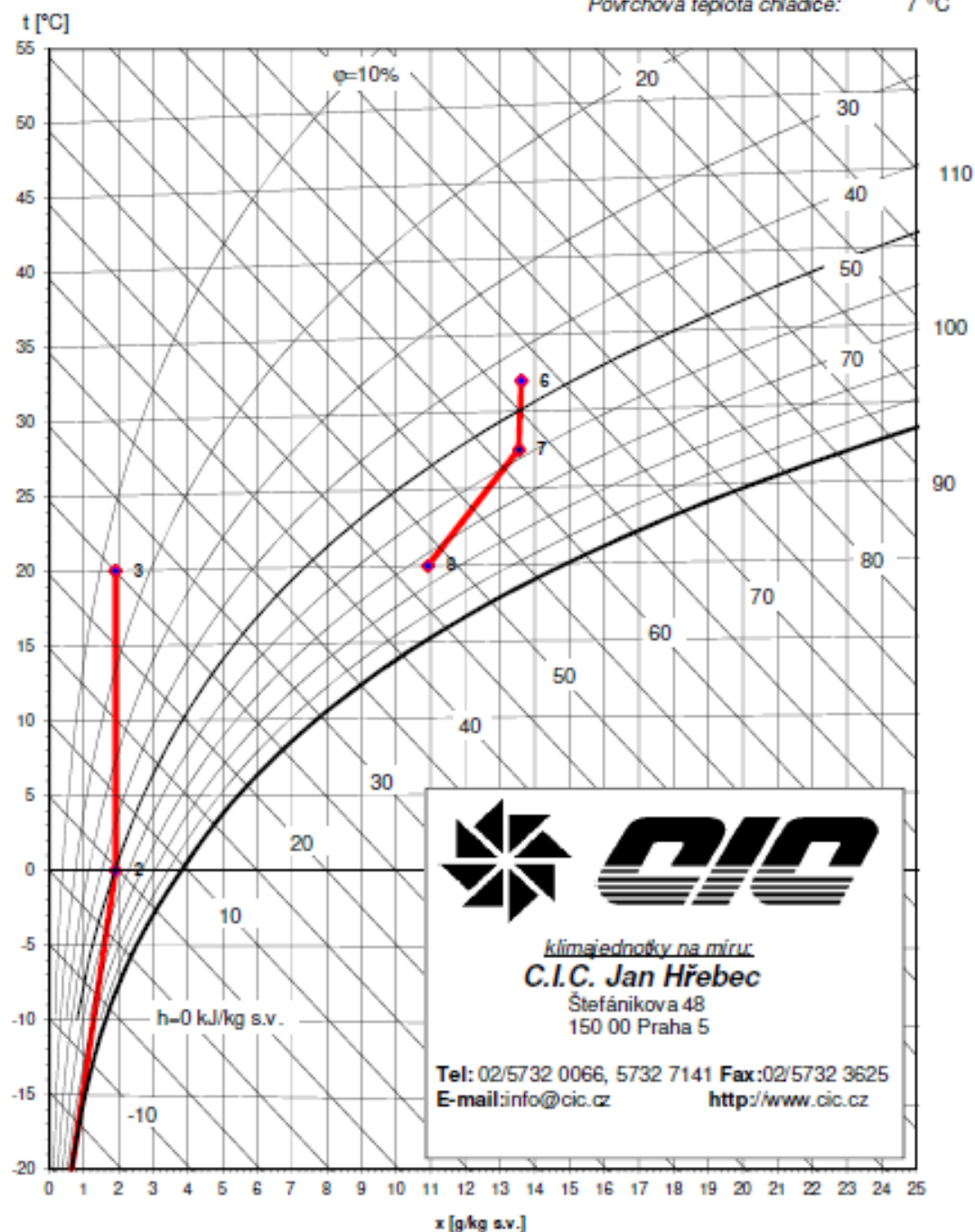
Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladíče: 17,9 °C



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			zima	zař.kup.	ogřev.	náv.par.		lato	chlod.			
Teplota	t	°C	-20,0	9,4	20,0	20,0		35,0	20,0			
rel.vlhkost	φ	%	100%	32%	16%	60%		45%	90%			
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	2,4	2,4	8,9		16,2	13,4			
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-18,6	15,4	26,2	42,7		76,8	54,2			
hustota	ρ	kg/m ³	1,38	1,23	1,19	1,18		1,12	1,18			
tv.vlhkého tepl.	tw	°C	21,5	13,2	16,1	14,4		17,0	22,5			
Skut. průtok	Vs	m ³ /h	5 910	6 615	6 863	6 934		7 373	6 984			
Norm. průtok	Vn	m ³ /h	6 770	6 770	6 770	6 770		6 770	6 770			
Prodáv. výkon	P	kW		76,8	24,3	37,2			-50,9			
Odpadné vody	q _W	kg/h		13,9	0,0	52,8			-22,3			

Psychrometrický diagram dle Molliera
CNW6 - Piwnice_Magazyny Palac (dobór Remak)

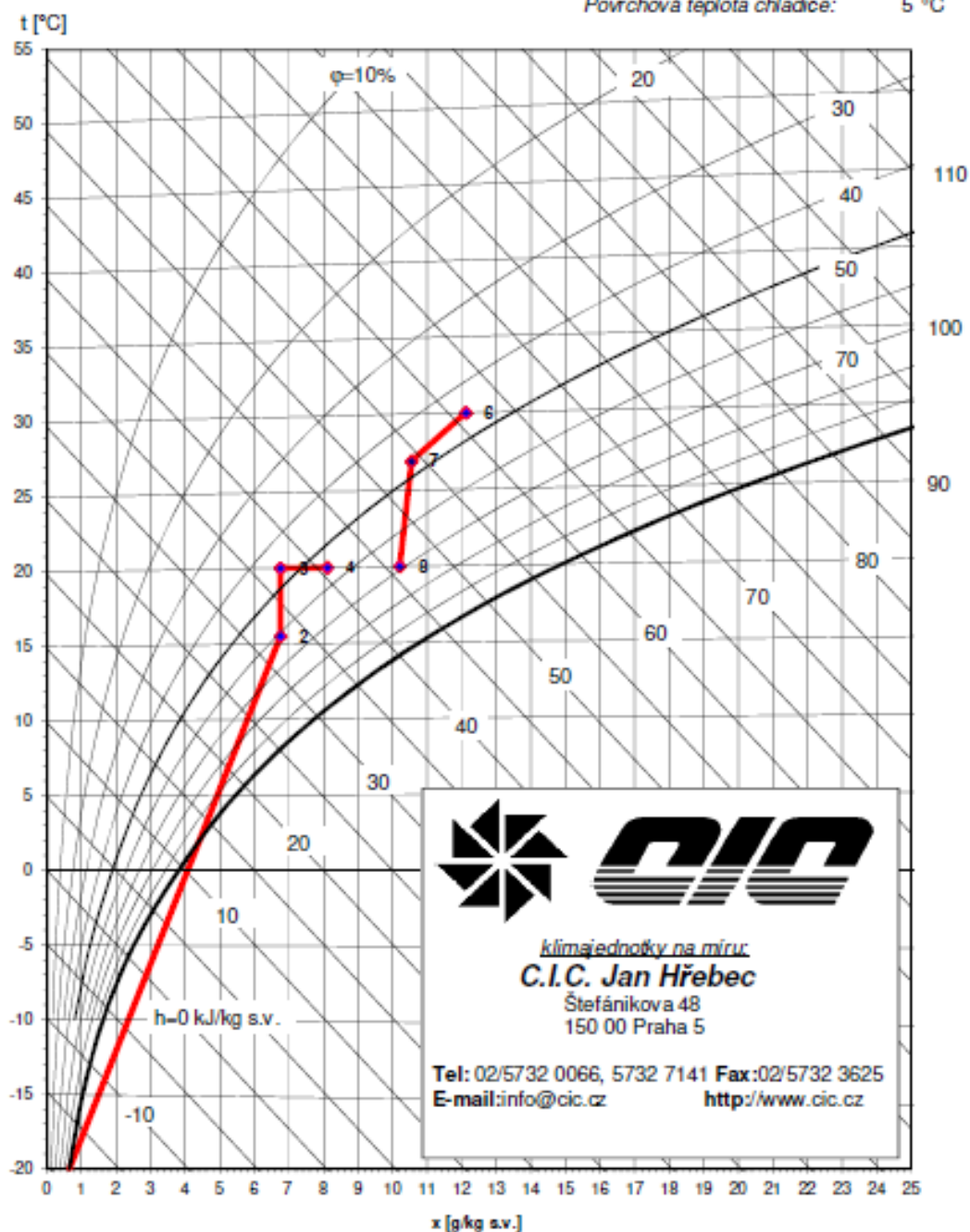
Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladiče: 7 °C



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			zima	za rekup.	ogrzaw.			lato	za rekup.	chlod.		
Teplota	t	°C	-20,0	0,0	20,0			32,0	27,5	20,0		
rel.vlhkost	φ	%	100%	50%	13%			45%	58%	74%		
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	1,9	1,9			13,6	13,5	10,9		
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-18,6	4,8	25,0			67,2	62,3	47,9		
hustota	ρ	kg/m ³	1,38	1,27	1,19			1,13	1,15	1,18		
tv.vlhkého tepl.	tw	°C	21,5	13,2	16,1			17,0	22,5	12,2		
Skut. průtok	Vs	m ³ /h	1 135	1 227	1 317			1 396	1 376	1 336		
Norm. průtok	Vn	m ³ /h	1 300	1 300	1 300			1 300	1 300	1 300		
Prodáván výkon	P	kW		10,1	8,8				-2,1	-6,3		
Odpadné vody	qw	kg/h		2,0	0,0				-0,1	-4,1		

Psychrometrický diagram dle Molliera
CNW7 - Powozownia (dobór wg Swegon)

Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladiče: 5 °C



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			zima	za rok.	nagrz.el.	nav.par.		lato	za rok.	chlod.l		
Teplota	t	°C	-20,0	15,5	20,0	20,0		30,0	26,9	20,0		
rel.vlhkost	φ	%	100%	61%	46%	55%		45%	47%	69%		
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	6,8	6,8	8,1		12,1	10,5	10,2		
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-18,6	32,7	37,3	40,8		61,3	54,1	46,1		
hustota	ρ	kg/m ³	1,38	1,20	1,18	1,18		1,14	1,15	1,18		
tvíhkoého topl.	tv	°C	21,5	13,2	16,1	14,4		17,0	22,5	12,2		
Skut. průtok	Vs	m ³ /h	2 200	2 533	2 573	2 578		2 683	2 649	2 587		
Norm. průtok	Vn	m ³ /h	2 520	2 520	2 520	2 520		2 520	2 520	2 520		
Předaný výkon	P	kW		43,1	3,9	2,9			-6,1	-6,7		
Odpadná voda	qw	kg/h		18,5	0,0	4,1			-4,8	-1,0		

5.5. OCENA SYSTEMU AUTOMATYKI

Wszystkie centrale posiadają zintegrowany system automatyki, ale w okrojonej wersji. Brakuje czujników przepływu, stwierdzających rzeczywistą wydajność central. Falowniki na wentylatorach w centralach mają fabryczne nastawy, które wcale nie muszą odpowiadać takim, przy których można uzyskać projektowaną wydajność. W dokumentacji powykonawczej brakuje informacji, że wydajności były zmierzone i odpowiadają wartościom projektowanym, prawdopodobnie nigdy nikt tego nie badał.

Centrale nawiewne CN1, CN2, CN3 i CN4 mają na kanale nawiewnym:

- higrostat kanałowy (za nawilżaczem) – na podstawie wyniku pomiaru automatycznie się aktywuje albo wyłącza, w zależności od tego, czy powietrze w kanale nawiewnym jest za suche, czy zbyt wilgotne
- kanałowy czujnik wilgotności – przy przekroczeniu nastawionej wilgotności powietrza nawiewanego otwiera zawór chłodnicy wodnej
- kanałowy czujnik temperatury – przy mniejszej od nastawionej temperatury powietrza nawiewanego otwiera zawór nagrzewnicy wodnej, przy większej od nastawionej otwiera zawór chłodnicy wodnej.

Nawilżacze i wymienniki ciepła są płynnie sterowane sygnałem 0–10V. Całkowite wyłączenie następuje po osiągnięciu zadanej wartości.

W chwili obecnej centrale nie mają wpływu na parametry powietrza w pomieszczeniu. W projekcie przewidziano zamontowanie w pomieszczeniach zdalnych paneli sterujących – zadajników pomieszczeniowych, które miały sterować pracą central. Niestety nie zostały zamontowane, zastąpiono je rejestratorami temperatury i wilgotności.

Centrala nawiewno – wywiewna CNW5 na kanale nawiewnym posiada:

- higrostat kanałowy (za nawilżaczem) – na podstawie wyniku pomiaru automatycznie się aktywuje albo wyłącza, w zależności od tego, czy powietrze w kanale nawiewnym jest za suche, czy zbyt wilgotne
- kanałowy czujnik temperatury – przy mniejszej od nastawionej temperatury powietrza nawiewanego otwiera zawór nagrzewnicy wodnej, przy większej od nastawionej otwiera zawór chłodnicy wodnej

na kanale wywiewnym posiada:

- kanałowy czujnik wilgotności – przy przekroczeniu nastawionej wilgotności powietrza wywiewanego otwiera zawór chłodnicy wodnej
- kanałowy czujnik temperatury – przy mniejszej od nastawionej temperatury powietrza wywiewanego otwiera zawór nagrzewnicy wodnej, przy większej od nastawionej otwiera zawór chłodnicy wodnej.

Nawilżacze i wymienniki ciepła są płynnie sterowane sygnałem 0-10V. Całkowite wyłączenie następuje po osiągnięciu zadanej wartości.

Zdalne panele sterujące – zadajniki pomieszczeniowe zastąpiono rejestratorami temperatury i wilgotności.

Pierwotnie przewidywano dwie centrale: jedna miała obsługiwać Salę balową, a druga sale ekspozycyjne w Szwajcarce. Obecnie jest jedna, wspólna centrala. Nie jest to dobrym rozwiązaniem, bo są to pomieszczenia o różnym przeznaczeniu. W Szwajcarce są w miarę stałe ilości osób zwiedzających, natomiast w Sali balowej, w czasie imprez, może równocześnie przebywać kilkadziesiąt, czy nawet kilkaset osób, ale najczęściej zwiedzających jest kilka osób. W projekcie przewidziano pracę centrali na potrzeby Sali balowej z dwoma wydajnościami, przy obecności 200 osób centrala miała pracować z maksymalną wydajnością, a przy mniejszej liczbie osób centrala miała zejść do niewiele ponad połowy wydajności. Przy jednej, wspólnej pracy obniżenie wydajności centrali

zmniejsza się również wydajność w Szwajcarce, co nie ma uzasadnienia i pogarsza warunki w tych salach.

Centrala nawiewno – wywiewna CNW6 posiada:

- kanałowy czujnik temperatury – przy przekroczeniu nastawionej temperatury powietrza otwiera zawór chłodnicy freonowej
- kanałowy czujnik temperatury – przy mniejszej od nastawionej temperatury powietrza otwiera zawór nagrzewnicy wodnej

Centrala nie posiada wytwornicy pary, więc nie przewidziano kontroli wilgotności powietrza.

Centrala nawiewno – wywiewna CNW7 posiada:

- rotacyjny wymiennik ciepła
- kanałową chłodnicę freonową
- kanałową nagrzewnicę elektryczną
- wytwornicę pary i kanałowe lance parowe

W archiwum MS i MPH nie znaleziono projektu wentylacji, ani kart doboru centrali i automatyki. Karty doboru centrali i nawilżacza parowego uzyskano na potrzeby niniejszego opracowania. Na ten moment nie dysponuje ani schematem, ani zestawem elementów automatyki.

W Muzeum Pałac Herbsta (MPH) istnieje system BMS opracowany i obsługiwany przez firmę INSTOM sp. z o.o., ul. Brukowa 20, 91-341 Łódź.

Do BMS podłączonych jest tylko pięć central (dotychczasowe oznaczenia):

- **CNW1** – centrala nawiewna na poddaszu (obsługuje Pałac Piętro)
- **CNW2** – centrala nawiewna w piwnicy pałacu – w magazynie (obsługuje Pałac Parter)
- **CNW3** – centrala nawiewna na zapleczu kawiarni
- **CNW4** – centrala nawiewna w piwnicy pałacu – w magazynie (obsługuje Komunikację w piwnicy Pałacu)
- **CNW5** – centrala nawiewno – wywiewna w piwnicy budynku Sali balowej (obsługuje Salę balową i sale ekspozycyjne Szwajcarki)

Odczyt parametrów i nastaw możliwy jest ze stacji ochrony, mieszczącej się w Budynku Nr 6. Na pulpicie znajduje się ikonka umożliwiająca połączenie się z serwerem BMS, jednak żaden z pracowników nie został wystarczająco przeszkolony, aby mógł z tego skorzystać. Na ekranie ukazuje się obraz centrali, na którym nic się nie dzieje, nie wiadomo, czy jest uruchomiona, czy nie. Nie ma oznaczenia, więc nie wiadomo, która to centrala i które pomieszczenia obsługuje. Podawane są parametry powietrza zewnętrznego i powietrza w centrali, ale skoro nie wiadomo, której centrali, to praktycznie są bez znaczenia. Brakuje danych dotyczących wydajności (brak czujników w centralach), częstotliwości, przy których pracują wentylatory, nie wiadomo, czy falowniki są sprawne (falowniki są już wycofane z produkcji). Brakuje odczytu parametrów powietrza w wytypowanych pomieszczeniach (brak czujników temperatury i wilgotności w pomieszczeniach). Czujniki są częścią projektu modernizacji systemów zabezpieczeń. Realizacja projektu była podzielona na dwa etapy. W pierwszym etapie, w zakresie BMS wykonano migrację systemu do nowszej wersji oprogramowania. Czujniki pomieszczeniowe zawarto w II etapie modernizacji, który nie został zrealizowany).

6. IDENTYFIKACJA PRZYCZYN WYSTĘPIJĄCYCH PROBLEMÓW ZWIĄZANYCH Z UTRZYMANIEM WYMAGANYCH PARAMETRÓW

Dla kontrolowania parametrów powietrza w pomieszczeniach MPH i sterowania pracą central przewidziano w projektach [4] ÷ [10] zamontowanie w pomieszczeniach zdalnych paneli sterujących – zadajników pomieszczeniowych. Ostatecznie nie zostały zamontowane, zastąpiono je rejestratorami temperatury i wilgotności. Do kontrolowania parametrów powietrza wytypowano następujące pomieszczenia:

- POWOZOWNIA (Budynek Nr 5) – sala ekspozycyjna
- HERBSTOWIE (SZWAJCARKA), (Budynek Nr 3) – sala ekspozycyjna
- SALA BALOWA (Budynek Nr 2)
- GABINET (pom. 1.09) – PAŁAC (Budynek Nr 1) – parter
- POKÓJ MYŚLIWSKI (pom. 1/05) – PAŁAC (Budynek Nr 1) – parter
- POKÓJ GOŚCINNY (pom. 1/1.12) – PAŁAC (Budynek Nr 1) – piętro
- SYPIALNIA PANI (pom. 1/1.5) – PAŁAC (Budynek Nr 1) – piętro
- BIBLIOTEKA (pom. 1/1.9) – PAŁAC (Budynek Nr 1) – piętro

Rejestrowanie temperatury i wilgotności [14] w tych pomieszczeniach rozpoczęto od 21 grudnia 2020 roku i trwa do chwili obecnej, czyli do 21 czerwca 2026 roku. W dniu 10 lipca 2025 roku zamontowano jeszcze jeden rejestrator w pomieszczeniu:

- WESTYBUL (pom. 1/02) – PAŁAC (Budynek Nr 1) – parter

Po przeanalizowaniu przedstawionych wyników pomiarów można wysunąć następujące wnioski:

1. W żadnym pomieszczeniu nie ma utrzymania założonych parametrów. Jeżeli one się zdarzają, to widać, że są przypadkowe, bo nie są stabilne.
2. Najstabilniejsze warunki panują w Powozowni.
3. Najniższa temperatura w Pałacu była w znaczącej większości w Bibliotece (znajdującej się na piętrze w południowo – zachodnim skrzydle), co może świadczyć o nawiewie zbyt chłodnego powietrza z centrali **CN1**, znajdującej się na poddaszu i mającej jedną z trzech krutek nawiewnych właśnie w tym pokoju.
4. Średnia temperatura powietrza w pomieszczeniach w okresie zimowym do 2025 roku wahała się pomiędzy 18°C a 23°C, a od 2025 roku waha się między 15°C a 18°C. Najniższa temperatura 10,7°C została zarejestrowana 10.01.2024 roku w Pokoju myśliwskim.
5. Średnia wilgotność powietrza w pomieszczeniach w okresie zimowym waha się między 20% a 40%. Najniższa wilgotność 8,2% (przy temperaturze 19,9°C) została zarejestrowana 09.01.2024 roku w Sali ekspozycyjnej w Herbstach (Szwajcarce).
6. Średnia temperatura powietrza w pomieszczeniach w okresie letnim waha się między 25°C a 27°C. Najwyższa temperatura 32,4°C zarejestrowana 19.08.2022 roku w Bibliotece.
7. Średnia wilgotność powietrza w pomieszczeniach w okresie letnim waha się między 60% a 70%. Najwyższa wilgotność 75,7% (przy temperaturze 23,6°C) zarejestrowana 09.06.2022 roku w Powozowni.
8. Zbyt mała wilgotność powietrza ok. 20% przy 20°C występowała w okresach zimowych, co świadczy o źle funkcjonującym systemie nawilżania.
9. Zbyt duża wilgotność powietrza powyżej 60% przy 25°C występowała w okresach letnich, co świadczy o źle funkcjonującym systemie schładzania i osuszania powietrza.
10. Najbardziej stabilne warunki panują w okresach przejściowych – wiosna, jesień.

Podstawową przyczyną problemów z utrzymaniem wymaganych parametrów powietrza są urządzenia, które z różnych przyczyn, a w szczególności z długiego okresu ich

eksploatacji, stały się zawodne. W poprzednim rozdziale szczegółowo opisano ich stan techniczny. Reasumując:

- Agregat chłodniczy jest do naprawy.
- Brak jest wystarczającej ilości zładu chłodniczego w instalacji.
- Problem z dostarczaniem wody grzewczej do klimakonwektorów.
- Klimakonwektory są do wymiany na nowe.
- Brak możliwości osuszania powietrza latem.
- Nawilżacze parowe do oceny przez Serwis, konieczność automatycznego załączania i wyłączania.

7. OKREŚLENIE RZECZYWISTYCH PARAMETRÓW CENTRAL WENTYLACYJNYCH I INSTALACJI

Rzeczywiste parametry central wentylacyjnych możliwe są do określenia na podstawie wydruków BMS. Okres przechowywania danych w BMS wynosi jeden miesiąc. Na potrzeby niniejszego opracowania dostarczone zostały wydruki z najchłodniejszego dnia lipca, czyli z 22.07.2026 roku i najgorętszego dnia lipca, czyli z 30.07.2026 roku [18]. Z wydruków można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Systemy sterowania centralami są podłączone do systemu BMS obiektu, co umożliwia odczyt trybu pracy poniższych podzespołów:
 - przepustnicy: otwarta/zamknięta
 - filtra wstępnego: drożny/zapchany
 - nagrzewnicy [%]
 - chłodnicy [%]
 - wentylator: załączony/wyłączony; przepływ: jest/nie; temperatura OK?
 - nawilżacz [%]

ponadto:

 - nastawa temperatury powietrza nawiewanego
 - odczyt z czujnika temperatury powietrza nawiewanego
 - odczyt z czujnika temperatury powietrza zewnętrznego

dodatkowo dla centrali nawiewno – wywiewnej:

 - odczyt z czujnika temperatury powietrza wywiewanego
 - nastawa wilgotności powietrza nawiewanego
 - odczyt z czujnika wilgotności powietrza nawiewanego.
2. Na schematach central nie ma zaznaczonego filtra wtórnego.
3. W pomieszczeniach MPH parametry powietrza (temperatura i wilgotność) nie są utrzymywane na wymaganym poziomie.
4. Z analizy wykresów parametrów pracy central dla okresu letniego wynika, że temperatura i wilgotność powietrza nawiewanego jest w przybliżeniu równa temperaturze i wilgotności powietrza zewnętrznego, co świadczy o niezałączającej się nagrzewnicy czy chłodnicy.
5. Sygnał wysyłany przez czujnik temperatury nie ma wpływu na temperaturę powietrza nawiewanego; nie powoduje zamknięcia/otwarcia zaworu na zasilaniu nagrzewnicy ani chłodnicy.
6. Nastawa temperatury chłodnicy (stała) nie kontroluje wilgotności powietrza nawiewanego.
7. Kanałowy czujnik wilgotności umieszczony w kanale nawiewnym nie załącza nawilżacza ani chłodnicy do osuszania.

7.1. WYDAJNOŚĆ POWIETRZA CENTRAL

Jednoznaczne określenie wydajności powietrza central jest możliwa po zamontowaniu w każdej centrali na kanale nawiewnym i wywiewnym czujników przepływu powietrza. Będzie to jednym z zaleceń w dalszej części opracowania.

7.2. SPRAWNOŚĆ ODZYSKU CIEPŁA

Monitoring BMS parametrów powietrza obejmuje tylko jedną centralę posiadającą wymiennik do odzysku ciepła z powietrza usuwanego z pomieszczeń **CNW5** (obsługuje Salę balową i Sale ekspozycyjne w Szwajcarce), ale nie ma danych z okresu zimowego, nie można więc ustalić jaka jest sprawność odzysku, ani dla niej, ani dla dwóch pozostałych central.

7.3. WYDAJNOŚĆ GRZEWcza

Nie ma wydruków z BMS z okresu zimowego, nie można więc określić wydajności grzewczej central, jednak z rejestru temperatury w pomieszczeniach MPH [14] wynika, że w okresie zimowym wymagane parametry powietrza nie są dotrzymywane. Również, kiedy dnia 22.07.2026 roku temperatura powietrza nawiewanego w godzinach nocnych spadła do 9,5°C, został wysłany sygnał na otwarcie zaworu nagrzewnicy, ale temperatura nie uległa zmianie. Być może nie ma dopływu czynnika grzewczego latem, bo zawór na nagrzewnicy jest zamknięty.

7.4. WYDAJNOŚĆ CHŁODNICZA

W chwili obecnej agregat chłodniczy jest niesprawny, nie ma więc w instalacji wody o odpowiedniej temperaturze (7/12°C), aby mówić o rzeczywistej wydajności chłodniczej. Z wydruków BMS wynika, że temperatura powietrza nawiewanego się nie zmienia, mimo wysłanego sygnału na otwarcie zaworu na chłodnicy.

7.5. WYDAJNOŚĆ NAWILŻANIA

Nawilżanie powietrza następuje zimą, w okresie, kiedy powietrze zewnętrzne ma małą zawartość wilgoci. Nie ma danych z zimy, nie można więc ustalić, czy nawilżanie następowało i z jaką wydajnością działały nawilżacze. Jednak w okresie lata również występują dni, w których spada wilgotność poniżej 45% i wtedy powinno się włączyć nawilżanie. Przykładowo w dniu 22.07.2026 dla godz. 15.00 wilgotność powietrza na nawiewie dla central, które posiadają nawilżacz, wynosiła:

- **CN1** – 30% przy temperaturze nawiewu 19,5°C
- **CN2** – 10% przy temperaturze nawiewu 20°C (prawdopodobnie jest uszkodzony czujnik, być może pokazuje kierunek, to znaczy wzrost/spadek, ale nie prawdziwą wartość; bo taka wartość jest nierealna)
- **CNW5** (dawne oznaczenie **CN5**) – 41% przy temperaturze nawiewu 25°C

Dane wskazują, że nawilżacz się nie załączył się.

7.6. WYDAJNOŚĆ OSUSZANIA

Osuszanie powietrza następuje latem, w okresie, kiedy powietrze zewnętrzne ma dużą zawartość wilgoci. Przykładowo w dniu 22.07.2026 dla godz. 10.00 wilgotność powietrza na nawiewie dla central posiadających chłodnicę, wynosiła:

- **CN1** – 67% przy temperaturze nawiewu 12,5°C
- **CN2** – 20% przy temperaturze nawiewu 19,5°C (uszkodzony czujnik, wilgotność nierealna)

Przy niepracującym agregacie chłodniczym osuszanie, nawet minimalne, nie następuje.

- **CNW5** (dawne oznaczenie **CN5**) – 46% przy temperaturze nawiewu 23°C

Centrala posiada chłodnicę freonową, z własnym agregatem, na której prawdopodobnie nastąpiło osuszenie. Pewności nie ma, bo BMS nie ma danych odnośnie wilgotności powietrza zewnętrznego.

8. BILANS POWIETRZA DLA WSZYSTKICH POMIESZCZEŃ

W projektach [4] ÷ [10] nie było przedstawionego bilansu powietrza. Dla potrzeb tego opracowania stworzono bilans dla wszystkich pomieszczeń w MPH obsługiwanych przez klimakonwektory i centrale i przedstawiono w Tabelach Nr 1 ÷ Nr 3. **Będzie on obowiązywał przy doborze urządzeń.**

9. OCENA WPŁYWU OBECNEGO STANU INSTALACJI NA WARUNKI KLIMATYCZNE W POMIESZCZENIACH MUZEALNYCH ORAZ BEZPIECZEŃSTWA ZBIORÓW.

Dla przechowywania i wystawiania w muzeach dóbr i dzieł sztuk są zalecane szczególne i zarazem bardzo specyficzne wymagania klimatyczne. W ciągu całego roku musi być w nich utrzymywany stały klimat. Oprócz utrzymania względnie niskiej temperatury, która zawiera się między $+16^{\circ}\text{C}$ i max $+20^{\circ}\text{C}$, trzeba przede wszystkim utrzymać określoną wilgotność względną, która jest różna, zależnie od rodzaju zbiorów. Warunki bezpieczeństwa dla przedmiotów sztuki w zakresie poziomu wilgotności względnej znajdują się między 55%÷60%, natomiast dla materiałów organicznych między 55%÷60%. Idealnym klimatem pomieszczenia przeznaczonego dla materiałów organicznych byłoby zapewnienie temperatury od 16 do 18°C i wilgotności względnej 58%, kiedy to ma miejsce najmniejszy ruch materiałów. Gdy obiekty zawierają różne materiały, wówczas należy odnieść się zawsze do materiałów najbardziej wrażliwych.

Dla zbiorów wrażliwych na pył, np. dla ochrony obrazów, zalecane jest wysokosprawne filtrowanie powietrza z wykorzystaniem filtrów klasy EU6 (F6) do EU8 (F8). Przy tym ważne jest nie tylko filtrowanie powietrza zewnętrznego (między innymi zabezpieczenie przed cząstkami stałymi), ale również powietrza nawiewanego. Przy niewystarczającym filtrowaniu doprowadzanego powietrza może dojść do osadzania się na dziełach sztuki cząstek zawierających sól, pochodzących ze strumienia wilgoci.

Zapewniono filtrację nawiewanego powietrza z central na kieszeniowym filtrze wstępnym (na wlocie do centrali klasy F5) i kieszeniowym filtrze wtórnym (na wylocie centrali, czyli na nawiewie klasy EU9).

Zapewnienie odpowiednich i stabilnych parametrów powietrza w ciągu całego roku jest niezwykle ważne w pomieszczeniach muzealnych, znajdujących się w tym obiekcie. Służy to ochronie cennych zbiorów malarstwa, mebli i eksponatów znajdujących się w tym obiekcie.

Wymagane parametry powietrza w pomieszczeniach klimatyzowanych MPH:

$$t_{\text{pom}} = 20^{\circ}\text{C} (\pm 4^{\circ}\text{C})$$

$$\varphi_{\text{pom}} = 50\% (\pm 10\%)$$

Na podstawie rejestru temperatury i wilgotności [14] w wytypowanych pomieszczeniach MPH, rozpoczętych w grudniu 2020 roku i trwających do chwili obecnej, czyli do 21 czerwca 2026 roku, stwierdza się całkowitą niezgodność z wymaganiami. Szczegółową analizę zawartych w rejestrze parametrów powietrza w pomieszczeniach przedstawiono w pkt. 6 niniejszego opracowania.

Temperatura powyżej 22°C i wilgotność względna wyższa od 65% są idealnymi warunkami rozwoju zarodników grzybów, pleśni i innych organizmów. Natomiast zbyt niska wilgotność względna, poniżej 50%, powoduje wysychanie i pękanie, czyli niszczenie materiałów organicznych.

Mikroklimat środowiska nieodpowiedni dla przechowywania obiektów zabytkowych (wartości wilgotności względnej i temperatury oraz ich gradientu w czasie i w

przestrzeni oraz jakość powietrza – zanieczyszczenia gazowe i pyłowe) [15] powodują degradację dzieł sztuki, będącą efektem zachodzących procesów chemicznych lub fizycznych. Degradacja związana z przyczynami środowiskowymi jest procesem kumulatywnym, na który wpływa zarówno liczba, jak i intensywność poszczególnych zdarzeń. Wszelkie zmiany warunków środowiskowych przyczyniają się do przyspieszenia procesu degradacji, nawet jeśli czasem efekty występują niepostrzeżenie dla ludzkiego oka. Skutkami niedotrzymania optymalnej wartości:

- wilgotności względnej są:
 - zmiany kształtu i wielkości (pojawiają się odspojenia, pęknięcia)
 - skutki procesów chemicznych (korozja metali, przebarwienia, zwiększona kruchość papieru, tkanin i obrazów)
 - degradacja biologiczna
- temperatury są:
 - zmiany wymiarów
 - przyspieszenie reakcji chemicznych i fizycznych

Ekspozyty muzealne, a właściwie materiały, z których je wykonano są bardzo wrażliwe na zmiany wilgotności powietrza. Podatność materiałów na zmienne wartości wilgotności względnej otaczającego powietrza, związana jest ze zmianami ich wilgotności równowagowej. Wilgotność równowagowa materiału rozumiana jest jako wilgotność, przy której materiał higroskopijny nie wymienia wilgoci z otoczenia. Jej zmiana i wahania, występujące w wyniku absorpcji i uwalniania pary wodnej, wraz zachodzącymi procesami w środowisku powietrznym, prowadzą do zmian wymiarów materiałów, a tym samym do ich pęknięć i odkształceń. Każdorazowe zakłócenie stanu równowagi wilgotnościowej prowadzi do destrukcji zabytkowego obiektu. Wiadome jest, że dużo bardziej jest szkodliwa szybka i częsta zmiana wartości parametru, niż przechowywanie zabytku przez długi czas w stabilnych warunkach środowiskowych o wilgotności względnej i temperaturze powietrza obiegających od idealnych dla danego materiału.

Zmiany zalecanych zakresów wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza powodują uszkodzenia fizyczne, wywołane przez cykle naprężeniowo – odkształceniowe w obiektach zawierających materiały higroskopijne. Należą do nich: drewniane przedmioty i elementy konstrukcji (m.in. podłogi, boazerie, drzwi, konstrukcje dachowe), obrazy, książki, dokumenty graficzne, tkaniny, przedmioty wykonane z kości, kości słoniowej i skóry.

10. OCENA ZGODNOŚCI FUNKCJONOWANIA INSTALACJI Z WYMAGANIAMI DLA OBIEKTÓW PRZECHOWUJĄCYCH DOBRA KULTURY

Muzeum Pałac Herbsta jako obiekt przechowujący dobra kultury jest zobowiązany do przestrzegania normy PN–En 15757:2012P: Konserwacja dóbr kultury -- Wymagania dotyczące temperatury i wilgotności względnej w ograniczaniu mechanicznych uszkodzeń organicznych materiałów higroskopijnych powodowanych oddziaływaniem klimatu. Niniejsza Norma Europejska zawiera wskazówki co do wymaganych poziomów i zakresów temperatury i wilgotności względnej sprzyjających ograniczeniu fizycznych uszkodzeń powodowanych oddziaływaniem klimatu i dotyczy organicznych materiałów higroskopijnych, przechowywanych bądź ekspozowanych długookresowo (dłużej niż rok) w środowiskach wewnątrz muzeów, galerii, magazynów, archiwów, bibliotek, kościołów i nowoczesnych czy zabytkowych budynków.

Funkcjonujące w obiekcie MPH instalacje nie spełniają wymagań przedstawionych w powyższej normie. Dowodem na to są wydruki z rejestrów temperatury i wilgotności [14] w wytypowanych pomieszczeniach Zespołu Pałacu Herbsta.

11. OPIS ZIDENTYFIKOWANYCH PROBLEMÓW Z OKREŚLENIEM ICH PRZYCZYN

Wszystkie systemy wentylacji, klimatyzacji, ogrzewania i chłodzenia oraz automatyka z nimi współpracująca w budynkach Muzeum Pałacu Herbsta nie działają prawidłowo. Problemy związane z funkcjonowaniem tych urządzeń były szczegółowo opisane w pkt. 3, 4 i 5 niniejszego opracowania. Podsumowując:

- **Agregat chłodniczy** jest niesprawny [17]. Przyczyną jest:
 - brak freonu w układzie jednej sprężarki – nieszczelna instalacja
 - wentylatory skraplacza się nie załączają – do zdiagnozowania po napełnieniu instalacji freonem
- **Instalacja chłodnicza** jest niewystarczająco sprawna:
 - brak wystarczającej ilości zładu chłodniczego w instalacji – nieszczelność w instalacji doprowadzonej w ziemi, na trasie agregat – Pałac
- **Instalacja grzewcza** jest niewystarczająco sprawna:
 - brak dopływu w wystarczającej ilości czynnika grzewczego do klimakonwektorów
- **Klimakonwektory** nie grzeją i nie chłodzą [16]. Przyczyną jest:
 - uszkodzone płytki sterownicze (34 szt. na 48 szt.)
 - uszkodzone wentylatory (31 szt. na 48 szt.)
 - brak zasilania elektrycznego (16 szt. na 48 szt.)
 - brak dopływu w wystarczającej ilości wody grzewczej, nieznana przyczyna
 - brak dopływu czynnika chłodniczego z uwagi na niesprawny agregat
- **Centrale** są w ciągłej pracy, ale:
 - w **CN1** pęknięta nagrzewnica, prawdopodobnie czujnik przeciwwzamrozeniowy nie zadziałał
 - chłodnice żadnej z central nie są w stanie osuszyć powietrza do 50% wilgotności względnej – dobór wielkości chłodnicy zakładał tylko schłodzenie powietrza zewnętrznego do 20°C, co nie dawało osuszenia powietrza do 50% wilgotności względnej
 - brak czujników przepływu powietrza, zatem nie można stwierdzić rzeczywistej wydajności central – nie były zamówione
- **Nawilżacze parowe** nie są załączane i wyłączane automatycznie – uszkodzone czujniki albo złe nastawy
- **Automatyka** central jest w ograniczonej wersji:
 - brak czujników przepływu powietrza mierzących wydajność central – nie zamówione
 - brak powiązania między zmierzoną wydajnością a nastawą falownika w celu utrzymania wydajności na stałym poziomie przy zmieniających się oporach (przy różnym zabrudzeniu filtrów) – brak czujników
 - brak w pomieszczeniach zdalnych paneli sterujących – zadajników pomieszczeniowych, sterujących pracą nagrzewnicy, chłodnicy i nawilżacza parowego central – nie zamówione, zastąpiono pomieszczeniowymi rejestratorami temperatury i wilgotności
- **System BMS** został ograniczony do realizacji I etapu:
 - brak podłączenia do monitoringu dwóch central (jest podłączonych pięć z siedmiu zamontowanych w MPH) – brak zlecenia
 - brak podłączenia do monitoringu wszystkich klimakonwektorów – nie było przewidziane (podobno instalacja słaboprądowa została położona, ale nie ma pewności, czy jest sprawna)
 - brak pracownika MPH przeszkolonego do obsługi systemu – przyczyna nieznana
 - w podglądzie systemu BMS w MPH brak nazewnictwa central – niedopatrzenie

- w podglądzie systemu BMS w MPH brak wizualnej informacji o stanie pracy centrali (włączona czy wyłączona) – nie zamówiono

12. OCENA POPRAWNOŚCI DOBORU I WSPÓŁPRACY POSZCZEGÓLNYCH ELEMENTÓW SYSTEMU HVAC ORAZ ICH WPŁYW NA MOŻLIWOŚĆ UTRZYMANIA WYMAGANYCH PARAMETRÓW KLIMATYCZNYCH

- Centrale wentylacyjne – doборы były przeprowadzone na etapie projektów. W dyspozycji Muzeum Sztuki (MS) w Łodzi są wszystkie projekty [6] ÷ [11], z wyłączeniem projektu dotyczącego Magazynów w piwnicy Pałacu, centrala CNW6, oraz w okrojonej wersji Sal ekspozycyjnych w Powozowni [4] i [5], centrala CNW7 (dobór tej centrali uzyskano na potrzeby niniejszego opracowania). W projektach zamieszczone są karty doboru.

Wszystkie centrale produkcji polskiej firmy CP CLIMA-PRODUKT mają prawidłowo dobrane filtry: wstępny F5 i wtórny EU9, nagrzewnice i nawilzacze powietrza. Natomiast chłodnice są dobrane na schłodzenie powietrza zewnętrznego do 20°C, co nie daje osuszenia powietrza do wymaganej 50% wilgotności względnej. Wilgotność względna za chłodnicą wg doboru wynosi odpowiednio dla central:

- **CN1** – 76%
- **CN2** – 76%
- **CNW5** – 90%

Z powodu braku karty doboru centrali **CNW6** oraz braku możliwości odczytu temperatury nawiewu (centrala nie jest włączona do systemu BMS) możliwa jest ocena jedynie doboru chłodnicy freonowej, bowiem na niej jest nalepka producenta, czeskiej firmy REMAK – wydajność chłodnicy wynosi 6,3 kW przy wydajności centrali 1.300 m³/h. Przy założeniu, że chłodnica ma obniżyć temperaturę powietrza nawiewanego do 20°C można z wykresu i-x (pkt. 5.4) odczytać wynikową wilgotność względną:

- **CNW6** – 74%

czyli chłodnica również nie jest w stanie osuszyć powietrza do wymaganej wartości 50%. Dobrana chłodnica ma swój niezależny agregat freonowy.

Centrala posiada filtr wstępny na wlocie do centrali, natomiast nie posiada filtra wtórnego EU9 na nawiewie. Powinien on się znaleźć na nawiewie, za ostatnią sekcją centrali, czyli w tym wypadku za kanałową chłodnicą freonową.

Z karty doboru centrali **CNW7** wynika, że w centrali jest tylko filtr wstępny klasy F7, brakuje filtra wtórnego EU9 na nawiewie, za kanałową chłodnicą freonową. Dobrana chłodnica ma swój niezależny agregat freonowy. Również powietrze za chłodnicą ma zbyt dużą wilgotność względną:

- **CNW7** – 69%

Nie można ocenić doboru silników wentylatorów żadnej z central, ponieważ nie ma możliwości określenia wartości ich wydajności.

- **Klimakonwektory** – doборы były przeprowadzone na etapie projektów [6] ÷ [11]. Na rysunkach zostały dla każdego pomieszczenia w Pałacu, Sali balowej i Sal ekspozycyjnych w Szwajcarce naniesione wartości zysków i strat ciepła oraz wydajności chłodnicze i grzewcze klimakonwektorów. Nie było to ujęte w formie tabelarycznej, dlatego na potrzeby niniejszego opracowania wykonano Tabelę Nr 4. Wszystkie klimakonwektory oprócz Sali balowej mają większą wydajność chłodniczą i grzewczą w stosunku do wymaganej z obliczonych zysków i strat ciepła, czyli są dobrane prawidłowo. Podawana przez producentów nominalna katalogowa wydajność chłodnicza klimakonwektorów odnosi się do temperatury w pomieszczeniach równej 27°C, a w pomieszczeniach MHP wymagana

temperatura wynosi 20°C, z czego być może, wynika pozorne "przewymiarowanie" urządzeń.

- Sumarycznie dla poszczególnych budynków bilans chłodu i ciepła przedstawia się następująco:

- Pałac parter – zyski ciepła 34,6 kW, wydajność chłodnicza 49,9 kW
straty ciepła 46,5 kW, wydajność cieplna 70,7 kW
- Pałac piętro – zyski ciepła 39,0 kW, wydajność chłodnicza 43,7 kW
straty ciepła 33,4 kW, wydajność cieplna 54,6 kW
- Łącznik – zyski ciepła 1,8 kW, wydajność chłodnicza 2,9 kW

- Sala balowa – zyski ciepła 36,6 kW, wydajność chłodnicza 21,0 kW
straty ciepła 11,7 kW, wydajność cieplna 31,4 kW
- Szwalczarka – zyski ciepła 20,5 kW, wydajność chłodnicza 28,0 kW
straty ciepła 17,3 kW, wydajność cieplna 42,0 kW

W **Sali balowej** dobrane są klimakonwektory o **mniejszej wydajności** chłodniczej niż wymagane. W projekcie był zapis, że niedobór miał być pokryty przez nawiew przechłodzonego powietrza, ale chłodnica centrali była dobrana do schłodzenia powietrza do 20°C, więc nie pokrywała niedoboru. Zatem w tym pomieszczeniu klimakonwektory były źle dobrane.

W otrzymanej od MS dokumentacji w **Salach w Powozowni** nie było podanych zysków i strat ciepła, ani danych dotyczących klimakonwektorów. Nie można się więc ustosunkować do ich doboru. Jedynie można wyciągnąć wnioski z ich funkcjonowania na podstawie rejestru temperatury i wilgotności od grudnia 2020 roku do czerwca 2026 roku [14]. W Salach tych parametry powietrza są najbardziej stabilne w porównaniu z innymi pomieszczeniami zespołu pałacowego:

- zimą temperatura i wilgotność była zgodna z wymaganiami, sporadycznie temperatura nieco spadała, ale nie mniej niż do 17,5°C, a wilgotność też nie była niższa niż 30%
- latem temperatura wahała się od 20 ÷ 25°C, wilgotność 45 ÷ 65%

Można zatem uznać, że klimakonwektory wydajność grzewczą mają wystarczającą, natomiast ich wydajność chłodnicza jest nieco za mała.

- **Automatyka** do central była zamówiona w wersji okrojonej, ale nie musi to być wina projektowa, lecz świadomość kosztów inwestycyjnych, tak jak np. zamiana zdalnych paneli sterujących – zadajników pomieszczeniowych na rejestratory temperatury i wilgotności.

Płytki sterownicze do klimakonwektorów są ich integralną częścią i nie podlegają ocenie, natomiast ich skuteczność i trwałość zależą od producenta tych urządzeń. Wybór producentów przy doborze klimakonwektorów mógł być i pewnie był podyktowany limitami finansowymi inwestycji.

- **Układy grzewcze** – węzeł cieplny ostatnio (w 2013 roku) był rozbudowany dla potrzeb ciepła technologicznego zasilającego centrale wentylacyjne [12]. Według zapisu w projekcie parametry wody grzewczej na potrzeby c.o.:

- 70/50 °C

a parametry wody technologicznej na potrzeby zasilania nagrzewnic w centralach:

- zima – 80/70 °C
- lato – 70/35 °C

Według wskaźników zamontowanych na rurociągach w węźle parametry te są utrzymywane. Pracownicy techniczni Pałacu twierdzą, że instalacja grzewcza zasilająca klimakonwektory nie funkcjonuje prawidłowo. Instalacja ta została położona w latach 80-tych poprzedniego wieku, ale później była remontowana.

Nie wiadomo jednak, czy zalecenia zawarte w projekcie [7] były wykonane w całości i prawidłowo. Szczegółowy opis prac przedstawiono w **pkt. 5.2.** niniejszego opracowania.

- **Układ chłodniczy wodny** (mieszanka 40% glikolu) – agregat niesprawny, niedostateczna ilość zładu chłodniczego w instalacji
- **Układ chłodniczy freonowy** – w dwóch centralach **CNW6** i **CNW7** zamontowane są chłodnice freonowe z indywidualnymi agregatami z bezpośrednim odparowaniem. Nie można ocenić tych układów, ponieważ nie są podłączone do systemu BMS, nie ma informacji, jaka temperatura i wilgotność jest za chłodnicą.

Generalnie niedotrzymanie wymaganych parametrów klimatycznych w pomieszczeniach MPH nie wynika z błędów projektowych, czyli doboru urządzeń, a z jakości urządzeń i czasu ich eksploatacji.

13. ZALECENIA DOTYCZĄCE REGULACJI I OPTIMALIZACJI PRACY ISTNIEJĄCYCH INSTALACJI

Regulacja i optymalizacja istniejących urządzeń, nie przyniesie efektów, które sprawią, że uzyska się stabilne utrzymanie wymaganych parametrów powietrza w pomieszczeniach MPH.

14. PROGRAM NAPRAWCZY – WSKAZANIE KONIECZNYCH NAPRAW, WYMIANY LUB MODERNIZACJI POSZCZEGÓLNYCH ELEMENTÓW SYSTEMÓW

Podsumowując dotychczasowe oceny i analizy przeprowadzone w niniejszym opracowaniu stwierdza się, że aby doprowadzić do osiągnięcia stabilnych wymaganych warunków w pomieszczeniach MPH **należałoby**:

1. Wymienić wszystkie klimakonwektory na nowe, renomowanego producenta.
2. Wymienić wszystkie centrale na nawiewno – wywiewne, z funkcją grzania, chłodzenia, nawilżania, osuszania i filtrowania, z integrowaną pełną automatyką, energooszczędne, renomowanego producenta.
3. Rozprowadzić powietrza z centrali do poszczególnych pomieszczeń w ilości zapewniającej tą samą krotność wymian.
4. Wymienić instalacje grzewczą i chłodniczą, łącznie z agregatem nowszej generacji.
5. Dostosować system BMS do współpracy z wszystkimi urządzeniami tak, aby pracownicy MPH mogli w każdej chwili być poinformowani o parametrach środowiskowych w pomieszczeniach i zawiadamiani o ewentualnych nieprawidłowościach w działaniu urządzeń.

Z uwagi na fakt, że obiekt jest wpisany do rejestru zabytków nieruchomych woj. łódzkiego i podlega ochronie Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków w Łodzi, co ogranicza w znacznym stopniu ingerencję we wnętrza pomieszczeń, przedstawione powyżej wytyczne mogą okazać się nierealne, np. wprowadzenie powietrza kanałami wentylacyjnymi do poszczególnych pomieszczeń.

Dla poprawy dotychczasowych nieprawidłowych warunków środowiskowych przedstawiono poniżej **możliwe i jednocześnie konieczne** do zrealizowania następujące działania:

1. Wymienić wszystkie klimakonwektory – przykładowe doборы nowych zamieszczono w Tabeli Nr 5 ÷ Nr 8. Zapewnić w obudowach maskujących klimakonwektory odpowiedni dopływ i odpływ powietrza.
2. W celu zrealizowania możliwości osuszania powietrza we wszystkich dotychczasowych centralach należy zamontować na kanale nawiewnym dodatkową chłodnicę i nagrzewnicę (aby najpierw maksymalnie schłodzić powietrze i wytrącić maksymalną ilość wilgoci, a potem podgrzać do temperatury

wymaganej, czyli 20°C). Dobór dodatkowej chłodnicy (z uwzględnieniem dotychczasowej) i nagrzewnicy wtórnej przeprowadzono posługując się wykresem Molliera h-x (i-x) i przedstawiono w **pkt. 14.2.** niniejszego opracowania oraz w Tabeli Nr 9 i Nr 10 – Zestawienie dobranych urządzeń do osuszania powietrza (Alternatywnie chłodnice freonowe lub wodne).

3. Zamontować dodatkowe kanałowe filtry ISO ePM1 80% (dawne oznaczenie EU9) za wtórnymi nagrzewnicami na kanałach nawiewnych i wyposażyć je w presostaty.
4. Zmienić silniki wentylatorów nawiewnych w centralach (jeżeli wydajność nawiewu okaże się zbyt mała przy maksymalnej częstotliwości na falowniku) oraz zamontować dodatkowy wentylator kanałowy na nawiewie centrali CNW6.
5. Zrobić przebicia pod stropem do wolnych przewodów kominowych w Pałacu.
6. Usprawnić system nawilżania wszystkich central.
7. Usprawnić instalację grzewczą i chłodniczą.
8. Instalację chłodniczą wyposażyć w wymiennik: woda z 40% glikolu / woda
9. Usprawnić instalację elektryczną zasilającą klimakonwektory.
10. Wyposażyć system automatyki w dodatkowe elementy.
11. Zmodernizować oprogramowanie systemu BMS.

Z uwagi na wzajemne powiązania poszczególnych elementów infrastruktury technicznej obiektu, przyszłe projektowane rozwiązania należy traktować jako integralny system. Nie dopuszcza się przyjmowania rozwiązań polegających wyłącznie na wymianie pojedynczych urządzeń bez analizy ich wpływu na funkcjonowanie całego układu HVAC, automatyki i BMS. Dokumentacja projektowa powinna wskazywać rozwiązania optymalne pod względem technicznym, eksploatacyjnym i energetycznym oraz uwzględniać rachunek kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych w całym cyklu życia instalacji.

14.1. KLIMAKONWEKTORY

Z przeprowadzonej w czerwcu 2026 roku inwentaryzacji klimakonwektorów [16] wynika, że prawie wszystkie, z różnych przyczyn, nie nadają się do użytkowania. Nawet po usunięciu bardzo poważnych usterek, zapewne bardzo kosztownych, nie będzie pewności, że w krótkim czasie nie nastąpią nowe uszkodzenia. Długi okres (13 lat) użytkowania nie gwarantuje bezawaryjnej pracy tych urządzeń przez następne kilkanaście lat. Klimakonwektory są podstawowymi i jedynymi urządzeniami, gwarantującymi stabilną temperaturę zarówno zimą jak i latem. Dodatkowo latem osuszają powietrze w pomieszczeniach, co prawda nie kontrolowanie, ale ze współpracą z nawiewem osuszonego (kontrolowanie) powietrza zewnętrznego, zapewnią stabilną wilgotność powietrza.

To wszystko nasuwa jedyną sensowną decyzję. Wymiana wszystkich w Pałacu, Sali balowej i w Salach ekspozycyjnych Szwajcarki, czyli **54 sztuk** klimakonwektorów na nowe, renomowanego producenta. Przy doborze nowych należy wziąć pod uwagę wymiary wnęk, w których znajdują się dotychczasowe.

Z rejestru temperatury i wilgotności w wytypowanych pomieszczeniach zespołu pałacowego (od grudnia 2020 roku do 21 czerwca 2026 roku) [14] wynika, że nawet 6 lat temu klimakonwektory (mimo prawidłowego doboru – **pkt. 12.** niniejszego opracowania) nie gwarantowały w pomieszczeniach zespołu pałacowego (oprócz Powozowni) stabilnej temperatury, wręcz bardzo różnej, z dużymi wahaniami, temperatury i wilgotności. Powodem tego były zamontowane przed klimakonwektorami ozdobne, ale za bardzo „szczelne” obudowy, skutecznie uniemożliwiające prawidłową wymianę ciepła. Brak dopływu przy podłodze powietrza z pomieszczenia do klimakonwektora oraz swobodnego wypływu powietrza górą do pomieszczenia powodowało, że urządzenie nie było w stanie funkcjonować prawidłowo. Prawie „całe

ciepło lub chłód” zostawało za obudową i czujniki temperatury wyłączały klimakonwektory, które przestawały grzać lub chłodzić.

Bezwzględny warunek poprawy działania klimakonwektorów jest umożliwienie prawidłowego przepływu powietrza. W tym celu należy w obudowie zapewnić swobodny dopływ powietrza do klimakonwektora od dołu, przy podłodze oraz swobodny wypływ powietrza z klimakonwektora w górnej części, pod parapetem.

w **Pałacu**:

- Szatnia (pom. 1/0.3) – 2 szt. usunąć na długości klimakonwektora:
 - ✓ listwę przypodłogową
 - ✓ listwę podparapetową
- Salon środkowy (pom. 1/0.6) – 2 szt.:
 - ✓ zwiększyć prześwit nad podłogą do wysokości ok. 6 cm
 - ✓ zwiększyć prześwit pod parapetem do wysokości ok. 10 cm
- Sala lustrzana (pom. 1/0.8) – 3 szt. na długości klimakonwektora:
 - ✓ wyciąć w listwie przypodłogowej otwór o wysokości ok. 6 cm
 - ✓ wyciąć w listwie podparapetowej otwór o wysokości ok. 10 cm
- Sypialnia Pana (pom. 1/1.7) – 2 szt. na długości klimakonwektora:
 - ✓ wyciąć w listwie przypodłogowej otwór o wysokości ok. 6 cm
 - ✓ wyciąć w listwie podparapetowej otwór o wysokości ok. 10 cm
- Biblioteka (pom. 1/1.9) – 2 szt. na długości klimakonwektora:
 - ✓ wyciąć w listwie przypodłogowej otwór o wysokości ok. 6 cm
 - ✓ wyciąć w listwie podparapetowej otwór o wysokości ok. 10 cm
- Pokój Starszej Pani (pom. 1/1.10) – 1 szt. na długości klimakonwektora:
 - ✓ wyciąć w listwie przypodłogowej otwór o wysokości ok. 6 cm
- Pokój gościnny (pom. 1/1.12) – 2 szt. na długości klimakonwektora:
 - ✓ wyciąć w listwie przypodłogowej otwór o wysokości ok. 6 cm
 - ✓ wyciąć w listwie podparapetowej otwór o wysokości ok. 10 cm

w **Sali balowej**:

- w podłodze – 6 szt.:
 - ✓ zwiększyć do koniecznych wymiarów wielkości klimakonwektora z maksymalnym prześwitem
- pod oknami – 2 szt.:
 - ✓ zwiększyć prześwit nad podłogą do wysokości ok. 10 cm
 - ✓ jeżeli wylot powietrza będzie od czoła, to obudowa bez zmian
 - ✓ jeżeli wylot powietrza będzie do góry, to zrobić prześwit między parapetem a kratką (np. wyciąć drugą poziomą listwę i obniżyć wszystkie kratki tak, aby powstała szpara o wysokości usuniętej listwy)

w **Szwajcarce**:

- w salach ekspozycyjnych pod oknami – 11 szt.:
 - ✓ wyciąć listwę przypodłogową za obudową na wymiar otworu w obudowie.

UWAGA: Wszystkie otwory przy podłodze muszą zapewnić możliwość **wyjmowania i czyszczenia filtra powietrza** zasysanego przez klimakonwektor. Jeżeli podane powyżej wysokości okażą się za małe, należy je zwiększyć.

W przypadku niemożności wykonania otworu w górnej części obudowy, rozpatrzyć możliwość wysunięcia obudowy do przodu na tyle, aby stworzyć wolną przestrzeń od góry i z boków. Dolny otwór musi być mimo to bezwzględnie wykonany.

Dodatkowo za każdą obudową klimakonwektorów wykonać:

- przegrodę na długość klimakonwektora, z bocznymi ściankami i ustawić pod kątem tak, aby powietrze z pomieszczenia zasysane przez

klimakonwektor trafiało do otworu wlotowego i nie mieszało się z powietrzem nawiewanym,

- ścianę za klimakonwektorem i spodnią stronę parapetu (od strony nawiewu powietrza) wyłożyć matą termoizolacyjną pokrytą folią aluminiową.

14.2. CENTRALE WENTYLACYJNE

Wszystkie zamontowane w MPH centrale są sprawne, ale nie nawiewają powietrza o wymaganych parametrach. Aby określić jakie zmiany należy wprowadzić, posłużono się wykresem Molliera i-x (oznaczenie czeskie h-x). Skorzystano z czeskiego programu firmy C.I.C. Jan Hrebec. W tym celu ustalono warunki, takie same dla wszystkich central, dla których przeprowadzono obliczenia.

Według obowiązującej w trakcie wykonywania projektów normy PN-EN 12831:2006 Łódź leży w II strefie klimatycznej Polski, dla której parametry obliczeniowe dla lata wynoszą:

$$t_{zew\ L}=30^{\circ}\text{C} \text{ i } \phi_{zew\ L}=45\%$$

natomiast dobór chłodziw w centralach był dokonany dla różnych parametrów, i tak:

- dla **CN1** i **CN2** przyjęto $t_{zew}=30^{\circ}\text{C}$ i $\phi_{zew}=45\%$
- dla **CNW5** przyjęto $t_{zew}=35^{\circ}\text{C}$ i $\phi_{zew}=45\%$
- dla **CNW6** przyjęto $t_{zew}=32^{\circ}\text{C}$ i $\phi_{zew}=45\%$
- dla **CNW7** przyjęto $t_{zew}=30^{\circ}\text{C}$ i $\phi_{zew}=45\%$

Od czasu, kiedy zauważono, że w Polsce warunki klimatyczne się zmieniały, projektanci zaczęli dobierać (mimo niezmienionej do tej pory normy) urządzenia chłodzące na podwyższoną temperaturę powietrza zewnętrznego i dla większego bezpieczeństwa w niniejszym opracowaniu przyjęto jako parametry obliczeniowe:

$$t_{zew\ L}= 32^{\circ}\text{C} \text{ i } \phi_{zew\ L}= 45\%$$

W pierwszej kolejności wyliczono jakie parametry powietrza uzyska się na dobranej przez producenta centrali chłodnicy, zmieniając parametry powietrza zewnętrznego, ustalone jako jednorodne i ostateczne. Następnie dodano drugą chłodnicę, na której maksymalnie schładza się powietrze, aby wytrącić maksymalną ilość wilgoci i nagrzewnicę wtórną, aby podgrzać powietrze do wymaganej temperatury. Tak dobrane wymienniki zapewniają nawiew do pomieszczeń powietrza o parametrach:

$$t_{naw\ L}= 20^{\circ}\text{C} \text{ i } \phi_{naw\ L}= 50\% (+5\%)$$

Dopiero dodanie na kanale nawiewnym dodatkowej: chłodnicy i nagrzewnicy wtórnej pozwoli na **osuszenie powietrza nawiewanego** do wymaganej wartości.

Na wykresach pokazano również przemianę powietrza dla okresu zimowego, gdzie parametry obliczeniowe dla zimy wynoszą:

$$t_{zew\ Z}= -20^{\circ}\text{C} \text{ i } \phi_{zew\ Z}=100\%$$

Za wszystkimi dodatkowymi kanałowymi wymiennikami należy zastosować kanałowy **filtr ISO ePM1 80%** (dawne oznaczenie EU9).

Dodanie do instalacji dwóch wymienników i filtra powietrza będzie powodowało dodatkowe opory na instalacji, które prawdopodobnie wymuszają zmiany silników na wentylatorze nawiewnym w centrali. Jednak w pierwszej kolejności należy zwiększyć częstotliwość na falowniku i sprawdzić osiągniętą wydajność. Pewien zapas jest, obie wartości: pracy i maksymalną podano poniżej, przy omawianiu poszczególnych central (oprócz CN4, która nie posiada falownika, ale również nie ma potrzeby zwiększania obrotów silnika, bo do instalacji nie dostawia się dodatkowych elementów oraz CNW6, dla której nie ma karty doboru).

Przykładowe doборы nowych elementów instalacji przedstawiono w Tabeli Nr 9 ÷ Nr 11 – Zestawienie dobranych urządzeń.

14.2.1. Centrale nawiewne CN1 i CN2 i wywiew przewodami dymowymi (Opinia kominiarska)

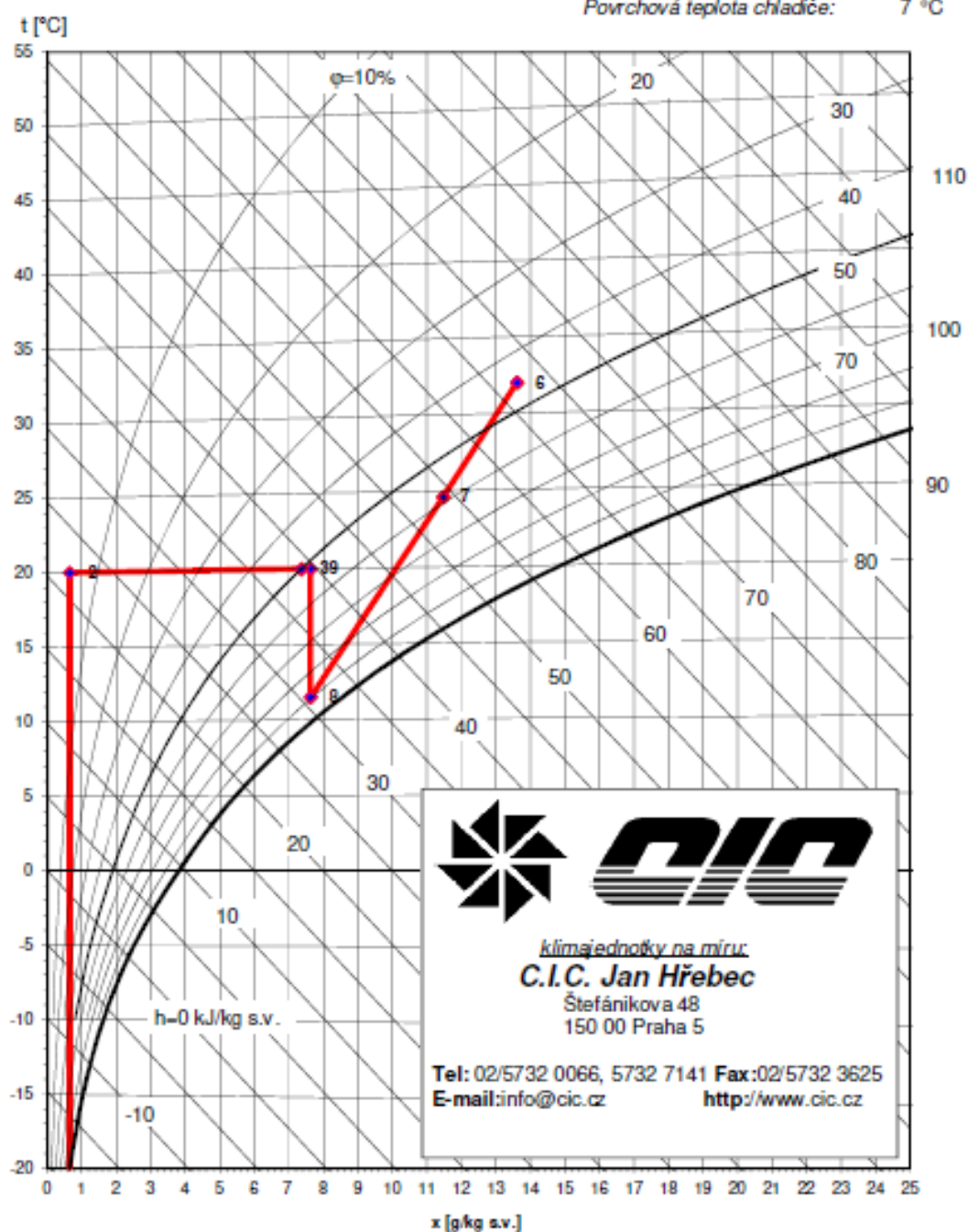
Z doboru dwóch identycznych central obsługujących pomieszczenia parteru i piętra Pałacu wynika, że dla zimy nagrzewnica jest dobrana prawidłowo, a nawilżacz trochę przewymiarowany, bo nawilża powietrze do 60%. Natomiast dla lata chłodnica (13,5 kW) schłodzi powietrze do temperatury 24,6°C, a jego wilgotność względna będzie wynosiła 59%. Dla osuszenia powietrza dodatkowe: chłodnica i nagrzewnica powinny mieć wydajność:

$$Q_{\text{chl CN1, CN2}} = 23,9 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{nagrz CN1, CN2}} = 9,3 \text{ kW}$$

Psychrometrický diagram dle Molliera
CN1 i CN2 - Piętro i Parter Palac (zmiana z osuszaniem*)

Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladíče: 7 °C

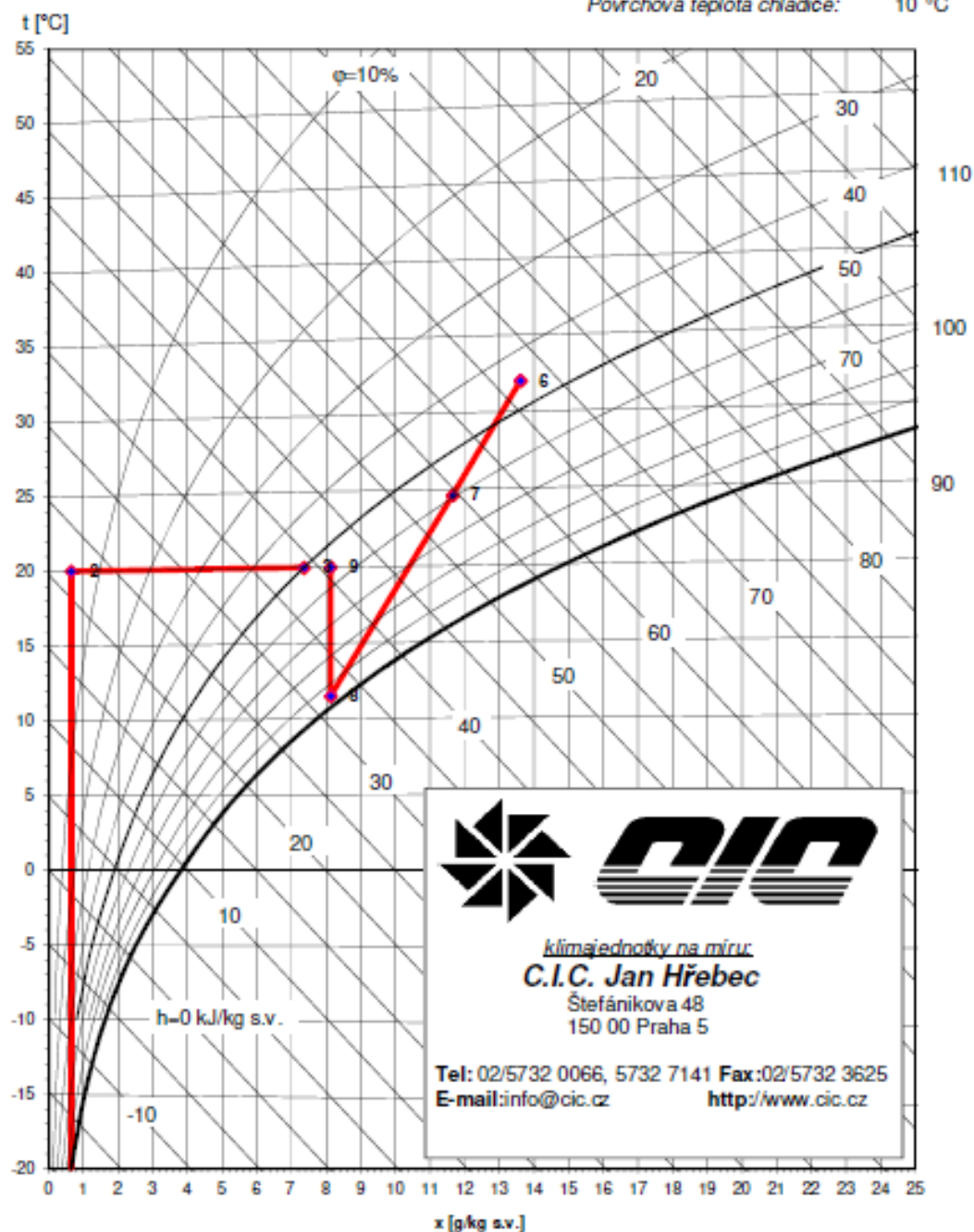


			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			zima	ogrzew.	naw. par.			lato	chłod.I	chłod.II	nagrz.	
Teplota	t	°C	-20,0	20,0	20,0			32,0	24,6	11,5	20,0	
rel.vlhkost	φ	%	100%	4%	50%			45%	59%	89%	52%	
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	0,6	7,4			13,6	11,5	7,6	7,6	
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-18,6	21,8	38,9			67,2	54,1	30,8	39,6	
hustota	ρ	kg/m³	1,38	1,19	1,18			1,13	1,16	1,22	1,18	
tvhikáho topl.	tw	°C	21,5	13,2	16,1			17,0	22,5	12,2	20,2	
Skut. průtok	Vs	m³/h	2 794	3 235	3 270			3 437	3 343	3 176	3 271	
Norm. průtok	Vn	m³/h	3 200	3 200	3 200			3 200	3 200	3 200	3 200	
Pracovní výkon	P	kW		43,1	18,2				-14,0	-24,8	9,3	
Odpadné vody	qw	kg/h		0,0	25,8				-8,2	-14,8	0,0	

* dodatkowa chłodnica freonowa $t_{fr}=7^{\circ}\text{C}$

Psychrometrický diagram dle Molliera
CN1 i CN2 - Piętro i Parter Palac (zmiana z osuszaniem)

Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladíče: 10 °C



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			zima	ogrzew.	naw. par.			lato	chlod.I	chlod.II	nagrz.	
Teplota	t	°C	-20,0	20,0	20,0			32,0	24,6	11,5	20,0	
rel.vlhkost	φ	%	100%	4%	50%			45%	59%	95%	55%	
měr.vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	0,6	7,4			13,6	11,7	8,1	8,1	
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-18,6	21,8	38,9			67,2	54,5	32,1	40,8	
hustota	ρ	kg/m ³	1,38	1,19	1,18			1,13	1,16	1,22	1,18	
t.vlhkého topl.	t _w	°C	21,5	13,2	16,1			17,0	22,5	12,2	20,2	
Skut. průtok	V _s	m ³ /h	2 794	3 235	3 270			3 437	3 344	3 179	3 274	
Norm. průtok	V _n	m ³ /h	3 200	3 200	3 200			3 200	3 200	3 200	3 200	
Předaný výkon	P	kW		43,1	18,2				-13,5	-23,9	9,3	
Odpatění vody	q _w	kg/h		0,0	25,8				-7,5	-13,5	0,0	

* dodatkowa chłodnica wodna t_w=7/12°C

Częstotliwość pracy silnika wentylatora nawiewnego w karcie doboru central wynosi:

$$f_{\text{pracy}} = 52,42 \text{ Hz}$$

przy maksymalnej:

$$f_{\text{max}} = 57 \text{ Hz}$$

Obie centrale obsługują pomieszczenia na piętrze i parterze Pałacu. Jednak z powodu ograniczonej możliwej ingerencji we wnętrza, wynikającej z zabytkowego charakteru pomieszczeń, nawiew powietrza nie mógł być rozprowadzony do poszczególnych pomieszczeń w ilości gwarantującej tę samą krotność wymian. Otwory nawiewne zostały umieszczone w miejscach uzgodnionych z Konserwatorem Zabytków. Na piętrze nawiewane jest powietrze do trzech pokoi (na dziewięć koniecznych do wentylowania), a na parterze do komunikacji będącej w centralnej części Pałacu (siedem pokoi koniecznych do wentylowania). Wywiew miał być realizowany poprzez istniejące kominy dawniej dymowe, obecnie służące do wentylacji grawitacyjnej wywiewnej. Wloty do tych kominów są w paleniskach, czyli na wysokości od 0,5 m do 1,5 m od podłogi. W projekcie 2011 roku [7] przewidywano wykonanie pod stropem poszczególnych pomieszczeń przebiega uzbrowione w kratki wywiewne, wyposażone w elementy regulacji. Kratki miały być wykonane indywidualnie, wyglądem odpowiadać charakterowi i wystrojami wnętrz. Poszczególne kanały dymowe miały być udrożnione, oczyszczone, w razie potrzeby wyłożone folią (np. folią rozkurczliwą pod wpływem temperatury). Nie wykonano jednak zaleconych przebić wlotów do kominów pod stropem. Wykonany nawiew oraz ograniczony wywiew, nie daje żadnej kontroli nad ilością powietrza przepływającego przez poszczególne pomieszczenia. Aby usprawnić i kontrolować wentylację proponuje się zastosowanie indywidualnych wentylatorów wyciągowych do każdego komina. Cztery zbiorcze kominy, w których są po cztery kominy wentylacyjne, na dachu mają ozdobne wykończenia, nie można więc na nich zastosować wentylatorów dachowych. Aby podłączyć wentylatory należy na poddaszu na każdym kominie obsługującym parter i piętro wykonać „by-pass”, umożliwiając wymuszony wypływ powietrza z pomieszczenia lub pomieszczeń do komina i poprzez wentylator z powrotem wrócić do komina z wyrzutem ponad dach. W celu takiego przepływu powietrza należy przegrodzić komin pomiędzy wejściem nowego kanału, a jego wyjściem z powrotem do komina. W celu ustalenia, czy wszystkie kominy są drożne i który komin obsługuje które pomieszczenie pałacu, zlecono wykonanie Opinii kominarskiej, którą wykonano w dniu 27.07.2026 roku. W Opinii [19] przedstawiono, które pomieszczenia lub piec węglowy kaflowy podłączony jest do którego przewodu kominowego. Wyszczególniono również kominy nieszczelne i niedrożne.

Podsumowując:

- na parterze:
 - pomieszczenia niepodłączone do kominów (brak wentylacji wywiewnej): Gabinet (1/09), Salon Orientalny (1/07), Salon Środkowy (1/06)
 - pomieszczenie podłączone do kominów: Salon Lustrzany (1/08)
 - pomieszczenia podłączone do komina, ale brak ciągu, czyli komin niedrożny: Salon Myśliwski (1/05), Jadalnia (1/04)
- na I piętrze:
 - pomieszczenia niepodłączone do kominów (brak wentylacji wywiewnej): Pokój gościnny (1/1.12), Sypialnia Pani (1/1.5), Garderoba (1/1.2)
 - pomieszczenia podłączone do kominów: Pokój Pani (1/1.11), Pokój Starszej Pani (1/1.10), Biblioteka (1/1.9), Salon Rodzinny (1/1.8), Sypialnia Pana (1/1.7)
 - pomieszczenia podłączone do komina, ale otwór zamurowany: Buduar (1/1.6)

- w piwnicy:
 - pomieszczenia niepodłączone do kominów: Magazyn – Sala nr II (1/-1.21), Magazyn – Sala nr III (1/-1.20), Magazyn – Sala nr IV (1/-1.19)
 - pomieszczenie podłączone do kominów: Magazyn – Sala nr I (1/-1.22), Wentylatornia (1/-1.18)

Widać z powyższego, że założenie projektowe [7], że powietrza nawiewane do niektórych tylko pomieszczeń (czterech na szesnaście) będzie rozpływało się po całej kondygnacji i wypływało ponad dach budynku istniejącymi kanałami dymowymi, w praktyce się nie sprawdza. Na parterze tylko w jednym, a na piętrze w pięciu pokojach są działające wypływy i to na wysokości paleniska pieców. W pozostałych pomieszczeniach (oprócz Garderoby, w której jest tylko nawiew powietrza) nie ma ani napływu, ani wypływu powietrza, czyli jest brak wentylacji, jak również nie ma możliwości nawilżenia czy osuszenia powietrzem z centrali.

Trzy kratki wentylacyjne w piwnicy: dwie w jednej Sali Magazynu i jedna w Wentylatorni podłączone są do kominów, do których również podłączone są pomieszczenia z parteru i I piętra, co jest nieprawidłowe, należy je zlikwidować.

Ośiem przewodów kominowych jest nieszczelnych. Również osiem, innych, nie ma wyprowadzenia do żadnego pomieszczenia, nie można więc stwierdzić, czy są szczelne, czy nie. Te ostatnio osiem przewodów można wykorzystać do wentylacji pomieszczeń na parterze i piętrze. W tym celu należy wykonać pod stropem przebicie, a ich wyloty wyposażyć w ozdobne kratki dostosowując do wystroju wnętrza pomieszczenia, w uzgodnieniu z Konserwatorem Zabytków.

Pomieszczenia, w których należy wykonać pod stropem przebicie do przewodów kominowych:

- na parterze:
 - Westybul (1.02) – 1 szt.
 - Szatnia (1/03) – 1 szt.
 - Jadalnia (1/04) – 2 szt.
 - Salon Myśliwski (1/05) – 1 szt.
 - Salon Środkowy (1/06) – 1 szt.
 - Salon Orientalny (1/07) – 1 szt.
 - Gabinet (1.09) – 1 szt.
- na I piętrze:
 - Sypialnia Pani (1/1.5) – 1 szt.
 - Buduar (1/1.6) – 1 szt.
 - Pokój gościnny (1/1.12) – 1 szt.

Wielkość krater w przygotowanych przebiciach do przewodów kominowych uzależnić od ilości powietrza podanej w Tabeli Nr 1. Bilans powietrza – Budynek 1 i 1a.

Wiedząc, które przewody kominowe obsługują które pomieszczenia, obliczono ilości powietrza wyciąganego przez poszczególne kominy i dobrano wentylatory. Przykładowe typy wentylatorów podane są w Tabeli Nr 11 – Zestawienie dobranych urządzeń.

UWAGA: Przed zamontowaniem wentylatorów:

- Przewód kominowy oznaczony w Opinii kominiarskiej [19] „p/l” i „str” należy **udrożnić** do minimum wysokości stropu nad piwnicą.
- W piwnicy kanał wyciągowy z sanitariatów, wchodzący do przewodu kominowego w przedsionku WC (pom. 1/-1.9) przebić do następnego (dalszego) przewodu kominowego, zwalniając ten przewód do wykorzystania na parterze – Gabinet (1/0.9) i na I piętrze – Pokój gościnny (1.12).
- Kratki wentylacji grawitacyjnej w piwnicy w Magazynie (1/-1.22) – 2 szt. i w Wentylatorni (1/-1.18) – 1 szt. zlikwidować, a wlot do komina zamurować.
- Wszystkie przewody kominowe należy **uszczelnić**.

14.2.2. Centrala nawiewna CN4 i wywiew grawitacyjny lub mechaniczny

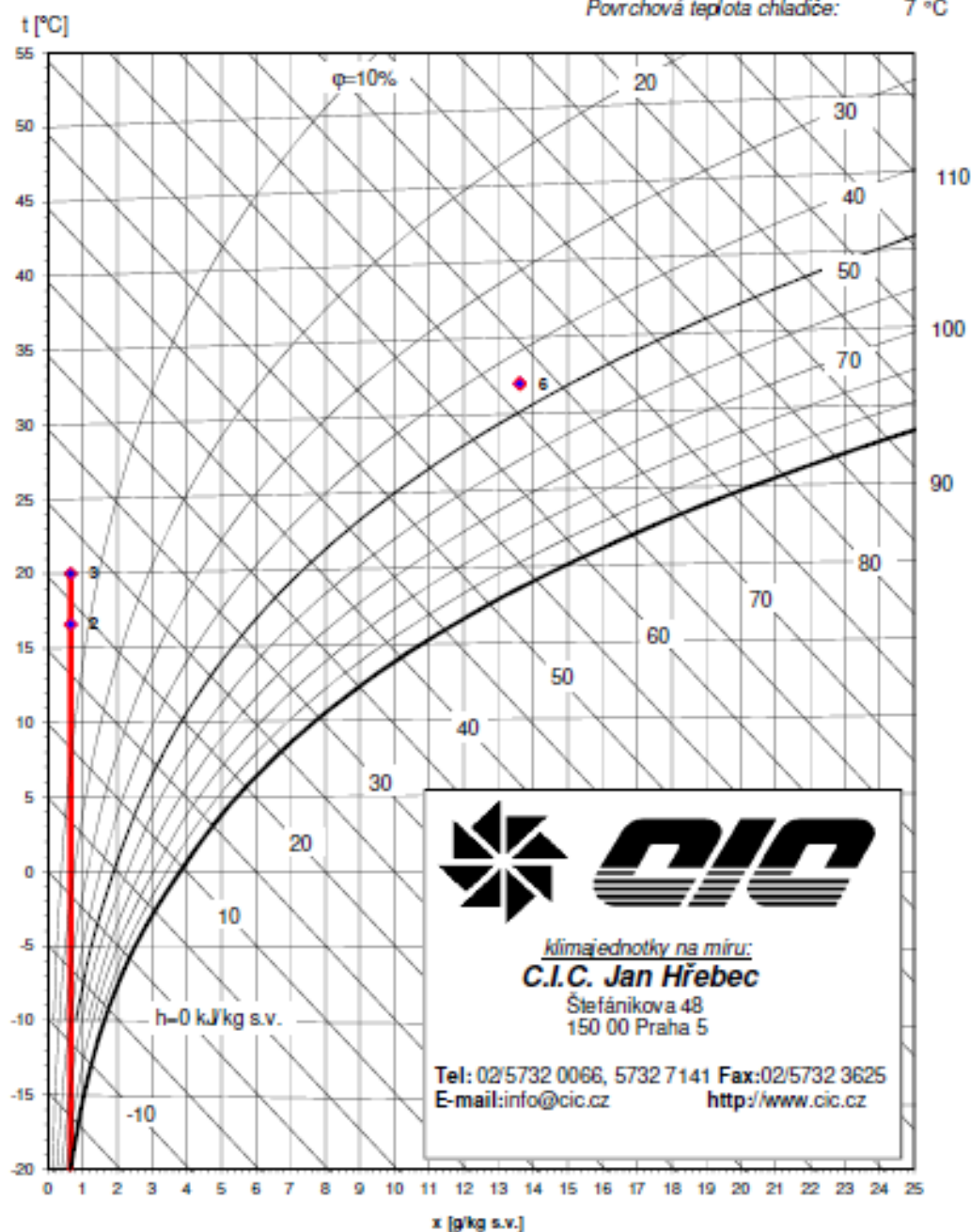
Centrala obsługuje Komunikację w piwnicy Pałacu i jest tylko wentylacyjna, czyli posiada jedynie nagrzewnicę powietrza. Przy doborze tej centrali nagrzewnicę dobrano dla temperatury zewnętrznej -16°C , która nie jest parametrem obliczeniowym dla zimy w Łodzi. Dla temperatury -20°C nagrzewnica dogrzewa powietrze do temperatury $16,6^{\circ}\text{C}$. Aby podgrzać do temperatury 20°C należałoby dostawić nagrzewnicę o wydajności $1,1\text{ kW}$. Z uwagi na ocieplenie klimatu temperatura -20°C w Łodzi od kilku lat się nie zdarzyła, więc dostawienie nagrzewnicy o mocy $1,1\text{ kW}$ jest ekonomicznie nieuzasadnione.

Centrala nie ma chłodnicy i nie ma konieczności osuszania powietrza.

Wywiew z pomieszczeń gospodarczych w piwnicy realizowany jest poprzez kratki grawitacyjne oraz z pomieszczeń sanitarnych i socjalnego wspomagany wentylatorami łazienkowymi.

Psychrometrický diagram dle Molliera
CN4 - Piwnice_Komunikacja Palac (zmiana+nagrzewnica)

Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladiče: 7 °C



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			zima	ogrzew.	nagrz.2			lato				
Teplota	t	°C	-20,0	16,6	20,0			32,0				
rel.vlhkost	φ	%	100%	5%	4%			45%				
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	0,6	0,6			13,6				
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-18,6	18,4	21,8			67,2				
hustota	ρ	kg/m3	1,38	1,20	1,19			1,13				
tvřidného teploty	tr	°C	21,5	13,2	16,1			17,0				
Skut. průtok	Vs	m3/h	873	999	1 011			1 074				
Norm. průtok	Vn	m3/h	1 000	1 000	1 000			1 000				
Předaný výkon	P	kW		12,3	1,1							
Odpadné vody	QW	kg/h		0,0	0,0							

14.2.3. Centrala nawiewno – wywiewna CNW5

Z doboru centrali obsługującej Salę balową i Sale ekspozycyjne Szwajcarki wynika, że dla zimy nagrzewnica jest dobrana prawidłowo, a nawilżacz trochę przewymiarowany, bo nawilża powietrze do 60%. Natomiast dla lata chłodnica (50,7kW) schłodzi powietrze do temperatury 18,9°C, a jego wilgotność względna będzie wynosiła 73%. Dla osuszania powietrza chłodnica i nagrzewnica powinny mieć wydajność:

$$Q_{\text{chl CNW5}} = 28,3 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{nagrz CNW5}} = 19,7 \text{ kW}$$

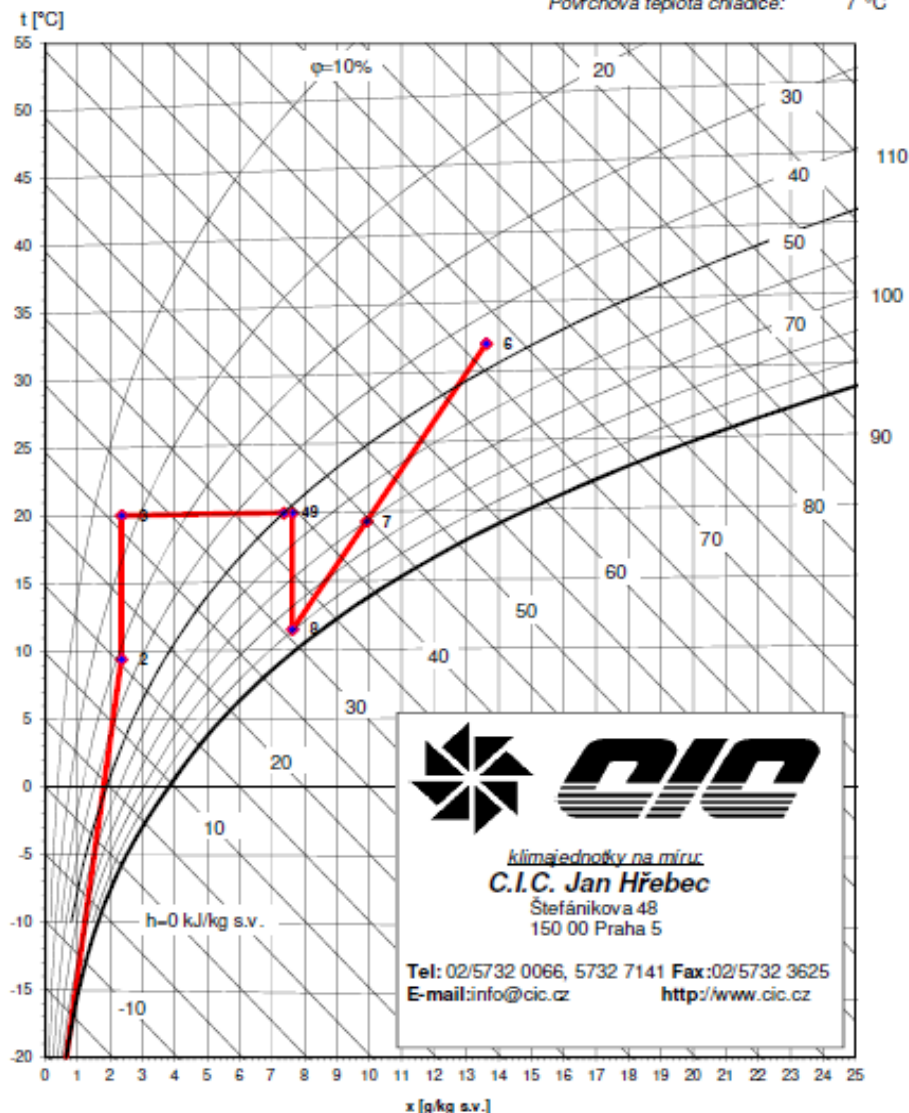
Psychrometrycký diagram dle Molliera

CNW5 - Sala balowa+Szwajcarka (zmiana z osuszaniem*)

Tlak vzduchu: 100 kPa

Max. vlhkost při úpravách: 100 %

Povrchová teplota chladiče: 7 °C

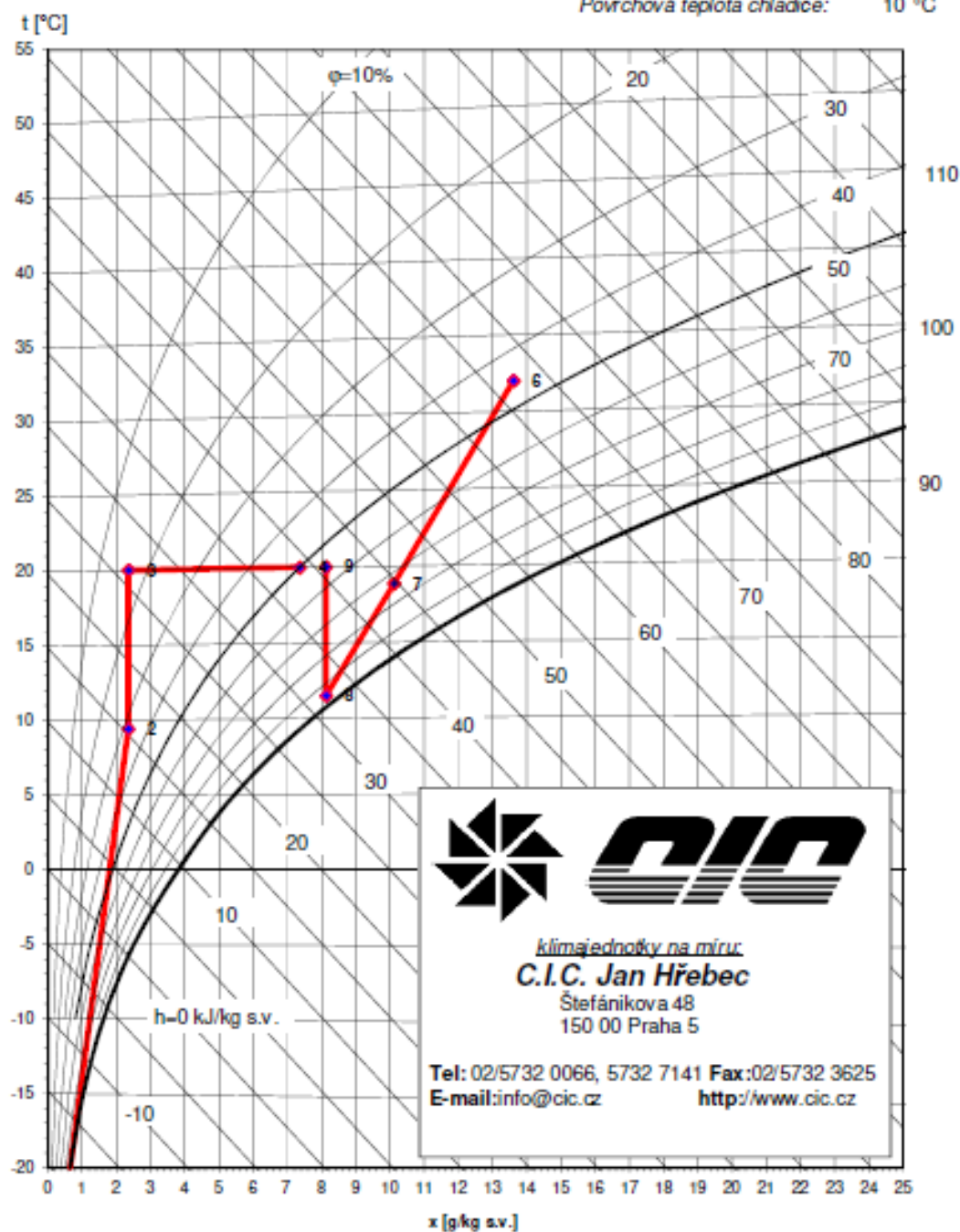


			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			zima	za.rakup.	ogrzew.	naw.par.		lato	chlod.I	chlod.II	nagrz.	
Temperatura	t	°C	-20,0	9,4	20,0	20,0		32,0	19,3	11,5	20,0	
rel.vlhkost	φ	%	100%	32%	16%	50%		45%	70%	89%	52%	
měr.vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	2,4	2,4	7,4		13,6	9,9	7,6	7,6	
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-18,6	15,4	26,2	38,9		67,2	44,7	30,8	39,6	
hustota	ρ	kg/m³	1,38	1,23	1,19	1,18		1,13	1,18	1,22	1,18	
tvhikého topl.	t _w	°C	21,5	13,2	16,1	14,4		17,0	22,5	12,2	20,2	
Skut. průtok	V _s	m³/h	5 910	6 615	6 863	6 918		7 272	6 929	6 720	6 921	
Norm. průtok	V _n	m³/h	6 770	6 770	6 770	6 770		6 770	6 770	6 770	6 770	
Prodáv. výkon	P	kW		76,8	24,3	28,7			-50,8	-31,2	19,6	
Odpadné vody	q _w	kg/h		13,9	0,0	40,7			-30,0	-18,7	0,0	

* dodatková chłodnica freonowa t_{fr}=7°C

Psychrometrický diagram dle Molliera
CNW5 - Sala balowa+Szwajcarka (zmiana z osuszaniem)

Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladíče: 10 °C



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			zima	zař. skup.	ogrzaw.	naw. par.		lato	chlod. I	chlod. II	nagrz.	
Teplota	t	°C	-20,0	9,4	20,0	20,0		32,0	18,9	11,5	20,0	
rel. vlhkost	φ	%	100%	32%	16%	50%		45%	73%	95%	55%	
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	2,4	2,4	7,4		13,6	10,1	8,1	8,1	
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-18,6	15,4	26,2	38,9		67,2	44,7	32,1	40,8	
hustota	ρ	kg/m ³	1,38	1,23	1,19	1,18		1,13	1,19	1,22	1,18	
tv. vlhkého topl.	t _w	°C	21,5	13,2	16,1	14,4		17,0	22,5	12,2	20,2	
Skut. průtok	V _s	m ³ /h	5 910	6 615	6 863	6 918		7 272	6 921	6 725	6 926	
Norm. průtok	V _n	m ³ /h	6 770	6 770	6 770	6 770		6 770	6 770	6 770	6 770	
Prodáv. výkon	P	kW		76,8	24,3	28,7			-50,7	-28,3	19,7	
Odpadné vody	q _w	kg/h		13,9	0,0	40,7			-28,4	-16,1	0,0	

* dodatkowa chłodnica wodna t_w=7/12°C

Częstotliwość pracy silnika wentylatora nawiewnego w karcie doboru centrali wynosi:

$$f_{\text{pracy}} = 45,99 \text{ Hz}$$

przy maksymalnej:

$$f_{\text{max}} = 52 \text{ Hz}$$

Centrala obsługuje pomieszczenia w dwóch budynkach i powietrze jest rozdzielane na oba w węźle cieplnym, a warunki panujące w każdym z nich mogą bardzo różnić się od siebie. W Szwajcarce są w miarę stałe ilości osób zwiedzających, natomiast w Sali balowej, w czasie imprez, może równocześnie przebywać kilkadziesiąt, czy nawet kilkaset osób, ale najczęściej zwiedzających jest kilka osób. W projekcie przewidziano pracę centrali na potrzeby Sali balowej z dwoma wydajnościami, przy obecności 200 osób centrala miała pracować z maksymalną wydajnością, a przy mniejszej ilości osób centrala miała zejść do niewiele ponad połowy wydajności. Przy wspólnej pracy obniżenie wydajności centrali zmniejsza się również wydajność w Szwajcarce, co nie ma uzasadnienia i pogarsza warunki w tych salach. Proponuje się po rozdzieleniu powietrza na oba budynki zastosować na odejściu do Sali balowej **regulator zmiennego wydatku** z nastawami:

- 2.400 m³/h (I bieg) praca podstawowa
- 4.000 m³/h (II bieg) w czasie dużych imprez

Wtedy centrala pracująca z dwoma wydajnościami:

- 5.170 m³/h (I bieg) praca podstawowa
- 6.770 m³/h (II bieg) w czasie dużych imprez

będzie miała stały wydatek do Sal ekspozycyjnych Szwajcarki, czyli wymagane:

- 2.770 m³/h

Również na kanale wyciągowym z Sali balowej należy zastosować taki sam regulator zmiennego wydatku. Przykładowy dobór regulatora zamieszczono w Tabeli Nr 11 – Zestawienie dobranych urządzeń.

Do tej pory centrala pracowała z jedną, maksymalną wydajnością, co jest ekonomicznie nieuzasadnione. Centrala powinna pracować z mniejszą wydajnością. Praca z maksymalną wydajnością powinno następować dopiero w trakcie organizacji imprez, czyli przy obecności dużej ilości osób. W tym celu proponuje się zamontowanie na kanale wywiewnym czujnika CO₂, który spowoduje przejście wentylatora w centrali na wyższe obroty. Przykładowy dobór czujnika zamieszczono w Tabeli Nr 11 – Zestawienie dobranych urządzeń.

Rozdział na dwie instalacje uzasadnia zastosowanie do osuszania powietrza osobnych kompletów wymienników dla Sali balowej i drugi dla Sal ekspozycyjnych Szwajcarki. W takim rozwiązaniu wydajności dodatkowych wymienników wynoszą:

- dla **Sal ekspozycyjnych** Szwajcarki

$$Q_{\text{chl CNW5a}} = 14,3 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{nagrz CNW5a}} = 8,0 \text{ kW}$$

- dla **Sali balowej**

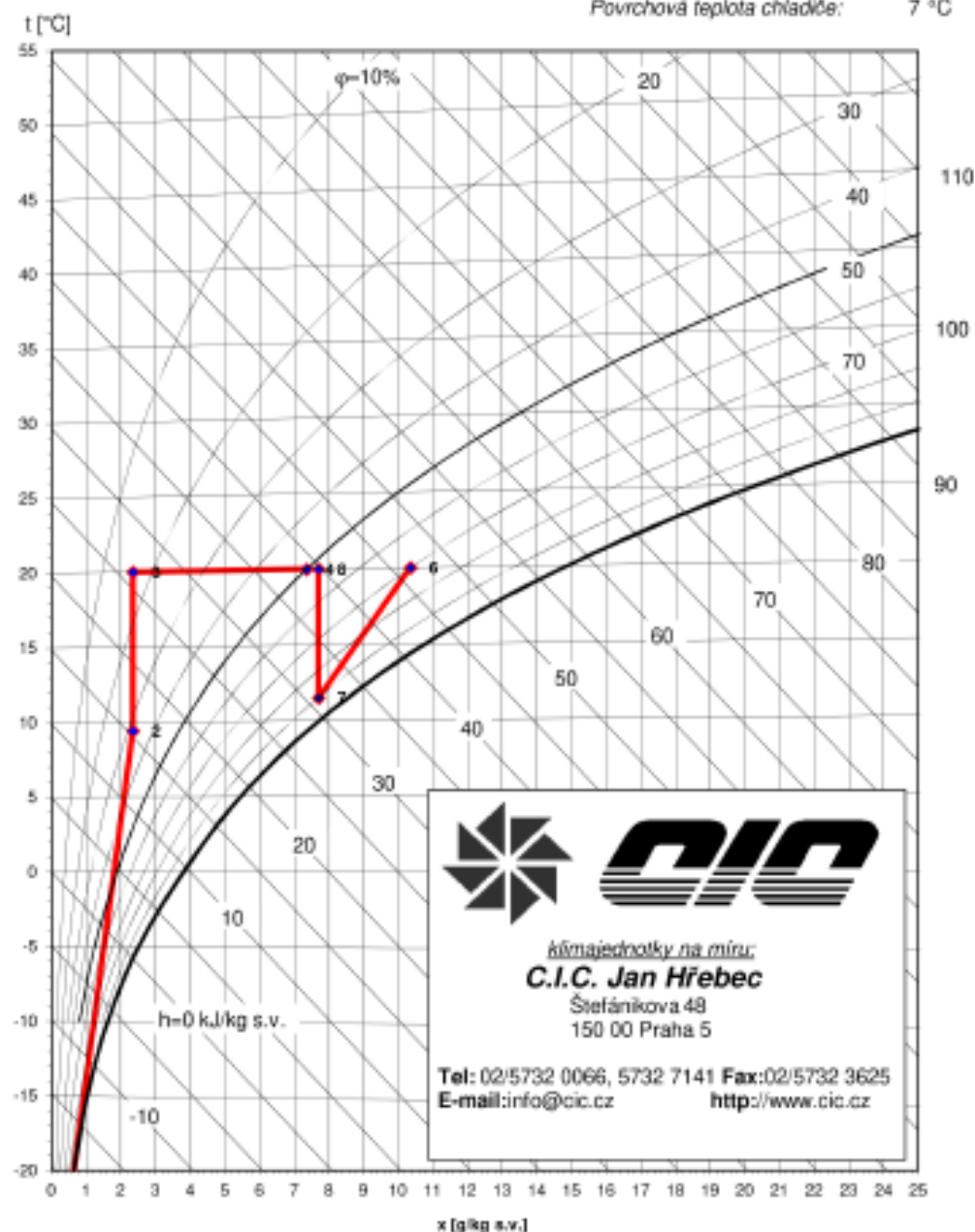
$$Q_{\text{chl CNW5b}} = 20,6 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{nagrz CNW5b}} = 11,6 \text{ kW}$$

Przykładowy dobór elementów dodatkowej instalacji przedstawiono w Tabeli Nr 9 i Nr 10 – Zestawienie dobranych urządzeń do osuszania powietrza (Alternatywnie chłodnice freonowe lub wodne).

Psychrometrický diagram dle Molliera
CNW5a - Szwajcarka (zmiana z indywidual. osuszaniem)

Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladiče: 7 °C



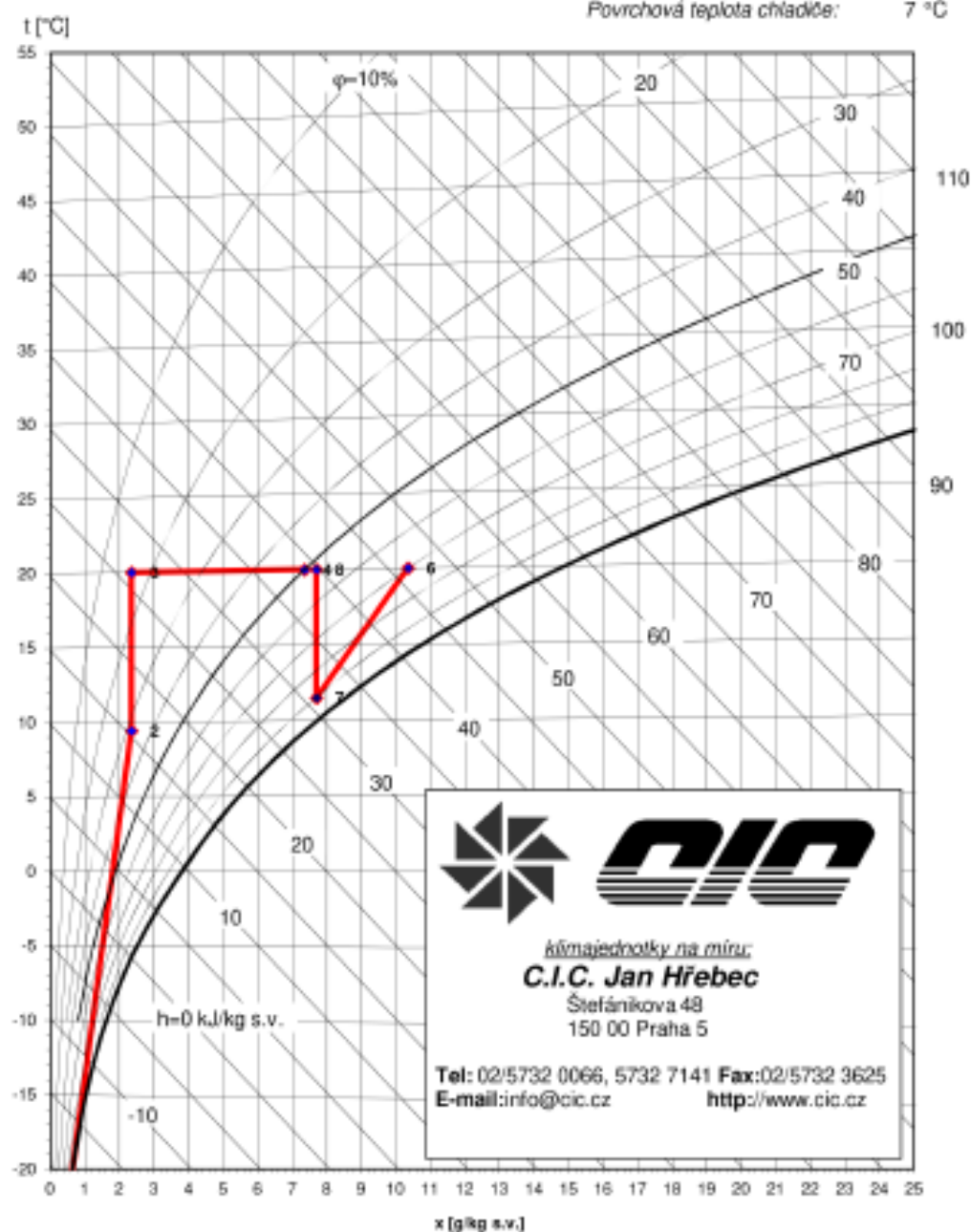
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			zimn	za rekup.	ogrzew.	now. par.		lato	chlod./l	nagrz./l		
Teplota	t	°C	-20,0	9,4	20,0	20,0		20,0	11,5	20,0		
rel. vlhkost	ϕ	%	100%	32%	16%	50%		70%	90%	52%		
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	2,4	2,4	7,4		10,4	7,7	7,7		
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-18,8	15,4	26,2	38,9		46,5	31,0	39,8		
hustota	ρ	kg/m ³	1,38	1,23	1,19	1,18		1,18	1,22	1,18		
Teplota teploty	t_w	°C	21,5	13,2	16,1	14,4		17,0	22,5	12,2		
Skut. průtok	V_s	m ³ /h	5 910	6 615	6 863	6 918		2 844	2 750	2 832		
Norm. průtok	V_n	m ³ /h	6 770	6 770	6 770	6 770		2 770	2 770	2 770		
Předaný výkon	P	kW		75,8	24,3	28,7			-14,3	8,0		
Odpálená voda	q_w	kg/h		13,9	0,0	40,7			-8,8	0,0		

* dodatkowa chłodnica freonowa $t_{fr}=7^{\circ}\text{C}$

Psychrometrický diagram dle Molliera

CNW5b - Sala balowa (zmiana z indywidual. osuszaniem)

Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladíče: 7 °C



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		zima	za rekup.	ogrzew.	now. par.		lato	chlad. II	nagrz. II		
Teplota	t	°C	-20,0	9,4	20,0	20,0	20,0	11,5	20,0		
rel. vlhkost	φ	%	100%	32%	16%	50%		70%	90%	52%	
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	2,4	2,4	7,4		10,4	7,7	7,7	
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-18,8	15,4	26,2	38,9		46,5	31,0	39,8	
hustota	ρ	kg/m ³	1,38	1,23	1,19	1,18		1,18	1,22	1,18	
t. vlhkého topl.	t _{tr}	°C	21,5	13,2	16,1	14,4		17,0	22,5	12,2	
Skut. průtok	V _s	m ³ /h	5 910	6 615	6 863	6 918		4 107	3 971	4 090	
Norm. průtok	V _n	m ³ /h	6 770	6 770	6 770	6 770		4 000	4 000	4 000	
Předaný výkon	P	kW		76,8	24,3	28,7			-20,6	11,6	
Odpadná voda	q _w	kg/h		13,9	0,0	40,7			-12,7	0,0	

* dodatkowa chłodnica freonowa t_{tr}=7°C

14.2.4. Centrala nawiewno – wywiewna CNW6

W centrali obsługującej Magazyny w piwnicy Pałacu nie przewidziano nawilżania powietrza zimą. Z powodu braku karty doboru centrali, oraz braku możliwości odczytu temperatury nawiewu (centrala nie jest włączona do systemu BMS) możliwa jest ocena jedynie doboru chłodnicy freonowej, bowiem na niej jest nalepka informująca, że wydajność chłodnicy wynosi 6,3 kW. Powietrze na chłodnicy schłodzi się, przy założeniu 50% sprawności rekuperatora, do temperatury 20°C, a jego wilgotność względna będzie wynosiła 74%. Dla osuszania powietrza dodatkowe: chłodnica i nagrzewnica powinny mieć wydajność:

$$Q_{\text{chl CNW6}} = 7,1 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{nagrz CNW6}} = 3,8 \text{ kW}$$

Należy w instalacji nawiewnej, za dodatkowymi wymiennikami, zamontować **filtr ISO ePM1 80%** (dawne oznaczenie EU9), następnie lance parowe z wytwornicą pary o wydajności:

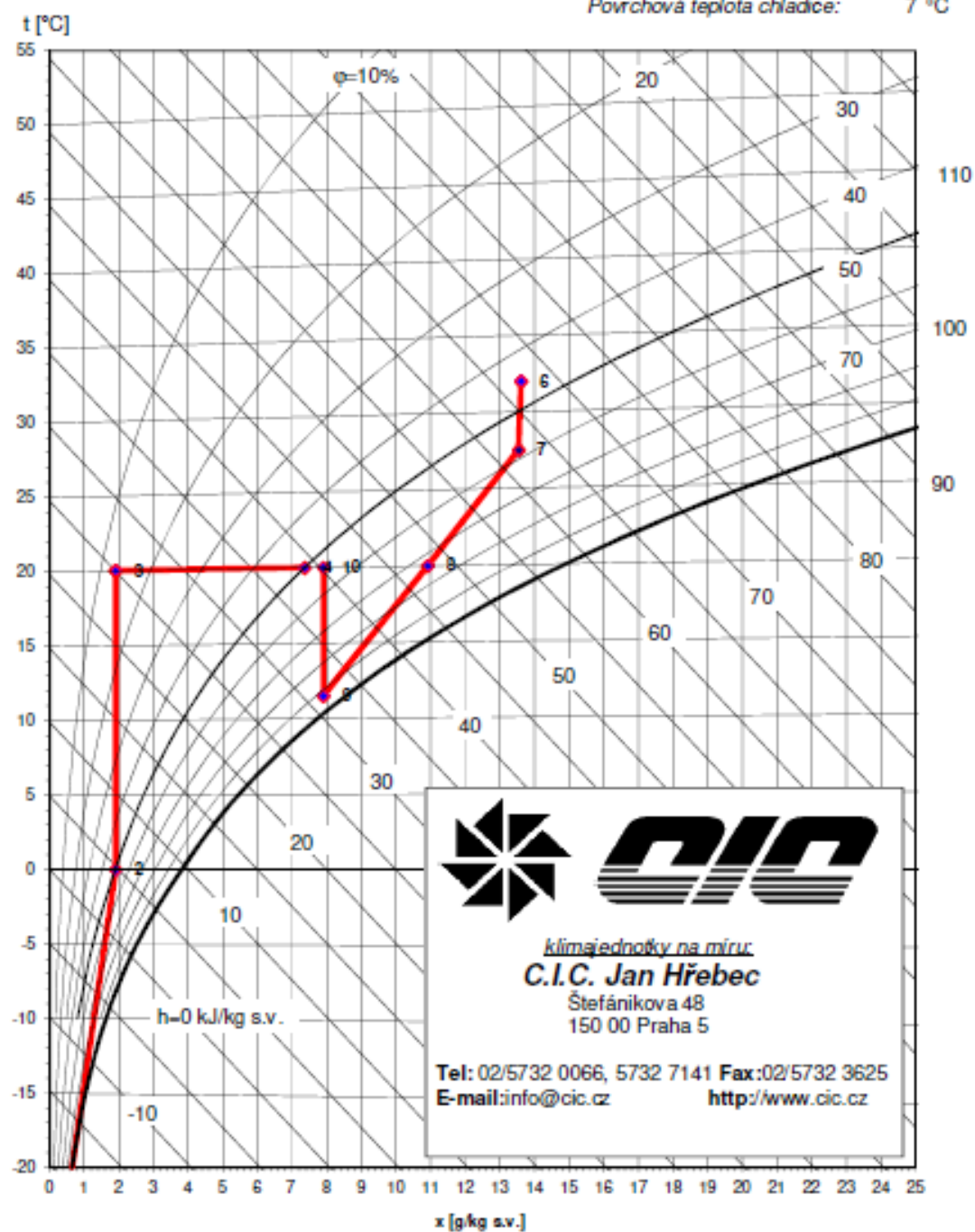
$$M_w = \text{min } 8,5 \text{ kg/h}$$

oraz **dodatkowy wentylator kanałowy**, pokonujący opory dodatkowych elementów instalacji.

Przykładowe typy dodatkowych elementów instalacji podane są w Tabeli Nr 9 i Nr 10 – Zestawienie dobranych urządzeń do osuszania powietrza (Alternatywnie chłodnice freonowe lub wodne) oraz wentylatora w Tabeli Nr 11 – Zestawienie dobranych urządzeń.

Psychrometrický diagram dle Molliera
CNW6 - Pivnice_Magazyny Palac (zmiana z osuszaniem)

Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladiče: 7 °C



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			zima	za rokup.	ogrzaw.	naw.par.		lato	za rokup.	chlod.I	chlod.II	nagrz.
Teplota	t	°C	-20,0	0,0	20,0	20,0		32,0	27,5	20,0	11,5	20,0
rel.vlhkost	φ	%	100%	50%	13%	50%		45%	58%	74%	92%	54%
měr.vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	1,9	1,9	7,4		13,6	13,5	10,9	7,9	7,9
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-18,6	4,8	25,0	38,9		67,2	62,3	47,9	31,5	40,2
hustota	ρ	kg/m ³	1,38	1,27	1,19	1,18		1,13	1,15	1,18	1,22	1,18
t.vlhkého topl.	t _w	°C	21,5	13,2	16,1	14,4		17,0	22,5	12,2	20,2	20,2
Skut. průtok	V _s	m ³ /h	1 135	1 227	1 317	1 328		1 396	1 376	1 336	1 291	1 330
Norm. průtok	V _n	m ³ /h	1 300	1 300	1 300	1 300		1 300	1 300	1 300	1 300	1 300
Prodáv. výkon	P	kW		10,1	8,8	6,0			-2,1	-6,3	-7,1	3,8
Odpadné vody	q _w	kg/h		2,0	0,0	8,5			-0,1	-4,1	-4,7	0,0

* dodatkowa chłodnica freonowa t_{fr}=7°C

Magazyny posiadają instalację nawiewną i wyciągową, zakończoną okrągłymi kratkami $\Phi 100\text{mm}$. Wielkość tych krutek jest zbyt mała w stosunku do ilości powietrza, która ma wentylować pomieszczenia ze zbiorami muzealnymi, wynikająca z wydajności dobranej centrali. Należy je wymienić na większe, o wymiarach wynikających z ilości powietrza podanej w Tabeli Nr 1. Bilans powietrza – Budynek 1 i 1a. W jednym pomieszczeniu Magazynu (1/-1.22) są dwie kratki grawitacyjne oraz dwie kratki wentylacji mechanicznej. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r., nie można łączyć wentylacji grawitacyjnej z wentylacją mechaniczną nawiewno – wywiewną, w tym z rekuperacją. Połączenie wentylacji grawitacyjnej z mechaniczną nawiewno – wywiewną prowadzi do zaburzenia równowagi przepływu powietrza w pomieszczeniu. Wentylacja mechaniczna nawiewno – wywiewna jest systemem zamkniętym, zaprojektowanym do precyzyjnej kontroli przepływu powietrza. Dodatkowe kanały wentylacji grawitacyjnej stwarzają niekontrolowane drogi przepływu powietrza, co zaburza bilans powietrza. Z tego powodu należy oba wloty do przewodów grawitacyjnych zamurować.

14.2.5. Centrala nawiewno – wywiewna CNW7

Z doboru centrali obsługującej Sale Galerii Sztuki Dawnej w Powozowni wynika, że dla zimy nagrzewnica jest dobrana prawidłowo, a nawilżacz trochę przewymiarowany, bo nawilża powietrze do 55%. Natomiast dla lata chłodnica (6,6 kW) schłodzi powietrze do temperatury 22°C , a jego wilgotność względna będzie wynosiła 65%. Dla osuszania powietrza dodatkowe: chłodnica i nagrzewnica powinny mieć wydajność:

$$Q_{\text{chl CNW7}} = 18,9 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{nagrz CNW7}} = 7,3 \text{ kW}$$

Przykładowe typy dodatkowych elementów instalacji podane są w Tabeli Nr 9 – Zestawienie dobranych urządzeń do osuszania powietrza (Alternatywnie chłodnice freonowe)

Na kanale nawiewnym, za wymiennikami, należy także zamontować **filtr ISO ePM1 80%** (dawne oznaczenie EU9).

W karcie doboru nie podano częstotliwości, ale z danych:

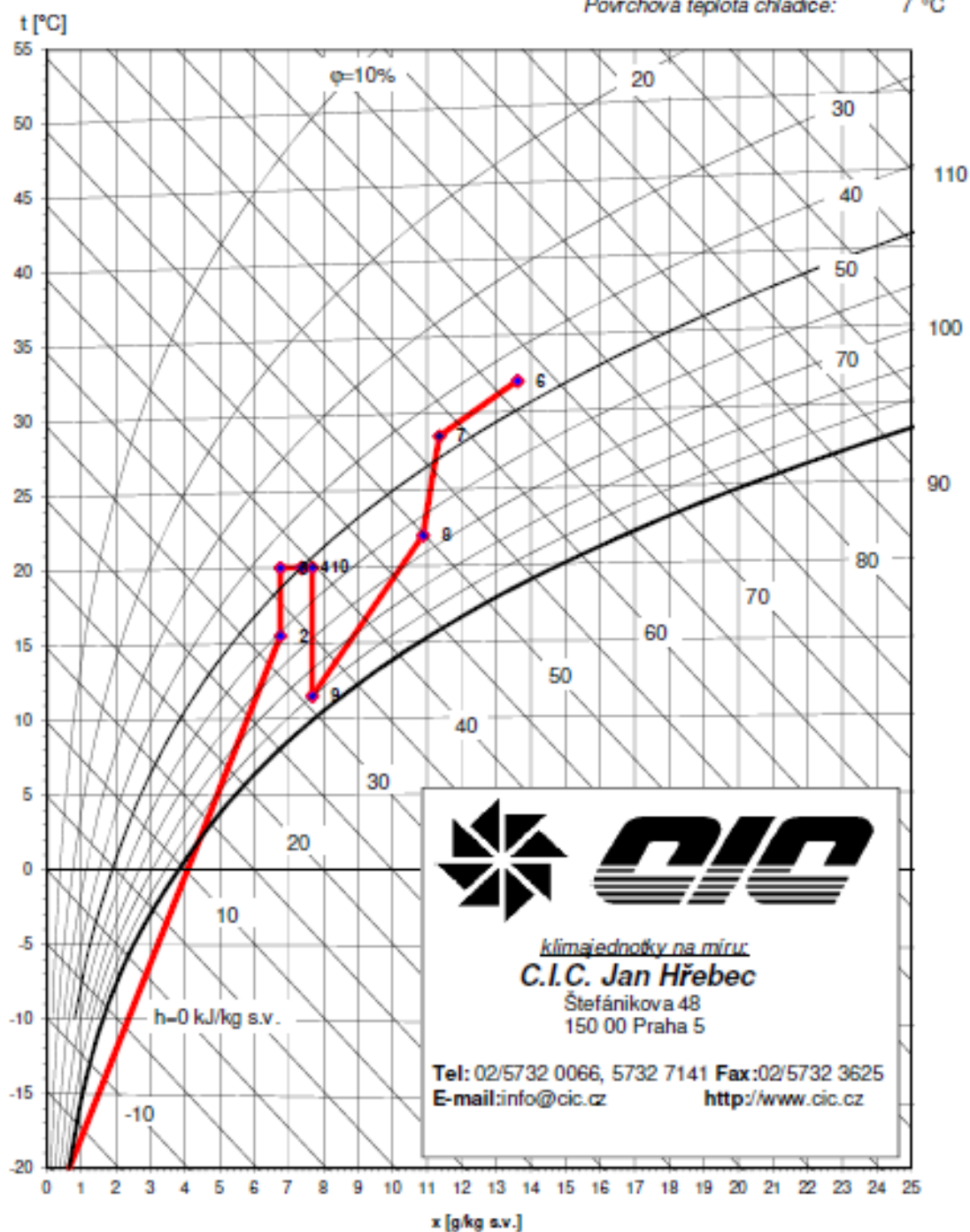
moc do silnika 0,84 kW

moc znamionowa 1,60 kW

wynika, że również jest zapas. W przeciwnym wypadku należy zmienić silnik wentylatora nawiewnego w centrali lub zamontować na kanale nawiewnym dodatkowy wentylator.

Psychrometrický diagram dle Molliera
CNW7 - Powozownia (zmiana z osuszaniem)

Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladíče: 7 °C



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			zima	za rekap.	nagrz. ol.	nag. par.		lato	za rekap.	chlad. I	chlad. II	nagrz.
Teplota	t	°C	-20,0	15,5	20,0	20,0		32,0	28,5	22,0	11,5	20,0
rel. vlhkost	φ	%	100%	61%	46%	50%		45%	46%	65%	90%	52%
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	6,8	6,8	7,4		13,6	11,3	10,9	7,7	7,7
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-18,6	32,7	37,3	38,9		67,2	57,8	49,9	31,0	39,7
hustota	ρ	kg/m ³	1,38	1,20	1,18	1,18		1,13	1,15	1,17	1,22	1,18
tv. vlhkého topl.	tw	°C	21,5	13,2	16,1	14,4		17,0	22,5	12,2	20,2	20,2
Skut. průtok	Vs	m ³ /h	2 200	2 533	2 573	2 575		2 707	2 666	2 607	2 502	2 576
Norm. průtok	Vn	m ³ /h	2 520	2 520	2 520	2 520		2 520	2 520	2 520	2 520	2 520
Prodáv. výkon	P	kW		43,1	3,9	1,3			-7,9	-6,6	-15,9	7,3
Odpadná voda	qw	kg/h		18,5	0,0	1,8			-6,8	-1,4	-9,7	0,0

* dodatkowa chłodnica freonowa t_{fr}=7°C

14.3. NAWILŻANIE PAROWE

Dobór wytwornic pary dla zimy był przeprowadzony prawidłowo, z pewnym zapasem. Nawilżanie powietrza dla central CN1, CN2, CNW5 przewidywano do 60%, a CNW7 do 55% (wymagane 50%) wilgotności względnej. Jednak obserwując rejestrację parametrów powietrza w wytypowanych pomieszczeniach obiektu MPH w latach 12.2020 ÷ 06.2026 [14] wynika, że wilgotność zimą nie była stała, była zbyt mała i wahała się w granicach od 20% (nawet niekiedy spadała poniżej 10%) do 40% (wymagane 50±10%) wilgotności względnej. Świadczy to o złym funkcjonowaniu automatyki, niekiedy nawilżanie nie załączało się w ogóle, niekiedy nie wyłączało się, powodując „zalewanie kanału”.

Należy:

1. Sprawdzić higrostaty kanałowe i ich nastawy w instalacjach z centralami CN1, CN2, CNW5 i CNW7. Uszkodzone, wymienić. Należy doprowadzić do stanu automatycznego załączania (przy spadku poniżej 45% wilgotności względnej) i wyłączania (przy wzroście powyżej 55% wilgotności względnej) nawilżania powietrza nawiewanego do pomieszczeń.
2. W instalacji z centralą CNW6 należy na kanale nawiewnym zamontować lance parowe, połączone do wytwornicy pary o wydajności min 8,5 kg/h. Przykładowy dobór przedstawiono w Tabeli Nr 11 – Zestawienie dobranych urządzeń.

14.4. INSTALACJE GRZEWcze

- **Zasilanie klimakonwektorów.** Po zdemontowaniu dotychczasowych klimakonwektorów sprawdzić drożność instalacji grzewczej, zasilającej i powrotnej klimakonwektorów. Sprawdzić rzeczywiste wykonanie prac zawartych w projekcie [7] (dokładny opis zawarto w **pkt. 5.2.** niniejszego opracowania). W przypadku konieczności, wymienić piony i gałazki instalacji, dodać konieczną armaturę i odpowietrzyć instalację. Doprowadzić instalację do prawidłowego działania. W przypadku, kiedy poza sezonem grzewczym spadnie temperatura w pomieszczeniach poniżej 20°C i nie można podgrzać powietrza z instalacji grzewczej klimakonwektorów (w lecie klimakonwektory nie mają zasilania z węzła cieplnego) należy uruchomić agregat chłodniczy w trybie grzania. Można to będzie zrealizować po zamontowaniu w pomieszczeniach zdalnych paneli sterujących – zadajników pomieszczeniowych.
- **Zasilanie central.** W węźle cieplnym, również poza sezonem grzewczym, należy pozostawić otwarte zawory na instalacji zasilającej i powrotnej do nagrzewnic central oraz przy centralach. W przypadku temperatury zewnętrznej niższej od 20°C, to powietrze nawiewane będzie również miało temperaturę niższą od 20°C, należy więc je podgrzać, aby nie dopuścić do wychłodzenia pomieszczeń podgrzać, aby nie dopuścić do wychłodzenia pomieszczeń.

14.5. INSTALACJE CHŁODNICZE

Zarówno agregat, jak i instalacje chłodnicze, zasilająca i powrotna należy usprawnić.

- **Agregat chłodniczy** jest niesprawny [17]. Przyczyną jest:
 - brak freonu w układzie jednej sprężarki, należy znaleźć miejsce wycieku, naprawić i uzupełnić zład freonu
 - wentylatory skraplacza nie załączają się, należy znaleźć przyczynę i ją zlikwidować

W przypadku stwierdzenia dalszych usterek, których naprawa okaże się ekonomicznie nieuzasadniona należy agregat wymienić na nowy, renomowanego producenta.

Przykładowy dobór przedstawiono w Tabeli Nr 11 – Zestawienie dobranych urządzeń.

- **Instalacja chłodnicza zewnętrzna** jest nieszczelna, o czym świadczy zbyt niskie ciśnienie na zasilaniu. Należy wykryć miejsce wycieku, naprawić i uzupełnić zbiór wody z 40% glikolem lub całkowicie wymienić, jeżeli nie zrobiono tego w ciągu ostatnich 5 lat.
- **Instalacja chłodnicza wewnętrzna** wypełniona jest również mieszanką wody z 40% glikolem. Nie jest to najlepszym rozwiązaniem z różnych powodów:
 - mniejsza wydajność urządzeń chłodniczych (o około 20% w stosunku do wody bez glikolu)
 - większe koszty uzupełniania i wymiany zbioru (konieczna wymiana co 5 – 6 lat)
 - ryzyko dużego uszkodzenia cennego wyposażenia wewnątrz w razie awarii instalacji

Aby w instalacji wewnętrznej była woda, a nie mieszanka wodno – glikolowa, należy po wejściu rurociągów do budynku zamontować wymiennik: woda z 40% glikolu / woda oraz dodatkową pompę. Wymiennik i pompę zamontować przed uzupełnieniem zbioru w instalacji zewnętrznej.

Przykładowy dobór wymiennika i pompy przedstawiono w Tabeli Nr 11 – Zestawienie dobranych urządzeń.

14.6. INSTALACJE ELEKTRYCZNE

W trakcie inwentaryzacji klimakonwektorów [14] stwierdzono:

- „wyskoczenie” niektórych bezpieczników w instalacji zasilającej klimakonwektor
- stwierdzenie w 34 na 48 przypadków uszkodzenia płytek sterujących
- stwierdzenie w 31 na 48 przypadków uszkodzenia wentylatorów
- stwierdzenie w 16 na 48 przypadków braku zasilania elektrycznego

Należy po wymianie klimakonwektorów sprawdzić:

1. Dobór nowych bezpieczników
2. Znalezienie przyczyny powstawania dotychczasowych zwarców w instalacjach
3. Sprawdzenie urządzeń elektrycznych pod kątem poboru prądu
4. Sprawdzenie mocy zamówionej.

14.7. SYSTEM AUTOMATYKI

W wytypowanych pomieszczeniach MPH zamontować pomieszczeniowe **zdalne panele sterujące** z termostatem do sterowania nagrzewnicą wstępną w odpowiedniej centrali i higrostatem dwustopniowym (nawilżanie + osuszanie) do sterowania nawilżaczem i obiema chłodnicami w tej centrali i nagrzewnicą wtórną na kanale nawiewnym tej centrali.

14.7.1. Klimakonwektory

Nowe klimakonwektory muszą być zaopatrzone w autonomiczne systemy automatyki z możliwością wpięcia do istniejącego systemu BMS.

14.7.2. Centrale

1. Wszystkie centrale wyposażać w:
 - czujniki przepływu powietrza powiązane z falownikami (utrzymanie stałych wydajności central)
 - presostaty na dodatkowych filtrach umieszczonych za nagrzewnicami wtórnymi ze wskaźnikiem stanu zabrudzenia
 - wymienić wszystkie niesprawne falowniki silników wentylatorów

2. W kanale wyciągowym z Sali balowej centrali **CNW5** zamontować czujnik dwutlenku węgla (sonda stężenia CO₂). Centrala pracuje stale z minimalną wydajnością na I biegu. Po przekroczeniu nastawionej wartości 1000 ppm centrala zwiększa wydajność i pracuje na II biegu, po spadku do 500 ppm, centrala wraca do pracy na I biegu.
Na falowniku centrali **CNW5** ustawić dwie nastawy:
 - I bieg – 5.170 m³/h
 - II bieg – 6.400 m³/h
 Na kanale nawiewnym i wyciągowym do i z Sali balowej centrali **CNW5** zamontować regulatory zmiennego przepływu VAV z tłumikiem szumów np. typu **TVJ - TX** produkcji TROX z nastawą:
 - I bieg – 2.400 m³/h
 - II bieg – 4.000 m³/h
3. Na kanale wyciągowym z Magazynów centrali **CNW6** zamontować higrostat dwustopniowy (nawilżanie + osuszanie) sterujący nawilżaczem i pracą urządzeń do osuszania powietrza na kanale nawiewnym.
4. Na kanale wywiewnym centrali **CNW7** zamontować dodatkowy higrostat dwustopniowy (nawilżanie + osuszanie), uruchamiający oba cykle. Dotychczasowy higrostat sterujący nawilżaniem, a umieszczony w kanale nawiewnym za lancami, zdemontować.

14.8. SYSTEM BMS

1. Wprowadzić nowe oznaczenia dotychczasowych central:
 - **CN1** (zamiast **CNW1**) – centrala nawiewna na poddaszu (obsługuje Pałac Piętro)
 - **CN2** (zamiast **CNW2**) – centrala nawiewna w piwnicy pałacu – w magazynie (obsługuje Pałac Parter)
 - **CN3** (zamiast **CNW3**) – centrala nawiewna na zapleczu kawiarni
2. Pozostawić dotychczasowe oznaczenia central:
 - **CNW4** – centrala nawiewna w piwnicy pałacu – w magazynie (obsługuje Komunikację w piwnicy Pałacu)
 - **CNW5** – centrala nawiewno-wywiewna w piwnicy budynku Sali balowej (obsługuje Salę balową i sale ekspozycyjne Szwajcarki)
3. Wprowadzić do systemu dwie pozostałe centrale:
 - **CNW6** – centrala nawiewno – wyciągowa w piwnicy pałacu – w magazynie (obsługuje Magazyny w piwnicy Pałacu)
 - **CNW7** – centrala nawiewno – wyciągowa na poddaszu Powozowni (obsługuje Sale Galerii Sztuki Dawnej w Powozowni)
4. Poprawić obraz wizualizujący centrale, z możliwością stwierdzenia pracy on/off poszczególnych sekcji
5. Na rysunku central zaznaczyć filtr wtórny. Zapewnić kontrolę zanieczyszczenia na filtrze wtórnym, jeżeli takiej nie ma.
6. Wprowadzić czujnik wilgotności powietrza zewnętrznego.
7. Podłączyć do systemu wszystkie klimakonwektory
8. Podłączyć do systemu agregaty chłodnicze: wodny i dwa freonowe do central **CNW6** i **CNW7**
9. Wprowadzić ponownie informacje o awarii (zostały odłączone).
10. Przenieść podgląd systemu BMS z Biura ochrony obiektu do oddzielnego pomieszczenia i do jego obsługi przeszkolić co najmniej dwóch pracowników MPH.
11. Umożliwić archiwizację danych z systemu BMS, dotyczących funkcjonowania systemów klimatyzacji i dostęp do nich dla wytypowanego i przeszkolonego pracownika Muzeum.

15. PROPOZYCJA ETAPOWANIA PRAC

Wiadomym jest, że aby uzyskać zamierzony cel, czyli utrzymywać w pomieszczeniach muzealnych przez cały rok stabilnych parametrów powietrza, trzeba wykonać wszystkie wymienione w **pkt. 14.** zalecenia. Jeżeli z jakichś powodów nie będzie możliwa wymiana wszystkich klimakonwektorów przed okresem grzewczym, to należy na czas najbliższej zimy wykorzystać istniejące klimakonwektory do ogrzewania konwekcyjnego. W tym celu należy zdjąć blaszane obudowy wymienników w klimakonwektorach. Istnieje również możliwość wykorzystania pracy agregatu chłodniczego (pompa ciepła) w trybie grzania. Agregat wytwarza wodę o temperaturze do 50°C (czyli niższej od wymaganej 70/50°C) przy temperaturze zewnętrznej powyżej – 10°C. **Przy niższej temperaturze zewnętrznej agregat się wyłączy.**

Prace należy wykonywać chronologicznie, w kolejności przedstawionej poniżej:

1. Uruchomienie agregatu chłodniczego.
2. Dopełnienie zładu wody z glikolem w instalacji chłodniczej.
3. Demontaż starych klimakonwektorów.
4. Sprawdzenie i usprawnienie instalacji grzewczej zasilającej klimakonwektory.
5. Wyłożenie matą termoizolacyjną ścian i parapetu od spodu w miejscu montażu klimakonwektorów.
6. Wykonanie przegród usprawniających dopływ powietrza do klimakonwektorów.
7. Wymiana wszystkich klimakonwektorów.
8. Przerobienie obudów klimakonwektorów (zapewnienie swobodnego dopływu i wypływu powietrza oraz możliwości wyjmowania filtrów).
9. Dołożenie na kanale nawiewnym dodatkowej chłodnicy, nagrzewnicy wtórnej i filtra z elementami sterującymi dla central:
 - a. CN1 i CN2
 - b. do Sali balowej (CNW5a)
 - c. do Sal ekspozycyjnych (CNW5b)
 - d. CNW6
 - e. CNW7
10. Zamontowanie nawilżacza parowego do centrali CNW6 z elementami sterującymi.
11. Zamontowanie wentylatora kanałowego na kanale nawiewnym centrali CNW6
12. Zamontowanie dodatkowych elementów automatyki.
13. Zrobić przebicia pod stropem do wolnych przewodach kominowych w Pałacu.
14. Zamontowanie kanałów wyciągowych z wentylatorami na przewodach kominowych na poddaszu Pałacu.
15. Zmodernizowanie systemu BMS.

Warunkiem koniecznym i niezbędnym do wykonania powyższych prac jest wykonanie **budowlanych projektów wykonawczych**. Dokumentacja projektowa powinna uwzględniać kompleksową analizę funkcjonowania systemów ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, automatyki i BMS oraz ocenę zasadności wykorzystania istniejących urządzeń i instalacji. Przy doborze rozwiązań technicznych należy dążyć do osiągnięcia wymaganych parametrów mikroklimatu przy jednoczesnej optymalizacji kosztów eksploatacyjnych, ograniczeniu zużycia energii oraz wykorzystaniu istniejącej infrastruktury technicznej wszędzie tam, gdzie jest to uzasadnione technicznie i ekonomicznie. Projektowane rozwiązania powinny tworzyć spójny i efektywny energetycznie system, zapewniający niezawodną eksploatację obiektu w perspektywie wieloletniej.

Dokumentacja projektowa powinna zawierać między innymi:

1. Obliczenie zysków i strat ciepła dla wszystkich pomieszczeń objętych dokumentacją projektową.
2. Wykonanie inwentaryzacji budowlanej wnek na klimakonwektory.

3. Dobór klimakonwektorów.
4. Zaprojektowanie obudów klimakonwektorów umożliwiających właściwy przepływ powietrza do ogrzania/chłodzenia pomieszczeń zgodnie z wytycznymi producenta urządzeń (podstawa uzyskania gwarancji)
5. Dobór pompy i pozostałych elementów instalacji wody grzewczej zasilającej klimakonwektory.
6. Dobór wymienników do osuszania powietrza w centralach.
7. Sporządzenie bilansu ciepła i chłodu dla całego Zespołu Pałacowego.
8. Ewentualna korekta armatury wężła cieplnego.
9. Dobór agregatu chłodniczego w wersji z pompą ciepła na czynnik chłodniczy woda +40 % glikolu.
10. Dobór pompy instalacji zewnętrznej (od agregatu do budynku).
11. Dobór wymiennika płytowego woda z glikolem / woda.
12. Dobór pompy w instalacji wewnętrznej.
13. Dobór pozostałych urządzeń wyszczególnionych w Tabeli Nr 11.
14. Opracowanie szczegółowych wytycznych (projektów) dla wszystkich branż.
15. Opracowanie części rysunkowej.
16. Modernizacja systemu BMS.

UWAGA:

Na etapie opracowywania niniejszej opinii oraz programu naprawczego analizie poddano istniejące systemy ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, automatyki i BMS wraz z infrastrukturą techniczną obiektu. Przedstawione rozwiązania zostały opracowane przy założeniu maksymalnego wykorzystania istniejących instalacji i urządzeń, wszędzie tam, gdzie ich dalsza eksploatacja jest możliwa i uzasadniona technicznie.

Program Naprawczy wskazuje działania niezbędne do osiągnięcia wymaganych parametrów mikroklimatu oraz poprawy funkcjonowania systemów HVAC. Jednocześnie należy podkreślić, że na etapie opracowania dokumentacji projektowej możliwa jest analiza i zastosowanie innych rozwiązań technicznych, w tym obejmujących szerszy zakres wymiany urządzeń lub przebudowy instalacji, jeżeli będzie to uzasadnione wymaganiami technicznymi, funkcjonalnymi, konserwatorskimi oraz możliwościami finansowania inwestycji.

Wszelkie dane techniczne dobranych w niniejszym opracowaniu urządzeń należy traktować jako przykładowe, wykonane na potrzeby określenia wstępnego kosztu Programu Naprawczego. Dobre mogą okazać się nieaktualne, bowiem w niniejszej Opinii powoływano się na dane zawarte w dotychczasowych projektach [4] ÷ [11].

16. OCENA SPODZIEWANYCH EFEKTÓW WDROŻENIA PROPONOWANYCH ROZWIĄZAŃ

Przedstawione w **pkt. 14 i 15** rozwiązania zdecydowanie poprawią dotychczasowe warunki środowiskowe panujące w pomieszczeniach muzealnych i ekspozycyjnych Pałacu Herbsta, co ma niewątpliwy wpływ na szybkość degradacji dzieł sztuki oraz mebli. Dużo bardziej jest szkodliwa szybka i częsta zmiana wartości parametrów, niż przechowywanie zabytku przez długi czas w stabilnych warunkach środowiskowych o wilgotności względnej i temperaturze powietrza odbiegających od idealnych dla danego materiału. Wymiana zupełnie niesprawnych klimakonwektorów na nowe i zamontowanie urządzeń dających możliwość osuszania powietrza oraz zapewnienie prawidłowej pracy nawilżaczy parowych pozwolą na osiągnięcie dużej stabilizacji temperatury i wilgotności względnej powietrza. Prawidłowo działająca automatyka przez dodanie nowych elementów, pozwoli na dostosowanie się zarówno do warunków wewnątrz pomieszczeń, jak i zmiennych warunków zewnętrznych.