

ÚVODNÍ PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE – NÁVRH ŘEŠENÍ

Zimní stadion Ivana Hlinky

S.K. Neumanna 1598, 436 ,01 Litvínov

Strojovna chlazení ledových ploch

**Návrh na snížení náplně čpavku a energetické
náročnosti chlazení**

Zpracovatel dokumentace : Ing. Petr Dudek

V Praze dne : 03/2014

Č. projektové dokumentace : 4-05/2014-00

.....
podpis a autorizační razítko

Obsah dokumentace:

Technická zpráva technologická	4-05/2014-01
Oceněný soupis dodávek a prací	4-05/2014-02
Principiální schéma	3-05/2014-03
Náčrtek sestavy výměníku	3-05/2014-04
Rozměrový náčrtek kompresoru	

ÚVODNÍ PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE – NÁVRH ŘEŠENÍ

Zimní stadion Ivana Hlinky

S.K. Neumanna 1598, 436 ,01 Litvínov

.....

Strojovna chlazení ledových ploch

**Návrh na snížení náplně čpavku a energetické
náročnosti chlazení**

Technická zpráva

Zpracovatel dokumentace : Ing. Petr Dudek

V Praze dne : 03/2014

Č. projektové dokumentace : 4-05/2014-01

.....
podpis a autorizační razítko

1. Rekapitulace výchozích údajů

Chlazení ledových ploch je zajišťováno pomocí šroubového kompresoru ZKR 204 A- 5 (ČKD Praha Kompresory) a dvou sdružených kompresorových jednotek o sazených vždy čtyřmi šroubovými kompresory Bitzer typ OSKA 7471K.

Kompresor ZKR 204 A-S je napojen na síť 6kV, sdružené jednotky jsou napojeny na síť 400V.

Chlazení obou ploch je zajišťováno nepřímým způsobem (solanka), a to dvěma samostatnými okruhy. Zapojení kompresorů je provedeno tak, že mohou pracovat na každou plochu samostatně, popřípadě pomocí propojovacích linií na sání společně.

Solanka je ochlazována v trubkových výměnících přímým odparem čpavku. Dva výměníky jsou učeny pro hlavní plochu, jeden pro tréninkovou. Dle informace provozovatele je i pro hlavní plochu dostačující jeden výparník. Výkonové parametry výparníků nejsou známy.

Současná kapacita chladicího výkonu instalovaných kompresorů :

(výkony jsou stanoveny pro vypařovací teplotu -20°C a kondenzační teplotu $+35^{\circ}\text{C}$)

ZKR 204A-S5	$Q_0 = 480 \text{ kW}$	motor $P = 250 \text{ kW}$
Sdružená jednotka (Brema)	$Q_0 = 400 \text{ kW}$	motor $P = 4 \times 55 \text{ kW}$
Sdružená jednotka (Linde)	$Q_0 = 400 \text{ kW}$	motor $P = 4 \times 55 \text{ kW}$

Pozn.:

Neobvykle nízká návrhová vypařovací teplota je zapříčiněna nevhodně zhotovenou chladicí deskou na hlavní ploše (viz. předchozí studie). Z tohoto důvodu (viz. dále) pracuje zařízení zejména při vyšších venkovních teplotách ve značně neekonomickém provozu, neboť při potřebě chladit solanku až na cca -18°C (dle info provozovatele), je nutné provozovat zařízení při vypařovacích teplotách -21°C a méně.

Tento stav je dále ovlivněn stávajícími trubkovými výměníky, které nedosahují takové účinnosti, jaké lze dosáhnout na výměnících deskových. Zároveň tyto výměníky představují pro chladicí zařízení svou konstrukcí neúměrně velký obsah čpavku.

2. Návrh na provedení úprav

Pokud budeme uvažovat komplexní řešení, zahrnující jak environmentální požadavky z hlediska snížení náplně čpavku v zařízení, tak ekonomické aspekty z hlediska snížení energetické náročnosti (v konečném důsledku se jedná též o environmentální aspekt na celkové snížení emisí do ovzduší) je možné úpravy rozdělit zhruba do tří samostatných celků, které však spolu úzce souvisí.

I. etapa – snížení náplně amoniaku

Stávající náplň amoniaku je dle informací provozovatele cca 5000 kg, přičemž majoritní množství se nachází v trubkových výměnících, dále v provozním sběrači, kondenzátoru a potrubním systému. Při porovnání s obdobnými provozy lze odhadnout, že v kondenzátoru, sběrači a potrubí se nachází přibližně 1500 kg amoniaku. Z toho lze vyvodit, že náplň amoniaku ve výparnících činí cca 4000 kg.

Výměnou tohoto systému chlazení solanky za systém zaplavených deskových výparníků s horizontálními odlučovači dojde k výraznému snížení náplně amoniaku. Při minimálním zaplavení odlučovačů nad deskovými výměníky na úroveň cca 150 mm bude v zařízení při použití odlučovačů s průměrem 1200 mm přibližně následující množství čpavku:

2x odlučovač	:	2x 200 kg
2x deskový výměník	:	2x 100 kg
2x spojovací potrubí	:	2x 50 kg

Celková náplň čpavku v kompletních chladičích solanky pak bude cca 700 kg.

Navrhovanou výměnou dojde ke snížení obsahu čpavku v zařízení o cca 3300 kg. Zůstatkové množství čpavku v celém chladicím zařízení pak klesne ze současných odhadovaných 5 000 kg na přibližně 1700 kg.

Snížením celkové náplně čpavku v systému na výše uvedenou úroveň dojde zároveň ke zvýšení bezpečnosti provozu kompresorových soustrojí, neboť nemůže dojít k přeplavení odlučovačů čpavku nad deskovými chladiči a k následnému poškození kompresorů nasátím kapalného čpavku.

Nezanedbatelnou výhodou systému s deskovými výměníky je možnost snížení teplotního spádu mezi požadovanou teplotou solanky a vypařovací teplotou o cca 1 až 2K oproti stávajícím kotlovým výparníkům, což umožňuje provozovat kompresory při vyšší vypařovací teplotě a tedy s vyšší energetickou účinností.

Z hlediska snížení energetické náročnosti cirkulace solanky v plochách je vhodné provést výměnu stávajících cirkulačních čerpadel bez regulace výkonu a s motory s nízkou účinností za nová čerpadla, která budou navržena tak, aby pracovní bod ležel v optimální účinnosti čerpadla, a jejichž výkon bude řízen měničem frekvence podle požadovaného průtoku do plochy. Lze předpokládat, že ze stávajícího štítkového příkonu čerpadel 2x37 kW dojde ke zmenšení motorů na min, 2x30 kW.

Nová čerpadla budou zároveň splňovat požadavky Nařízení komise ES č.640/2009 z 22.7.2009, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES, pokud jde o požadavky na EKODESIGN elektromotorů. Podle tohoto nařízení musí motory od 1.1.2015 vyhovovat minimálně třídě účinnosti IE3, nebo třídě IE 2 s plynulou regulací otáček (viz.příloha).

II. etapa – výměna stávajícího kompresoru ZKR 204 A-5

Stávající kompresor je již fyzicky a zejména technicky zastaralý, a to zejména z hlediska regulace výkonu zařízení, která je již svým principem neekonomická. Kompresor při chladicím výkonu 480 kW (pravděpodobně z důvodu stáří a opotřebovanosti stroje již mnohem nižším) je poháněn motorem o štítkovém příkonu 250 kW, který svojí účinností nevyhovuje výše uvedenému nařízení ES č.640/2009.

Při náhradě tohoto kompresoru moderním soustrojím (např. SAB 193L VSD) s ekonomicky řízeným výkonem změnou otáček kompresoru, dojde ke zvýšení chladicího výkonu na 647 kW při téměř stejném příkonu (viz. rozbor dále). Kompresor je kromě měniče frekvence vybaven ekonomizérem, který při vyšších zatíženích stroje významně zvyšuje energetickou účinnost soustrojí.

Takto osazené chladicí zařízení pak bude bez problémů schopné výkonově pokrýt při společném provozu s jednou sdruženou jednotkou celý potřebný výkon pro obě plochy a ekonomicky regulovat příkon dle skutečné potřeby chlazení ploch.

Pozn.: Z hlediska nutných zásahů do stroje chladení se jeví jako výhodné spojit etapy I. a II., a etapu III., která nemá vliv na vybavení stroje realizovat samostatně.

III. etapa – Zhotovení nové chladicí desky na hlavní ploše

Nutnost zhotovení nové chladicí desky, pro významné snížení energetické náročnosti chlazení je popsána v předchozích studiích. Projekt na novou chladicí desku na úrovni pro výběr zhotovitele je již zpracován. Vzhledem k následně provedeným úpravám okolí plochy je však nutné provést jeho revizi a doplnit úpravy dle skutečného stavu.

3. Popis řešení a energetická bilance

3.1 Náhrada chladičů solanky a oběhových čerpadel

Vzhledem k tomu, že přesné výkonové parametry stávajících kotlových výparníků (chladičů solanky) nejsou známy, jsou pro návrh nových výparníků převzaty hodnoty potřebného výkonu z předchozí studie návrhu ledové plochy s přihlédnutím k instalovaným výkonům na obdobných zimních stadionech.

Teplota solanky na vstupu do plochy se pohybuje podle aktuální potřeby chlazení, tedy zejména v závislosti na venkovních podmínkách a tepelném zatížení ledové plochy. Rozsah teplot solanky se dle informací provozovatele pohybuje v rozmezí cca -14°C v zimě a -18°C v létě. Pro výpočet výměníku byla uvažována střední hodnota teploty solanky, tedy -16°C. Pro tuto hodnotu je uvažováno s vypařovací teplotou čpavku -18°C.

Výpočtové tepelné zisky ledové plochy pro tyto parametry se pak pohybují kolem 420 kW při zatížení plochy tepelnou úpravou s dobou odvedení tepla po tepelné úpravě cca 15 min. Pro vyšší účinnost chladicího systému je navržen na hlavní ploše výparník o výkonu 600 kW a na vedlejší ploše 500 kW. Takto navržená výkonová rezerva umožní v případě potřeby jednak urychlit odvod tepla z plochy a jednak při nižší potřebě výkonu snížit teplotu solanky na teplotu blízkou teplotě vypařovací a tím zvýšit chladicí faktor kompresorového soustrojí. Pro výpočet průtoku solanky výparníkem je uvažováno s rozdílem teplot mezi vstupní teplotou do výměníku a výstupní teplotou 2,5K což je hodnota obvyklá pro chlazení ledových ploch nepřímým způsobem. Průtok solanky výměníkem je pak cca 245 m³/hod, respektive 204 m³/hod.

Základní parametry navržených deskových výměníků:

Vypařovací teplota čpavku	:	-18°C
Teplota solanky na vstupu	:	-13,5°C
Teplota solanky na výstupu	:	-16°C
Průtok solanky (výpočtový)	:	245 m ³ /hod (204 m ³ /hod)
Chladicí výkon	:	600 kW (500 kW)
Provedení výměníků	:	rozebíratelné s titanovými deskami
Tlaková ztráta	:	max. 70 kPa
Objem čpavku	:	max. 200 litrů

3.2 Návrh čerpadla

Návrh čerpadla vychází z potřebného výkonu pro ledové plochy s cca 10% rezervou a to cca 460 kW. Při průtoku výměníkem, který je dimenzován na větší výkon, bude jednak nižší tlaková ztráta a jednak bude dosaženo nižší teploty solanky na výstupu z výměníku. V případě potřeby přenést vyšší výkon, dojde k úměrnému zvětšení teplotního spádu na solance, tedy 2,5 K na 3,26K. Jedná se pouze o krátkodobý děj, umožňující přenést výkon až 600 kW.

Průtok solanky pak bude odpovídající výše uvedeným teplotním ziskům plochy a teplotnímu rozdílu $\Delta t = 2,5 \text{ K}$

$$M = Q / \Delta t * c_p = 460 / 2,5 * 2,941 = 62,56 \text{ kg/sec} = 225\,230 \text{ kg/hod}$$

Při měrné hustotě solanky $1\,181 \text{ kg/m}^3$ je pak objemový průtok čerpadlem:

$$V = 225\,230 / 1\,181 = 190 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Dopravní výška čerpadla musí být určena ve vyšším stupni projektové dokumentace na základě provozního měření skutečných tlakových ztrát v jednotlivých plochách. Pro předběžný návrh lze uvažovat cca $H = 32 \text{ m}$.

Pro tyto parametry lze zvolit čerpadlo Grundfos TP150-340/4 s motorem 30 kW. Čerpadlo bude vybaveno měničem frekvence pro udržování přesného návrhového bodu. Touto ekonomickou regulací na přesně stanovený průtok a vyšší účinností elektromotoru nového čerpadla lze odhadnout úsporu elektrické energie přibližně podle navržených motorů na 7 kW pro každé čerpadlo. Přesný údaj je možné zjistit až na základě provozních měření.

Obě provozní čerpadla budou doplněna třetím rezervním čerpadlem stejného výkonu, které může být provozováno dle potřeby jak na hlavní, tak na tréninkovou plochu.

3.4 Návrh kompresoru

Při návrhu kompresoru byl vzat v úvahu současný provoz, kdy je v provozu stávající kompresor ZKR 204 A5 obvykle na plný výkon (480 kW při -20°C – viz. příloha) a některá z blokových jednotek dle potřeby (400 kW při -20°C – viz. příloha). V případě nutnosti připíná i druhá bloková jednotka. Regulace potřebného výkonu blokových jednotek je zapínáním nebo vypínáním jednotlivých kompresorů, tedy 25% - 50% - 75% - 100%.

Nově navržený kompresor je navržen na takový výkon, že při běžném provozu obou ploch (mimo zápas a tepelnou úpravu ledu a mimo letní období) stačí svým výkonem pokrýt potřebu chladu pro obě plochy (300 + 350 kW při -20°C). Při vypařovací teplotě -8°C , která je pro běžný provoz dostačující pak má kompresor výkon cca 700 kW.

Kompresor je vybaven motorem odpovídajícím požadavkům Nařízení komise ES č.640/2009 z 22.7.2009, měničem frekvence a ekonomizérem. Tato výbava zajišťuje

mnohem vyšší účinnost jednotky oproti stávajícímu trvale provozovanému kompresoru ZKR 20 A5 viz. energetická bilance.

Základní parametry kompresorového soustrojí:

Typ kompresoru	:	SAB193L VSD s ekonomizérem
Výrobce	:	Sabroe
Otáčky	:	3600/min
Chladicí výkon při návrhových parametrech	:	647 kW
Kondenzační výkon	:	867 kW
Příkon na hřídeli (teoretický)	:	220,4 kW
Motor (400 V/60 Hz) – měnič frekvence	:	254 kW

Pozn.: Pro najíždění plochy z teplého stavu je nutné omezit výkon kompresoru, nebo kompresor osadit motorem 290 kW.

3.5 Látková bilance

Osazením deskových výměníků s nízko zaplavenými odlučovači kapek chladiva dojde ke snížení celkového obsahu čpavku o cca 3 300 kg.

3.6 Energetická bilance

Prostou výměnou stávajícího kompresoru ZKR 204 za nový kompresor ekonomizérem získáme následující úsporu elektrické energie:

Chladicí faktor: poměr chladicího výkonu ku příkonu kompresoru – udává tedy hodnotu kolik kWh chladu vyrobíme 1 kWh elektrické energie

Pro porovnání účinností kompresorů porovnáme chladicí faktory soustrojí z hodnot chladicího výkonu a příkonu stanoveného na hřídeli strojů doplněné o účinek různých účinností elektromotorů.

Faktory jsou porovnávány při 100% zatížení. Ve skutečnosti při nižších zatíženích bude porovnání účinností strojů pro nový kompresor s měničem otáček ještě výhodnější.

Stávající kompresor ZKR 204:

Chladicí výkon (při $t_0 = -20^{\circ}\text{C}$, $t_k = +35^{\circ}\text{C}$)	:	480 kW
Příkon kompresoru na hřídeli	:	197 kW
Odhadnutá účinnost elektromotoru	:	94%
Teoretický příkon elektromotoru	:	$197 / 0,94 = 209,6 \text{ kW}$
Chladicí faktor	:	$480 / 209,6 = 2,29$

Nový kompresor SAB 193 L VSD:

Chladicí výkon (při $t_0 = -20^{\circ}\text{C}$, $t_k = +35^{\circ}\text{C}$)	:	647 kW
Příkon kompresoru na hřídeli	:	220,4 kW
Odhadnutá účinnost elektromotoru	:	96%
Teoretický příkon elektromotoru	:	$220,4 / 0,96 = 229,6 \text{ kW}$
Chladicí faktor	:	$647 / 229,6 = 2,82$

Porovnání teoretických příkonů pro výrobu 1 kWh chladu : cca 0,81

Nový kompresor při stejném chladicím výkonu spotřebuje tedy cca o 19% elektrické energie méně.

Pro odhad úspory elektrické energie navrhujeme následující modelovou situaci, kdy předpokládáme provoz na obou plochách cca 12 hod denně.

Teoretický potřebný chladicí výkon:

Tréninková plocha: 8 hod - 300 kW
 4 hod – 350 kW

Hlavní plocha : 8 hod – 350 kW
 4 hod - 420 kW

Pro zjednodušení uvažujeme průběh zatížením obou plochách stejný, tedy potřeba chladu je po dobu cca 8 hod 650 kW, po dobu 4 hod 770 kW – celková spotřeba chladu je pak 8280 kWh.

Při tomto modelu je pak provoz následující:

a) stávající sestava kompresorů

Chladicí výkon

ZKR 204 : 100% 12 hod (480 kW) – tedy 5 760 kWh

Zbývá tedy zajistit 2520 kW, tedy 6,3 hod chodu sdružené jednotky při 100% zatížení

Teoretický spotřeba elektrické energie na hřídeli kompresorů:

ZKR 204 : 197 kW * 12 = 2364 kWh

Sdružená jednotka : 154,8 * 6,3 = 975 kWh

Celkem : 3 339 kWh

b) nová sestava kompresorů

SAB : 100% 12 hod (647 kW) – tedy 7 764 kWh

Zbývá tedy zajistit 516 kW, tedy 1,1 hod chodu sdružené jednotky při 100% zatížení

Teoretický spotřeba elektrické energie na hřídeli kompresorů:

ZKR 204 : 220,4 kW * 12 = 2645 kWh

Sdružená jednotka : 154,8 * 1,1 = 170 kWh

Celkem : 2 815 kWh

Rozdíl spotřeby elektrické energie je pak cca 524 kWh /den

Při ročním provozu 300 dní je pak celková úspora elektrické energie 157 200 kWh.

Pozn.: Návrh vychází z výše uvedeného modelu a provozu kompresorů při vypařovací teplotě -20°C. V zimním období bude doba chodu kompresorů kratší, a tedy úspora bude o něco menší. Pro přesné stanovení úspory elektrické energie by se muselo provést celoroční měření průběhu a zatížení jednotlivých strojů. Z výše uvedeného rozboru je však významná hodnota úspory elektrické energie zřejmá.

Do výpočtu není zahrnuta úspora energie na čerpadlech, která nelze přesně určit (nutnost změřit tlakové ztráty obou okruhů při nominálním průtoku), lze ji však odhadnout 120 kWh/den (12 hod x2 čerpadla x 5 kW), tedy 3600 kWh/rok.

4. Návrh řízení systému

Systém kompresorových jednotek bude řízen následovně:

Dle potřeby chladu bude vždy zapínán nejprve kompresor s vysokou účinností (tedy nový kompresor SAB 193 L VSD, který svým výkonem pokryje při menším tepelném zatížení potřebu chladu pro obě plochy. Výhodou tohoto provozu je to, že i při nízké potřebě chladu a provozu kompresoru na menší výkon než 100% je příkon kompresoru téměř proporcionálně snížen podle jeho zatížení (regulace pomocí změny otáček měničem frekvence). Při větší spotřebě chladu bude připojována automaticky jedna ze sdružených kompresorových jednotek. Řídícím parametrem pro zatěžování kompresorů bude nastavená vypařovací teplota. Uvádění kompresorů do chodu bude dle potřeby chladit, tedy podle porovnání požadované a skutečné teploty ledu na plochách.

5. Závěr

Z výše uvedeného rozboru je zřejmé, že provedením úprav popsanych v etapě I a etapě II dojde k výraznému snížení náplně čpavku v zařízení a tedy ke zvýšení bezpečnosti provozu a snížení rizika velké havárie a dále ke snížení nároků na elektrickou energii dle navrženého modelu o cca 150 000 kWh.

Pro přesnější stanovení úspor elektrické energie, je nutné provést měření ročního průběhu jednotlivých strojů a jejich zatížení.

Tato případná rekonstrukce vzhledem ke svému charakteru nevyžaduje nutnost stavebního řízení – jedná se pouze o úpravu technologie uvnitř stávajícího objektu a nemění způsob využívání tohoto objektu. Rekonstrukce nezasahuje do žádných stavebních konstrukcí objektu, s výjimkou bouracích prací stávajících betonových patek pod výparníky.

Podrobnější údaje budou předmětem vyššího stupně projektové dokumentace (dokumentace pro výběr zhotovitele). Tato dokumentace musí dále řešit úpravy systému řízení strojovny a silového připojení nového kompresoru.

Dle vyjádření energetika MÚ Litvínov Ing. Pavla Staňka je před zahájením úprav technologie nutné vyřešit přednostně silové napájení ZSIH. V současné době není pro provoz stadionu vyřešeno případné selhání jednoho z transformátorů. Doporučené řešení je osazení nového dvoudílného rozvaděče NN, který by napájely 3 transformátory o výkonu cca 800 kVA, přičemž by byl jeden jako studená rezerva. Rezervní transformátor je třeba zapojit tak, aby mohl napájet obě větve budoucího rozvaděče.

Další možností je objednat přímo elektřinu na hladině NN a vyšší způsob dodávky požadovat po dodavateli – ČEZ distribuce.

Část VN není součástí dodávky technologie. Rozvaděč NN může být v dalším stupni dokumentace zahrnut do komplexní dodávky technologie.