

ZAŘÍZENÍ PRO JÍMÁNÍ OXIDU UHLÍČITÉHO

Část 1 – VÝHODY A FUNKCE

Dipl.Ing. BERT HAFFMANS, Haffmans B.V. – Venlo, Nizozemí

Klíčová slova: oxid uhličitý, emise, kalkulace nákladů, těkavé látky, jímání

Zařízení na jímání CO₂ nacházejí pro své výhody v pivovarství stále větší uplatnění. Ve dvoudílném příspěvku budou podrobně diskutovány úkoly a možnosti zařízení pro jímání CO₂. V první části bude diskutováno, proč se CO₂ jímá místo nákupu komerčního CO₂. Dále budou diskutovány náklady na jímání CO₂ a na nákup CO₂. Konečně, budou probírány základní funkce a parametry těchto zařízení.

VÝHODY ZAŘÍZENÍ PRO JÍMÁNÍ OXIDU UHLÍČITÉHO

Moderní pivovar potřebuje CO₂. Při úvaze, zda CO₂ jímá nebo nakupovat, hrají roli následující kritéria:

1. Snížení emisí
2. Náklady na CO₂
3. Zajištění kvality
4. Legislativa (např. Reinheitsgebot)

V dalším textu jsou uvedené body s výjimkou posledního podrobně diskutovány.

Snížení emisí

Pokud vezmeme v úvahu emise CO₂ v Německu (stav v r. 1990 pro staré spolkové země), ukazuje se, že pivovarnictví – a speciálně kvašení – přispívá k celkovým emisím CO₂ jen nepatrně:

Celkové emise CO₂ způsobené spalováním fosilních paliv ~ 990 mil. t/rok (100%)
Pivovarské emise CO₂ ze spalování fosilních paliv ~ 2,2 mil. t/rok (0,23%)
Pivovarské emise CO₂ z procesu kvašení ~ 0,4 mil. t/rok (0,04%)

Výše uvedené údaje je třeba brát s rezervou, neboť čísla uvedená v různých literárních pramenech se od sebe značně liší.

Málo uvažované, avšak podstatnější jsou emise těkavých látek, které jsou strhávány s kvasným CO₂.

Kvasný průmysl je třetím největším producentem těkavých organických látek (VOC = Volatile Organic Components) po průmyslu rozpouštědel a emisích z pohonných hmot v dopravě.

Pivovar s výstavem 1 mil. hl musí počítat s následujícími emisemi:

Výstav: 1 mil. hl

Produkce CO₂: 3,7 kg/hl = 3700 t/rok

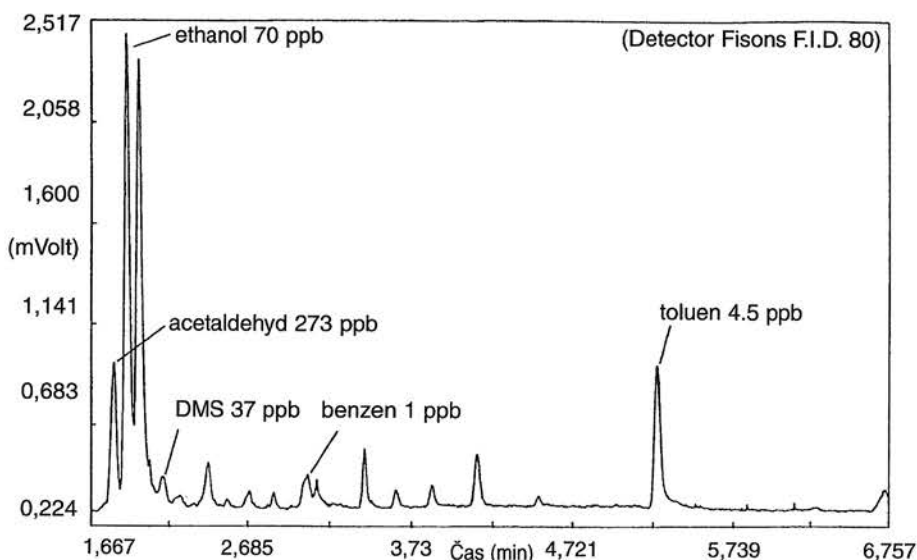
Koncentrace ethanolu: 700 ppm hm.

Emise ethanolu: cca. 2,5 t/rok

Přestože v současnosti nejsou zákonem stanoveny limity emise VOC v pivovarství, vyžaduje tato problematika vážnou pozornost.

Náklady na výrobu CO₂

Cena jímaného CO₂ v porovnání s komerčním CO₂ nemusí být vždy nutně rozhodujícím důvodem pro investici do zařízení pro jímání CO₂.



Obr. 1 Redukce objemu kvasného CO₂ stlačením, sušením a zkapařením

Náklady na jímání CO₂ závisí na:

- výkonu zařízení
- ceně energie
- úrokové sazbě

Náklady se pohybují v rozmezí pod 0,10 DM/kg až do 0,40 DM/kg (viz následující výpočet).

Na druhé straně se ceny komerčního CO₂ pohybují rovněž v širokém rozmezí (viz tabulka 1). Ceny CO₂ v západní Evropě, jež jsou málo ovlivňovány náklady na přepravu, jsou všeobecně poměrně nízké, avšak velmi kolísají. Bez poplatku za pronájem tanku se pohybuje cena komerčního CO₂ mezi 0,20 DM/kg a 0,80 DM/kg. Za komerční CO₂ ze zaručených přírodních zdrojů, tedy CO₂, který nepochází z chemických procesů nebo spalování, je někdy požadován příplatek.

V různých zemích světa jsou ceny komerčního CO₂ až 2,50 DM/kg i vyšší. Důvodem je monopolní situace na trhu a náklady na přepravu.

Pořízení zařízení pro jímání CO₂ pouze z cenových důvodů vyžaduje tedy kritickou úvahu předtím, než je učiněno rozhodnutí.

Tab. 1 Faktory ovlivňující cenu CO₂ z různých zdrojů

Jímaný kvasný CO ₂	Komerční CO ₂
Cena závisí na: – výkonu zařízení – nákladech na energii – úrokové sazbě	Ceny značně závisí na místě a původu CO ₂ (průmyslové CO ₂ nebo přírodní CO ₂) Západní Evropa 0,20 DM/kg – 0,80 DM/kg Zámoří až 2,50 DM/kg

Zajištění kvality

Pokud jde o zajištění kvality, nehrozí při použití jímaného CO₂ žádné nebezpečí znečištění piva, přesněji nehrozí žádné nebezpečí znečištění látkami, jež jsou pivu cizí. To je velmi důležité tam, kde se provádí dosycování piva CO₂.

Komerční CO₂ může pocházet z přírodních zdrojů stejně jako z některých chemických procesů (syntéza ethylenoxidu, syntéza amoniaku, zplyňování uhlí, spalování fosilních látek).

Ačkoliv komerční CO₂ z chemických procesů obvykle obsahuje malé koncentrace vedlejších produktů, vyžaduje neustálou pozornost technologů. V této souvislosti můžeme připomenout případ výrobce minerálních vod, u kterého se prostřednictvím komerčního CO₂ dostal benzen do minerální vody.

Chromatogram jednoho reprezentativního vzorku komerčního CO₂ ze západní Evropy ukazuje několik malých píků, které byly identifikovány jako benzen (1 ppb) a toluen (4,5 ppb). Další píky přísluší ethanolu, acetaldehydu a dimethylsulfidu. Ostatním píkům nemohly být přiřazeny žádné látky (obr. 1).

Dále je nutno vzít v úvahu, že komerční CO₂ ze spalovacích procesů může obsahovat oxidy dusíku. To je významné vzhledem k pravděpodobné roli NO_x při vzniku nitrosaminů.

Výpočet nákladů

Celkové náklady na zařízení pro jímání CO₂ se skládají z nákladů investičních a provozních. Celkové náklady jsou značně ovlivněny lokálními podmínkami, především cenami energie a vody. Následující hodnoty

Tab. 2 Výpočet nákladů zařízení pro jímání CO₂

Základ pro výpočet			
Doba provozu zařízení:	4000 h/rok		
Úroková sazba:	7%		
Odpis:	10 let		
Náklady na energii			
Voda/odpad:	5,- DM/m ³		
Chladicí voda:	0,50 DM/m ³		
Elektřina:	0,19 DM/kWh		
Cena za výkon:	35,- DM/kW		
Mzdové náklady:	50,- DM/h		
Náklady na prostor nejsou uvažovány			
Investice (DM)			
Kapacita zařízení (kg/h):	100	200	600
Zařízení:	268000,-	318000,-	417000,-
Montáž:	30000,-	40000,-	60000,-
Zásobník CO ₂ :	46000,-	65000,-	88000,-
Izolace:	33000,-	45000,-	75000,-
Celková investice:	377000,-	468000,-	640000,-
Provozní data			
Instalovaný výkon (kW):	25	50	130
Spotřeba:	16,3	31	95
Spotřeba vody (m ³ /h):	0,1	0,2	0,6
Spotřeba chladicí vody (m ³ /h):	2,2	4,8	10,9
Práce personálu (h/rok):	260	260	260
Provozní prostředky (DM/rok):	15000,-	20000,-	30000,-
Výpočet nákladů			
Fixní náklady (DM):	82550,-	101380,-	138670,-
Variabilní náklady (DM):	18790,-	37160,-	106000,-
Celkové náklady (DM):	101340,-	138540,-	244670,-
Vyprodukované množství (kg):	400000	800000	2400000
náklady na CO₂ (DM/kg):	0,25	0,17	0,10

pro tři typické velikosti zařízení nelze tedy obecně přenášet (tabulka 2).

Při porovnání mezi CO₂ jímáním a komerčním je nutno vzít v úvahu, že pro komerční CO₂ je nutno počítat se zásobníkem a výparníkem. Tyto položky jsou ve výpočtu pro jímání CO₂ již zahrnuté.

FUNKCE ZAŘÍZENÍ PRO JÍMÁNÍ CO₂

Hlavními funkcemi zařízení pro jímání CO₂ je:

- čištění CO₂
- uskladnění CO₂

Čištění

Oxid uhličitý uvolněný při kvašení odnáší z piva řadu látek. Ačkoliv složení těchto látek poskytuje určité informace o průběhu kvašení, byla o tomto tématu publikována pouze jediná práce od Zagrandy na EBC kongresu v Interlaken 1969 [1].

Hlavní sloučeniny unášené oxidem uhličitým jsou uvedeny v tabulce 3.

Kvalita čištění CO₂ je určována podle následujících kritérií (tabulka 4).

Nejdůležitějšími látkami při čištění CO₂ jsou H₂S a DMS. Pokud probíhá proces odstranění H₂S a DMS podle požadavků na kvalitu, lze předpokládat, že i koncentrace ostatních organických komponent je dostatečně nízká.

Pro některé další aplikace je někdy nutné, aby H₂S a DMS byly odstraněny z CO₂ ještě účinněji. To je možné např. s využitím speciálního oxidačního procesu, čímž lze docílit

Tab. 3 Příměsi surového CO₂ – průměrné hodnoty

Sloučenina	koncentrace mg/kg
ethanol	400 až 1000
acetadehyd	10 až 20
ethylacetát	10
isoamylacetát	5
sirovodík	2 až 10
isoamylalkohol	2,5
amylalkohol	2,5
dimethylsulfid	2,5
aceton	1
isobutanol	1

Pozn: nekondenzující plyny a vodní pára nejsou zahrnuty

Tab. 4 Požadavky na kvalitu vyčištěného jímání CO₂

Nízká koncentrace látek způsobujících zápach
– H ₂ S < 50 µg/kg (ppb hm.)
– DMS < 50 µg/kg (ppb hm.)
Celková čistota > 99,97% obj. (eventuálně > 99,998% obj.)
Koncentrace O ₂ < 50 ppm obj. (eventuálně < 5 ppm obj.)
Rosný bod < -60 °C (atmosférický) (≤ 0,01 mg H ₂ O/l CO ₂)

koncentrací až 2 µg/kg. Toto zařízení, jež bylo zkonstruováno s pomocí firmy Haffmans, popisuje van Oeveren (Heineken) ve svém referátu na EBC kongresu v Oslo, 1993 [2].

Požadovaná koncentrace kyslíku nižší než 50 ppm obj. v čistém CO₂ může být při správném provozování dosažena v konvenčních zařízeních. Velmi nízké koncentrace O₂ na úrovni 5 ppm obj. nebo nižší lze však dosáhnout pouze s využitím speciálních technik, např. tzv. O₂-stripperu.

Uskladnění CO₂

Jelikož k maximální produkci CO₂ dochází na konci týdne, tedy v době, kdy je ve výrobě prakticky žádná nebo malá spotřeba CO₂, je zřejmé, že zařízení pro jímání CO₂ musí umožňovat též uskladnění CO₂.

Zpravidla se uvádí, že kapacita vyrovnávací (bufferu) musí být stonásobkem hodinového výkonu zařízení pro jímání CO₂. Např. zařízení o kapacitě 300 kg/h by mělo být vybaveno zásobníkem na kapalný CO₂ o kapacitě 30 t.

Jedna tuna kvasného CO₂ přímo z kvasného tanku má objem 530 m³. Toto číslo ukazuje, že je nezbytné dosáhnout značného stlačení, aby bylo možno uskladnit potřebné množství CO₂, např. 25 t.

Díky stlačení, sušení a zkapalnění je dosaženo více než 99% redukce objemu. To znamená, že objem jedné tuny CO₂, jež původně činil 530 m³, je snížen na méně než 1 m³ (obr.2).

Dimenzování zařízení pro jímání CO₂

Při dimenzování zařízení pro jímání CO₂ jsou rozhodující následující faktory:

- hodinový výkon zařízení
- objem balónu na CO₂
- objem zásobníku na kapalný CO₂
- výkon výparníku CO₂

Hodinový výkon zařízení na jímání CO₂

Potřebný výkon zařízení pro jímání CO₂ je určen zejména velikostí várek, jejich posloupností a původním extraktem. Při pětidenním výrobním procesu dochází podle zkušenosti k maximálnímu vývinu CO₂ v pátek, sobotu a neděli. V pondělí, úterý a ve středu dochází k minimálnímu vývinu CO₂. Výchozím bodem pro dimenzování zařízení na jímání CO₂ doporučovaného firmou Haffmans je jímání CO₂ též při maximálním vývinu na konci týdne. Pro určení potřebného výkonu existují složité grafické metody. V praxi se využívá zjednodušený výpočet, který poskytuje dostatečně spolehlivé výsledky.

Základní nezbytná data:

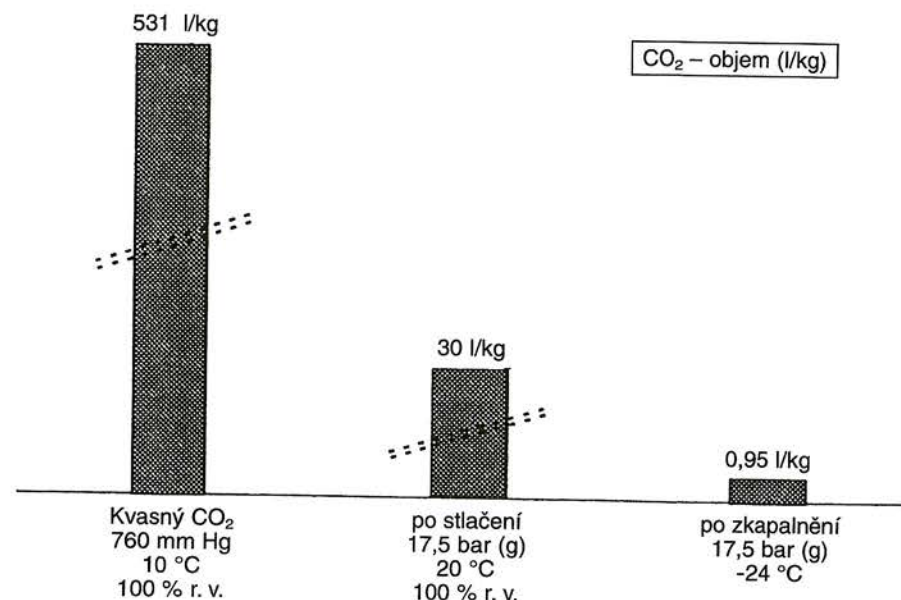
Posloupnost várek (počet várek za 24 h) (*n*)
Objem várky v hl (*V*)
Původní extrakt

Výpočet potřebného výkonu zařízení (*Q*):

$$Q \text{ (kg CO}_2\text{/h)} = \frac{n \cdot V}{24} \cdot x \cdot 1,25$$

x = produkce CO₂ kg/hl
(pro 12 % ležák může být vzata hodnota

Obr. 2 Chromatogram komerčního CO₂



2,5 kg/hl)
1,25 = faktor špičky

Příklad:

$n = 6$ várek /24 h

$x = 2,5$ kg CO₂/hl (12% ležák)

$V = 560$ hl studené mladiny

$$Q = \frac{6 \cdot 560 \text{ (hl)}}{24 \text{ (h)}} \cdot \frac{2,5 \text{ kg CO}_2}{\text{hl}} \cdot 1,25$$

$$= 437,6 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

Vypočtený výkon zaokrouhlíme na 450 kg CO₂/h.

Dále musíme vzít v úvahu:

- uvedené hodnoty platí pro technologii kvašení v CKT, v jiných případech může být množství jímaného oxidu uhličitého nižší,
- při výrobě zahuštěné mladiny (High Gravity Brewing) je nutno hodnotu 2,5 kg CO₂/hl zvýšit o cca 0,35 kg CO₂/hl na každé procento extraktu nad hodnotu 12 %.

Objem balónu na CO₂

Balón na CO₂ nesmí být pouze považován za zásobník, ale slouží též jako buffer mezi vývinem CO₂ a výkonem zařízení např. k omezení frekvence spouštění CO₂ kompresoru.

Pokud je

I = objem balónu (kg)

Q = výkon kompresoru (kg/h)

f = frekvence spouštění CO₂ kompresoru (h⁻¹),

bude existovat určitá maximální spouštěcí frekvence f_{\max} , je-li vývin CO₂ roven polo-

vině kapacity CO₂ kompresoru. Při vyšším a nižším vývinu CO₂ bude spouštěcí frekvence nižší než f_{\max} .

f_{\max} můžeme vypočítat dle vztahu:

$$f_{\max} = \frac{Q}{4 \cdot I}$$

Pokud vynásobíme objem balónu (m³) faktorem 1,9 kg/m³, dostaneme přibližně hmotnost CO₂ v kg.

Příklad:

$Q = 300$ kg/h

$I = 30$ m³

$$f_{\max} = \frac{300 \text{ kg/h}}{4 \cdot 30 \text{ m}^3 \cdot 1,9 \text{ kg/m}^3} = 1,3 \text{ h}^{-1}$$

CO₂ kompresor bude tedy při nejméně příznivých podmínkách spouštěn 1,3 krát za hodinu (tj. v intervalu 46 min).

Pokud je v systému instalováno více kompresorů než jeden, je přesto v systému využit pouze jeden balón, jenž je vybaven odpovídajícím způsobem více spínacími body.

Při nárůstu vývinu CO₂ je nejprve spouštěn a vypínán jeden kompresor. Pokud překročí vývin CO₂ kapacitu prvního kompresoru, pracuje tento kompresor nepřetržitě, zatímco se balón dále naplňuje, poté je spuštěn druhý kompresor. Pokud se balón vyprázdní, jsou kompresory vypnuty.

Výpočet frekvence spouštění provedeme podle výše popsaného postupu s přihlédnutím ke:

- kapacitě většího kompresoru
- na každý kompresor je odečteno od kapacity balónu 10 % pro dodatečný spínáč

Příklad:

CO₂ systém se dvěma kompresory

$Q_1 = 150$ kg/h (kompresor 1)

$Q_2 = 200$ kg/h (kompresor 2)

$I = 20$ m³

$$f_{\max} = \frac{200 \text{ kg/h}}{4 \cdot 0,9 \cdot 20 \text{ m}^3 \cdot 1,9 \text{ kg/m}^3} = 1,46 \text{ h}^{-1}$$

Objem zásobníku na kapalný oxid uhličitý

Objem zásobníku na kapalný CO₂ bývá většinou určován podle následujícího pravidla:

Pravidlo:

Objem zásobníku = 100násobek hodinové kapacity zařízení pro jímání CO₂

Příklad:

Výkon zařízení pro jímání CO₂ = 300 kg/h

$$\text{Objem zásobníku} = 100 \times 300 \text{ kg CO}_2/\text{h} = 30 \text{ t}$$

Toto pravidlo bere v úvahu běžnou produkci CO₂ na konci týdne (mezi pátkem odpoledne a pondělním ráno), kdy je spotřeba CO₂ minimální. V tomto časovém rozmezí 60-70 hodin běží často zařízení pro jímání CO₂ 90 % této doby.

V pátek by měl zásobník obsahovat do 20 až 30 % objemu. Z těchto hodnot vyplývá s určitou rezervou výše zmíněné pravidlo.

Výkon výparníku CO₂

Potřebný výkon výparníku CO₂ není bezprostředně vázán na výkon zařízení pro jímání CO₂. Při dimenzování je nutno zajistit normální spotřebu pro jednotlivé aplikace v pivovaru. K nejdůležitějším patří:

Ležácký sklep: Předplnění/vyprazdňování ležáckých tanků

Filtrace: dosycování, odplynění vody, vyrovnávací tanky, přetlačné tanky

Stáčení do KEGů/láhvi

Z potřebného tlaku pro předplnění/vyprazdňování, výkonu filtrace a výkonu stáčecích linek lze vypočítat spotřebu CO₂. Spotřebu CO₂ pro dosycování je možno též jednoduše vypočítat. U odplynění vody, KEG linky a plničky láhví je nutno vycházet z údajů výrobce, neboť ve většině případů nejsou údaje o spotřebě k dispozici.

Praxe ukazuje, že pro spolehlivé udržení tlaku v systému distribuce CO₂ je nutno po výpočtu průměrné spotřeby počítat se špičkovým faktorem 3 až 4.

LITERATURA

- [1] ZANGRANDO, T., GIRINI, G.: Proc. EBC, 12th, 1969, str. 445.
- [2] VAN OEVEREN, P.W.: Proc. EBC, 24th, 1993, str. 607.