

# JAK MĚŘIT ROZPUŠTĚNÝ KYSLÍK V PIVOVARU

## V mladině

Současná technologická zařízení umožňují zajistit úplné rozpouštění plynů. V těchto systémech je nejlepší volbou použít samotný kyslík, čímž se vyloučí manipulace s velkými objemy plynů. Moderní pivovarnictví vyžaduje co nejpřesnější kontrolu rozpuštěného kyslíku ( $\pm 0,5$  ppm) a jeho použití pouze v přesně stanoveném množství. Tím je zajištěna konzistentní fermentace a minimální ztráta piva z důvodu nadbytku kvasinek.

S ohledem na přítomnost částic v mladině a nutnost zpětné kontroly je pro měření koncentrace kyslíku výhodné používat in-line analyzátoři.



## Světlé pivo

Běžné hodnoty rozpuštěného kyslíku se mezi pivovary liší, ale měly by být nižší než 0,05 ppm. Pro měření ve světlém pivu nebo v mladině je nezbytně nutné, aby při měření kyslíku byly všechny přítomné plyny rozpuštěné.

## Přenosné měření

Při vzorkování piva je vždy nutné úplně otevřít vzorkovací ventil a průtok piva regulovat pomocí nastavení průtoku, které je na výstupu z přístroje. Tímto způsobem bude senzor vždy pod tlakem piva a bude tak zajištěno, že pivo bude proudit k senzoru čiré a bez bublin.

Rychlost průtoku piva přístrojem není klíčová, avšak měla být dostatečně nízká, aby u senzoru kyslíku nedocházelo k odplyňování.

Je třeba si uvědomit, že první měření dne bude mít delší odezvu, protože senzor se musí nejprve zbavit nashromážděného vzduchu v přístroji. Musí se také vytemperovat na teplotu piva.

Pro zjištění zdroje kontaminace kyslíkem může být použitý přenosný analyzátor rozpuštěného kyslíku ORBISPHERE 3100 buď pro bodovou kontrolu, nebo může být ponechán několik hodin na vzorkovacím místě jako přenosný datalogger.



Přenosný analyzátor rozpuštěného kyslíku ORBISPHERE 3100

### Standardní koncentrace kyslíku během výroby piva

V mladině	8 – 17+ ppm
Fermentace	<10 ppb
Filtrace	5 – 50 ppb
Světlé pivo po filtraci	10 – 50 ppb
Pivo v plniči	10 – 30 ppb
Rozpuštěný O <sub>2</sub> v balení (lahev)	20 – 50 ppb
Rozpuštěný O <sub>2</sub> v balení (plechovka)	30 – 60 ppb
Celkový rozpuštěný O <sub>2</sub> v balení	40 – 150 ppb

## In-line analýza



Hotové pivo je velmi drahý produkt; pokud je poškozen oxidací, následky již nelze napravit. Proto je třeba celý výrobní postup kontinuálně monitorovat, aby byl případný nárůst koncentrace kyslíku okamžitě zachycen.

Kyslíkové senzory mohou být umístěny na většině míst výrobní linky, avšak měly by být instalovány co nejdále od čerpadel a míst, kde dochází k injektáži CO<sub>2</sub> nebo k provzdušňování mladiny.

Senzor instalujte vždy tak, aby byl umístěn horizontálně. Obzvláště důležité je vyloučit instalaci kteréhokoli senzoru vertikálně do horní části potrubí, protože by zde mohlo dojít k vytvoření vzduchové kapsy, a účinný proces čištění (CIP) by byl nemožný.

Přístroje HACH ORBISPHERE umožňují nastavit libovolnou teplotu pro vypnutí. Pokud tuto teplotu nastavíte na nízkou hodnotu, těsně nad teplotou piva, v případě prázdného potrubí nebo při jeho čištění se senzor automaticky vypne.

## Analýza balení

Cílové hodnoty koncentrace rozpuštěného kyslíku se liší. Ideální koncentrace by však měla být nižší než 0,5 ppm.

Vzorky ze sudů se získávají pomocí stlačeného CO<sub>2</sub> nebo N<sub>2</sub>, který žene pivo ze sudu.

Vzorky z lahví nebo plechovek se získávají pomocí propichovacího zařízení natlakováním hrdla, díky čemuž je pivo tlačeno k senzoru kyslíku. (K dispozici jsou také systémy pro měření celkového O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> a N<sub>2</sub> v kapalně fázi a v hrdlovém prostoru.)

### Důležité informace:

- Aby se zabránilo tvorbě bublin, tlak použitého CO<sub>2</sub> nebo N<sub>2</sub> musí být vyšší než tlak všech v pivu rozpuštěných plynů.
- Balení je třeba vždy měřit ihned po naplnění a před pasterizací, protože zahříváním je reakce piva s rozpuštěným kyslíkem velice rychlá.
- Před propíchnutím je třeba obal intenzivně protřepat, aby došlo k nastolení rovnováhy parciálních tlaků plynů v hrdlovém prostoru a pivu. Třepání se neprovádí u přístrojů, které měří odděleně v hrdlovém prostoru a pivu.



## Trvanlivost

Přítomnost kyslíku v balení způsobuje k degradaci chuti piva. Čím je koncentrace kyslíku vyšší, tím je degradace chuti výraznější. Obsah kyslíku v balení může být změřen, aby se zjistilo, jestli pochází z hrdla nebo procesu plnění.

U většiny piva se převážná část kyslíku spotřebuje již během jednoho týdne, nicméně chuť piva se nemění po dobu dalších dvou až tří měsíců. Spotřeba kyslíku se u baleného piva může značně lišit v závislosti na skladovací teplotě, druhu piva a obsahu pivovarských kvasnic.



## Kyslík v balení

Kyslík se do balení může dostat na dvou místech: během plnění nebo z hrdlového prostoru při nedostatečném vypěňování. Zdrojem kyslíku v plniči je buď vzduch již obsažený v pivu, nebo vzduch, který se do lahve nebo do potrubí plniče dostává během plnění. Zdrojem kyslíku v hrdle je vzduch, který zde zůstane po uzavření balení. Protože parciální tlaky plynů v hrdle a v kapalině nejsou ihned po plnění v rovnováze, je třeba každé balení před měřením rozpuštěného  $O_2$  (nebo  $N_2$  a  $CO_2$ ) protřepat.

Následující kroky mohou být použity k jednoduchému určení, jestli je hlavním zdrojem kyslíku plnič nebo vstřikovač. Všechna měření by se měla provádět v nepasterizovaném pivu.

1. Vezměte z automatické plnicí linky bez spuštění a zastavení šest balení.
2. Tři balení protřepávejte po dobu pěti minut a poté proveďte měření.
3. Změřte zbývající tři balení bez předchozího protřepání.
4. Porovnejte průměrné hodnoty měření rozpuštěného kyslíku z každé skupiny.

Pokud je koncentrace po protřepání vyšší, pak je hlavním zdrojem kyslíku hrdlo. Pokud je hodnota nižší, pak je hlavním zdrojem kyslík z kapaliny. Takto je možné snadno určit, zda je nejvýznamnějším zdrojem kyslíku vstřikovač nebo plnič. Nejspolehlivější a nejpřesnější nástroj pro detekci zdroje kontaminace kyslíkem je přístroj, který odděleně měří hrdlový prostor a rozpuštěný kyslík.

### Kontaminace kyslíkem po balení

I po zabalení je pivo prodávané v lahvích stále citlivé ke zvýšenému působení kyslíku, který proniká přes korunkový uzávěr. Korunkové uzávěry představují polopropustnou bariéru mezi pivem v lahvi a vzduchem z okolí lahve. Běžná koncentrace kyslíku v lahvi je významně nižší než koncentrace kyslíku ve vzduchu v okolí lahve. Kyslík i dusík pronikají do balení pasivní difuzí. S výjimkou novějších korunkových uzávěrů, které vážou kyslík a fungují jako bariéra, nelze netěsnosti uzávěru příliš zabránit.

Kyslík pak reaguje v lahvi s pivem a ovlivňuje jeho chuť. Za únikem nebo vniknutím kyslíku je snaha o vyrovnání parciálních tlaků plynů jak uvnitř, tak vně lahve. Kyslík v lahvi neustále reaguje s pivem, takže jeho koncentrace v lahvi zůstává velice nízká.

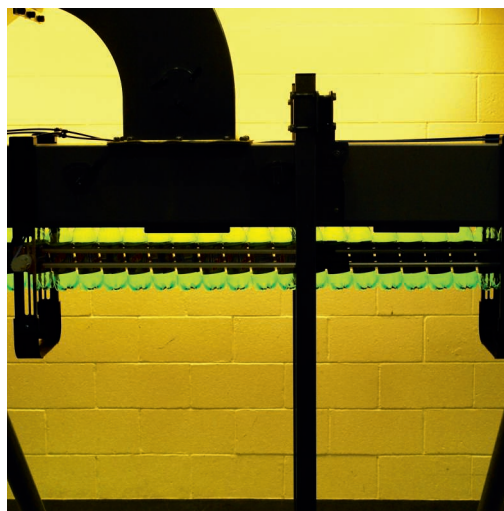
Typické korunkové uzávěry „propouštějí“ do balení 1 až 2 ppb kyslíku denně. Během tří měsíců se tedy do balení může dostat kyslík v celkovém množství až 180 ppb. V mnoha případech je toto množství větší než celkové množství kyslíku, kterému bylo pivo vystaveno před lahvováním. Vzhledem k velkému pokroku, který byl v několika posledních letech proveden pro snížení celkového množství kyslíku během balení, se dnes řada pivovarů dostává na hodnoty celkového kyslíku v balení nižší než 40 ppb.

## Analýza plynné fáze

Systém Hach umožňuje měřit jak koncentrace rozpuštěného kyslíku v pivu, tak koncentrace oxidu uhličitého používaného k propláchnutí tanku. Tyto analyzátoři poskytují možnost dvoufázového měření, tj. uživatel může přepínat mezi měřením v kapalně a plynné fázi.

Pro měření objemových %  $O_2$  se musíte ujistit, že plyn má atmosférický tlak, použitím následujícího postupu:

- Regulujte průtok přístrojem před analyzátořem, ze kterého pochází vzorek.
- Otevřete průtok analyzátořem, aby se minimalizoval zpětný tlak do přístroje.
- U plynného vzorku používejte průtok max. 100 ml/min.



# Sycení oxidem uhličitým

Při injektáži CO<sub>2</sub> se přidávají do piva pod velkým tlakem vysoké koncentrace CO<sub>2</sub>, takže je nutné, aby přidávaný CO<sub>2</sub> neobsahoval prakticky žádný kyslík, jinak by mohlo velice rychle dojít k nárůstu rozpuštěného kyslíku v pivu.

## Přidávání oxidu uhličitého pod vysokým tlakem

Množství přidaného CO <sub>2</sub>	Koncentrace O <sub>2</sub> v CO <sub>2</sub>		
	0,001 %	0,005 %	0,02 %
0,5 objem. zlomku	7 ppb	35 ppb	142 ppb
1,0 objem. zlomku	14 ppb	71 ppb	284 ppb
2,0 objem. zlomku	28 ppb	142 ppb	567 ppb
	Rozpuštěný kyslík přidaný do piva		

## Užitečné jednotky a převody

### Kyslík

Při teplotě 20 °C obsahuje suchý vzduch 20,94% O<sub>2</sub> = 209.400 ppm objemových.  
Vzduch s vlhkostí 100% obsahuje 20,45% O<sub>2</sub> = 204.500 ppm objemových.  
Pro 1 mg/kg O<sub>2</sub> v roztoku se často používá jednotka 1 ppm (hmotnostní).

Všechny následující údaje o rozpustnosti platí pro tlak 1 atm (101.325 Pa).

Voda saturovaná vzduchem obsahuje:  
9,10 ppm O<sub>2</sub> při teplotě 20 °C: 14,64 ppm O<sub>2</sub> při teplotě 0 °C.  
Pokud je kyslík měřený při teplotě 20 °C:  
204.500 ppm objemových se rovná 9,10 ppm hmotnostních.  
Voda saturovaná čistým kyslíkem obsahuje:  
43,45 ppm O<sub>2</sub> při teplotě 20 °C: 69,90 ppm O<sub>2</sub> při teplotě 0 °C.

### Oxid uhličitý

Suchý vzduch obsahuje přibližně 0,03% CO<sub>2</sub>.  
1 díl CO<sub>2</sub> na 1 díl piva = 1,98 g/kg při teplotě 20 °C.  
Oxid uhličitý je ve vodě mnohem více rozpustný než kyslík.  
Voda saturovaná CO<sub>2</sub> při tlaku 1 atm obsahuje:  
1,72 g/kg CO<sub>2</sub> při teplotě 20 °C: 3,37 g/kg CO<sub>2</sub> při teplotě 0 °C.

### Dusík

Suchý vzduch obsahuje přibližně 78% N<sub>2</sub>.  
Pro množství 1 mg/kg N<sub>2</sub> v roztoku se často používá jednotka 1 ppm.  
Dusík je méně rozpustný ve vodě než kyslík.  
Voda saturovaná vzduchem obsahuje:  
15,3 ppm N<sub>2</sub> při teplotě 20 °C: 23,2 ppm N<sub>2</sub> při teplotě 0 °C.  
Voda saturovaná dusíkem obsahuje:  
19,7 ppm N<sub>2</sub> při teplotě 20 °C: 29,8 ppm N<sub>2</sub> při teplotě 0 °C.

### Tlak

1 atm (absolutní) = 101.325 Pa = 1013,25 mbar = 1,013 bar = 760 torr = 0 atm (relativní).  
Všechny výše uvedené hodnoty tlaků pro údaje o rozpustnosti jsou uvedené v absolutních jednotkách.

### Balení

V běžném malém balení se nachází v hrdle stejná hmotnost kyslíku jako v 440 ml piva. Pro uvedení do rovnováhy je proto nutné balení před analýzou protřepat.