



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE



www.vscht.cz

Studené chmelení

Dry hopping (DH)

24. 4. 2025

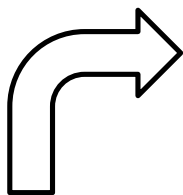
Ing. Martin Klingel, Ing. Lukáš Zadák

Cenné látky chmele



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

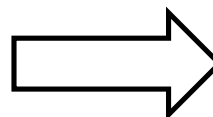
Chmelové pryskyřice (2-18 % hm.)



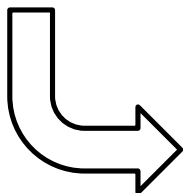
- α - a β -kyseliny
- Význam hlavně ve varném procesu
- Jejich obsah zásadně ovlivňuje ekonomiku výroby piva



Chmelové polyfenoly (2-6 % hm.)

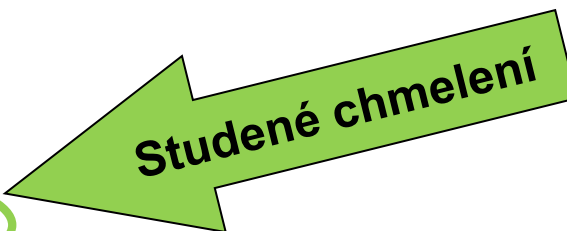


- Ovlivňují koloidní stabilitu piva
- Mají pozitivní zdravotní účinky
- Antioxidanty, trpkost



Chmelové silice (0,5-3 % hm.)

- Jsou nositelem aroma každé chmelové odrůdy – *směs stovek sloučenin*
- Jsou to nepolární a těkavé látky



Silice ve studeně chmelených pivech

- Nejde o jednotlivé látky – ***synergie a antagonismus jejich aromat!***
- β -myrcen – klíčová úloha v jedinečnosti DH
 - Při kvašení uniká s CO₂
- Seskviterpeny – kořenité a ušlechtilé chmelové aroma – není moc nutné...
- *Linalool* – intenzivní citrusy, **ale!** s *geraniolem* spíše květinové
- *Geraniol* – limetky, přeměna na *β -citronellol*, vznik z *geranyl-acetátu*
 - Možnost aplikace externích enzymů v pozdějších fázích kvašení → lepší využití chmele na aroma
- *Linalool* + *geraniol* + *β -citronellol* → citrusové aroma i pod prahovými koncentracemi
- *Estery isobutanové kys.* – ovocné aroma (hlavně německé chmely)



- Produkční MO – *Aspergillus niger* (problematika GMO)
- Silná glykosidasová aktivita – β -glukosidasa štěpí glykosidické vazby
 - Uvolňuje se monoterpen a glukosa

Dávka chmele

- Jednotky-desítky g/l (1-4 g silic na 1 hl piva)
- Dávka silic by neměla překročit 4 g/hl → pak velmi neefektivní extrakce
- Se zvyšující se dávkou chmele klesá účinnost extrakce (statické metody)

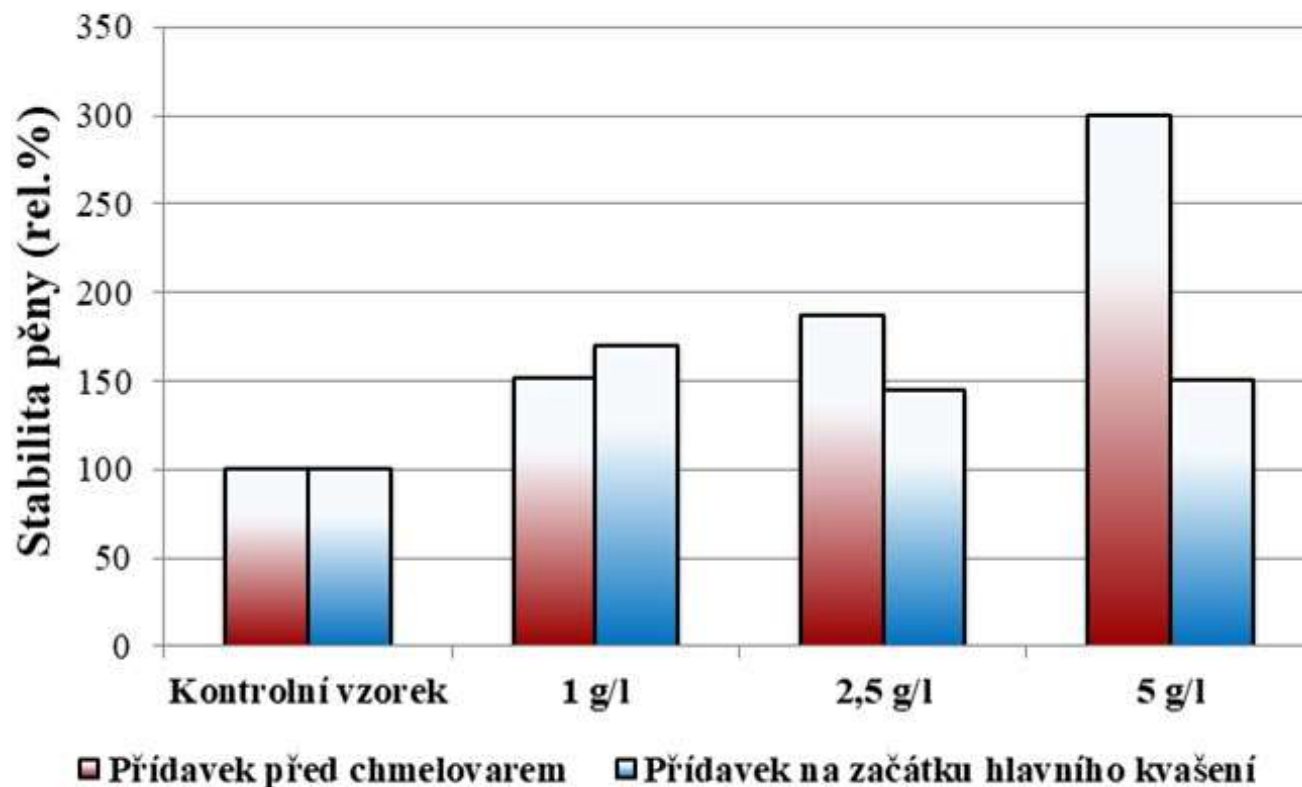
Podle druhu piva

- Záleží na výraznosti charakteru piva a cíli DH (**ozvláštnění vs. změna charakteru**)
- Některé styly jsou na DH založené – extrémní dávky
- Také záleží na složení (pH, alkohol, kvasinky, barva...)



Pěnivost a DH

- **Vliv není jednoznačný**, každá odrůda se chová jinak
 - Úbytek iso- α -HK
 - Nárůst jiných hydrofobních látek ale i MK
- Nárůst pH (**každé 2 g/l $\rightarrow$ pH + 0,1**) – zhoršování stability pěny



Další látky z chmele



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

- Nedochází k isomeraci α -kyselin

Jiné ovlivňování hořkosti:

- Rozpouštění polyfenolů díky alkoholu
- Úbytek koncentrace *iso- α -HK* (adsorpce na chmel)
- Uvolňování dalších pryskyřic chmele do piva → změn charakteru hořkosti
 - Nezměněné α -kyseliny (málo)
 - Humulinony (produkty oxidace α -kys.) – cca 66 % hořkosti *iso- α -HK*
 - Hulupony (isomerované β -kys.) – obsah ve chmelu 0,5-4 % dle doby skladování, 50-75 % hořkosti *iso- α -HK*
- Analyticky se hořkost nemění nebo zvyšuje
- Senzoricky se hořkost subjektivně zvyšuje
- Zvyšování pH → zvyšování vnímání hořké chuti

Hořkost a DH

- Zvyšování hořkosti se zvyšující se koncentrací EtOH
 - 10 % → až 10 IBU
- Snižování s klesajícím pH

Pivo	Hořkost (IBU)		Nárůst (%)
	Před DH	Po DH	
Nealko (0,5 %)	27,8	46,3	67
Ležák (5 %)	26,5	44,2	67
Tmavé (5 %)	22,3	42,0	88
Pšeničné (5 %)	24,1	32,0	33
Ale (5 %)	23,0	40,3	75

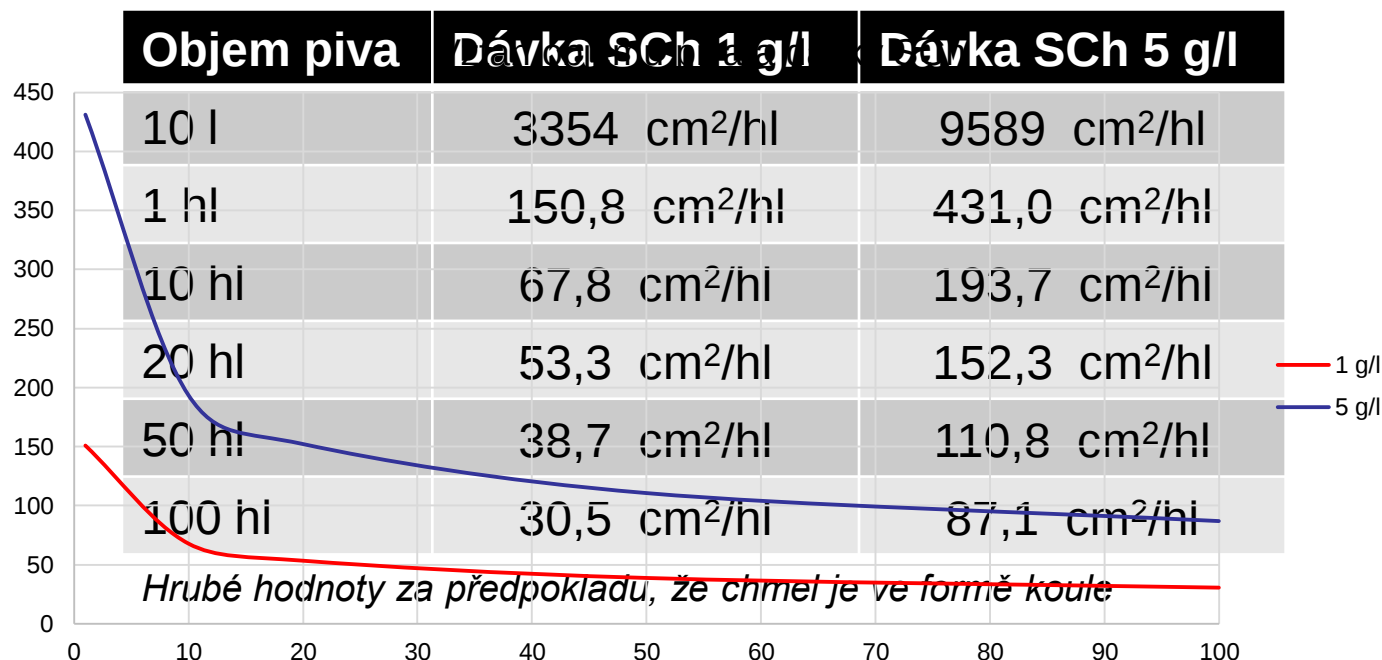
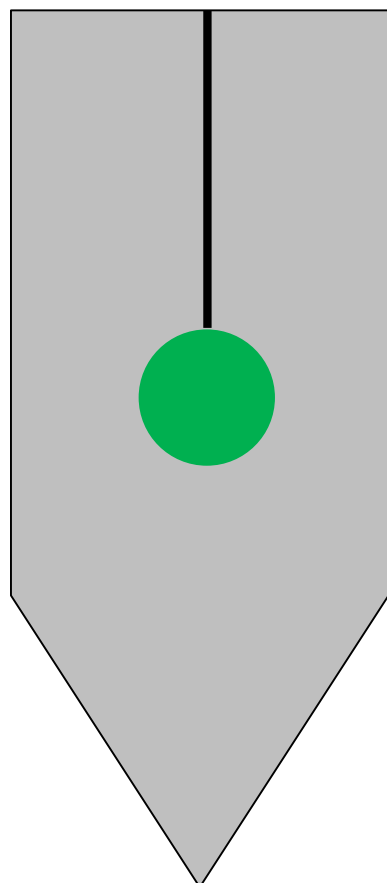
ALE! Optimální podmínky! (rozemleté granule, promíchání, malý objem)

Metody DH

	STATICKÉ METODY	DYNAMICKÉ METODY
Distribuce silic do piva	macerace	dynamická extrakce
Technologický úsek aplikace	kvašení, zrání, hotové pivo	zrání, hotové pivo
Doba kontaktu s chmelem	dny až měsíce	minuty až hodiny
Technologická náročnost	nenáročné	náročné
Pořizovací náklady	minimální	vysoké
Nástroje/zařízení	sáčky, klícky, inserty	chmelové extraktory

- **Při hlavním kvašení** lze jen staticky
 - - Stripování CO_2 , adsorpce na kvasinky, nepřítomnost EtOH, biotransformace
 - + Eliminace vlivu kyslíku, definovaný čas kontaktu
- Trvá dlouho
- Volně ložené granule – problémy s číroostí piva, v nefiltrovaném pivu neřešitelné!
 - Nutná odstředivka -> otázka uplatnitelnosti v minipivovaru, spíše velké pivovary
 - Odstřel z CKT
- Hlávky, puky – plavou!
- Pomalý přestup látek (roste s teplotou, ale...)
- Problém s vnášením kyslíku – oxidace silic, změna charakteru, poškozování piva
- **Bobtnání pelet (!)** začíná ihned → je třeba prostor
 - Způsobuje ztráty

Hodnoty měrného povrchu chmelového materiálu k pivu
v ležácké nádobě v cm^2/hl



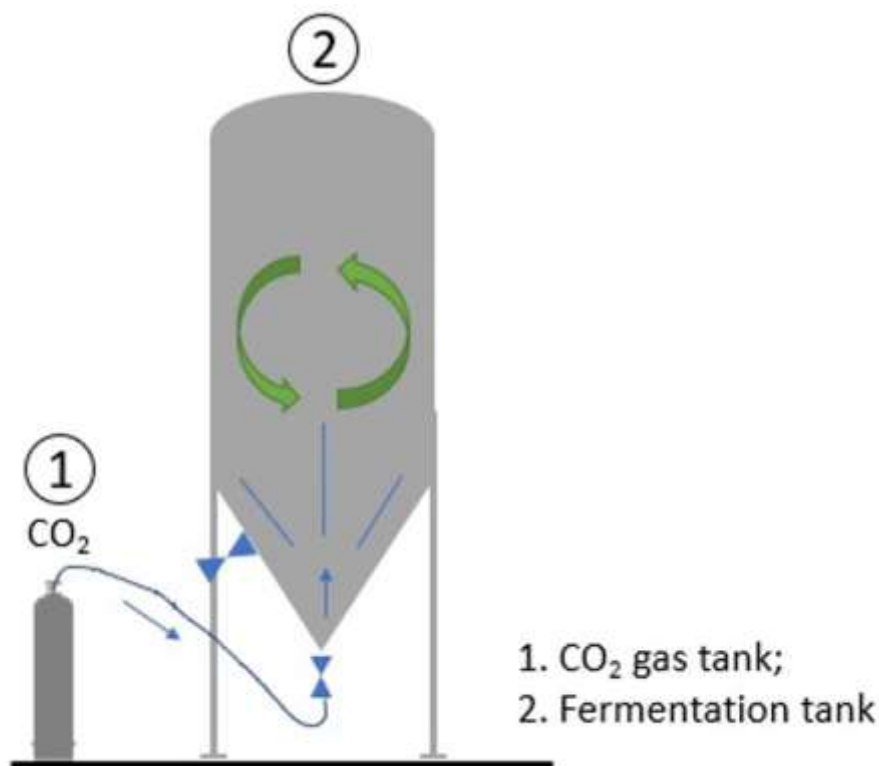
Efektivita difuze silic klesá s ↑ velikostí nádoby

- Menší měrný povrch chmelového materiálu
- Delší vzdálenost piva od chmele

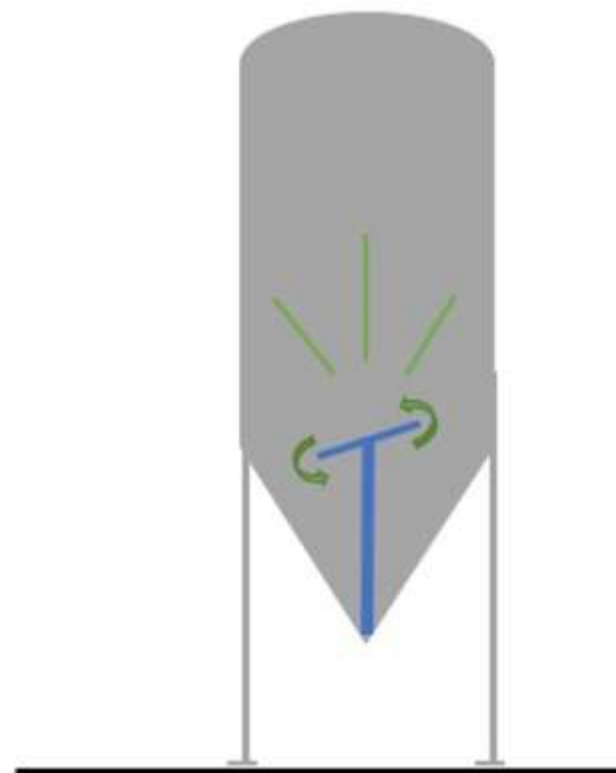
→ **Úskalí laboratorních pokusů**

Statické metody DH

- Míchání pomocí CO_2 či mechanicky zefektivňuje přechod látek
- Čím více míchané DH, tím více pivo získává bylinný charakter (přechod polyfenolů a dalších látek kromě silic)



- Problém s přepěňováním
- Únik silic do headspace



- Vysoká cena (aplikace od 100 hl)
- Možnost snížení dávky o 20 %

Ztráty při DH



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

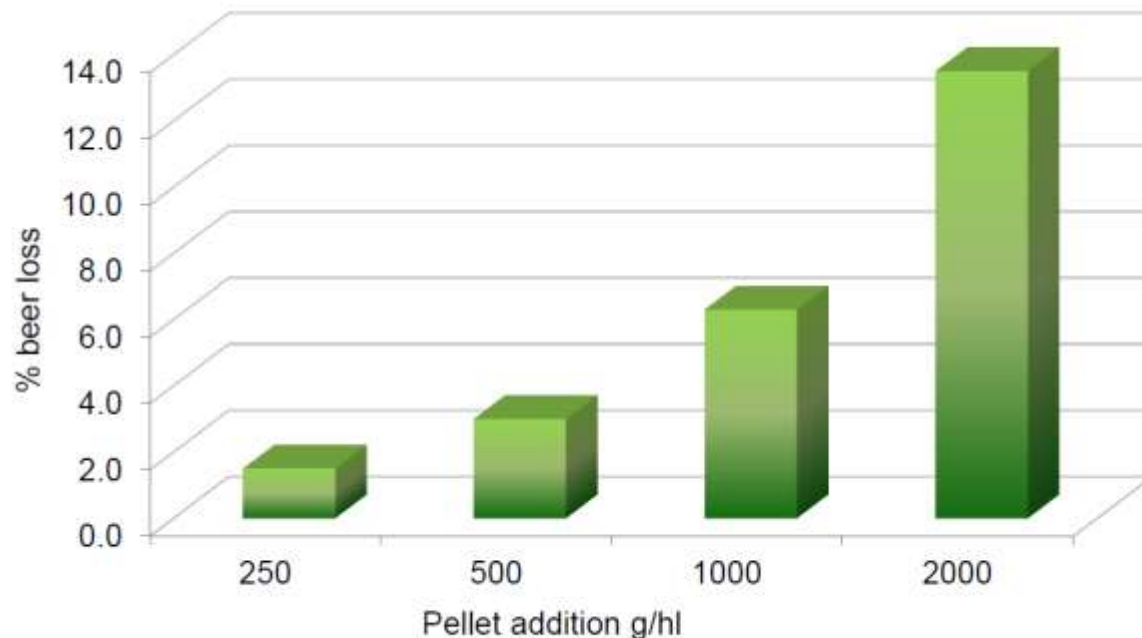


Figure 2. Beer losses resulting from dry hopping at 250 - 2000g/hl T90 'Citra' pellets

Při dávce 50 g/l ztráty piva až 50 obj. % !!!

Možnosti úspory:

- Chmelové extraktory – dynamické metody
- Použití čistých chmelových silic
- Nové chmelové preparáty



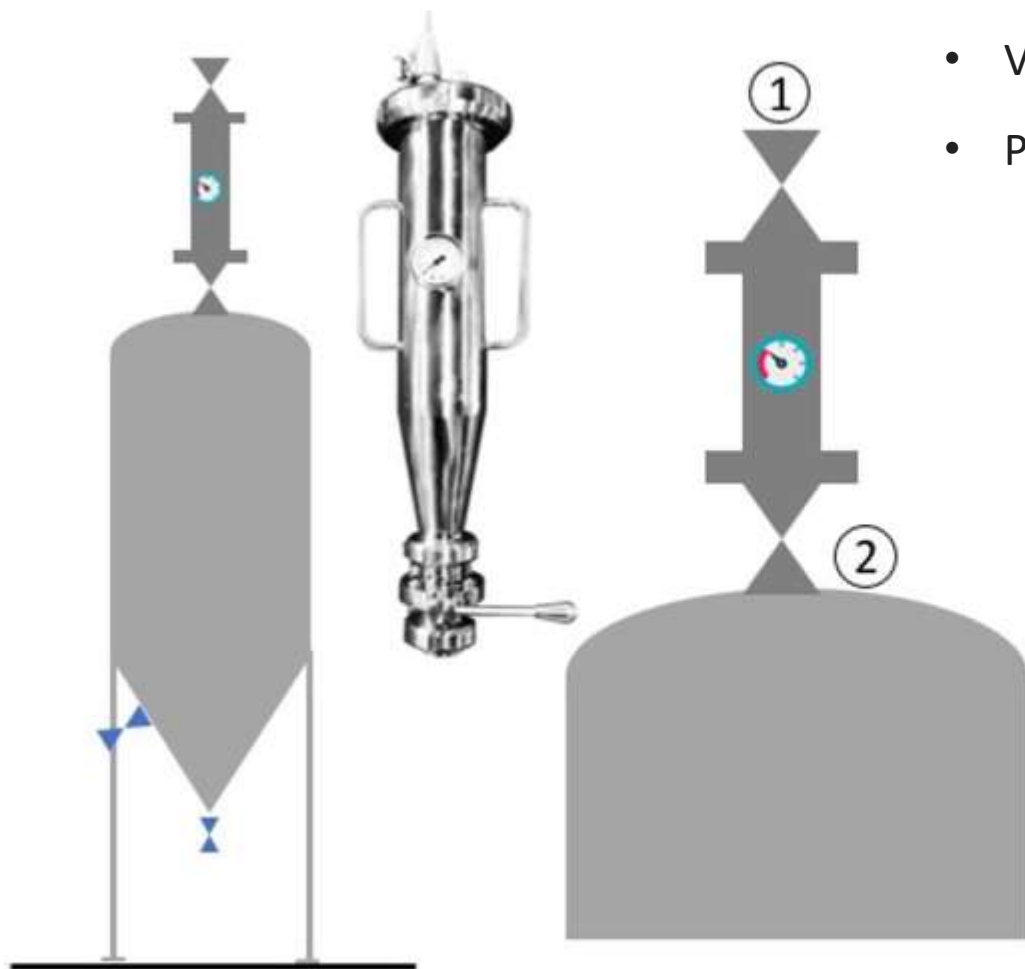
Statické metody DH

- Nejlepší přestup je při volném rozptýlení (ale!!!)
- Aplikace v insertech:
→ musí být dostatečný prostor pro bobtnání



Hop Bazooka

- Předfouknutí CO₂, natlakování
- Vypuštění do CKT
- Problém s přírubami v horní části tanku



1. Bazooka;
2. Fermentation tank;



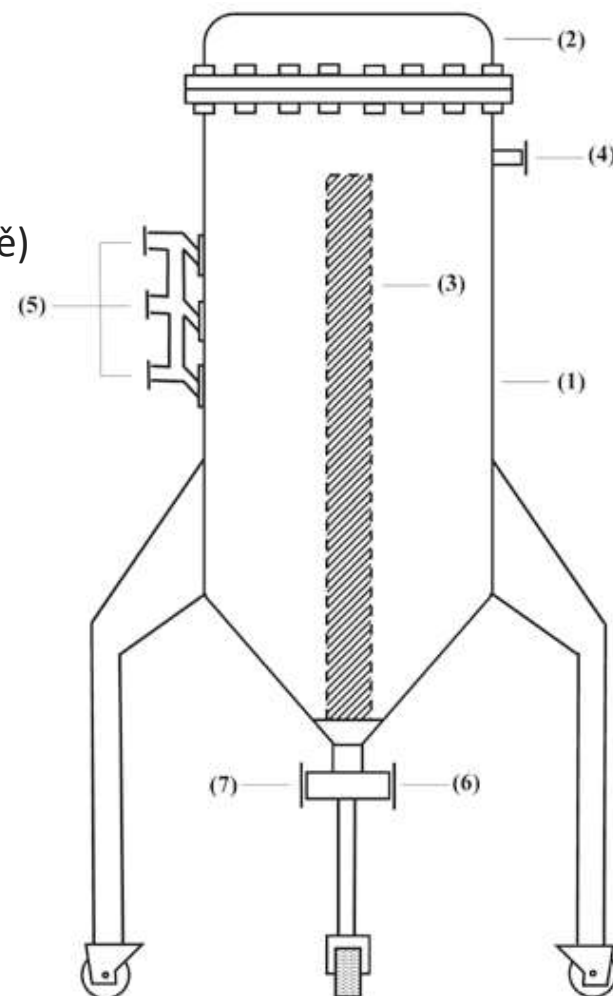
- Zvýšení styčné plochy, zkrácení doby DH, turbulencí se zefektivňuje přestup
- Vlivy – rychlost čerpání, charakteristika toku, střižné síly, kontaktní čas, použitý materiál, odrůda chmele, obsah alkoholu, teplota
- Alternativa – cirkulace piva v tanku
- Možnost recyklace chmelového materiálu do chmelovaru
- V řádu hodin
 - Není možné provádět příliš dlouho – rizika
 - Poškození kvasinek
 - Ztráty CO₂
 - Jiné senzorické změny
- Menší množství chmele – extrémní dávky jsou nevýhodné
- Zvýšení efektivity – **několikanásobné DH (DDH, TDH, ...)**
 - Nezbytné pro dosažení extrémních parametrů některých piv

Chmelové extraktory



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

- Tlaková nádoba s filtračním elementem
- Senzory – tlaku, teploty, kyslíku, průhledítka
- Mobilní verze na kolečkách
- Čerpadlo, (míchadlo), tangenciální vstup (někdy více proti sobě)
- I pro extrakci jiných materiálů (koření, káva, dřevo, byliny)
- Síto – záleží na porozitě – pro granule desetiny mm
- **V průmyslovém měřítku není přestup látek nikdy tak účinný**
 - Velké objemy, nedokonalé homogenizace
 - Obrovský objem *headspace* nádob – těkání silic do plynné fáze
 - Hmota chmele je mnohem větší
→ menší kontaktní plocha částic s pivem
- Mnoho pivovarů od dynamických metod ustupuje kvůli provozním problémům s extraktory – ucpávání, sanitace, protláčky, ...



Chmelové extraktory



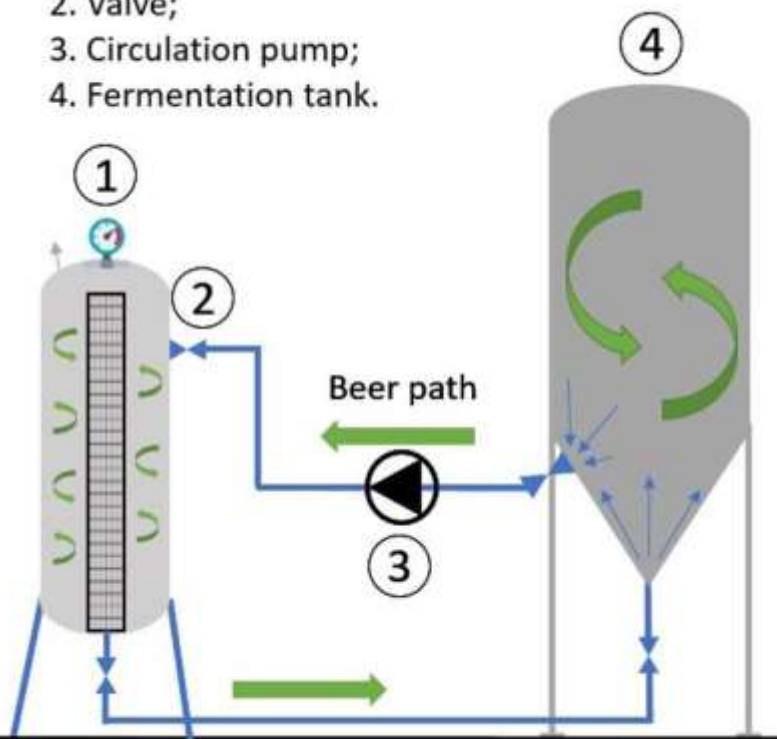
VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE



Chmelové extraktory

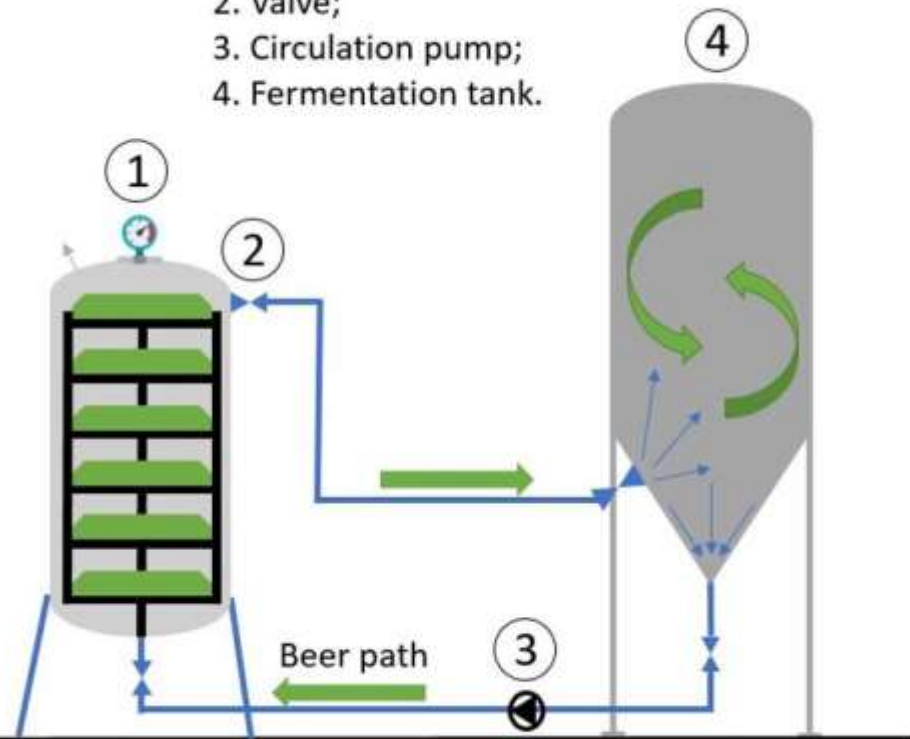
- Pro větší provozy větší extraktory (více svíček)
- Sítové filtry, v závěru dokvašování může filtrace přes chmel nahradit odstředivku
- Jedná se o složitá zařízení, často nefungují optimálně (technické problémy, sanitace ...)

1. Tangential flow filter beer;
2. Valve;
3. Circulation pump;
4. Fermentation tank.



(A)

1. Beer plate filter;
2. Valve;
3. Circulation pump;
4. Fermentation tank.



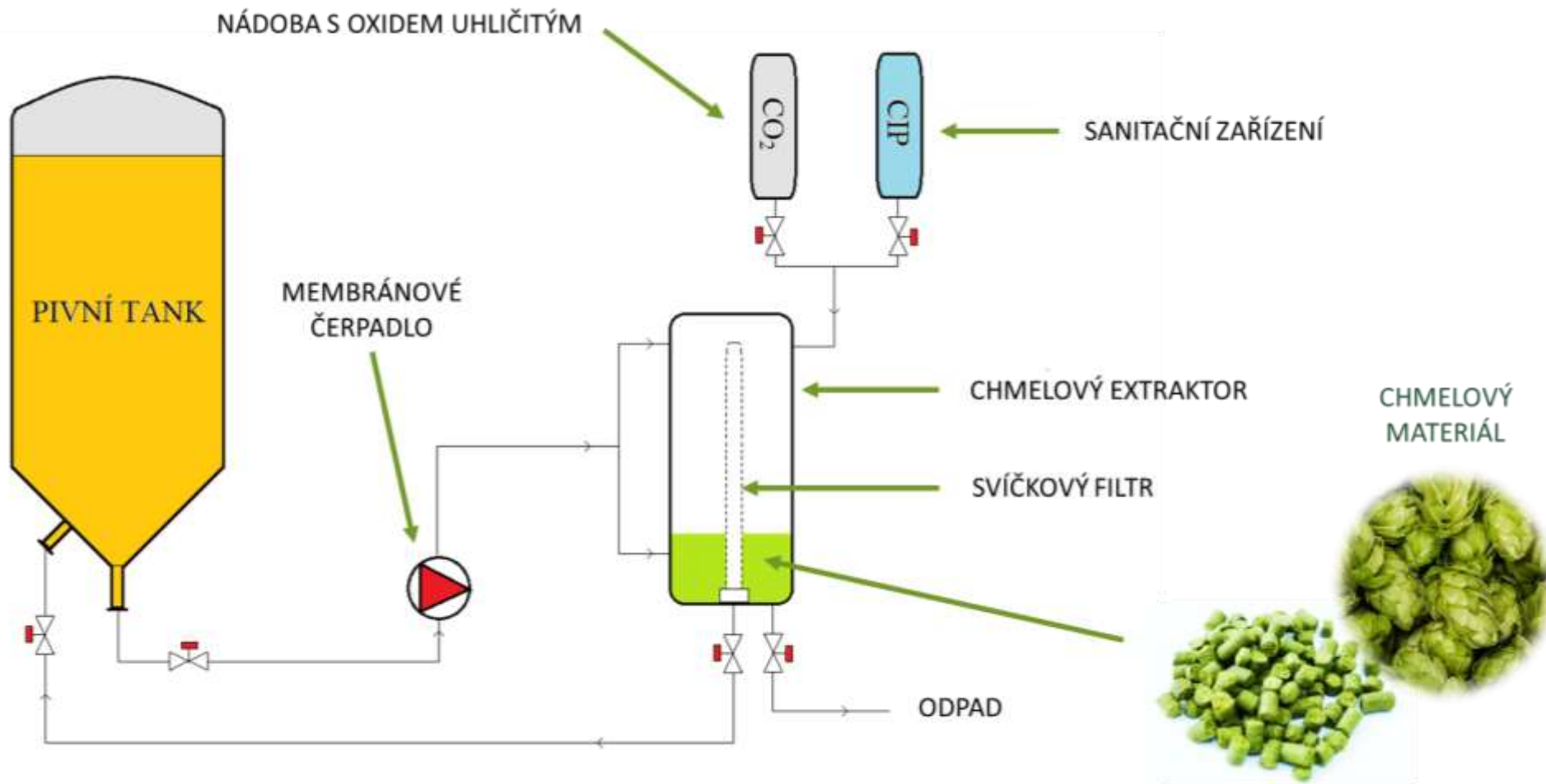
(B)

Pokus dynamického DH



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

SCHÉMA ZAPOJENÍ CHMELOVÉHO EXTRAKTORU



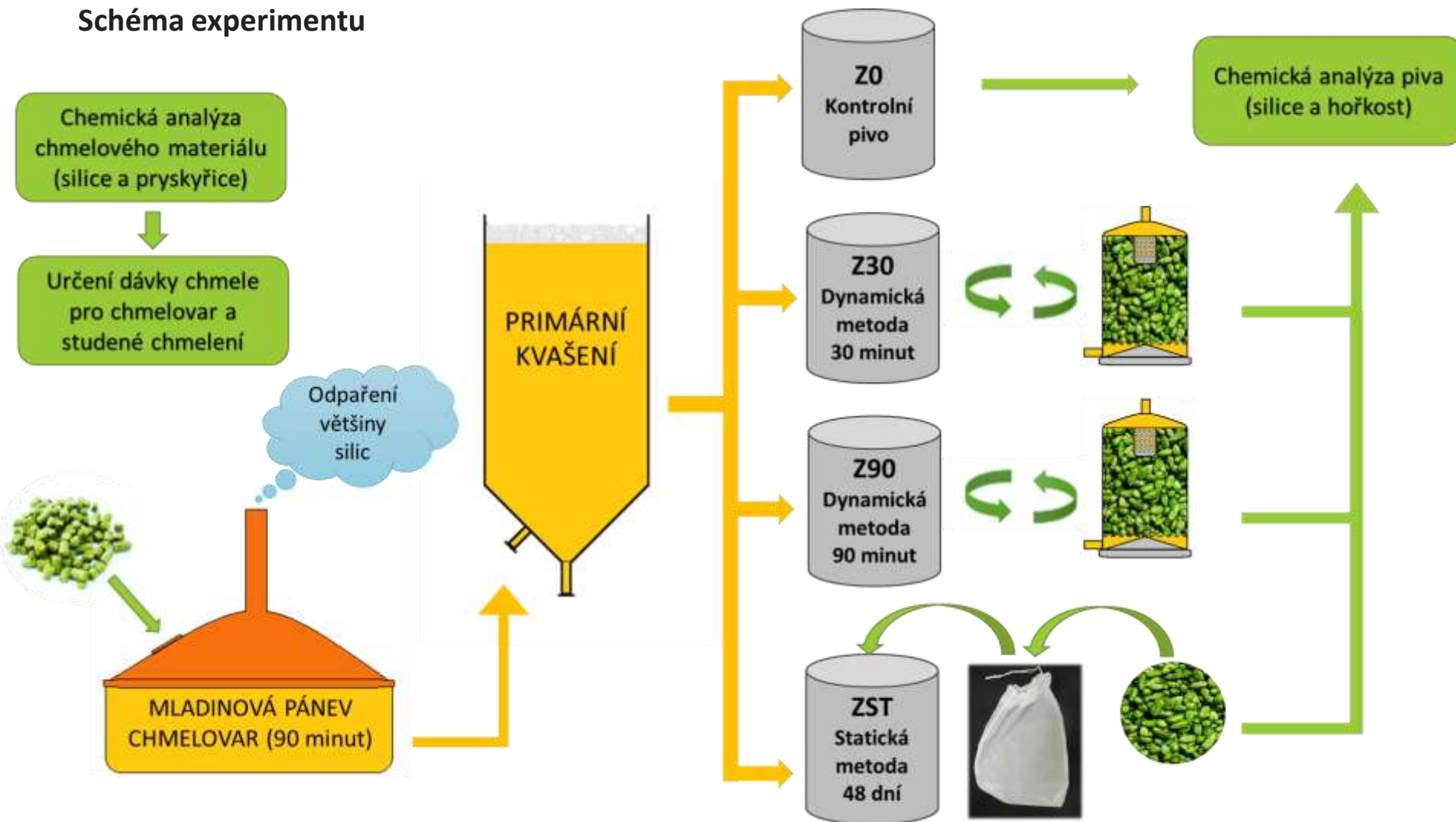
ALE! Optimální podmínky! (rozemleté granule, promíchání, malý objem)

Porovnání statického a dynamického DH



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

Schéma experimentu



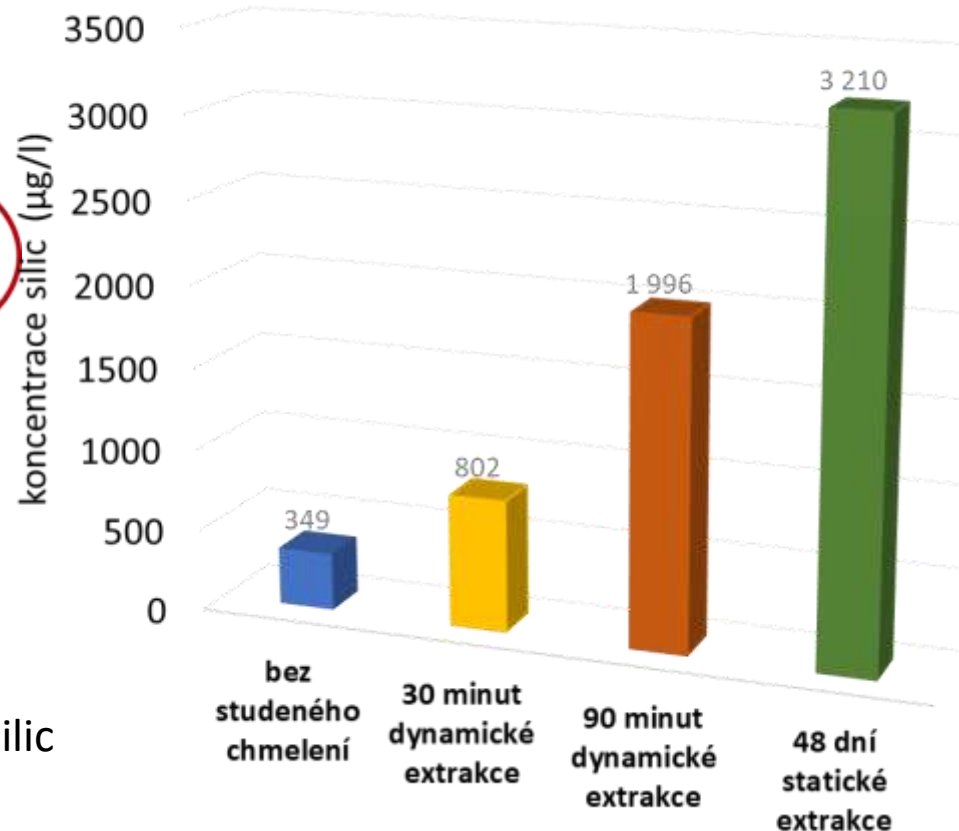
Hořkost a obsah silic



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

Analyzované pivo	Hořkost (JH)
Kontrolní pivo bez studeného chmelení	30,14 ± 1,13
Studeně chmelené pivo 30 minut dynamické extrakce	32,49 ± 1,85
Studeně chmelené pivo 90 minut dynamické extrakce	38,19 ± 1,29
Studeně chmelené pivo 48 dní statické extrakce	38,83 ± 0,68

OBSAH SILIC V PIVECH



- S ↑ délkou dynamické extrakce ↑ obsah silic a hořkost ve studeně chmelených pivech
- Nejvyšší obsah silic – pivo studeně chmelené statickou metodou

ALE! Optimální podmínky! (rozemleté granule, promíchání, malý objem)

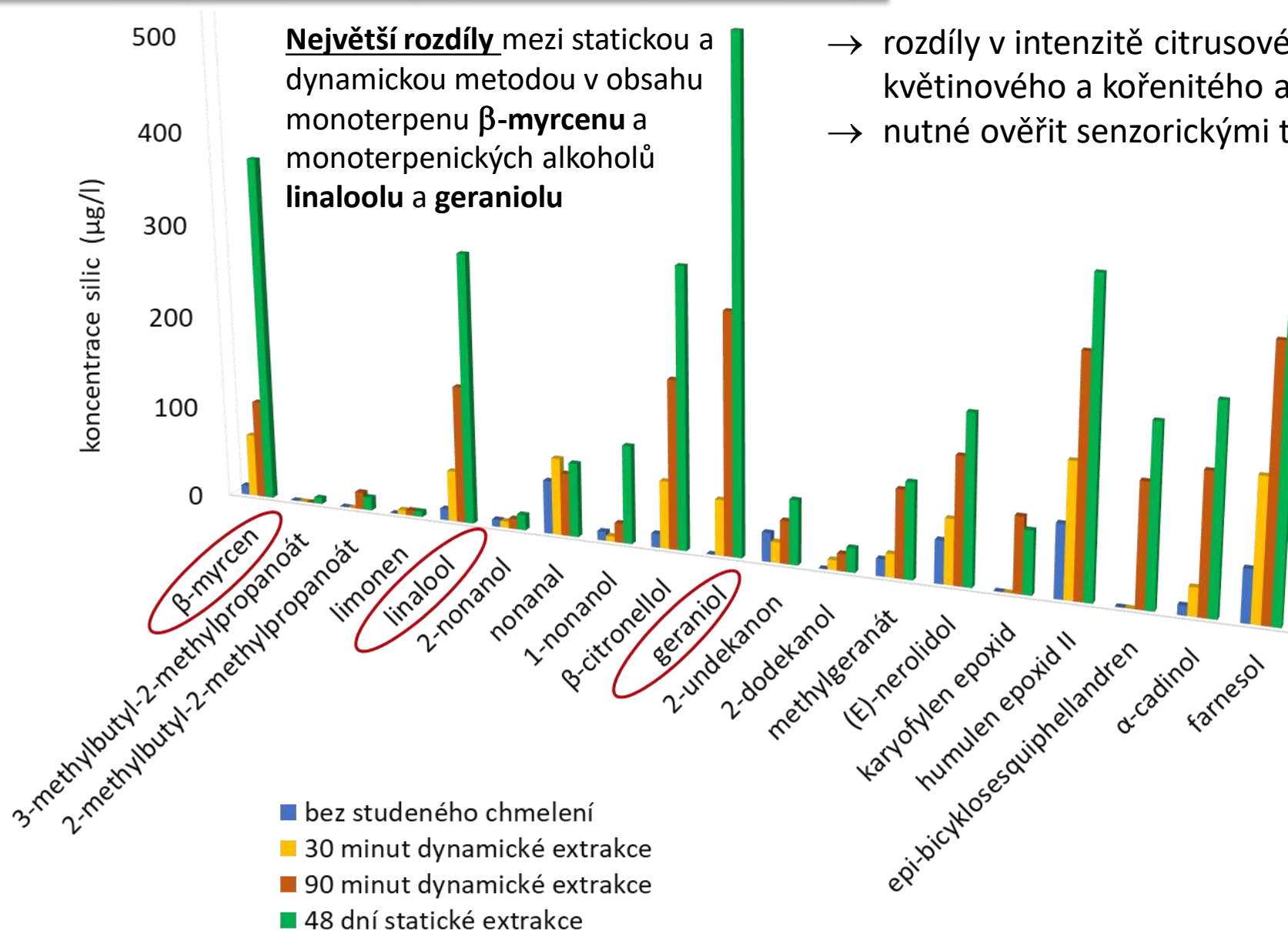
Zastoupení silic v DH pivech



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

Největší rozdíly mezi statickou a dynamickou metodou v obsahu monoterpenu **β -myrcenu** a monoterpenických alkoholů **linaloolu** a **geraniolu**

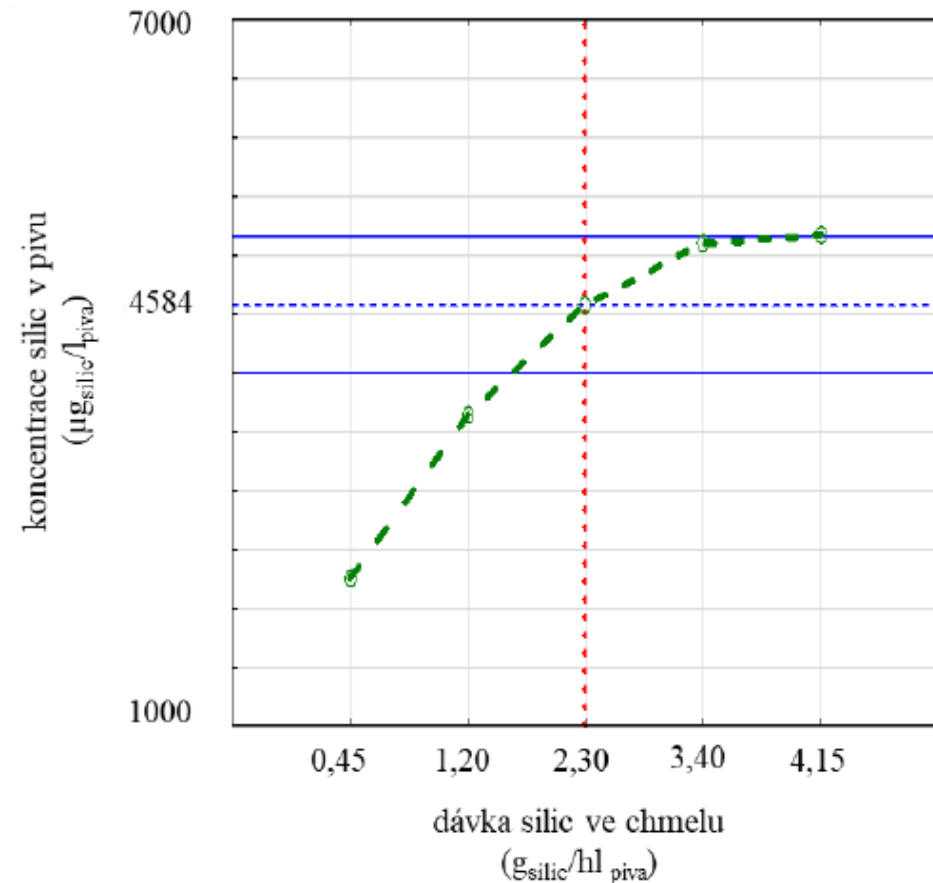
- rozdíly v intenzitě citrusového, květinového a kořenitého aroma
- nutné ověřit senzoryckými testy



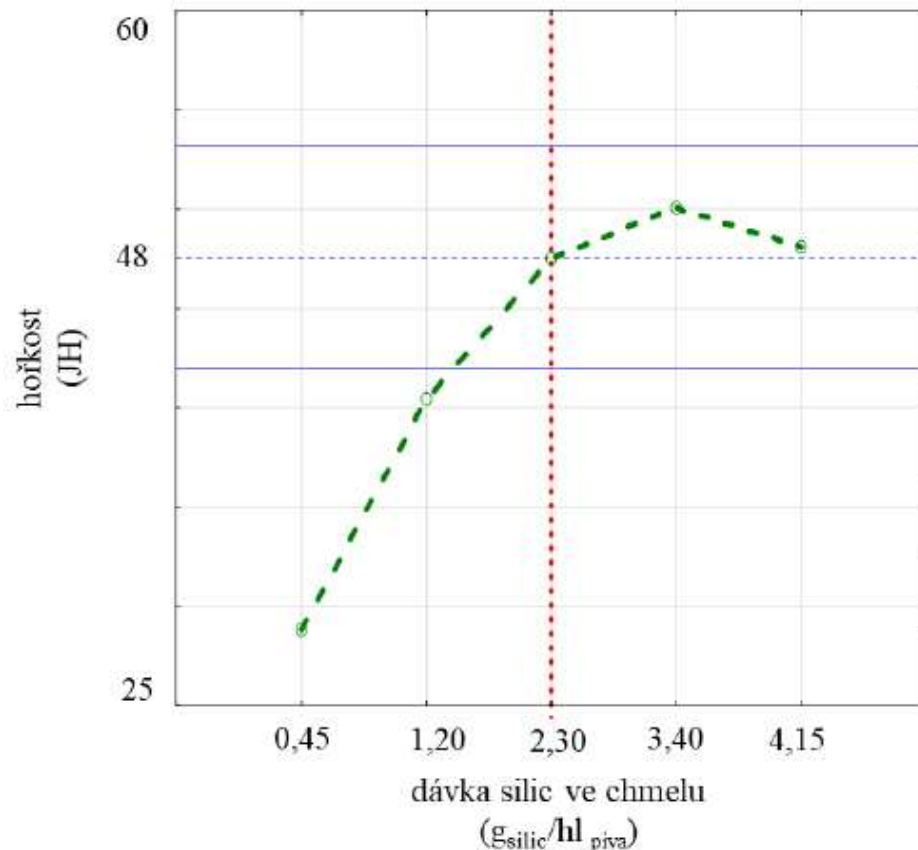
Podmínky dynamického DH

Dávka silic (chmele) – extraktor by se měl plnit cca do 1/5 (bobtnání, turbulence)

Závislost na dávce silic:



Obsah silic ($\mu\text{g}/\text{l}$)



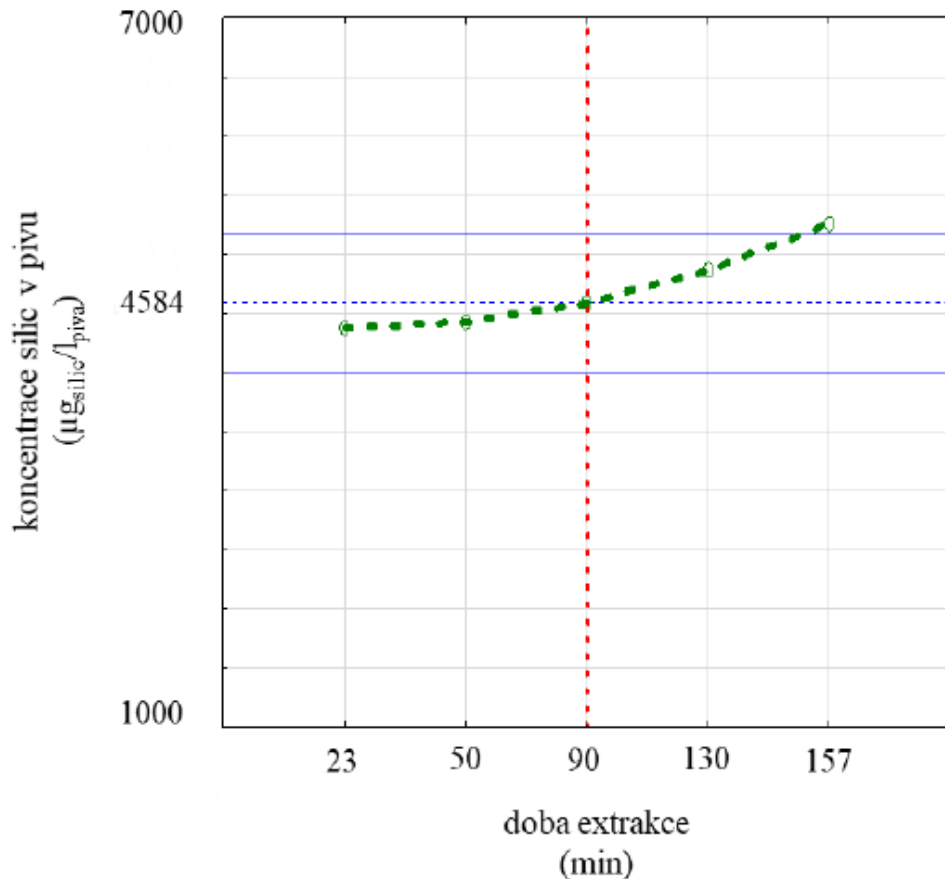
Hořkost (IBU)

ALE! Optimální podmínky! (rozemleté granule, promíchání, malý objem)

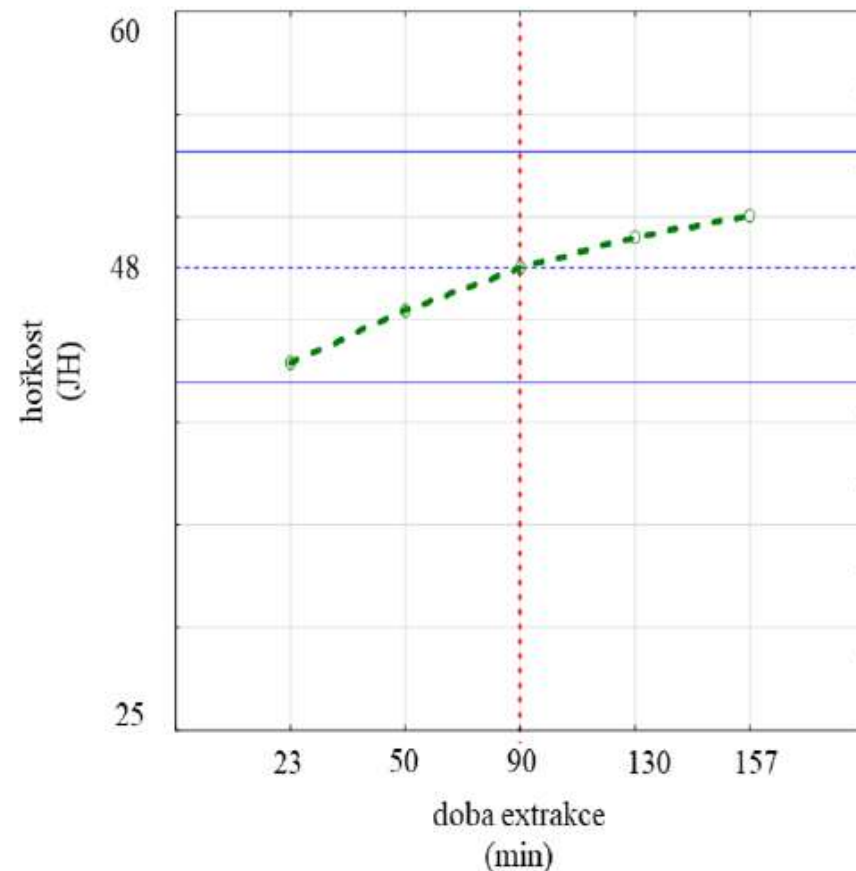
Podmínky dynamického DH

Doba extrakce (dynamické) – cirkulace by neměla být příliš dlouhá – vliv na pivo

Závislost na času extrakce:



Obsah silic ($\mu\text{g/l}$)



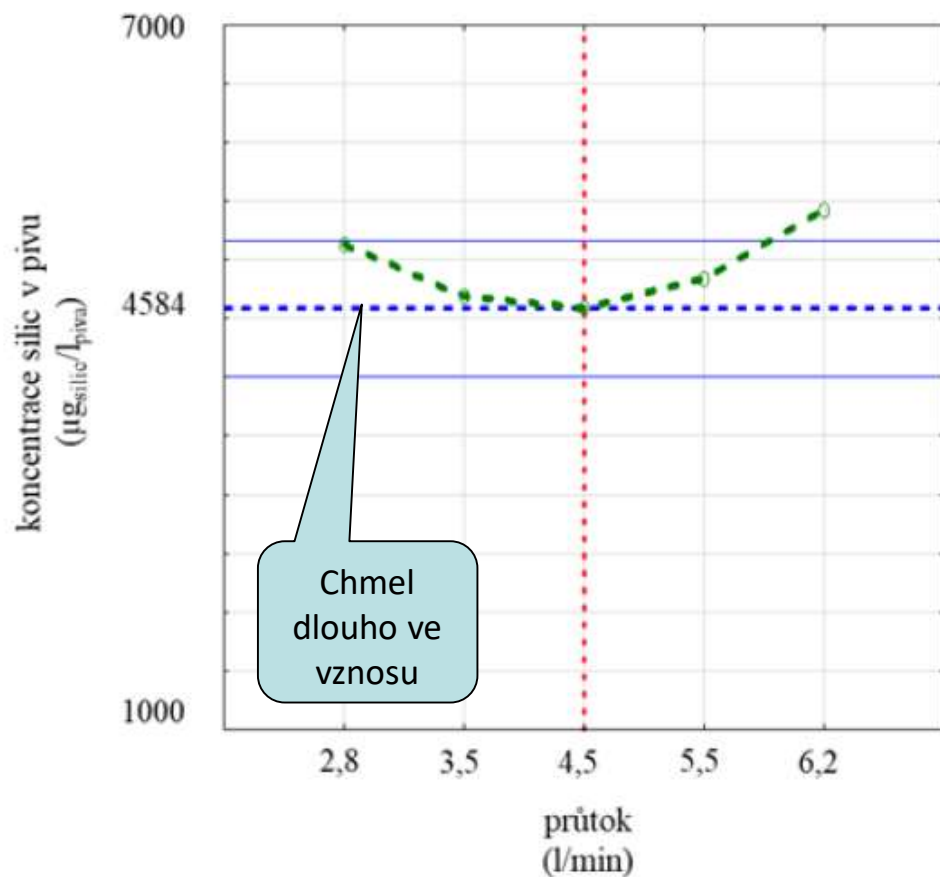
Hořkost (IBU)

ALE! Optimální podmínky! (rozemleté granule, promíchání, malý objem)

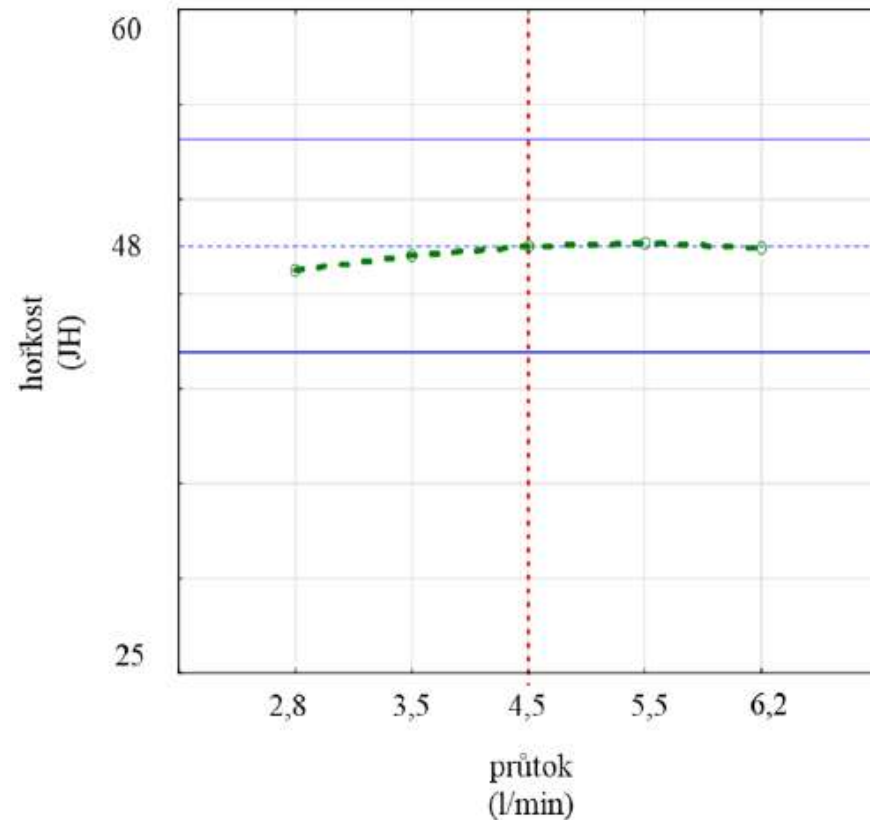
Podmínky dynamického DH

Průtok při extrakci – vyšší průtoky mohou narážet na technická omezení + střížné síly

Závislost průtoku při extrakci



Obsah silic (µg/l)



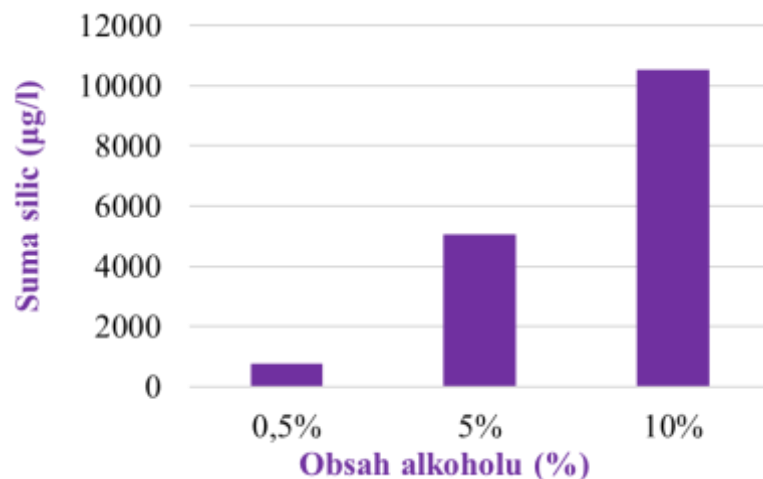
Hořkost (IBU)

ALE! Optimální podmínky! (rozemleté granule, promíchání, malý objem)

Vliv obsahu EtOH



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE



- Nárůst obsahu silic s obsahem alkoholu
- Nárůst zejména seskviterpenů a jejich oxidačních produktů
- Intenzita kořenitého a dřevnatého aroma

Látka	Frakce	Koncentrace (µg/L)		
		0,5%	5%	10%
Linalool	Kys.	78,4	154,1	75,1
Geraniol	Kys.	282,8	630,8	541,6
2-undekanon	Kys.	6,4	45,6	33,6
Methylgeranát	Kys.	12,7	132,5	58,7
Geranylacetát	Kys.	59,2	1003,2	407,6
Karyofylen	Uhl.	N.D.	N.D.	349,4
α -humulen	Uhl.	12,0	62,7	1100,5
Geranylbutyrát	Kys.	N.D.	105,7	715,7
δ -kadinen	Uhl.	N.D.	N.D.	181,8
α -kalakoren	Kys.	N.D.	28,8	240,8
Nerolidol	Kys.	14,8	169,4	564,4
Karyofylen oxid	Kys.	104,0	814,7	1687,8
Humulen epoxid I	Kys.	95,0	1040,0	2186,1
τ -kadinol	Kys.	29,4	227,7	533,9
α -kadinol	Kys.	41,9	336,5	662,2
Farnesol	Kys.	22,4	303,2	1194,8
Suma		759,2	5055,0	10534,1

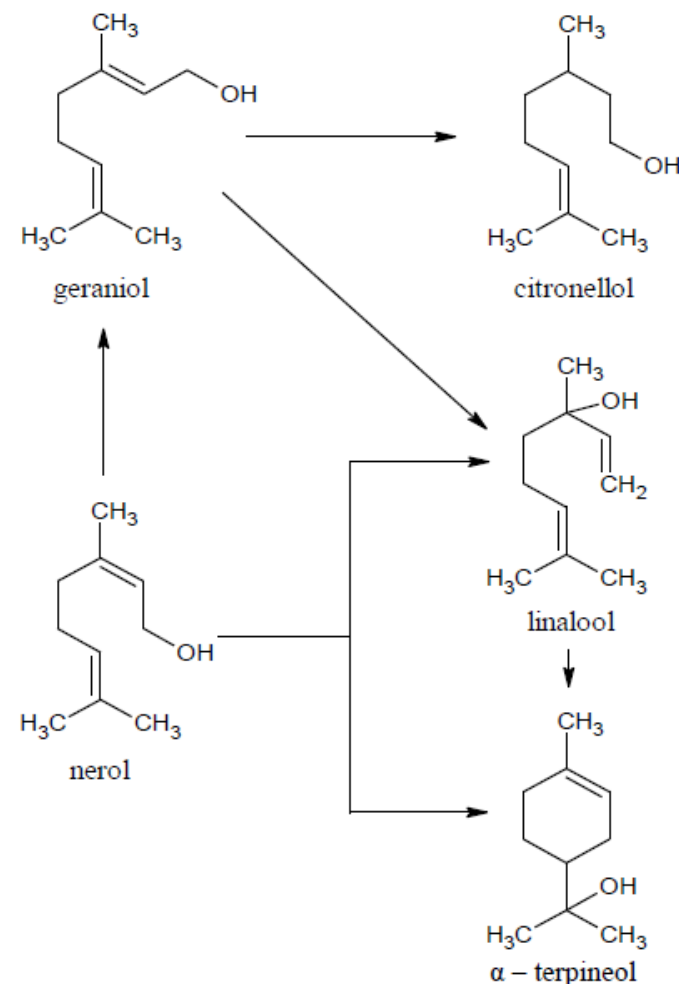
Vliv pH na DH

- pH piva nejčastěji 4-4,5
 - Méně → kyselé v chuti, nepění, MiBi stabilnější
 - Více → ztráta pitelnosti („lepení na jazyk“), horší koloidní stabilita
- Vyšší pH zlepšuje přestup silic
- Snížená extrakce většiny stanovovaných silic při ↓ pH
- ↓ pH → vyšší hydrofobicita silic → snížená rozpustnost ve vodě + zlepšení rozpustnosti v buněčných membránách!!!

Látka		Koncentrace silic (µg/l)	
		pH 4,5	pH 3
Linalool	Kys.	177,8	N.D.
Geraniol	Kys.	474,6	N.D.
2-undekanon	Kys.	98	N.D.
Methylgeranát	Kys.	144,0	N.D.
Geranylacetát	Kys.	662,0	N.D.
Karyofylen	Uhl.	1462,8	1174,7
α-humulén	Uhl.	2886,3	2291,2
τ-muurolen	Kys.	N.D.	243,5
N.S., M _m =204**	Kys.	389,2	N.D.
α-selinen	Uhl.	130,5	263,0
τ-selinen	Uhl.	275,1	N.D.
Geranylbutyrát	Kys.	810,8	N.D.
τ-kadinen	Uhl.	N.D.	199,7
δ-kadinen	Uhl.	283,8	465,9
α-kalakoren	Kys.	100,2	N.D.
Nerolidol	Kys.	584,6	N.D.
Karyofylen oxid	Kys.	2456,9	N.D.
Humulen epoxid I	Kys.	2924,1	251,6
τ-kadinol	Kys.	506,9	N.D.
α-kadinol	Kys.	588,4	N.D.
Farnesol	Kys.	1184,2	N.D.
Suma		16140,2	4889,7

Kvasinky a DH

- Čím vyšší aktivita kvasinek, tím vyšší sorpce látek
 - Během kvašení klesá hořkost piva o 9-27 %
 - Hlavně uhlovodíkové silice
- Biotransformace (geraniolu)
- Pokud jsou v médiu sacharidy a N-zdroj, kvasinky silice metabolizují minimálně
- Zvyšuje se aktivita s poklesem koncentrace jiných substrátů
- Postupně stoupá uvolňování geraniolu z glykosidů
- Negativní efekt přítomnosti kvasinek vzrůstá s rostoucí koncentrací silic v pivu
 - Čím vyšší je koncentrace, tím významnější je pokles



- Riziko **mikrobiální kontaminace**
 - Možnost kontaminace laktobacilly, divokými kvasinkami nebo plísněmi (mykotoxiny)
- **Rezidua pesticidů** – přecházejí naprosto minimálně do piva (zůstávají ve chmelu)
- **Dusičnany** – přecházejí z chmele s účinností přes 80 %, ve chmelu 5-11 g/kg
 - Limit pro chmel je 15 g/kg
 - Pro pivo neplatí limit 50 mg/l !!!
 - Limit pro potraviny, tj. příjem do 3,7 mg na 1 kg tělesné hmotnosti



Silicové chmelové preparáty

- Získávají především destilací vodní parou, vakuovou destilací nebo CO_2 extrakcí
- Odrůdově charakteristické nebo frakce s konkrétním aroma



Pozdní a studené chmelení

Jak určit dávku chmele?

- Na základě obsahu α -kyselin – *asi nejběžnější na pozdní chmelení*

Pro dosažení určitého chmelového aroma je to velmi nepřesné

- Dávkování určité hmotnosti chmelových granulí – *asi nejběžnější na studené chmelení*

Velmi nepřesné, ovlivněno ročníkem sklizně chmele

- Na základě obsahu chmelových silic

Obstojně odráží intenzitu výsledného aroma piva

- Na základě obsahu linaloolu nebo kyslíkaté frakce chmelových silic

*Nejpřesnější výpočet dávky pro dosažení konzistentního aroma – **náročné***

- New World Hops, Flavor Hops...*

Sensorial Intensity of Hop Aroma (0 to 10, 10 is highest)

		Line 89/25	Line 96/24	Spalter	Tettnanger	Saphir	Max -Min
Dosage Criteria	Pellet Quantity 500 g/hl	7.7	6.0	5.8	4.5	6.2	3.2
	Oil 6 ml/hl	8.1	6.2	5.7	5.5	5.8	2.6
	Oxygen Fraction 300 mg/hl	7.4	6.5	6.3	6.0	6.7	1.4

Odrůda chmele

Nejmenší rozptyl hodnot



**Poctivým dopíjením
piva za úsporu vody,
ječmene a chmele**



Ing. Martin Klingel

Ing. Lukáš Zadák

Ústav biotechnologie

VŠCHT Praha

+420 220 444 036

martin.klingel@vscht.cz

lukas.zadak@vscht.cz