

Návrh efektivního řešení procesu scezování pro minipivovary

Eliška Franců



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Eliška Franců
Osobní číslo:	T24496
Studijní program:	B0788A270001 Procesní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh efektivního řešení procesu scezování pro minipivovary

Zásady pro vypracování

- Teoretická rešerše k tématu práce
- Návrh zařízení pro scezování pro domovarnu a minipivovary
- Realizace experimentu a sledování efektivity scezování
- Vyhodnocení experimentu a stanovení vhodného řešení

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

IVANOV, Alexander; IVANOVA, Kristina; KOSTOV, Georgi. Modeling and Optimization of Processes for Craft Beer Production: Malt Mixture Modeling and Mashing Optimization for Lager Beer Production. *Applied Sciences*, 2023, 13.20: 11554.

KINČL, Tomáš. *Praxe výroby piva nejen v malých pivovarech*. Vydání: první. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2022. ISBN 978-80-7592-122-2.

CASSANO, Alfredo; DRIOLI, Enrico (ed.). *Integrated membrane operations in the food production*. De Gruyter, Berlin, Germany: Walter de Gruyter GmbH & Company, KG, 2014.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Žaludek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 6. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Předložená bakalářská práce se zabývá analýzou konstrukčních a technologických faktorů ovlivňujících proces scezování při výrobě piva. Teoretická část popisuje princip koláčové filtrace, funkce jednotlivých prvků scezovací nádoby (kypřidlo, falešné dno, kropidlo) a vliv biochemických proměnných, jako je složení sladového sypání a enzymatická aktivita. Praktická část hodnotí efektivitu scezování v minipivovaru u šesti různých pivních stylů. Na základě výsledků experimentu jsou navržena dvě konstrukční řešení scezovacích nádob — jedno pro optimalizaci provozu minipivovaru, druhé pro domácí podmínky.

Klíčová slova: scezovací nádoba, výroba piva, koláčová filtrace, složení sladového sypání

ABSTRACT

The presented bachelor's thesis focuses on analysing construction and technological factors influencing the lautering process in beer production. The theoretical part describes the principle of cake filtration, the function of individual components of the lauter tun (rake, false bottom, sparger), and the impact of biochemical variables such as grist composition and enzymatic activity. The practical part evaluates lautering efficiency in a craft brewery across six different beer styles. Based on the experimental results, two lauter tun designs are proposed — one for optimising the brewery's operation, the other for homebrewing conditions.

Keywords: lauter tun, beer production, cake filtration, grist composition

„To snad ne, už zase!“

Spousta lidí došla k závěru, že kdybychom věděli, proč si onen květináč petúnií myslel právě tohle, věděli bychom toho o podstatě vesmíru mnohem více, než víme teď.

— *Douglas Adams, Stopařův průvodce po Galaxii*

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 VÝROBA PIVA.....	13
1.1 SUROVINY PRO VÝROBU PIVA	13
1.2 FÁZE VÝROBY PIVA	14
1.3 PIVNÍ STYL	15
2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ SCEZOVACÍCH NÁDOB MINIPOVARŮ	16
2.1 KYPŘIDLO	17
2.2 FALEŠNÉ DNO	18
2.3 KROPIDLO	19
3 PROCES SCEZOVÁNÍ	20
3.1 MECHANISMUS SCEZOVÁNÍ	20
3.2 EXTRAKCE LÁTEK ZE SLADU	20
3.3 FILTRACE SLADINY	22
4 DALŠÍ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PRŮBĚH SCEZOVÁNÍ	25
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	26
5 MĚŘENÍ EFEKTIVITY KONKRÉTNÍ SCEZOVACÍ NÁDOBY	28
5.1 VÝSLEDKY A DISKUZE	29
6 NÁVRH SCEZOVACÍHO ZAŘÍZENÍ.....	31
6.1 NÁVRH PRO MINIPIVOVAR X	31
6.2 NÁVRH PRO DOMÁCÍ VAŘENÍ.....	31
ZÁVĚR	33
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	34
SEZNAM OBRÁZKŮ	36
SEZNAM TABULEK.....	37
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	38

ÚVOD

Pivo je jedním z nejstarších a nejkomplexnějších fermentovaných nápojů, jehož výroba propojuje biochemické procesy, technologii a zkušenosti sládka. Ačkoli se procesu vaření piva věnuje řada odborných publikací, fáze scezování bývá často opomíjena, přestože výrazně ovlivňuje výtěžnost i výslednou kvalitu piva. Cílem této práce je přehledně shrnout klíčové konstrukční a biochemické faktory ovlivňující scezovací proces, analyzovat efektivitu scezování konkrétního minipivovaru, navrhnout způsoby zefektivnění tohoto procesu a definovat doporučené konstrukční řešení scezovací nádoby pro domácí podmínky.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝROBA PIVA

Výroba piva představuje komplexní souhru biochemie a technologie. Základními surovinami jsou voda, slad, chmel a kvasinky, jejichž vlastnosti a vzájemné interakce zásadně ovlivňují výsledné sensorické i fyzikálně-chemické vlastnosti piva. Navzdory tomuto zdánlivě jednoduchému základu existuje celosvětově široké spektrum pivních stylů — od spodně kvašených plzeňských a německých ležáků přes svrchně kvašený britský Pale Ale až po nakyslý belgický Lambik. Rozmanitost chutí, vůní a barev je výsledkem použití rozdílných surovin a varních postupů. Tato kapitola popisuje principy výrobního procesu a použité suroviny.

1.1 Suroviny pro výrobu piva

Hlavní suroviny pro výrobu piva jsou voda, sladovaný ječmen, chmel a kvasnice. Jejich významu se věnují následující odstavce.

Voda, tvořící 90–95 % objemu piva, ovlivňuje jeho chuť i varní proces především svým iontovým složením a alkalitou. Poměr síranových a chloridových iontů ve vodě významně ovlivňuje výsledný chuťový profil piva. Síraný zvýrazňuje hořkost chmele a dojem suchosti, zatímco chloridy zdůrazňují sladovost a plnost. Ionty hydrogenuhličitanu zvyšují pufrací kapacitu vody a alkalitu. Výsledné pH rmutu přímo ovlivňuje enzymatickou aktivitu, a tím i efektivitu štěpení škrobů a bílkovin. K dosažení požadovaného iontového složení se používají tzv. varní soli [1], [2] [3], [4], [5].

Ječmen, který prošel procesem sladování (řízené máčení, klíčení a sušení) má aktivované enzymy a upravené vnitřní složení tak, aby byl připraven k efektivní přeměně škrobů a bílkovin během rmutování. Změnou parametrů sladování lze vytvořit slady s rozdílným obsahem produktů Maillardovy reakce — tmavý, karamelový slad. Speciálním druhem jsou potom slady kyselé, diastatické nebo nakuřované. Mezi náhražky ječného sladu patří například pšenice, žito, rýže či kukuřice, a to ve sladované i nesladované podobě; nicméně tyto suroviny zpravidla vykazují nižší enzymatickou aktivitu než ječný slad [1], [2], [3], [4], [5], [6].

Chmel díky izomeraci (během chmelovaru) α - a β -hořkých kyselin v kombinaci s aromatickými sloučeninami obsaženými v silicích, jako jsou monoterpeny a seskviterpeny,

dodává pivu charakteristickou hořkost a vůni. V dnešní době se používá převážně sušený chmel ve formě peletek nebo chmelového extraktu, který zvyšuje výtěžnost při spílání, šetří skladovací prostor, avšak za cenu ztráty části aromatického profilu [1], [2], [3], [4], [5].

Kvasnice, přeměňují zkvasitelné cukry na ethanol a oxid uhličitý. Dle teploty kvašení a způsobu sedimentace rozlišujeme kvasnice spodní (7–15 °C, sedimentují ke dnu) a svrchní (17–25 °C, vytvářejí kvasnou deku na hladině). Důležitá je jejich biologická čistota a vitalita, která ovlivňuje průběh kvašení i výslednou chuť piva. V moderním pivovarnictví se navíc stále častěji používají i netradiční kvasinky, například pro výrobu piv typu Sour, Kveik nebo spontánně kvašených stylů [1], [2], [3], [4], [5], [7].

1.2 Fáze výroby piva

Výrobu piva lze rozdělit dle teplot, při kterých se pracuje, na teplou a studenou fázi. Teplá fáze zahrnuje: rmutování, scezování, chmelovar a spílání. Studená poté: kvašení, ležení a stáčení (někdy i filtraci a pasteraci).

Prvním krokem teplé fáze je rmutování, při kterém dochází k extrakci rozpustných látek (hlavně cukrů) ze sladu. Rmutování začíná vystření našrotovaného sladu do vody o teplotě 35–38 °C (kyselinotvorná teplota). Voda se sladem se poté za stálého míchání postupně zahřívá na 45–50 °C (peptonizační teplota), 60–65 °C (nižší cukrotvorná teplota), 70–75 °C (vyšší cukrotvorná teplota) a 76–78 °C (odrmutovací teplota). Prodlevy na jednotlivých teplotách se liší v závislosti na použitých sladech a požadovaném profilu výsledného piva. Dekokční způsob rmutování využívá povařování dílčích částí rmutu (rozdílné prodlevy) které se následně spojí, zatímco při infuzním se pracuje s celým objemem bez oddělování. Následuje scezování, kde se oddělí dílo od mláta (podrobněji popsáno v dalších kapitolách). Sladina se poté v rámci chmelovaru za bouřlivého varu za ~100 °C 60–90 minut povaří s chmelem (od toho okamžiku *mladina*). Zde dochází k izomeraci hořkých látek, sterilizaci a koagulaci bílkovin. Ty jsou součástí chmelových kalů, které se poté od mladiny oddělují ve vířivé kádi. Nakonec se pomocí chladiče, co nejrychleji ochladí na zákvasnou teplotu a přesune do kvasných tanků nebo spilky [1], [2], [3], [4], [5].

Studená fáze výroby piva začíná hlavním kvašením, při kterém dochází k přeměně cukrů na alkohol a CO₂ aktivitou pivovarských kvasnic. Délka a teplota hlavního kvašení závisí na použitém kvasničném kmenu. Poté se pivo ochladí na 0–4 °C a přechází do fáze ležení, kdy dochází k dozrávání a sedimentaci kvasnic. Doba ležení může trvat od týdnu až po měsíce v závislosti na stylu piva. V průběhu kvašení lze provést studené chmelení

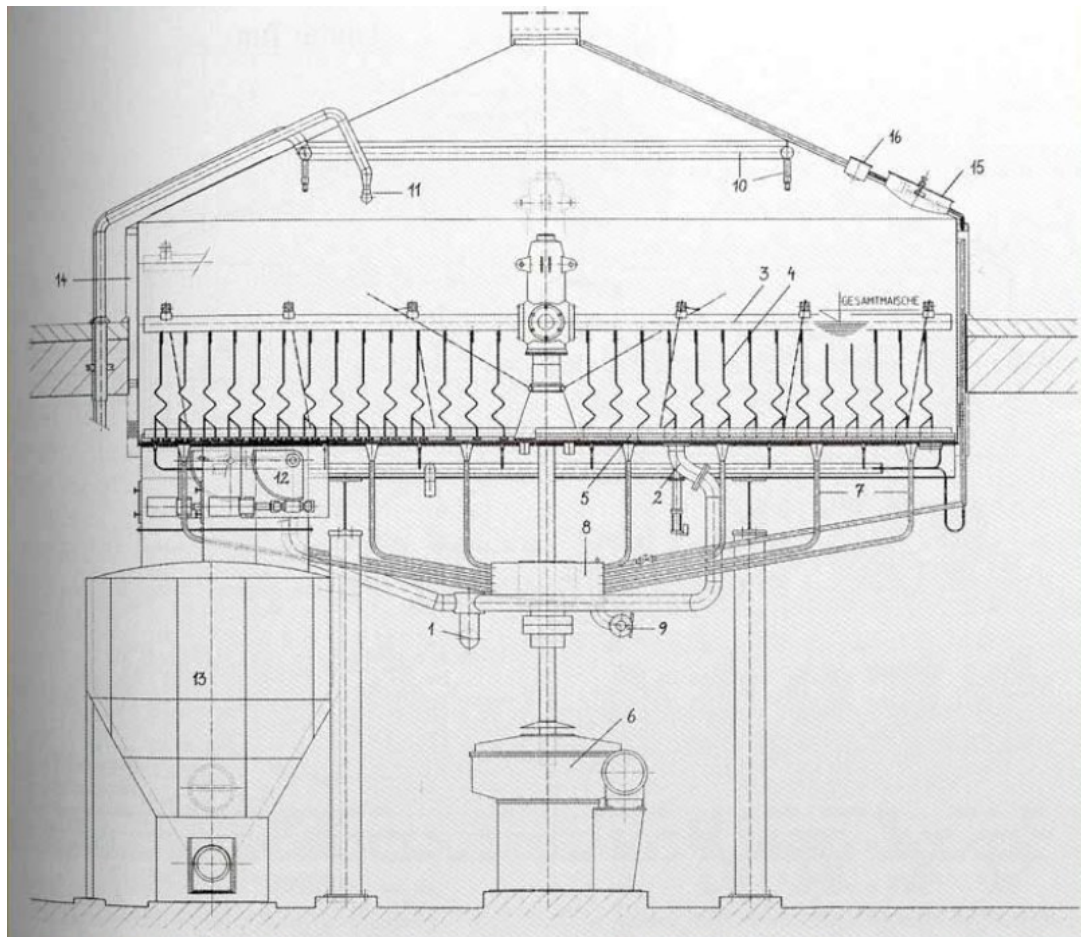
(dry hopping), případně přidat ovocné složky za účelem zvýraznění aroma a chuti piva. Hotové pivo se následně stačí do sudů, lahví nebo plechovek. Některé pivovary zařazují do výrobního procesu i filtraci a pasteraci, které zvyšují mikrobiologickou stabilitu piva, nicméně mohou negativně ovlivnit jeho chuťový profil [1], [2], [3], [4], [5], [7].

1.3 Pivní styly

Pivo se historicky vařilo v různých regionech s odlišnými dostupnými surovinami, což vedlo ke vzniku široké škály pivních stylů. Největší organizace pro certifikaci hodnotitelů piva na světě, BJCP, aktuálně rozpoznává okolo stovacetidvou pivních stylů. Obecně se pivní styly dělí podle způsobu kvašení na ležáky (spodní kvašení), ejly (svrchní kvašení) a spontánně kvašená piva. Ležáky lze dále rozdělit dle původu na české, německé nebo americké a podle barvy na světlé, polotmavé a tmavé. Obvykle se jedná piva s čistým kvasničným profilem, nižším obsahem esterů a výraznou sladovou linkou vyváženou chmelovou hořkostí. Speciálním druhem ležáku je například Bock, který se vyznačuje vyšší stupňovitostí, plným tělem a výrazně sladovým charakterem. Ejly mají naopak výrazně pestřejší škálu chutí a aromat. Patří sem styly od navoněných, lehkých IPA, přes suché, zemité Bittery až po kávově-čokoládové Porty a Stouty. Speciální podkategorií ejlů jsou piva belgického typu s výrazným fenolicko-kořeněným profilem. Kyselé piva (Sour) získávají svou kyselost působením bakterií mléčného kvašení (např. *Lactobacillus*) nebo spontánní fermentací divokými kvasinkami [1], [2], [4], [5], [8], [9].

2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ SCEZOVACÍCH NÁDOB MINIPOVARŮ

V následujícím textu jsou představeny hlavní konstrukční prvky scezovacích nádob (obr. 1).



Obrázek 1 Scezovací nádoba (typ Huppmann)

(zdroj: [2])

1 – přívod odrmutovaného díla do kádě, 2 – vstup sladiny při podrážení, 3 – kypřidlo, 4 – nůž kypřidla, 5 – kopačka (spuštěná poloha), 6 – pohon kypřidla, 7 – scezovací trubky, 8 – centrální sběrná nádoba sladiny, 9 – přívod sladiny do čerpadla, 10 – kropidlo, 11 – mycí hlavice, 12 – výhoz mláta, 13 – zásobník na mláto, 14 – izolace, 15 – průzor, 16 – osvětlení

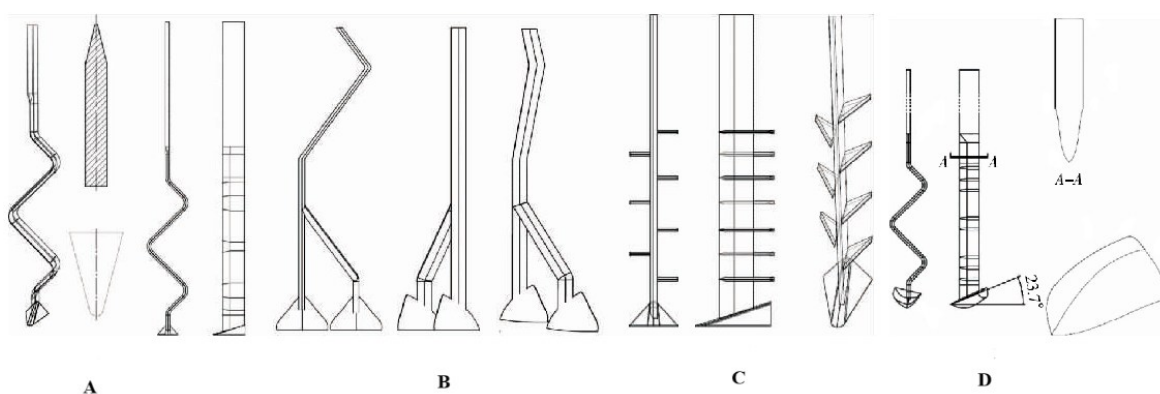
Scezovací kádě čelí jak mechanickému namáhání, tak teplotním změnám (20–80 °C) a chemické korozi vlivem kyselé sladiny (pH 5,2–5,6) a sanitačních prostředků (HNO_3 , NaOH). Mezi nejčastěji používané materiály patří nerezové oceli AISI 304 (Cr 17,5–19,5 %, Ni 8–10,5 %, modul pružnosti 200 MPa) a AISI 316 (Cr 16,5–18,5 %, Ni 10–13 %, Mo 2–2,5 %, modul pružnosti 200 MPa) Aby se zamezilo tepelným ztrátám, bývá meziprostor

pláště opatřen 30–100 mm tlustou izolační vrstvou z minerální vlny nebo polyuretanové pěny [1], [2], [10], [11], [12].

2.1 Kypřidlo

Kypřidlo se soustavou nožů je klíčovým prvkem pro udržení optimálního průtoku sladiny během scezování, protože zabraňuje zhutnění vrstvy mláta a přispívá k rovnoměrné extrakci rozpustných látek. Obvykle bývá dvouramenné (až šestiramenné) poháněné elektromotorem s nastavitelnými otáčkami $0,5\text{--}2\text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ pro kypření a $10\text{--}20\text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ pro výhoz mláta. Točivý moment kypřidla se pohybuje v rozmezí $50\text{--}100\text{ N}\cdot\text{m}$. Součástí kypřidla je i kopačka, která napomáhá jak k provzdušnění mláta, tak k jeho následnému vyhrnování po ukončení scezování. U dražších scezovacích nádob lze s celým kypřidlem pohybovat ve vertikálním směru [1], [2], [10].

Nože kypřidla jsou umístěny na ramenech kypřidla tak, aby měl každý nůž svou vlastní reznou dráhu. Existuje několik tvarů prořezávacích nožů (obr. 2), ty bývají navrhovány tak, aby co nejrychleji uvedly rozrušené mláto do pohybu, aniž by narušily stabilitu vrstev. Nože zakončené ve spodní části patkami dosahují většího prořezávání, čímž zkracují dobu scezování [1], [2]. Vědci Zhang et al. [13] vytvořili bionickým přístupem dle předlohy drápu krtonožky patku nože (obr. 4 D), která díky svému tvaru způsobuje o 13,7 % menší maximální smykové napětí na povrchu lopatky (7,1 % na stěně nádoby) a snížení proudění kapaliny o 43,0 %.



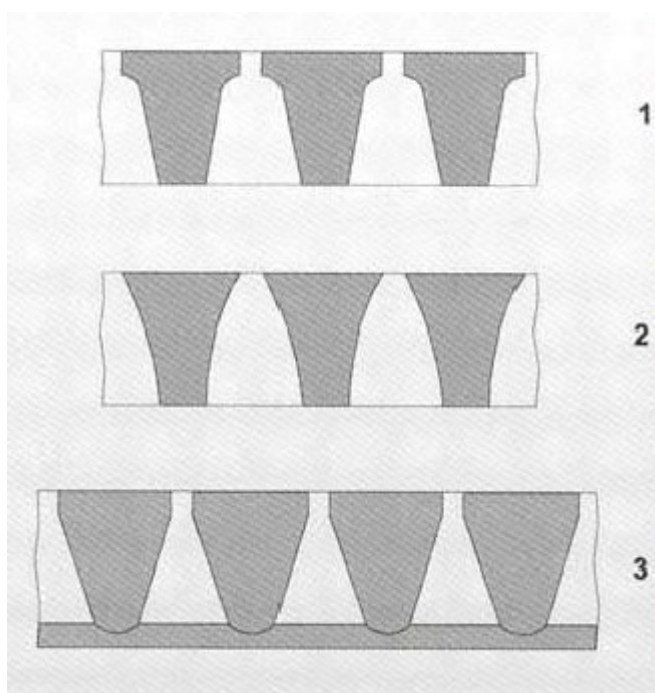
Obrázek 2 Různé tvary nožů kypřidla

(zdroj: [13], [14])

A – klikatý, B – dvoustopý, C – rovný, D – klikatý s patkou dle drápu krtonožky

2.2 Falešné dno

Vyjímatelné falešné (jalové) dno je perforovaná deska umístěná přibližně 10–20 mm nad odtokovým prostorem scezovací nádoby. Slouží k podepření vrstvy mláta a filtraci sladiny. Obvyklá tloušťka desky se pohybuje v rozmezí 3–5 mm a pro lepší manipulaci bývá dno rozděleno do menších segmentů [1], [2], [15]. Jedním z důležitých parametrů je tzv. průtočná plocha, která udává procento celkové plochy dna tvořené otvory (štěrbínami). Basařová [1] doporučuje průtočnou plochou alespoň 8 %. Nejčastější typy geometrie perforování jsou znázorněny na obrázku 3.



Obrázek 3 Typy geometrie perforování jalového dna

(zdroj: [2])

1 – dvojitě frézované dno, 2 – jednou frézované dno, 3 – sítové dno

Jalové dno se vyrábí frézováním, svařováním nebo technologií řezání vodním paprskem. Chládek et al. [16] došli k závěru, že frézovaná dna představují výhodnější variantu, a to díky vyšší sanitační účinnosti, nižší náchylnosti ke znečištění a snadnější údržbě — i přes vyšší pořizovací náklady. Jejich předností je také snadnější oprava, umožněná lokální výměnou poškozených částí.

Falešné dno musí odolávat značnému zatížení způsobeného vrstvou mokrého mláta. Na 1 m² scezovací plochy připadá zhruba 150–175 kg·m⁻² sladu šrotovaného za sucha¹ [1], [2].

2.3 Kropidlo

Kropidla ve scezovacích nádobách slouží k rozptylu vody o maximální teplotě 78 °C během vyslazování. Jejich hlavním úkolem je zajistit rovnoměrné zvlhčování mláta, aby se z něj efektivně extrahovaly zbylé rozpustné látky tzv. “výstřelky“. Důležitým aspektem je zajištění rovnoměrnosti a jemnosti rozptylu kapaliny, tak aby nedocházelo k narušení filtrační vrstvy. Bývají řešena jako otočná sprchová ramena s otvory nebo perforované trubky. U moderních zařízení je rozstřík často řízen automaticky dle průtoku a fáze vyslazování. Umístění a výška kropidel nad vrstvou mláta se volí tak, aby se zachovala souvislá hladina kapaliny nad ložem. Nesprávná funkce nebo ucpání kropidel může vést k nerovnoměrnému vyslazení a snížení výtěžnosti [1], [2], [4].

¹ 160-180 kg·m⁻² [1], 140-175 kg·m⁻² [2]

3 PROCES SCEZOVÁNÍ

Scezování je klíčový a časově nejnáročnější krok celého procesu vaření piva, při kterém se odděluje sladina od mláta přes vrstvu rozemletého sladu. Z chemického hlediska dochází při scezování k dodatečnému uvolňování rozpustných látek, jako jsou cukry, bílkoviny a polyfenoly, které ještě nebyly extrahovány během rmutování a které jsou zásadní pro následnou fermentaci a senzorické vlastnosti piva. Po fyzikální stránce funguje mláto jako filtrační lože — distribuce velikosti částic a dynamika toku sladiny určují, jak efektivně jsou zachycovány nerozpustné složky, což má zásadní vliv na výslednou čírost sladiny [1], [2], [4], [17].

3.1 Mechanismus scezování

Před přečerpáním díla se do scezovací nádoby napustí voda o teplotě 78 °C tak, aby její hladina sahala 10–20 mm nad falešné dno a došlo k vytlačení vzduchu. Poté se za chodu kypřidla přečerpá dílo, které se nechá 20–30 minut odpočívat, aby došlo k sedimentaci pevných částic a vytvoření souvislé filtrační vrstvy (pokud to dovoluje konstrukční řešení zvedne se kypřidlo nad hladinu). Následuje podrážení, kdy sladina cirkuluje v uzavřeném okruhu (to, co odtéká zpod sít se vrací zpátky nad vrstvu mláta), dokud nedojde k dostatečnému vyčerpání. Pak začíná samotné scezování, kdy se postupně zvyšuje průtočná rychlost až na 0,1–0,15 l·s⁻¹ na 1 m² scezovacího dna. Čirá sladina získaná v této fázi se označuje jako *předek*. Ten by měl být o 3–5 °P silnější než požadovaný finální extrakt. V případě příliš pomalého stékání se spustí kypřidlo do hloubky přibližně 10 cm a vrstva mláta se prořízne. Pokud to konstrukční řešení neumožňuje, nebo dojde k ucpání, je nutné vrstvu mláta kompletně promíchat a celý proces sedimentace a podrážení zopakovat. Po stažení předku následuje vyslazování, při němž se na vrstvu mláta rozstříkuje voda o teplotě 75–78 °C pomocí kropidla tak, aby bylo lože trvale ponořeno pod hladinou roztoku. Čirá sladina získaná v této fázi se označuje jako *výstřelky*. V případě zhoršení průtoku se opět prořezává/promíchává. Délka vyslazování závisí na stylu vařeného piva a požadované výtěžnosti [1], [2], [3], [4], [5], [15], [18].

3.2 Extrakce látek ze sladu

Většina rozpustných látek se uvolňuje již během rmutování, zatímco zbytek je získáván při následném scezování a vyslazování [18], [19]. Princip extrahování jednotlivých látek je uveden v tabulce 1.

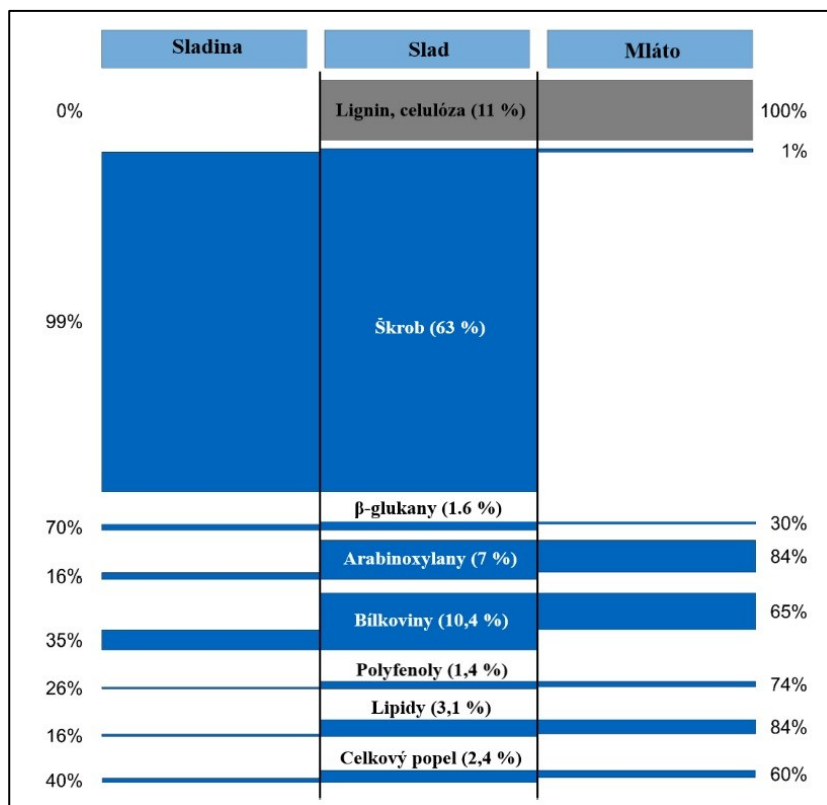
Tabulka 1 Princip extrahování látek během procesu výroby sladiny

Látka	Proces	Enzym
Cukry	Hydrolýza škrobu	α -amyláza, β -amyláza
β -glukany	Štěpení polysacharidů	β -glukanáza
Arabinoxylany/pentosany	Hydrolytický rozklad	Xylanasy
Bílkoviny	Proteolýza	Proteázy a peptidázy
Polyfenoly	Louhování	Neenzymatické
Lipidy	Uvolnění/lipolýza	Lipasy

(zdroj: [1], [2], [3], [4])

Hydrolýzou škrobu vznikají fermentovatelné cukry (maltóza, glukóza, maltotrióza aj.), které kvasinky využívají k tvorbě alkoholu, a nefermentovatelné dextriny, jež přispívají k plnosti chuti a tělnatosti piva. β -glukany a arabinoxylany zvyšují viskozitu sladiny a mohou snižovat účinnost scezování. Bílkoviny zlepšují pěnovou stabilitu a ústní vjem, zatímco polyfenoly přispívají ke komplexnosti chuti a svíravosti. Lipidy ovlivňují pěnivost piva a ve vyšších koncentracích negativně působí na stabilitu pěny i chuť [1], [2], [4].

Ne všechny látky se ze sladu do sladiny extrahují rovnoměrně. Dle Hennemann et al. [17] se nejlépe extrahují škrobnaté látky a β -glukany, zatímco významná část proteinů a arabinoxylanů zůstává v mlátě (obr. 1). Tato skutečnost je důležitá hlavně kvůli β -glukanům, jejichž množství závisí na kvalitě sladu a účinnosti enzymatického rozkladu během rmutování, zejména v teplotním rozmezí 45–52 °C [20].



Obrázek 4 Extrakce jednotlivých složek ze sladu do sladiny a mláta na konci scezování

(zdroj: [17])

3.3 Filtrace sladiny

Scezování je speciální druh mokré koláčové (povrchové) filtrace [17], [3]. Jedná se o typ filtrace, při níž jsou částice v suspenzi větší než póry filtrační přepážky. Díky tomu dochází k jejich zachytávání na povrchu přepážky a postupnému vytváření filtrační vrstvy, tzv. filtračního koláče [21], [22]. Ten je tvořen ložem zrn a odděluje čistou sladinu od nerozpustných pevných látek, zejména fragmentů slupek a částic vysokomolekulárních bílkovin [6]. Účinnost filtrace závisí na distribuci velikosti částic, a tedy na jemnosti šrotování sladu. Hrubší šrot zlepšuje průtok, avšak vede ke zvýšení zákalu [23]. Naopak jemnější šrot zvyšuje extraktivnost, ale zvyšuje hustotu lože, snižuje porozitu a zpomaluje průtok [3]. Obecně se tedy požaduje co nejjemnější rozemletí sladového endospermu a minimalizaci rozdrčení pluch [6], [18].

U filtračního koláče rozpoznáváme dvě vrstvy — spodní tvořenou hrubšími částicemi a vrchní složenou převážně z jemných částic. Riess et al. [24] poukazují na to, že právě tato jemná horní vrstva (částice <500 μm) představuje největší odpor ve filtračním koláči a bývá hlavní příčinou zpomalení scezování. S tím souvisí i skutečnost, že se zde nachází nejvyšší

koncentrace bílkovin. Ty přispívají k tvorbě jemné gelovité vrstvy na povrchu (tzv. těstíčko), která dále zpomaluje průtok sladiny (tento jev lze částečně ovlivnit vhodným nastavením mletí). Stejně jako bílkoviny, i lipidy se ve větší míře hromadí v horní části vrstvy. Naopak látky jako β -glukany a arabinoxylany se vyskytují ve vyšší koncentraci ve spodních vrstvách filtračního koláče [17]. β -glukany, vyskytující se ve větších koncentracích v nesladovaných obilovinách, zvyšují dynamickou viskozitu sladiny, snižují výtěžnost extrakce, zpomalují filtraci piva a mohou zvyšovat riziko zákalu [20]

Další parametry ovlivňující efektivitu filtrace jsou porozita, výška vrstvy mláta, průtočná rychlost a tlaková ztráta (viz tab. 2.). Porozita je definována jako poměr objemu dutin (nebo pórů) k celkovému objemu lože sladiny ($0,4\text{--}0,5^2$). Nadměrná porozita může ohrozit strukturální stabilitu, čímž způsobí tvorbu kanálků a nerovnoměrné scezování, a naopak nižší porozita může vést ke zhutňování [17], [25].

Tabulka 2 Klíčové filtrační parametry scezování

Parametr	Optimum	Nižší hodnoty	Vyšší hodnoty
Dynamická Viskozita (μ)	1,4–1,67 mPa·s	Rychlejší průtok, kanálkování	Zpomalení sedimentace a filtrace, tlaková ztráta
Porozita (ϵ)	0,4–0,5	Zhutňování, uspávání, vyšší tlaková ztráta	Kanálkování, nerovnoměrné scezování
Vrstva mláta (L)	20–40 cm	Podfiltrace, nestabilní lože, nižší výtěžnost	Zvýšený tlak, potřeba nižší průtočné rychlosti
Průtočná rychlost (v_p)	0,1–0,15 l·s ⁻¹ na 1 m ²	Oxidace, prodlužování scezování, kanálkování	Zhutňování, zakalení, riziko rozrušení lože
Tlaková ztráta (Δp)	10–30 mbar	Řídké a nerovnoměrné lože, podfiltrace	Ucpávání, kolaps lože, přetížení čerpadla/ventilu

(zdroj: [1], [3], [4], [17], [20], [25], [26], [27])

² Typická hodnota pro sypké vrstvy tvořené nepravidelnými částicemi [21]

Matematicky lze popsat průtok sladiny (Q) vrstvou mláta upravenou Darcyho rovnicí (1), jako poměr objemu (V) ku času (t), což se rovná průměrná propustnost mláta (κ) vynásobená rozdílem tlaků pod scezovacím dnem (p_1) a nad scezovacím dnem (p_2) s plochou scezovacího dna (A) a to vše poděleno viskozitou sladiny (μ) a výškou vrstvy mláta (L).

$$Q = \frac{V}{t} = \kappa \cdot (p_1 - p_2) \cdot \frac{A}{\mu \cdot L} \quad (1)$$

Praktická aplikace upravené Darcyho rovnice umožňuje odhadnout průtok sladiny při různých provozních podmínkách a tím efektivně řídit scezovací proces. Jak upozorňuje [4], optimalizace viskozity a výšky mláta může významně zkrátit dobu scezování a předejít nechtěným jevům, jako je zhutnění lože. Riess et al. [24] navíc ukazují, že i drobné změny struktury filtrační vrstvy mají zásadní vliv na odpor proudění a celkovou výtěžnost extraktivních látek.

4 DALŠÍ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PRŮBĚH SCEZOVÁNÍ

Na efektivitu scezování nemají vliv jen fyzikálně-technologické parametry popsané v předchozí kapitole 5, ale také řada faktorů nesouvisejících přímo s konstrukcí scezovací nádoby. Patří mezi ně zejména kvalita a druh použitého sladu, zvolený způsob rmutování, vlastnosti použité vody a přítomnost technologických aditiv. Uvedené faktory mohou mít významný vliv nejen na efektivitu extrakce, ale také na celkovou kvalitu sladiny.

Použití surovin neobsahujících slupky, jako je například oves nebo kukuřice, vede ke zpomalení filtrace a ke zvýšení viskozity sladiny. Tento efekt je způsoben vyšším obsahem β -glukanů a pentosanů, tedy polysacharidů s vysokou molekulovou hmotností, které zvyšují odpor sladiny vůči průtoku. Vysokou viskozitu způsobuje i tmavý slad, jehož vysoký obsah škrobu a Maillardových sloučenin s nižší fermentovatelností zahušťuje sladinu již během proteolytické fáze [20].

Nedostatečný rozklad sacharidů při rmutování vede ke zvýšené viskozitě sladiny, což zpomaluje scezovací proces [20]. Podle Ivanova et al. [19] vzniká značná část extraktu při teplotní pauze kolem 50 °C, kdy dochází k enzymatickému štěpení bílkovin a dalších makromolekul. Vzhledem k tendenci pivovarů tuto pauzu z ekonomických důvodů přeskakovat a zahájit rmutování až na 63 °C může docházet nejen ke snížení výtěžku, ale i ke zhoršení efektivity scezování v důsledku vyšší viskozity sladiny.

Teplota vyslazovací vody (optimálně 70–80 °C), hodnota pH (v rozmezí 5,0–5,5) a koncentrace karbonátů výrazně ovlivňují vyluhování polypeptidů, barviv, hořkých látek a dusíkatých sloučenin s vysokou molekulovou hmotností. Hodnoty pH nad 6,0 podporují extrakci polyfenolů, což se může projevit výraznějším zákalem (nad 10 EBC) a astringencí piva. Vyvážený obsah iontů vápníku a hořčíku stabilizuje pH a přispívá k lepší čirosti. Teploty přesahující 80 °C mohou denaturovat enzymy a snížit výtěžnost [1], [2], [4], [5], [24].

Průběh scezování lze mimo jiné ovlivnit i aditivy. Přidavkem CaCl_2 , kyseliny mléčné nebo kyselého sladu lze regulovat pH rmutu a tím zvýšit stabilitu enzymů a podpořit jejich optimální účinnost [19]. Dále lze využít specifická enzymatická aditiva, jako jsou β -glukanázy štěpící β -glukany a tím snížit viskozitu sladiny [20]. Alternativně lze aplikovat flokulanty (např. PVPP, PVP), které napomáhají aglomeraci jemných částic ve filtrační vrstvě [24].

II PRAKTICKÁ ČÁST

V rámci praktické části byl proveden experiment v minipivovaru X³, během kterého byly u šesti pivních stylů měřeny parametry — objem sladiny, hodnota sacharizace a časy jednotlivých fází scezování. U každé stylu bylo provedeno patnáct měření za účelem získání reprezentativního datového vzorku. Cílem experimentu bylo vyhodnotit efektivitu scezování a určit, které faktory mají v konkrétních podmínkách provozu největší vliv na jeho průběh. Na základě získaných dat byl následně formulován návrh na optimalizaci technologie scezování v minipivovaru X a navrženo vhodné řešení scezovací nádoby pro domácí použití.

³ Pivovar souhlasil se spoluprací pod podmínkou zachování anonymity

5 MĚŘENÍ EFEKTIVITY KONKRÉTNÍ SCEZOVACÍ NÁDOBY

Měření probíhalo formou sledování a záznamu provozních parametrů jednotlivých fází scezování, a to přímo během reálného provozu. U každé várky byly zaznamenány celkové časy scezování, objemy získané sladiny a hodnota stupňovitosti předku i výstřelků pomocí refraktometru. Každý styl byl sledován v patnácti opakováních, což umožnilo statisticky vyhodnotit vliv receptury a provozních podmínek.

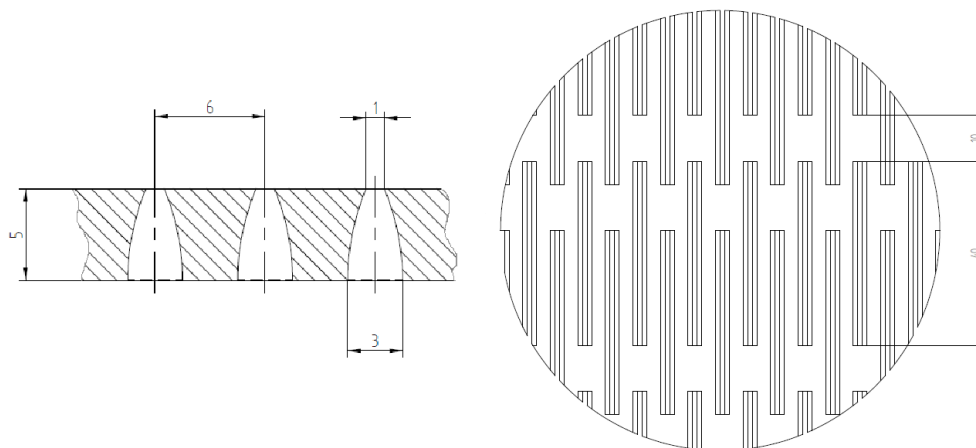
Scezovací nádoba minipivovaru X je řešena jako poloautomatická. Otáčky kypřidla a osvětlení jsou řízeny pomocí počítačového systému, zatímco ovládání klapek probíhá ručně. Kypřidlo je dvouramenné, s čtyřmi rovnými noži bez patky na každém rameni, a bez možnosti vertikálního posunu. Součástí sestavy je i kopačka určená k výhozu mláta, jejíž výšku lze na rozdíl od ramen upravovat. Pohon zajišťuje elektromotor umístěný nad scezovací nádobou, zakrytý falešným komínem. Celá nádoba je vyrobena z nerezové oceli třídy AISI 304.



Obrázek 5 Scezovací nádoba minipivovaru X (vlevo: pohled zvenčí, vpravo: kypřidlo)

(zdroj: vlastní)

Ve dně nádoby se nachází čtyři výtokové otvory o průměru 54 mm, které ústí do sběrných trubek o průměru 30 mm. Nad nimi je ve výšce 20 mm usazeno falešné frézované dno. Tvar a rozměry jeho perforace jsou uvedeny na obrázku 6. Celková scezovací plocha činí 2,11 m², přičemž průtočná plocha je 22 %.



Obrázek 6 Perforování scezovacího dna (pivovar X)

(zdroj: vlastní)

Sledované pивní styly se lišily jak použitým sladovým sypáním, tak stupňovitostí (10–15 °P) a způsobem rmutování. Ležáky 10–12 byly postaveny téměř výhradně na plzeňském sladu s menším podílem karamelového. U Polotmavého 13 přesahoval souhrnný podíl bavorského a karamelového sladu 25 %, zatímco u Ležáku 14 tvořil tento podíl již samotný bavorský slad. IPA 15 byla složena z Pale Ale, plzeňského a 5 % pšeničného sladu. Jednotlivé receptury se lišily i hmotností sypání — od 340 kg u Ležáku 10 po 535 kg u IPA 15. Piva 10-14 byla vyráběna stejným dvourmutovým způsobem, zatímco IPA 15 byla připravena infuzním rmutováním.

5.1 Výsledky a diskuze

Výsledky praktické části práce dokládají rozdíly v průběhu scezování u šesti piv s různou stupňovitostí a sladovým sypáním. Nejdelší čas scezování byl zaznamenán u IPA 15 (135,5 min), což je o 26 % delší než u Ležáku 11 (107,0 min), který měl nejrychlejší průběh. Příčinou byl nejen vyšší podíl pšeničného sladu a vyšší stupňovitost, ale především nadlimitní výška vrstvy mláta přesahující 50 cm, která výrazně zvýšila hydraulický odpor a prodloužila všechny fáze scezování.

U Ležáku 14 došlo k výraznému prodloužení až ve fázi výstřelků (o 18,8 % oproti Ležáku 12), pravděpodobně v důsledku vysokého podílu bavorského sladu, který má nižší stupeň modifikace a vyšší obsah vysokomolekulárních bílkovin.

Ležák 12 vykázal nejnižší objem předku (pouze 5,9 hl) ze všech měřených piv. Tato odchylka nebyla v počáteční fázi analýzy jednoznačně vysvětlitelná, nicméně zpětným

rozbořem provozních podmínek se ukázalo, že pravděpodobnou příčinou může být vliv obsluhující osoby (v minipivovaru vaří 3 sládci). Bylo zjištěno, že jedna z obsluhujících osob (osoba C) vykazuje systematickou tendenci scezovat sladinu agresivněji, tj. vyjíždět předeck rychleji a více do sucha ve srovnání s osobami A a B. Tento rozdíl se u většiny vzorků neprojevil výrazně, avšak v případě Ležáku 12 byl zřejmý: zatímco osoba C dosáhla průměrného objemu předku přibližně 7 hl, osoby A a B vykazovaly hodnoty okolo 5 hl.

Ležáky 11 a 10 měly podobné celkové časy scezování, přestože by u Ležáku 10 bylo vzhledem k řidšímu rmutu (méně sladu na stejné množství vody) možné očekávat rychlejší průběh. Výsledný scezovací čas u Ležáku 10 tak pravděpodobně ovlivnil podíl bavorského sladu (7 %), který snížil propustnost mláta a částečně eliminoval výhodu nižší vrstvy, jelikož ostatní technologické podmínky zůstaly shodné.

Efektivitu scezovacího procesu celkově omezuje i konstrukce zařízení: kypřidlo nelze výškově polohovat, a proto v případě zhoršeného průtoku nelze proříznout pouze vrchní vrstvu mláta. Je tedy nutné narušit celou filtrační vrstvu a nechat ji znovu usadit, což prodlužuje proces a zvyšuje riziko jeho nestability.

Tabulka 3 Průměr naměřených hodnot scezování

	Ležák 10	Ležák 11	Ležák 12	Polotmavé 13	Ležák 14	IPA 15
Čas [min]						
Odpočinek	20	20	20	20	20	20
Podrážení	2,8	2,6	2,9	2,5	2,8	3,8
Předeck	27,4	27,8	25,9	29,2	28,6	37,7
Výstřelky	57,1	56,6	64,3	61,6	76,4	73,4
Celkový	107,3	107,0	113,1	113,3	127,8	135,5
Objem [hl]						
Po rmutování	15,0	15,0	15,0	15,0	16,9	21,5
Předeck	7,9	7,5	5,9	7,3	6,6	9,8
Výstřelky	17,4	18,1	19,6	15,0	18,1	15,0
Výsledný	25,3	25,7	25,5	22,2	24,7	24,9
Sacharizace [°P]						
Předeck	17,0	18,5	19,7	19,3	20,0	19,5
Výsledné	9,8	10,9	11,9	12,9	14,8	14,8

(zdroj: vlastní)

6 NÁVRH SCEZOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Na základě zjištěných poznatků o faktorech ovlivňujících proces scezování byla navržena dvě konstrukční řešení scezovací nádoby — první pro konkrétní minipivovar, v němž byl prováděn experiment, a druhé pro domácí podmínky.

6.1 Návrh pro minipivovar X

Na základě sledování průběhu scezování v minipivovaru X byly identifikovány technické parametry, které zásadně ovlivňují jeho efektivitu. Nejvýznamnějším omezením je velikost scezovací plochy, která činí 2,11 m² při průměru nádoby 164 cm. Sypání na várky odpovídá 25 hl hotového piva, což u piv silnějších než 14 °P vytváří vrstvu mláta výrazně vyšší než 40 cm. Pivovar vaří piva o síle až 19 °P a optimální vnitřní průměr nádoby by tedy měl být ~181 cm. Změna scezovací plochy však představuje zásah do celé konstrukce a znamená výraznou finanční investici. V případě, že by se pivovar v budoucnu rozhodl ke změně scezovací nádoby, je vhodné zvolit řešení s výškově stavitelným kypřidlem. Možnost mechanicky zasáhnout pouze do horní části mláta by výrazně zlepšila kontrolu nad průtokem a snížila riziko nutnosti úplného narušení a znovusazení celé vrstvy. Dalším bodem pro zlepšení je typ nožů. Stávající rovné čepele bez patek zajišťují pouze omezené prořezání mláta a nepřispívají k jeho uvolnění při zvýšeném odporu. Ideální by byla výměna za dvoustopé klikaté nože, případně alespoň doplnění stávajících o patky. Z konstrukčního hlediska je výměna nožů relativně snadná — čepele jsou uchyceny šrouby M10⁴ s maticemi, takže není nutný zásah do rámu kypřidla. Tyto úpravy by představovaly nízkonákladové zlepšení, které by i bez zásahu do rozměrů nádoby mohlo přispět ke stabilnějšímu a rychlejšímu scezování.

6.2 Návrh pro domácí vaření

Zatímco návrh pro minipivovar zohledňuje možnosti technického zásahu do stávajícího provozu, v domácích podmínkách je nutné přistupovat k problematice s ohledem na omezené technologické možnosti prostředí, kde většina operací probíhá ručně nebo gravitačně. Pro cílový objem várky 20–25 litrů, odpovídá potřebě scezovací kapacity 30–35 litrů. V současnosti se domácí výroba scezovací nádoby z nerezů ekonomicky ani časově příliš nevyplácí. Cena materiálu, zejména nerezového plechu, spolu s nutností vlastnit nebo si opatřit odpovídající nářadí (např. sloupová vrtačka, tvrdokovové vrtáky, kleště, závitníky)

⁴ Jmenovitý průměr závitu je 10 mm

zvyšuje náklady i časovou náročnost celé konstrukce. Uvažujeme-li o síťovaném dnu s otevřenou plochou kolem 20 %, znamená to u průměru 25 cm potřebu více než tisíce otvorů o průměru 1,5 mm, jejichž zhotovení ručním způsobem je práce na dlouhé zimní večery. I v případě použití předperforovaného plechu zůstávají náklady relativně vysoké, přičemž konstrukční řešení je dále komplikováno potřebou přesného napojení výpustního systému a vhodného distančního podepření síta.

Pro domácí podmínky jsou proto výhodnější hotová komerční řešení, z nichž nejdostupnější je tzv. „dvojkbelíková“ scezovací nádoba. Jde o děrovaný kbelík vložený do plného kbelíku s výpustí, vyrobený z potravinářsky nezávadného plastu. Takové zařízení je běžně dostupné za cenu několika stovek korun a plně postačuje pro domácí várky do 25 litrů. Alternativně lze použít *manifold*, což je soustava perforovaných trubek (nejčastěji PVC nebo nerezových) umístěných na dně scezovací nádoby, které slouží ke sběru sladiny přes filtrační vrstvu mláta. Výhodou manifoldů je jednoduchá konstrukce bez potřeby síta, jejich nevýhodou pak menší filtrační plocha a větší citlivost na ucpávání.

Nejdražší, ale zároveň nejrobustnější variantou jsou scezovací nádoby z nerezové oceli s perforovaným sítem a kulovým ventilem. Tyto varianty zajišťují nejlepší odolnost, snadné čištění a vysokou životnost. Avšak pro domácí objemy není materiál ani konstrukční řešení rozhodující — kvalitního scezování lze dosáhnout se všemi uvedenými variantami, pokud je dodržen správný technologický postup.

ZÁVĚR

Teoretická část práce přinesla ucelený pohled na konstrukční řešení scezovacích nádob, jejich klíčové prvky (kypřidlo, falešné dno, kropidlo) a jejich vliv na průběh scezování. Popsán byl nejen princip filtrace přes vrstvu mláta, ale i mechanismy vzniku negativních jevů, jako je zhutnění filtrační vrstvy nebo kanálkování. Dále byly shrnuty biochemické faktory, jako je složení sladového sypání nebo kvalita rmutování a jejich vliv na průběh a výtěžnost scezování.

Praktická část se zaměřila na analýzu provozních dat z minipivovaru X, kde byly sledovány rozdíly v efektivitě scezování u šesti pivních stylů s různou recepturou. Výsledky prokázaly vliv složení sladového sypání, výšky vrstvy mláta i přístupu obsluhy na celkový čas scezování a objem předku. Dále byla potvrzena omezení vyplývající z konstrukčního řešení scezovací nádoby, zejména absence výškově nastavitelného kypřidla a nevhodný typ nožů. Na základě zjištěných poznatků byly navrženy dvě možná řešení — jedno pro optimalizaci stávajícího provozu, druhé jako obecně využitelný návrh pro domácí vaření piva. Obě varianty kladou důraz na jednoduchost, účinnost a technickou proveditelnost.

Zjištěné poznatky mohou sloužit jako podklad nejen pro technická zlepšení, ale i pro další výzkum zaměřený například na porovnání senzorických vlastností výsledného piva při různých režimech scezování či posouzení vlivu konkrétních technik, jako je hloubka kypření nebo rychlost průtoku, na kvalitu sladiny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BASAŘOVÁ, Gabriela, Jan ŠAVEL, Petr BASAŘ, Pavlína BASAŘOVÁ a Adam BROŽ. *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. Třetí, doplněné a upravené vydání. Praha: Havlíček Brain Team, 2022. ISBN 978-80-87109-77-9.
- [2] KUNZE, Wolfgang. *Technology Brewing & Malting*. 6. VLB Berlin, 2019. ISBN 978-3-921690-87-1.
- [3] DANĚK, Josef a Karel BROŽEK. *Technologie sladu a piva: pro 4. ročník středních průmyslových škol potravinářské technologie*. Říčany u Brna: Beer Academy, 2024. ISBN 978-80-88649-06-9.
- [4] MOSHER, Michael a Kenneth TRANTHAM. *Brewing science: a multidisciplinary approach*. Cham: Springer, 2017. ISBN 978-3-319-46393-3.
- [5] NOVOTNÝ, Petr a kolektiv autorů. *Pivařka 2*. Jota, 2019. ISBN 978-80-7565-555-4.
- [6] BASAŘOVÁ, Gabriela, Vratislav PSOTA, Jan ŠAVEL, et al. *Sladařství: teorie a praxe výroby sladu*. Druhé, doplněné a upravené vydání. Praha: HBT, 2023. ISBN 978-80-87109-73-1.
- [7] STEWART, Graham G. *Brewing and Distilling Yeasts* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2017 [cit. 2025-04-25]. ISBN 978-3-319-69124-4. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-69126-8
- [8] Beer Judge Certification Program. *Promoting beer literacy, recognizing beer tasting and evaluation skills* [online]. 1999 [cit. 2024-11-07]. Dostupné z: <https://www.bjcp.org/>
- [9] MOSHER, Randy. *Tasting Beer: An Insider's Guide to the World's Greatest Drink*. 2. Storey Publishing, 2017. ISBN 9781612127781.
- [10] *The reliable partner for breweries all over the world* [online]. 2025 n.d. [cit. 2025-04-08]. Dostupné z: <https://www.steinecker.com/>
- [11] ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. *Korozivzdorné oceli - Část 1: Přehled korozivzdorných ocelí*. Praha, 2024.
- [12] PROSPERO EQUIPMENT. *Brewery Equipment Catalog* [online]. Canandaigua: Prospero Equipment Corporation, 2018 [cit. 2025-05-15]. Dostupné z: https://prosperoequipment.com/wp-content/uploads/catalog_brewery_web.pdf
- [13] ZHANG, Zhi-feng, Jun-xia ZHANG a Yan ZHANG. Simulation and design of raking knives based on bionic design method. *Food and Machinery* [online]. 2023, **36**(12), 65-69 [cit. 2025-04-30]. Dostupné z: doi:10.13652/j.issn.1003-5788.2020.12.014
- [14] ZHANG, Zhiqiang (张志强). *啤酒酿造技术 (Technologie výroby piva)*. Peking: 轻工业出版社 (Nakladatelství lehkého průmyslu), 2011.
- [15] BOULTON, Christopher. *Encyclopaedia of Brewing* [online]. John Wiley, 2013 [cit. 2025-05-08]. ISBN 978-1-118-59813-9. Dostupné z: doi:10.1002/9781118598115
- [16] CHLÁDEK, Ladislav, Miroslav PŘIKRYL, Michaela HOLOMKOVÁ a Vladimír MAZURA. The appraisal of experimental results from lauter process using welded and milled bottoms of lauter tuns. *Kvasný Průmysl* [online]. 2013, 2013-10-1, **59**(10-11), 324-328 [cit. 2024-10-28]. ISSN 00235830. Dostupné z: doi:10.18832/kp2013036
- [17] HENNEMANN, Martin, Martina GASTL a Thomas BECKER. Inhomogeneity in the lauter tun: a chromatographic view. *European Food Research and Technology* [online]. 2019, **245**(3), 521-533 [cit. 2024-10-10]. ISSN 1438-2377. Dostupné z: doi:10.1007/s00217-018-03226-4

- [18] LHOTSKÝ, Alois. *Technická kontrola sladařské a pivovarské výroby*. Říčany u Brna: Beer Academy, 2024. ISBN 978-80-88649-00-7.
- [19] IVANOV, Alexander, Kristina IVANOVA a Georgi KOSTOV. Modeling and Optimization of Processes for Craft Beer Production: Malt Mixture Modeling and Mashing Optimization for Lager Beer Production. *Applied Sciences* [online]. 2023, **13**(20), 14 [cit. 2024-10-10]. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app132011554
- [20] BLŠÁKOVÁ, Lucia, Tomáš GREGOR, Matej MEŠTÁNEK, Luděk HRIVNA a Vojtěch KUMBÁR. The Use of Unconventional Malts in Beer Production and Their Effect on the Wort Viscosity. *Foods* [online]. 2022, **11**(1), 1-9 [cit. 2024-10-10]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods11010031
- [21] ANLAUF, Harald. *Wet cake filtration: Fundamentals, Equipment, and Strategies: fundamentals, equipment, and strategies*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2019. ISBN 978-3-527-82065-8. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1002/9783527820665>
- [22] PRESSTEXTILE s.r.o [online]. 2018 [cit. 2025-03-15]. Dostupné z: <https://www.presstextile.cz/>
- [23] BECHER, Tobias. Die Läuterarbeit in Brauereien: Status quo und künftige Entwicklungsziele. *Chemie Ingenieur Technik* [online]. 2016, **88**(12), 1904-1910 [cit. 2025-03-15]. ISSN 0009-286X. Dostupné z: doi:10.1002/cite.201600023
- [24] RIESS, Peter Michael Bandelt, Michael KUHN, Briesen HEIKO a Petra FÖRST. Evaluation of process strategies to homogenize the lautering filter cake structure and enhance wort production. In: *FILTECH 2019 – International Conference & Exhibition for Filtration and Separation Technology*. Cologne, Germany, 2019, s. 22-24. ISBN 978-3-941655-17-1.
- [25] HENNEMANN, Martin, Ehsan FATTAHI, Martina GASTL a Thomas BECKER. Compression Mechanism in Multilayered Filter Cakes. *Chemical Engineering & Technology* [online]. 2021, **44**(10), 1900-1907 [cit. 2025-05-07]. ISSN 0930-7516. Dostupné z: doi:10.1002/ceat.202100258
- [26] BHATTY, R.S. Total and extractable β -glucan contents of oats and their relationship to viscosity. *Journal of Cereal Science* [online]. 1992, **15**(2), 185-192 [cit. 2025-05-07]. ISSN 07335210. Dostupné z: doi:10.1016/S0733-5210(09)80070-2
- [27] KORDIALIK-BOGACKA, Edyta, Paulina BOGDAN a Anna DIOWKSZ. Malted and unmalted oats in brewing. *Journal of the Institute of Brewing* [online]. 2014, **120**(4), n/a-n/a [cit. 2025-05-07]. ISSN 00469750. Dostupné z: doi:10.1002/jib.178

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Scezovací nádoba (typ Huppmann).....	16
Obrázek 2 Různé tvary nožů kypřidla.....	17
Obrázek 3 Typy geometrie perforování jalového dna	18
Obrázek 4 Extrakce jednotlivých složek ze sladu do sladiny a mláta na konci scezování ..	22
Obrázek 5 Scezovací nádoba minipivovaru X (vlevo: pohled zvenčí, vpravo: kypřidlo) ...	28
Obrázek 6 Perforování scezovacího dna (pivovar X)	29

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Princip extrahování látek během procesu výroby sladiny	21
Tabulka 2 Klíčové filtrační parametry scezování	23
Tabulka 3 Průměr naměřených hodnot scezování	30

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<	menší než
%	procento
~	přibližně
°C	stupeň Celsia
°P	stupeň Plato
A	plocha scezovacího dna [m ²]
AISI	American Iron and Steel Institute
aj.	a jiné
BJCP	Beer Judge Certification Program
CaCl ₂	chlorid vápenatý
cm	centimetr
CO ₂	oxid uhličitý
Cr	chrom
EBC	European Brewing Convention [-]
EMP	extrakt původní mladiny [°P, hm. %]
et al.	et alii (latinsky: a další)
hl	hektolitr
hm.	hmotnostní
HNO ₃	kyselina dusičná
IPA	Indian Pale Ale
kg	kilogram
L	výška vrstvy mláta [cm]
l	litr
m ²	metr čtvereční
mbar	milibar

min	minuta
mm	milimetry
Mo	molybden
MPa	megapascaly
mPa	milipascaly
N	newton
NaOH	hydroxid sodný
např.	například
Ni	nikl
obr.	obrázek
ot	otáčky
p	tlak [bar]
pH	záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů
PVPP	polyvinylpolypyrrolidon
PVP	polyvinylpyrrolidon
Q	průtok sladiny [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
s	sekunda
t	čas [s]
tab.	tabulka
tj.	to jest
tzv.	takzvaný
V	objem [m^3]
v_p	průtočná rychlost [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ na m^2]
Δ	rozdíl mezi dvěma hodnotami
ε	porozita [-]
κ	průměrná propustnost mláta

μ dynamická viskozita [mPa·s]

μm mikrometr