

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ TECHNIKY

NÁVRH MODELOVÉHO EXTRAKTORU PRO  
ZÍSKÁNÍ AROMATICKÝCH LÁTEK Z BYLIN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

ONDŘEJ DVOŘÁČEK

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dvořáček** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **492631**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Technologie extrakce aromatických látek z bylin**

Název bakalářské práce anglicky:

**Technology of extraction of aromatic substances from herbs**

Pokyny pro vypracování:

- Zpracujte literární, patentovou a průmyslovou rešerši zaměřenou na zařízení v technologii extrakce aromatických látek z bylin.
- Popište princip a provedení jednotlivých zařízení v technologii a definujte jejich základní procesní parametry.
- Proveďte koncepční návrh extraktorů. Zaměřte se zejména na extraktory s mechanickým míchadlem a pevným ložem s nucenou cirkulací. Návrh proveďte z hlediska maximalizace výtěžnosti a snadné manipulace se surovinami, produktem a odpady, včetně odvodnění pevného zbytku.

Seznam doporučené literatury:

Dle vlastní rešerše a doporučení vedoucího práce.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D. ústav procesní a zpracovatelské techniky FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **17.04.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **04.08.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **24.09.2023**

prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne .....

.....  
Ondřej Dvořáček

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Tomáši Jiroutovi za odborné vedení a poskytnutí cenných odborných rad a informací při zpracování bakalářské práce.

# Anotační list

**Jméno autora:** Ondřej

**Příjmení autora:** Dvořáček

**Název práce česky:** Návrh modelového extraktoru pro získávání aromatických látek z bylin

**Název práce anglicky:** Design of a model extractor for extracting aromatic substances from herbs

**Rozsah práce:** počet stran: 63

počet obrázků: 58

počet tabulek: 1

počet příloh: 3

**Akademický rok:** 2022/2023

**Jazyk práce:** Český

**Ústav:** Ústav procesní a zpracovatelské techniky FS

**Studijní program:** Teoretický základ strojního inženýrství

**Vedoucí práce:** prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.

**Konzultant práce:** prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.

**Zadavatel:** prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.

**Anotace česky:** Tato bakalářská práce se zabývá návrhem modelového extraktoru pro získávání aromatických látek z bylin. První část je věnována teorii o extrakci, následně jsou uvedeny základní typy extraktorů včetně průzkumu trhu a výhod daných zařízení. Na základě výsledků z průzkumu trhu byly navrženy 3 různé varianty extraktoru sloužících k přímé extrakci aromatických látek z bylin lihovým rozpouštědlem. Prioritou při tvoření modelu bylo, aby cyklus zahrnoval nejen extrakci, ale i následnou separaci extraktu a vysušení pevného zbytku. Dále byl kladen důraz na snadnou manipulaci se surovinami, produktem a odpady, na celkovou velikost zařízení a náročnost výroby daného zařízení.

**Anotace anglicky:** This bachelor thesis deals with the design of a model extractor for the extraction of aromatic substances from herbs. The first part is devoted to the theory of extraction, then the basic types of extractors are listed, including a market survey and the advantages of the devices. Based on the results of the market study, 3 different variants of extractors used for the direct extraction of aromatic substances from herbs with an alcohol solvent have been proposed. The priority in creating the model was that the cycle should include not only the extraction but also the subsequent separation of the extract and drying of the solid residue. Furthermore, the ease of handling raw materials, products, and waste, the overall size of the machine, and the difficulty of manufacturing the machine were emphasized.

**Klíčová slova:** extraktor, extrakce, byliny, vysoušení, vyhrnovací míchadlo, čerpadlo

**Klíčová slova anglicky:** extractor, extraction, herbs, drying, agitator, pump

**Využití:** Pro extrakční závod s cílem rozšířit kapacitu výroby a možností zpracování pevného extrakčního zbytku, při průmyslové výrobě.

## Obsah

1	ÚVOD.....	1
2	EXTRAKCE.....	2
2.1	Vyluhování (Extrakce pevná látka – kapalina).....	2
2.1.1	Popis procesu.....	2
2.1.2	Základní metody extrakce pevná látka-kapalina.....	3
2.1.3	Zařízení pro vyluhování.....	4
2.1.4	Typy extrakčních zařízení [4].....	7
2.2	Superkritická extrakce [12], [13], [14], [15].....	14
2.3	Další extrakční metody.....	16
2.3.1	Ultrazvuková extrakce.....	16
2.3.2	Mikrovlňná extrakce.....	18
2.3.3	Kapalinová extrakce za vysokého tlaku.....	18
2.4	Následné zpracování finálního extraktu [4].....	19
3	PRŮZKUM TRHU.....	20
3.1	Horizontální bubnové rotační extraktory.....	20
3.2	Radiální odstředivé extraktory [7], [8].....	21
3.3	Perkolátory.....	22
3.4	Cirkulační síťové extraktory s pístovým výhozem extrakčního zbytku.....	24
3.5	Vinifikátory [24].....	24
3.6	Superkritická extrakce.....	27
3.7	Kavitační extraktory [12], [29].....	28
4	PŘEDSTAVA NAVRHOVANÉHO EXTRAKTORU.....	30
5	VOLBA PRINCIPU EXTRAKTORU A ZDŮVODNĚNÍ.....	33
6	FÁZE EXTRAKČNÍHO PROCESU NAVRŽENÉHO EXTRAKTORU.....	35
6.1	První fáze – plnění.....	35
6.2	Druhá fáze – extrakce.....	36

6.3	Třetí fáze – Vypouštění/Lisování .....	37
	Čtvrtá fáze – Obnova/Příprava na extrakci .....	38
7	VÝPOČET POTŘEBNÝCH VÝKONŮ.....	39
7.1	Výkon míchacího čerpadla.....	39
7.2	Výpočet lisovací síly pístového aktuátoru .....	43
7.3	Výkon motoru vyhrnovacího míchadla [33], [34].....	44
8	VARIANTY A ZHODNOCENÍ .....	47
8.1	Varianta 1. ....	47
8.2	Varianta 2. ....	48
8.3	Varianta 3. ....	49
8.4	Další součásti .....	50
8.4.1	Zvedací mechanismus .....	50
8.4.2	Plnicí koš.....	51
8.4.3	Filtr .....	52
8.4.4	Aretační mechanismus.....	53
8.4.5	Platle.....	54
9	ZÁVĚR A ZHODNOCENÍ .....	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ/GRAFŮ .....	56
	SEZNAM TABULEK .....	58
	SEZNAM SYMBOLŮ.....	58
	SEZNAM CITACÍ .....	59
	PŘÍLOHY .....	63





## 1 ÚVOD

Tato práce vznikla na základě spolupráce s průmyslovým partnerem s motivací navýšit výrobní kapacitu extrakčního závodu a usnadnit procesní operace při výrobě extraktů z různých druhů známých bylin, přičemž zásadním požadavkem je finální vysoušení extrakčního zbytku od rozpouštědla ve formě lihu a jeho další zpracování ideálně v jednom plynulém extrakčním procesu.

Cílem práce je seznámit se s problematikou extrakčního procesu, provést průzkum dostupných extrakčních zařízení na trhu a ze získaných poznatků navrhnout možné koncepční řešení stroje včetně procesních fází dále vypočítat základní výkonnostní parametry a vytvořit model účelového zařízení a jeho specifických součástí.

Aplikace zařízení je účelově zaměřena na extrakci z bylinné vsádky lihovým rozpouštědlem a finální vysušení pevného zbytku lisováním.

Výsledek práce je možné rozšířit o další výzkum, a to především o laboratorní měření parametrů které jsou v této práci odhadnuty, jejichž hodnoty závisí mimo jiné na konkrétním typu extrahovaných materiálů. Součástí této práce nejsou pevnostní výpočty, simulace hydrodynamických procesů ani návrh vhodných řídicích systémů.



## 2 EXTRAKCE

Extrakce je separační metoda, při které se jedna nebo více složek z původní směsi (pevné nebo kapalné) rozpouští v extrakčním činidle (rozpouštědle). Extrakce je často využívána pro separaci tepelně nestálých látek, kde je použití jiných separačních metod nevhodné, např. destilace. [1], [2]

Extrakci lze rozdělit na kapalinovou extrakci, kdy separujeme složky z původní kapalné směsi rozpouštědlem, v kterém je jedna nebo více složek původního roztoku lépe rozpustná. Druhým typem extrakce je tzv. vyluhování neboli loužení, tímto termínem označujeme extrakci pevných látek kapalinou, je využívána např. pro získávání léčivých látek z bylin a jiných rostlin. Extrakční činidlo nemusí být pouze kapalina, při superkritické extrakci se pevné látky, ale i kapaliny, extrahují plyny v nad kritickém stavu. Tato práce je zaměřena na vyluhování, superkritickou a ultrazvukovou extrakci, které jsou vhodné pro získání aromatických látek z bylin. [1], [2]

Extrakci lze dále obecně rozdělit na vsádkovou a kontinuální. Stejně jako u všech separačních procesů vede protiproudý kontinuální režim k nejvyšším koncentračním gradientům, a tedy k nejúčinnějšímu využití rozpouštědla. Nicméně vzhledem ke specifickým vlastnostem pevných látek nemusí být často proveditelný. Proto bývá často využívána vícestupňová extrakce, která je účinnější než jednostupňová extrakce. Vícestupňovou extrakcí je myšleno, že rozpouštědlo projde extrakčním zařízením několikrát což zvyšuje obsah extrahované složky v rozpouštědle. [1] – [3]

### 2.1 Vyluhování (Extrakce pevná látka – kapalina)

Vyluhování je extrakce jedné nebo více složek z pevné látky selektivním rozpouštědlem v kterém jsou dané složky dobře rozpustné.

#### 2.1.1 Popis procesu

Obecně lze tento proces rozdělit na tři části: [2]

- Fázová změna látky při jejím rozpouštění v rozpouštědle
- Difuze rozpuštěné látky póry pevné látky směrem ven z částice
- Přenos rozpuštěné látky z okraje částice do hlavního objemu roztoku

Kterýkoli z těchto tří procesů může být zodpovědný za omezení rychlosti extrakce, ačkoli první proces obvykle probíhá tak rychle, že má na celkovou rychlost zanedbatelný vliv. Buněčná



struktura pevných látek způsobuje dodatečný odpor a rychlost extrakce tak bývá poměrně nízká.

[2]

Při výběru zařízení pro extrakční proces je vhodné vzít v potaz faktory, které jsou zodpovědné za omezení rychlosti extrakce. Pokud je řídicím procesem difuze látky póry, je vhodné pevnou látku, ze které je látka extrahována rozdrtit/rozemlít na menší kusy/částice, tím snížit vzdálenost, kterou musí látka difundovat. Obecně je žádoucí, aby rozsah velikosti částic byl malý, aby každá částice potřebovala k extrakci přibližně stejnou dobu, je ale také třeba zabránit vzniku velkého množství velmi jemného materiálu, který se může zaklínit v mezerách větších částic a bránit proudění rozpouštědla. Difuzi z okraje částice do hlavního objemu rozpouštědla je možné urychlit mícháním, tím dojde k zvýšení vířivé difuze. Navíc míchání suspenzí s velmi jemnými částicemi zabraňuje sedimentaci a účinněji využívá mezifázový povrch. [2]

Rychlost extrakce je tedy obecně funkcí relativní rychlosti mezi kapalinou a pevnou látkou. V některých zařízeních je pevná látka v klidu a kapalina proudí přes lože částic, zatímco v některých kontinuálních zařízeních se pevná látka a kapalina pohybují protiproudě. [2]

K narušení buněčné stěny, což usnadňuje proces extrakce se kromě mletí používá také zmrazení a rozmrazení, bobtnání v čerstvé vodě, namáčení v organických rozpouštědlech, vaření rostlin (především využíváno pro sražení bílkovin před extrakcí olejů). Případně je možné také využít pulzního elektrického pole nebo ultrazvuku, toho se však využívá spíše v malých až laboratorních měřítkách. Ve velkém měřítku je obtížné nastavit hloubku průniku a energetickou účinnost. [3]

## 2.1.2 Základní metody extrakce pevná látka-kapalina

### 2.1.2.1 Perkolace

Při perkolaci je výchozí pevný materiál ve formě fixního lože a rozpouštědlo prochází tímto ložem, obvykle je poháněno gravitací shora dolů, může být čerpáno nebo rozprašováno přes materiál. Pro prodloužení celkové doby kontaktu lze rozpouštědlo recyklovat a několikrát jím prolít fixované lože, dokud nedojde k dostatečné separaci. Volný objem rostlinného materiálu musí být dostatečně velký, aby umožnil volný průchod rozpouštědla fixovaným ložem. Tato metoda není vhodná pro extrakci z velmi jemných částic a některých rostlin, protože mohou bobtnat a perkolátor ucpat. Pro perkolaci musí být tedy pevný materiál upraven tak, aby bylo dosaženo vysoké rychlosti průtoku rozpouštědla pevným ložem, která je výhodná pro odplavení roztoku extraktu z povrchu částic. Výhodou tohoto postupu je relativně nízké mechanické namáhání pevného materiálu a také filtrační schopnosti fixovaného lože, které zajišťují, že extrakt je



relativně bez obsahu pevných látek. Pokud se extrakce provádí čerstvým rozpouštědlem, může být vyluhování požadovaných složek v podstatě úplné. [4]

#### 2.1.2.2 Macerace

Zde je pevná látka ponořena do kapaliny, bez míchání. Extrakční proces probíhá pouze difuzí. Pokud probíhá za studena, nazývá se tento proces macerace, za vyšších teplot se jedná o digesci, jejíž typickým příkladem je vaření čaje. [4]

#### 2.1.2.3 Ponoření (Imerze)

Alternativním metodou je ponoření pevných částic do míchaného rozpouštědla, což zajišťuje velmi intenzivní kontakt mezi fázemi. Kromě toho se dobrým promícháním zvyšuje hnací síla, tedy rozdíl koncentrací mezi povrchem pevné látky a okolní kapalinou. V základu se jedná o jednostupňovou extrakci, kdy lze dosáhnout maximálně rovnováhy koncentrací daných složek mezi pevnou látkou a rozpouštědlem, což může v závislosti na rozpouštěcích vlastnostech způsobit, že v pevné látce zůstane významné množství požadovaných složek. Pro imerzi je třeba zmenšit velikost částic, aby se zmenšily difuzní cesty uvnitř pevných látek. Tato metoda je použitelná i pro pevné látky, které mají tendenci bobtnat nebo se rozpadat. Nicméně mechanické namáhání částic je poměrně vysoké a separace extraktu od pevných částic musí být provedena odděleně filtrací nebo odstředěním. To je důvod, proč je v průmyslu upřednostňován perkolační princip. [4]

V dnešní době lze většinu dostupných průmyslových zařízení rozdělit do dvou skupin podle toho, zda v nich dochází k perkolaci anebo ponoření. Perkolace je vhodnější pro pevné materiály s nízkým vnitřním odporem při přestupu hmoty, zatímco ponoření je lepší volbou, pokud je odpor proti difuzi uvnitř částic vysoký. [4]

#### 2.1.3 Zařízení pro vyluhování

Při loužení se obvykle uplatňují následující 3 procesy: [2]

- Rozpuštění rozpustné složky
- Oddělení vzniklého roztoku od nerozpustného pevného zbytku
- Promývání pevného zbytku za účelem zbavení se nežádoucích rozpustných látek nebo získání co nejvíce rozpustné látky jako produktu

Při konstrukci zařízení by měla být brána v potaz také recyklace rozpouštědel. Typ použitého zařízení závisí na povaze pevné látky, zda je zrnitá nebo buněčná a zda je hrubá nebo jemná. Níže



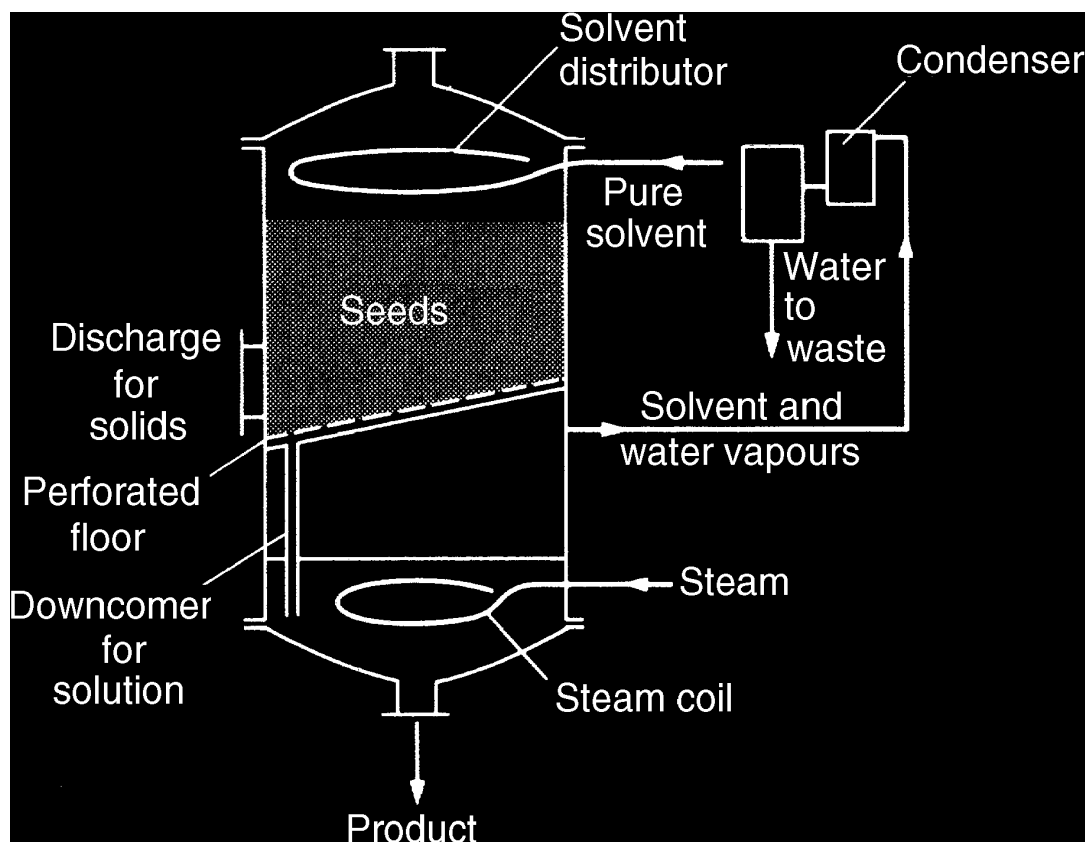
jsou popsány některé typické zařízení pro extrakci z buněčných materiálů, především ze semen. [2]

Pro účinnou extrakci složky z pevné látky do kapaliny je nutné provést kromě výběru vhodného zařízení také výběr vhodného rozpouštědla na základě fyzikálních a chemických vlastností, dostupnosti, ceny, bezpečnosti a dalších kritérií. Dále je nutné zvolit teplotu, velikost částic, poměr kapaliny a pevné látky a příp. hodnotu pH. [4]

Tato práce je zaměřena pouze na konstrukci extraktoru.

### 2.1.3.1 Vsádkové zařízení pro extrakci oleje ze semen [2]

Vsádkové zařízení pro extrakci oleje ze semen je znázorněno na obrázku 1. Skládá se ze svislé válcové nádoby, která je rozdělena šikmou přepážkou na dvě části. Horní část je naplněna semeny, na které je rozprašováno čerstvé rozpouštědlo. To, proniká přes semena a odtéká do spodního oddílu, který je vyhříván parní cívkou. Tam se spolu s vodou extrahovanou ze semen průběžně vyvaňuje. Páry kondenzují v kondenzátoru, recyklované rozpouštědlo se průběžně vrací zpět do zařízení a voda odchází do odpadu. Tímto způsobem vzniká koncentrovaný roztok oleje.



Obrázek 1: Vsádkové zařízení na extrakci oleje ze semen [2]



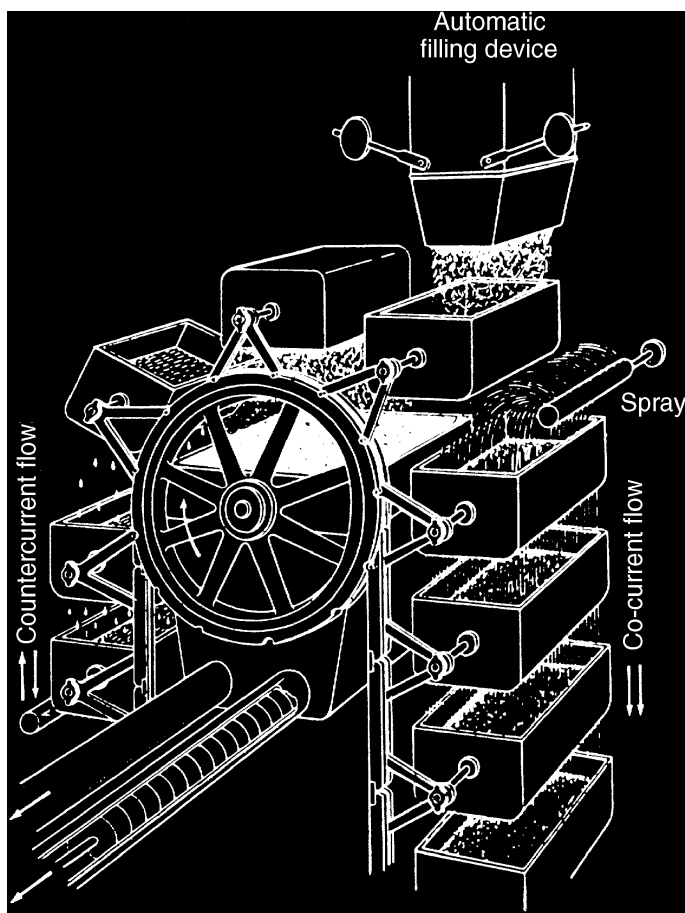
### 2.1.3.2 *Horizontální perforovaný pásový extraktor* [2]

Kontinuální extraktor, který je z mechanického hlediska pravděpodobně nejjednodušší perkolační extraktor. [2]

U horizontálního pásového extraktoru je základním principem extrakce střední hloubka lože na kontinuálním pásu bez přepážek. Extraktor je vybaven pomalu se pohybujícím "děrovaným pásem", který se pohybuje na ozubených kolech na obou koncích extraktoru. Řada speciálně navržených sít formuje děrovaný pás připevněný k řetězům. Pevné částice (např. semena) se přivádějí do násypky a dále na pás extraktoru a hladina se reguluje klapkou na výstupu z podávací násypky, aby se udržovala konstantní výška lože. Dvě boční stěny tělesa extraktoru poskytují oporu na pohyblivém pásu a bez přepážek v pásu se z lože materiálu stává souvislá hmota. Rychlost pásu je automaticky řízena hladinou materiálu ve vstupní násypce a je měřena jaderným senzorem, který řídí nastavitelný pohon rychlosti. Čerstvé rozpouštědlo, zavedené na výtlačném konci extraktoru, cirkuluje proti proudu materiálu působením řady stupňových čerpadel. Následně probíhá promývání. Kapalina z materiálového lože odtéká do finálních sběrných zásobníků. Zbýlý pevný materiál je likvidován rotačním shrnovačem, který zajišťuje rovnoměrný přísun extrahované moučky do odtokové části. [2]

### 2.1.3.3 *Bollmannův kontinuální extraktor s pohyblivým ložem* [2]

Bollmannův kontinuální extraktor je znázorněn na obrázku 2. Sestává se z řady perforovaných košů, umístěných v parotěsné nádobě a uspořádaných do systému kbelíkového výtahu, široce se používá u semen, která se při extrakci nerozpadají. Rozpouštědlo se rozstříkuje na pevnou látku a prochází koši směrem dolů tak, aby bylo dosaženo protiproudého toku, poté rozpouštědlo proudí dál dolů zbývajícími koši v souproudečném režimu.



Obrázek 2: Bollmanův kontinuální extraktor s pohyblivým ložem [2]

#### 2.1.3.4 Vsádkové loužení v míchaných nádržích [2]

Vsádková extrakce pevných látek v kapalinách se velmi často provádí v nádržích míchaných souosými oběžnými koly včetně turbín, lopatek a vrtulí. Po dokončení operace je třeba oddělit vyluhované pevné látky od extraktu, čehož lze dosáhnout usazováním s následnou dekantací nebo externě pomocí filtrů, odstředivek nebo zahušťovačů. Obtíže spojené s oddělením pevných látek a extraktu jsou jednou z hlavních nevýhod vsádkového provozu spolu se skutečností, že vsádkové míchací nádrže poskytují pouze jeden rovnovážný stupeň. [2]

#### 2.1.4 Typy extrakčních zařízení [4]

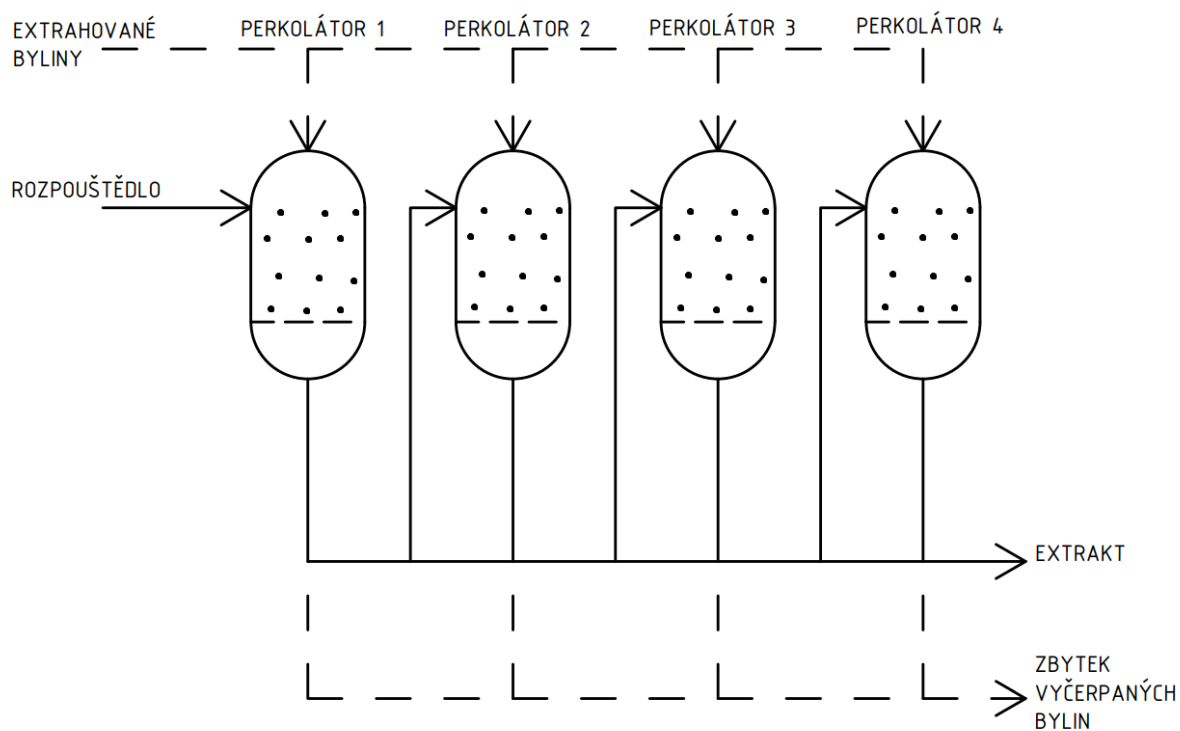
Jak už bylo zmíněno výše proces může probíhat vsádkově nebo kontinuálně.

##### a) Vsádková extrakce

Nejjednodušší, ale také nejméně účinná je jednostupňová vsádková extrakce. Provádí se např. ponořením látky v míchané nádobě nebo odstředivém extraktoru, ale i jako perkolační extrakce v nádobě s filtračním dnem. Hlavní nevýhodou tohoto procesu je poměrně dlouhá doba trvání a velká spotřeba rozpouštědla. Kvůli vysoké spotřebě rozpouštědla jednostupňové extraktory téměř zcela vymizely a nyní se používají pouze pro malé množství aplikací. Účinnější je



vícetupňová vsádková destilace v průmyslu nejčastěji zastoupena sérií perkolátorů v každém je pevná látka a rozpouštědlo je postupně přeléváno z prvního až do posledního perkolátoru, čímž je dosaženo vyšší koncentrace žádané složky v extraktu a snížena spotřeba rozpouštědla viz obrázek 3. [4]



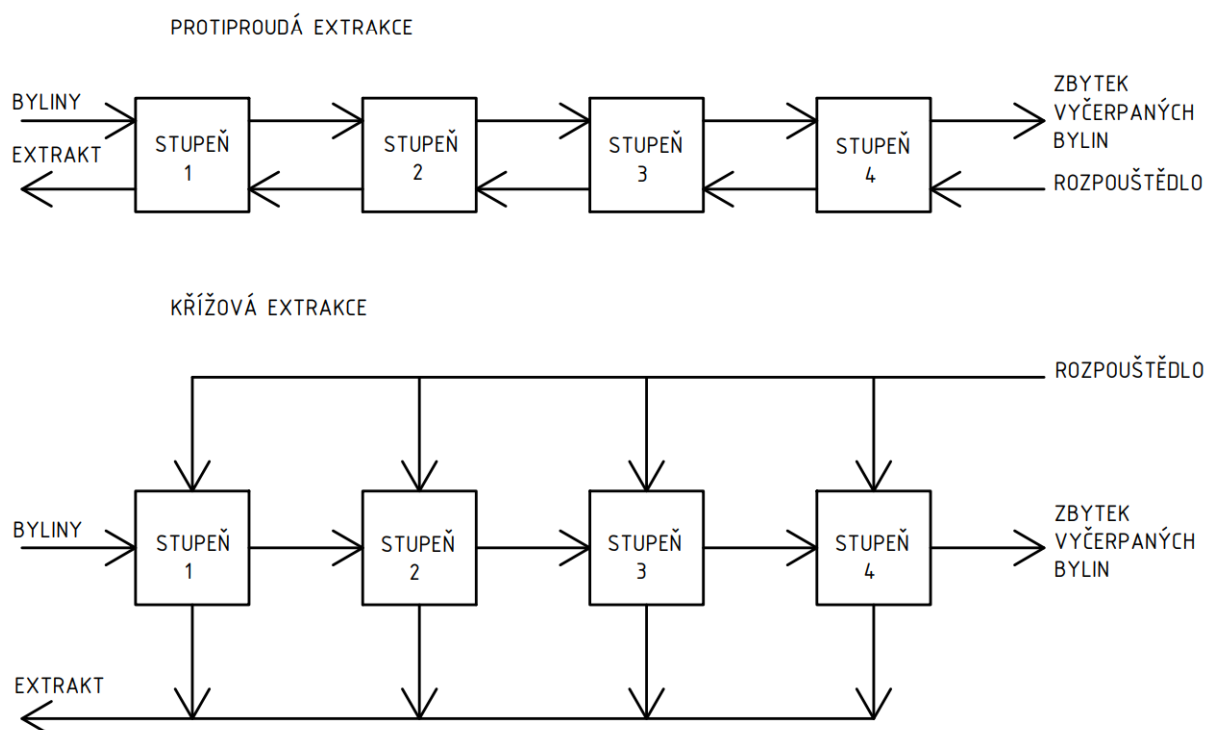
Obrázek 3: Schéma čtyřstupňové vsádkové perkolační extrakce [4]





## b) Kontinuální extrakce

Kontinuální protichůdné procesy umožňují zlepšení průmyslových extrakcí z hlediska účinnosti extrakce, spotřeby rozpouštědel a energie a pohodlí při provozu. Zařízení mohou pracovat v plně protiproudém režimu, což znamená, že pevná látka a rozpouštědlo procházejí proti sobě celým zařízením (obrázek 4). Výhodou tohoto postupu je, že čerstvé rozpouštědlo přichází do kontaktu s nejvíce vyčerpanou rostlinou, zatímco čerstvý rostlinný materiál přichází do kontaktu s již částečně obohaceným extraktem. Tím je vždy dosaženo vysokého rozdílu koncentrace extrahovaných složek mezi pevnou látkou a kapalinou. Další možností je provádět extrakci v režimu křížového proudění, kdy pevná látka prochází postupně celým zařízením, zatímco rozpouštědlo je přiváděno do každého extrakčního stupně čerstvé (obrázek 4). Tento provozní režim podporuje úplnou extrakci žádoucí složky, protože je vždy zachován nejvyšší možný rozdíl koncentrací. Potřebné množství rozpouštědla je však vyšší než v případě protiproudé extrakce. Ve většině komerčně dostupných zařízení se oba operační postupy kombinují tak, že v určitých sekcích extraktoru probíhají pevné látky a kapaliny protiproudě, zatímco v jiné sekci se pevné látky promývají čerstvým rozpouštědlem v režimu křížového proudu, aby se dosáhlo úplného vyčerpání rostlinného materiálu. [4]



Obrázek 4: Schéma kontinuální protiproudé a křížové extrakce [4]



#### 2.1.4.1 Vsádkové míchané zařízení

Tyto zařízení bývají často využívány jako pouhé mísiče, ale umožňují i extrakci pevná látka – kapalina. Níže jsou podrobněji popsány jednotlivé typy vsádkových míchaných zařízení.

##### a) Míchané extraktory s horním plněním

Extraktor se skládá z válcové nádoby s mechanickým míchadlem, ve vrchní části nádoby je otvor pro plnění extrahovanou směsí a rozpouštědlem (obvykle voda). Vyluhování se urychluje mechanickým mícháním směsi, což zlepšuje difuzní charakter při přenosu hmoty mezi pevnou látkou a kapalinou. Ve spodní části extraktoru je vypouštěcí ventil, kterým se po dokončení procesu odčerpá kapalná fáze pro další zpracování. Nevýhodou je velká spotřeba rozpouštědla a v případě jednostupňové extrakce nízká výtěžnost.

##### b) Horizontální bubnové rotační extraktory

V tomto případě je osa válcové nádoby umístěna horizontálně a plnicí otvor bývá umístěn na jejím boku. Nádoba se během procesu celá kontinuálně otáčí, uvnitř jsou pevné lopatky, které zajišťují převrácení extrahované směsi. Vyčerpaný materiál se obvykle vyhazuje otočením nádoby a vysypáním vsázky. Často bývá v extraktoru také parní regenerátor rozpouštědel, který zefektivňuje jejich využití.

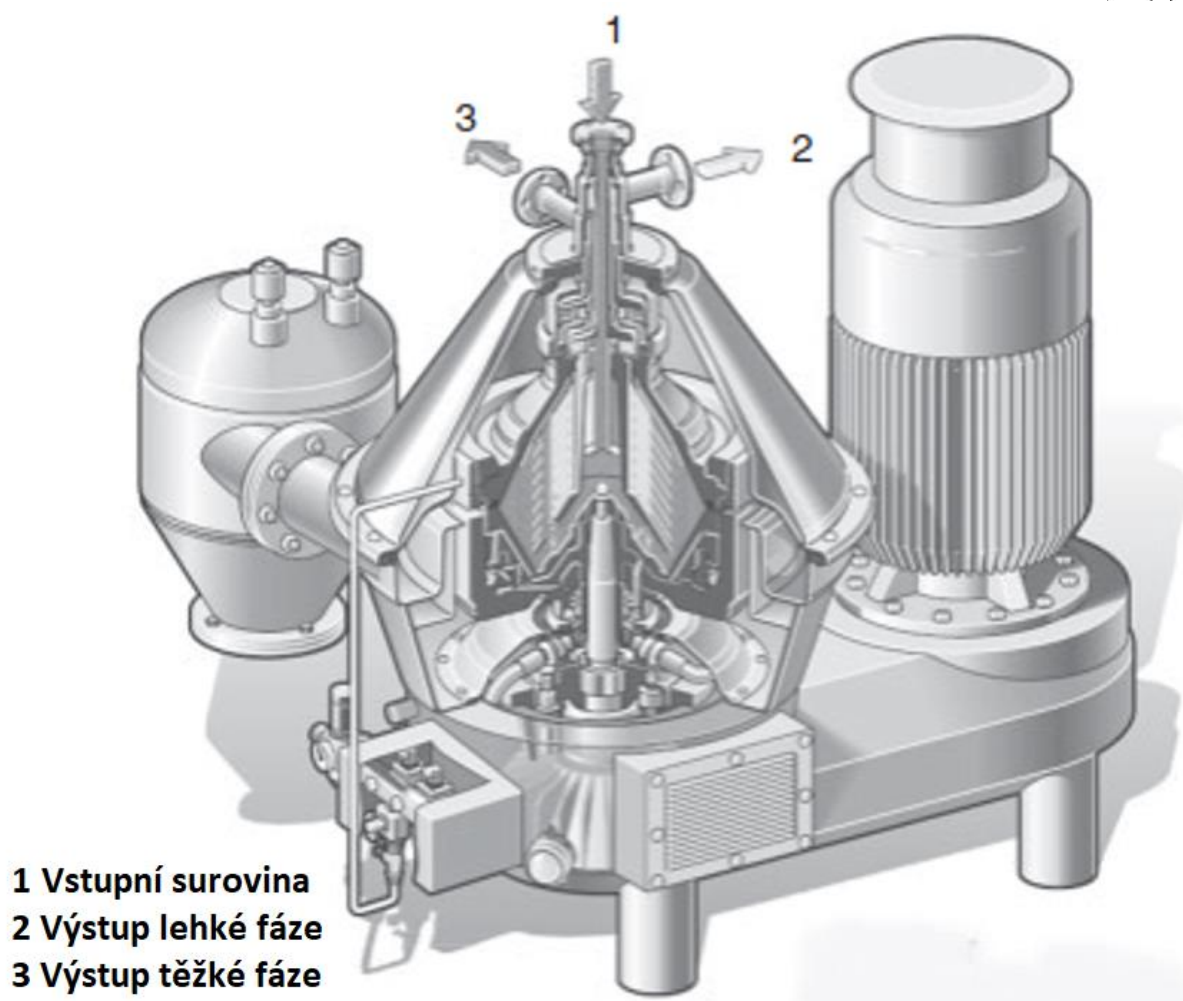
Bubnový rotační extraktor má tyto výhody: [5]

- Míchání má potenciál vysoké rychlosti přenosu hmoty, je tedy vhodný pro kapaliny i pevné látky.
- Vhodný pro velké objemy extrahovaného materiálu.
- Vhodný pro různé druhy rozpouštědel.
- Vhodný konstrukční návrh usnadní ruční manipulaci při vyprazdňování vyčerpaných vsázek.

Příklad konstrukce rotačního extraktoru popisuje detailněji např. patent od Kehse et al. [6]

##### c) Radiální odstředivé extraktory [7]

Odstředivé extraktory jsou válcové nádoby, které využívají odstředivé pole buď výhradně k separaci nebo míchání a separaci dohromady, v závislosti na účelu procesu a typu odstředivého extraktoru. Extrahovaná látka je radiálně promývána rozpouštědlem, intenzita extrakce se reguluje pouze rychlostí rotace. Příklad odstředivého extraktoru od firmy GEA je znázorněn na obrázku 5.



Obrázek 5: GEA Westfalia Separátor [4], [8]

Výhody odstředivých extraktorů:

- Kompaktní zařízení
- Krátké doba zdržení zpracovávaných kapalin – výhodné v případě drahých nebo hořlavých rozpouštědel
- Intenzivní míchání a velmi účinný přenos hmoty
- Možnost rychlého spuštění a vypínání, kdy lze rychle dosáhnout ustálených podmínek a udržet je i po vypnutí.

V dnešní době jsou odstředivé extraktory využívány především pro kapalinovou extrakci a v jaderném průmyslu. S prstencovými odstředivými kontakty je proveditelná i separace kapalina-pevná látka.

#### 2.1.4.2 Vsádkové perkolační extraktory

Vsádkový typ perkolačního extraktoru je buď válcová nádoba nebo častěji s kónickým profilem (viz obrázek 6), která je ve spodní části zakončena filtrem a případně ventilem. Spodní víko



nádoby je dvojitá a skládá se z filtru tzv. jalového dna, což je perforovaná deska, která slouží k zachycení pevného extrahovaného materiálu, a ze samotného víka nádoby, které je z plného materiálu a brání úniku extrakční směsi, slouží také k plnění i vyprazdňování. Konstrukce musí být taková, aby byl čas filtrace a vypouštění, co nejkratší. Po ukončení extrakce může být ze zbytku vakuem vysušena kapalná fáze a po otevření dna se extrakční zbytek oddělí od jalového dna a vysype. Proces může být vylepšen pomocí mechanického míchadla a zahřívání. Pevné látky musí být hrubě rozemlety, aby byl umožněn dobrý průtok ložem. Vzhledem k bobtnání organického materiálu je třeba pevné látky před filtrací navlhčit. Tento typ vsádkové extrakce je široce využíván pro přípravu extraktů z rostlin. [4]

Výhody perkolačních extraktorů: [9], [10]

- Kónický tvar zásobníku vyvolává rovnoměrnou distribuci rozpouštědla
- Snadné vyprazdňování surovin a čistitelnost zajišťuje komfortní provoz i rychlou výměnu produktů.
- Možnost použití různých rozpouštědel

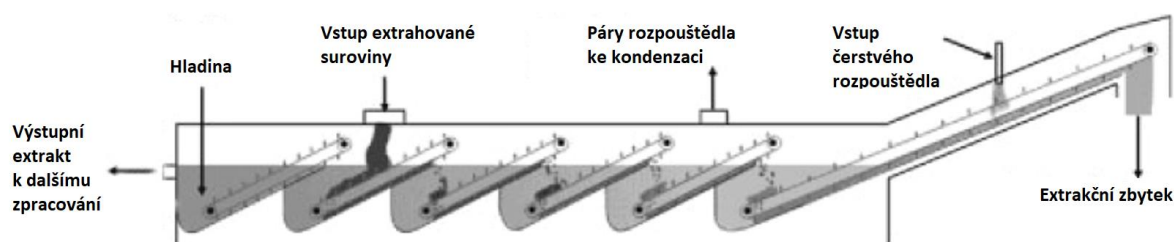


Obrázek 6: Perkolační extraktor – kapacita 1 m<sup>3</sup> [4]



### 2.1.4.3 Kontinuální extraktory ponorného typu

Většina kontinuálních extraktorů je založena na principu perkolace, ale existují i ponorné typy, např. model Crown Iron IV (viz obrázek 7), kde se surovina opravuje pomocí pásů proti proudu rozpouštědla a během přepravy se do rozpouštědla ponořuje. Toto protiproudé uspořádání umožňuje vypouštění extrahovaného materiálu z jednoho konce a extraktu z druhého konce. Surovina musí mít vyšší hustotu než rozpouštědlo. [4], [11]



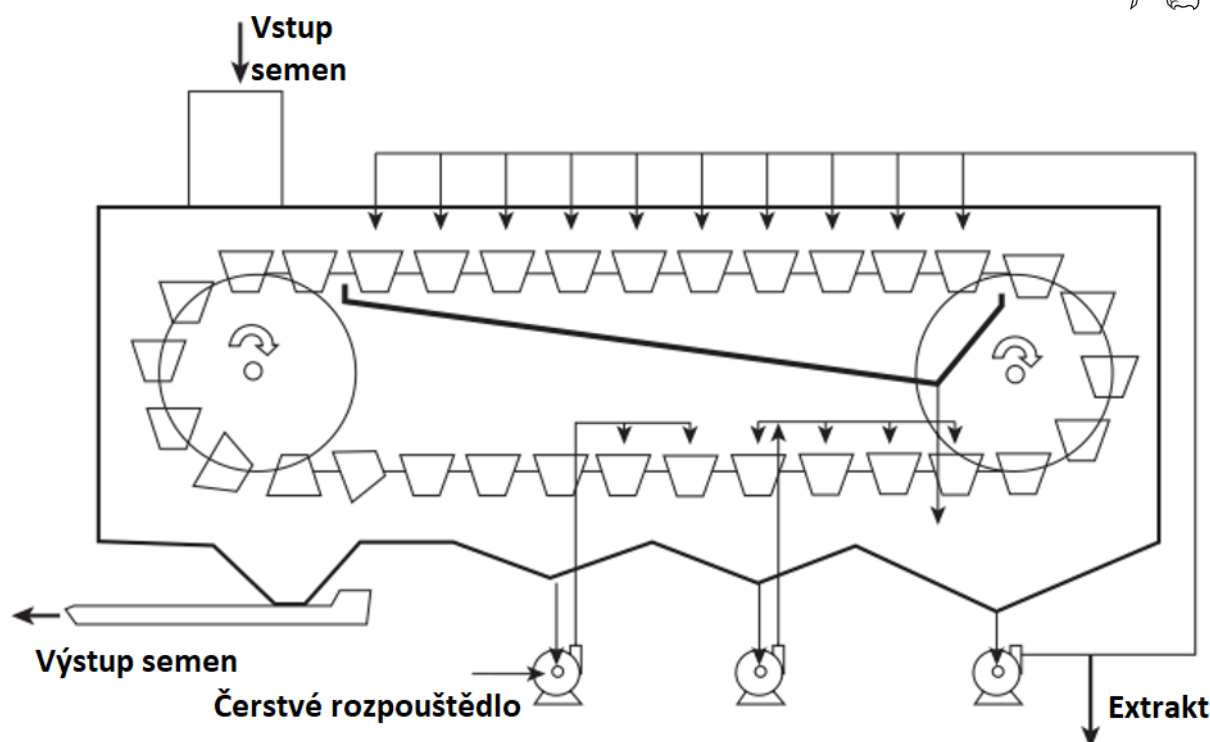
Obrázek 7: Crown Iron Model IV [4], [11]

Výhody modelu Crown Iron IV:

- Úplné ponoření zajišťuje dobrý kontakt s rozpouštědlem
- Úplný obrat lože zabraňuje ztuhnutí pevných látek a jejich ucpávání
- Mírný pohyb a otáčení lože minimalizuje lámání produktu
- Parotěsná konstrukce pro provoz s těkavými rozpouštědly
- Vhodný pro příliš jemné nebo hrubé částice nevhodné pro zpracování v perkolátorech

### 2.1.4.4 Kontinuální perkolační extraktory

Jedním z prvních kontinuálních extraktorů byl extraktor košového typu, viz obrázek 8, v němž je materiál přepravován v koších nesených řetězy. Tento typ byl později zdokonalen v podobě Lurgiho extraktoru s posuvnou buňkou. Z důvodu mechanických problémů následovaly rotační (karuselové) extraktory, které se používají hlavně pro extrakci sójového oleje, pásové extraktory, šnekové extraktory a extraktory typu U, v nichž jsou síta umístěna na dopravním pásu. Mnoho z těchto typů bylo vyvinuto pro cukrovarnický nebo ropný průmysl. [4]



Obrázek 8: Extraktor košového typu [4]

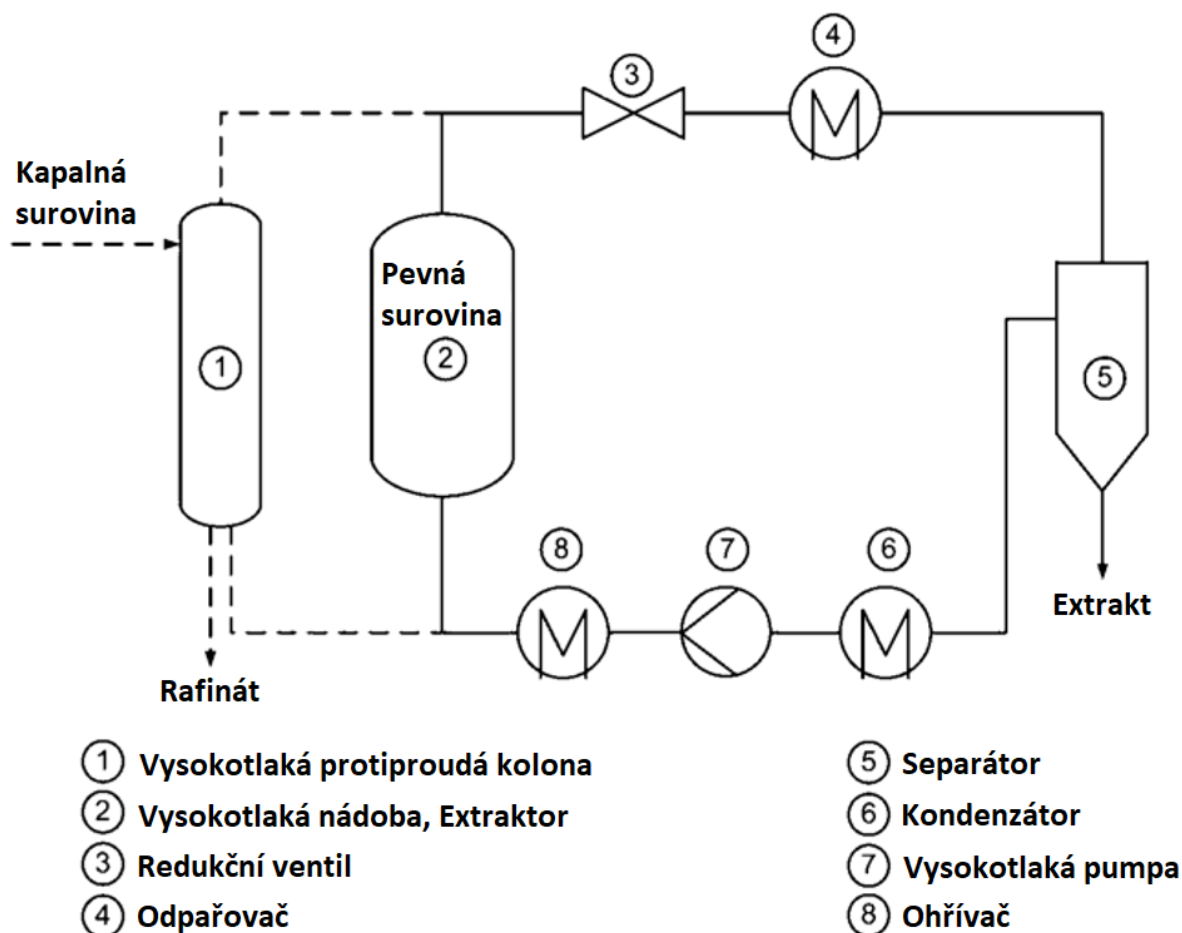
## 2.2 Superkritická extrakce [12], [13], [14], [15]

Alternativou ke klasické extrakci loužením, organickými rozpouštědly nebo lisováním je extrakce plynem v nadkritickém stavu. Superkritická extrakce je vhodná pro optimalizaci prostupu složky do extrakčního činidla. Za nadkritických podmínek plynu lze hustotu systému plynule měnit ve velmi širokém rozmezí. Toho lze využít, protože klíčové parametry extrakce jsou rozpustnost složek, viskozita a difuzivita, které závisí na hustotě. Zatímco rozpustnost ve vhodně zvoleném kapalném rozpouštědle je obecně dostatečně vysoká, vysoká viskozita a nízká difuzivita brání rychlému procesu extrakce. Nadkritické podmínky tedy umožňují optimalizaci mezi těmito mezními případy. Jako extrakční činidlo se často používá oxid uhličitý, ke kterému lze přidávat modifikátory pro úpravu polaritu a tím zvýšení rozpustnosti žádoucích složek. Za superkritické se považuje  $\text{CO}_2$  zahřáté na  $90^\circ$  Fahrenheita ( $32,22^\circ \text{C}$ ) při tlaku 1000 liber na čtvereční palec (6,89 MPa), takový plyn funguje jako rozpouštědlo, přičemž velmi dobře rozpouští oleje. Kritický bod může být ovlivněn rozpuštěnými složkami, proto je třeba zajistit určitou vzdálenost provozních podmínek od kritického bodu. [16], [17]

Obecně je superkritická extrakce jednoduchý cyklus, obecně znázorněn na obrázku 9, sestávající z extrakčního kroku a separačního kroku, kombinovaný tlakovým čerpadlem, například pístovým čerpadlem nebo dokonce membránovým čerpadlem, za separátorem a řízeným ventilem pro snížení tlaku před separátorem. Při zpracování pevného materiálu se používají vysokotlaké



nádoby vybavené rychlouzávěry a vnitřními koši a proces probíhá vsádkově. Pokud je vstupním materiálem kapalina, například esenciální nebo rostlinný olej, bude protiproudá kolona se strukturovanou výplní pracovat kontinuálně. Kromě těchto hlavních součástí jsou pro ohřev, odpařování a kondenzaci cirkulujícího CO<sub>2</sub> zapotřebí výměníky tepla. Kroky procesu jsou následující: po naplnění koše tlakové nádoby upraveným přírodním materiálem se uzamknou uzávěry nádoby. Kapalný CO<sub>2</sub> ze zásobní nádrže se stlačí a zahřeje na požadované superkritické procesní podmínky a prochází extrakční nádobou v plynné formě obvykle směrem vzhůru ode dna k vrcholu. V závislosti na stanovených podmínkách a odpovídající rozpustnosti dochází k prostupu rozpuštěných látek do rozpouštědla. Superkritická tekutina se dopraví do separační nádoby, kde se upravením teploty a tlaku změní fázová rovnováha tak, aby se rozpuštěné látky vysrážely. CO<sub>2</sub> opouští separátor v plynném stavu. V následném kondenzátoru se zkapalňuje a poté je recirkulován čerpadlem. [16], [17]



Obrázek 9: Obecné schéma superkritické extrakce pro kapalnou nebo pevnou vstupní surovinu [4]

K extrakci jsou obvykle zapotřebí malá technologická zařízení pracující při tlacích mezi 10 MPa až 100 MPa. Objem vysokotlakých nádob se pohybuje od 1 l do 300 l. Kromě některých velkých zařízení používaných pro průmyslovou, výrobu např. bezkofeinové kávy, existuje řada menších



víceúčelových zařízení, která získávají extrakty z různých přírodních materiálů, jako například extrakce olejů ze semen, obilovin a dřev, nebo extrakce aromatických sloučenin z bylin. [16],

Výhody superkritické extrakce pomocí CO<sub>2</sub>: [12], [16], [13]

- Nízké teploty ve srovnání s parní destilací (lze extrahovat rostlinné složky citlivé na vysoké teploty)
- Silně difuzní proces umožňuje extrakci olejů ze dřeva i ovocných jader používaných v kosmetice
- Vyšší výtěžnost olejů snižuje jejich obsah ve zbytkové hmotě
- Chuť a vůně zůstávají nezměněny (CO<sub>2</sub> nemá charakteristický zápach)
- CO<sub>2</sub> je levný, není hořlavý, je antibakteriální, fyziologicky neškodný
- Produkty neobsahují zbytky rozpouštědel (náhrada škodlivých organických rozpouštědel)
- Rozpouštěcí schopnost CO<sub>2</sub> lze zvýšit modifikujícími činidly
- Neexistují žádné ekologické problémy jako v případě extrakce konvenčními rozpouštědly

## 2.3 Další extrakční metody

Zvýšit přenos hmoty a ovlivnit rovnováhu je možné dodáním energie do extrakčního procesu. Dvě možnosti, které se technicky používají, jsou mikrovlnná extrakce a ultrazvuková extrakce. U obou těchto technologií je sporné, zda je lze ekonomicky převést do výrobního měřítka, protože technická složitost použití ultrazvuku nebo mikrovln ve velkých zařízeních je vysoká. Použití v pásových extrakčních zařízeních je však možné z důvodu poměrně tenké vrstvy pevných látek. [4]

### 2.3.1 Ultrazvuková extrakce

Ultrazvuková extrakce je netepelná, nechemická extrakční technika, založena na principu akustické kavitace a jedná se o čistě mechanickou úpravu, která je ovlivněna surovinou, rozpouštědlem a propustností.

Extrahované složky jsou často uzavřeny v nerozpustné buněčné membráně, tu je nutné rozrušit. Vhodným prostředkem pro rozpad buněk jsou ultrazvukové vlny, ty usnadňují bobtnání a hydrataci rostlinných materiálů a způsobují tak rozšíření pórů buněčné stěny. Lepší bobtnání zlepšuje rychlost přenosu hmoty, dochází k narušení buněčné stěny, což vede ke zvýšení účinnosti extrakce a zkrácení doby extrakce, rozpouštědlo rychleji a lépe proniká do rostlinné tkáně, a





zlepšuje tak přenos hmoty. Kromě toho působením ultrazvuku vzniká oscilující výkyv tlaku, který periodicky urychluje tok rozpouštědla uvnitř pórů pevné látky, což zlepšuje přenos hmoty. [4]

Tvrdé tkáně by měly být před ultrazvukem podrobeny maceraci, mletí nebo pulverizaci.

Výhody ultrazvukové extrakce: [12]

- Vysoké výnosy
- Rychlý proces
- Šetrný k životnímu prostředí
- Rychlá návratnost investic
- Kompatibilní s téměř jakýmkoli rozpouštědlem (Nejčastěji ethanol, voda, směs ethanol/voda, glycerin a rostlinné oleje)
- Výrazně lepší výsledky při zpracování hodnotných koření jako je šafrán (ultrazvuková extrakce zvyšuje výtěžnost a zkracuje dobu zpracování)
- Možnost laboratorního použití ve stolním měřítku
- Pro speciální aplikace, nebo identifikaci neúčinnějších nastavení, lze amplitudu i tlak měnit v širokém rozsahu, stejně tak intenzitu kavitační charakteristiky.
- Kavitace snižuje velikost částic a tím zvyšuje kontaktní plochu mezi pevnou a kapalnou fází

Zvýšení účinnosti: [19]

Pro zlepšení procesů lze ultrazvuk kombinovat s dalšími metodami.

- Termosonikace (teplo a ultrazvuk)
- Masonicace (tlak a ultrazvuk)
- Mano-termo-sonikace (tlak, teplo a ultrazvuk)

#### *2.3.1.1 Akustická kavitace*

Vysoce energetické ultrazvukové vlny procházejí kapalinou nebo suspenzí a vytvářejí střídavé vysokotlaké/nízkotlaké cykly, což vede k jevu akustické kavitace. Během nízkotlakého cyklu vytvářejí ultrazvukové vlny vysoké intenzity malé vakuové bubliny nebo dutiny v kapalině. Když bubliny dosáhnou objemu, při kterém již nemohou absorbovat energii, prudce se zhroutí během vysokotlakého cyklu. Akustická kavitace vede lokálně k extrémním podmínkám, jako jsou velmi vysoké tlakové rozdíly a vysoké smykové síly. Když kavitační bubliny implodují na povrchu



pevných látek (jako jsou částice, rostlinné buňky, tkáně atd.), generují efekty jako je rozpad částic, sonoporace (perforace buněčných stěn a buněčných membrán) a komprese a dekomprese v materiálu s následným narušením buněčných stěn. Během imploze je lokálně dosaženo velmi vysokých teplot (cca 5 000 K) a tlaků (cca 2 000 atm). Imploze kavitační bubliny má rovněž za následek proudění kapaliny o rychlosti až 280 m/s. Výsledné smykové síly mechanicky narušují obal buňky a zlepšují přenos materiálu. Navíc implozí kavitačních bublin v kapalném médiu vznikají turbulence a neklid, který podporuje přenos hmoty mezi vnitřkem buňky a okolním rozpouštědlem. V závislosti na surovině může proces ultrazvukové extrakce vyžadovat vysoké intenzity, např. pro rozbití tuhých rostlinných buněk nebo materiálu s vysokým obsahem celulózy. Ultrazvukové sondy mohou generovat velmi vysoké amplitudy, které jsou nezbytné pro vytvoření impaktní kavitace. Ultrazvuk může mít na buňky destruktivní nebo konstruktivní účinky v závislosti na použitých parametrech sonikace. [18]

### 2.3.2 Mikrovlnná extrakce

Použití mikrovln má tu výhodu, že se rozpouštědlo zahřeje rychleji než při nepřímém vnějším ohřevu a ohřev probíhá přímo uvnitř pevných látek, kde dochází k rozpouštění složek extraktu, což celý proces urychluje. Velmi důležitý je typ použitého rozpouštědla, mělo by absorbovat mikrovlny, aniž by docházelo k silnému zahřívání, aby se zabránilo degradaci složek extraktu. [4]

### 2.3.3 Kapalinová extrakce za vysokého tlaku

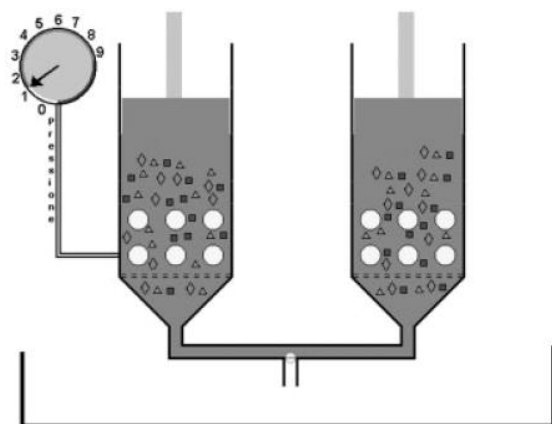
Extrakce pevné látky kapalinou (rozpouštědlem) pod tlakem vede k vyššímu bodu varu a tím je možné zvýšit teplotu, aby se snížil odpor při přenosu hmoty a optimalizovala rozpustnost rozpouštěných látek a tím se zvýšila extrakční účinnost. Vyšší tlak také usnadňuje pronikání kapaliny do pevných látek. Vyššího tlaku se dosahuje stlačením extraktu například inertním plynem, jako je dusík. Tato metoda byla vyvinuta pro analytické účely, využívá standardně zvýšené teploty (100 °C až 180 °C) a tlaky (100 bar až 140 bar). Tato technologie se prozatím nepoužívá ve výrobním měřítku, dle dostupných materiálů, se z ekonomických důvodů využívá pouze laboratorně. [4]

Použití tlaku pro zlepšení extrakce je také základem patentovaného postupu. [20]

Ten je provozován při nízké teplotě, a je tedy užitečný zejména pro tepelně citlivé produkty, jako jsou byliny. Principem je dávková macerace, při níž je nádoba natlakovaná na 8-10 barů. Tlak zlepšuje difúzi rozpouštědla do rostlinného materiálu. Při odtlakování systému dochází k sacímu



efektu, který zlepšuje účinnost extrakce. Několikanásobným opakováním postupu se údajně dosáhne úplného vyčerpání rostlinného materiálu. Schéma je znázorněno na obrázku 10. [4]



Obrázek 10: Naviglio extraktor [4]

#### 2.4 Následné zpracování finálního extraktu [4]

Kromě předpracování vstupní suroviny před extrakcí musí být i získaný extrakt často dále upraven, aby bylo dosaženo požadované formy a kvality. Následující kroky mohou být:

- Filtrace – oddělení pevných látek
- Zahuštění extraktu – např. odpařením rozpouštědel
- Obohacení cílových složek kapalinovou extrakcí, chromatografie
- Membránová separace, krystalizace atd.
- Odstraňování nečistot, jako jsou těžké kovy nebo polyaromatické uhlovodíky
- Tepelné zpracování, pasterizace kapalných extraktů
- Sušení produktů a technologie tvorby produktů pro pevné extrakty (např. sušení rozprašováním, granulace atd.)

### 3 PRŮZKUM TRHU

#### 3.1 Horizontální bubnové rotační extraktory

Bubnové rotační extraktory vhodné pro velké odsávací kapacity, dodává například firma ATHENA PROCES DESIGN AND MANUFACTURING. Používají se pro míchání pevné látky a kapaliny a mají potenciál vysoké rychlosti přenosu hmoty. Jsou doplněny o regenerátor rozpouštědla nepřímým ohřevem párou. Vhodná konstrukce zajišťuje méně ruční manipulace při vyprazdňování vyčerpaných materiálů. [5]



*Obrázek 11: Horizontální rotační extraktor od firmy Athena Process design and manufacturing [5]*

Dalším zástupcem je například míšič od firmy Lödige, viz obrázek 12, který je primárně k míchání, lze ho ovšem použít i na extrakci, jeho výhodou je především možnost vícestupňového procesu.



*Obrázek 12: Lödige ploughshare mixer [21]*



### 3.2 Radiální odstředivé extraktory [7], [8]

Radiální odstředivky dodává firma GEA, příkladem jsou odlučovače využívající se ve farmaceutickém průmyslu k extrakci pevná látka-kapalina, viz obrázek 13. Odstředivá extrakce pomocí odlučovačů od GEA přináší následující výhody: Optimální propustnost s minimálními nároky na prostor. Vyšší celkový výtěžek s významným zlepšením výměny látek mezi fázemi tím, že se zamezí zpětnému míchání.



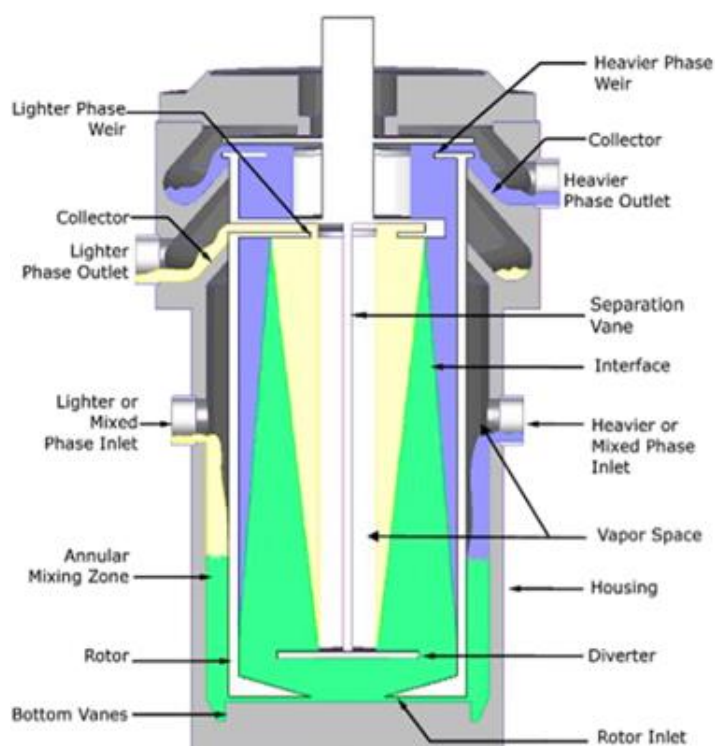
Obrázek 13: Odstředivý extraktor vyráběný firmou GEA [8]

Specifickým typem radiálních odstředivých extraktorů jsou prstencové odstředivé kontakory. Pro ilustraci jejich principu je použita komerčně využívaná verze CINC (Costner Industries Nevada Corporation, Inc.), model V 02.

Jak je znázorněno na obrázku 14, tato odstředivka je vzpřímené, axiálně symetrické zařízení, jehož základem jsou dva sousední válce: vnější stacionární tvořící kryt, a vnitřní (rotor), který je pomocí hřídele spojen s namontovaným elektromotorem. Tyto dva válce mají různý průměr a vytvářejí mezi sebou prstencovou mezeru, která je směšovací/reakční komorou. Do této komory vstupují obě fáze buď odděleně ze dvou otvorů nebo již smíchané z jednoho vstupního otvoru. Tyto vstupy jsou tangenciální, zavádějí kapaliny ve stejném směru otáčení, ale na opačných stranách skříně. Jakmile kapaliny vstoupí do prstence, dostanou se do přímého kontaktu s vnějším povrchem vnitřního rotujícího válce a působením tření jsou kapaliny vystaveny vysokým smykovým silám, které způsobují intenzivní míchání obou fází. To vede k jemné disperzi s vysokou mezifázovou plochou, a tím k účinnému přenosu hmoty. Poté dispergovaná směs gravitačně



stéká na dno skříně, kde je umístěno množství lopatek, které jsou zakřiveny ve směru otáčení rotoru. Tyto lopatky mají zásadní význam v tom, že zastavují rotační pohyb kapalin vyvolaný v prstenci a umožňují, aby disperze proudila pod rotorem se sníženou turbulencí. Kdyby tam tyto lopatky nebyly, disperze by se hromadila v prstencové oblasti a vytékala výstupním otvorem lehké fáze. Díky jejich konstrukci je směs usměrňována do středu množiny lopatek, aby proudila vzhůru otvorem ve spodní části rotoru, jehož vnitřek představuje odstředivou separační komoru.



Obrázek 14: Průřezové schéma ACC vytvořené CINC. Žlutá barva označuje vstupující lehkou fázi, modrá těžkou a zelená disperzi. [22] (licence Creative Commons CC-BY od MDPI)

### 3.3 Perkolátory

Výrobou vertikálních perkolátorů, které jsou vhodné pro střední výkony, se zabývá také ATHENA PROCES DESIGN AND MANUFACTURING. [5]

Extraktory této firmy jsou doplněny o: [5]

- Perforovanou desku pro rovnoměrné rozložení produktu
- Lopátkové míchadlo, které zajistí dostatečné mísení extrahované směsi
- Speciální turbo míchadlo
- Nabízejí úpravy pro konkrétní produkt

Společnost DEVEX vyrábí perkolátorové zařízení na míru o velikosti 20 l až 10 m<sup>3</sup>, pro vysokotlaké extrakce max. 40 barů, ale i standardní extraktory v rozmezí 0,5-3 bary s možností jednostupňové



i vícestupňové extrakce. Příklad pilotního extrakčního závodu od firmy Devex je znázorněn na obrázku 15. [9]



Obrázek 15: DEVEX pilotní extrakční závod 2 x 100 l extraktory pro extrakci kapalina-pevná látka různých produktů. [9]

Dalším výrobcem je společnost united stream, jejichž e&e perkolátory mají objem od 50 l po 20 m<sup>3</sup> a pracují s tlaky v rozmezí 1–24 barů. Perkolátory jsou jedno i více stupňové, s protiproudým odsáváním a možností použití různých rozpouštědel, dále jsou doplněny o regenerátor rozpouštědel, napařování, a vakuové stripování. Příklad je uveden na obrázku 16. [10]



Obrázek 16: Perkolátory od firmy United stream [10]



### 3.4 Cirkulační síťové extraktory s pístovým výhozem extrakčního zbytku

Cirkulační extraktory pracují na principu promývání extrahované látky rozpouštědlem. Pístový výhoz může sloužit také k lisování bylin. Extraktory bývají vybaveny regulací teploty a tlaku které lze plynule řídit podle použitého vstupního materiálu. Případná integrace regenerátoru rozpouštědel může snížit procesní náklady.

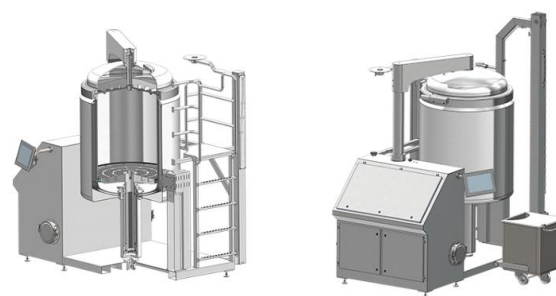
Výrobce cirkulačních pístových extraktorů s pístovým výhozem je například firma Samtech, ta dodává extrakční zařízení DIG-MAZ, viz obrázek 17, které spojuje několik extrakčních procesů jako jsou perkolace, digesce, macerace a destilace. Samotnou extrakci lze řídit tlakem i vakuem a teplotou od -40 °C po 250 °C, dodávají i zařízení podle specifických požadavků na výrobu. [23]

Výhody cirkulačních síťových extraktorů: [23]

- Možnost lisování bylinek
- Krátká doba extrakce
- Získávání vysoce kvalitních extraktů
- Uzavřený okruh rozpouštědla
- Vyšší výtěžnost cenných materiálů
- Automatická filtrace
- Proces pod tlakem a vakuem
- Parní sterilizace bylinek
- Teplá i studená extrakce

#### DIG-MAZ 1000

Extraktor – prostor pro bylinky (litr)	1000
Extraktor – pracovní tlak (bar)	Max. 8
Extraktor – Teplota (°C)	Max. 120
Potrubní systém	DN 50
Průtok Litr/min	Max. 350
Délka x šířka x výška (mm)	2800 x 2650 x 3550



Obrázek 17: Příklad extraktoru DIG-MAZ firmy Samtech s pracovním objemem 1 m.<sup>3</sup> [23]

### 3.5 Vinifikátory [24]

Vinifikátory jsou zařízení využívaná ve vinařství, jedná se o kvasné nádrže, ve kterých fermentuje rmut z červených hroznů, matolinový koláč plave na hladině a musí se tedy pravidelně potápět. Potápění může být prováděno radiálním mícháním, bočně nebo vertikálně, případně pomocí





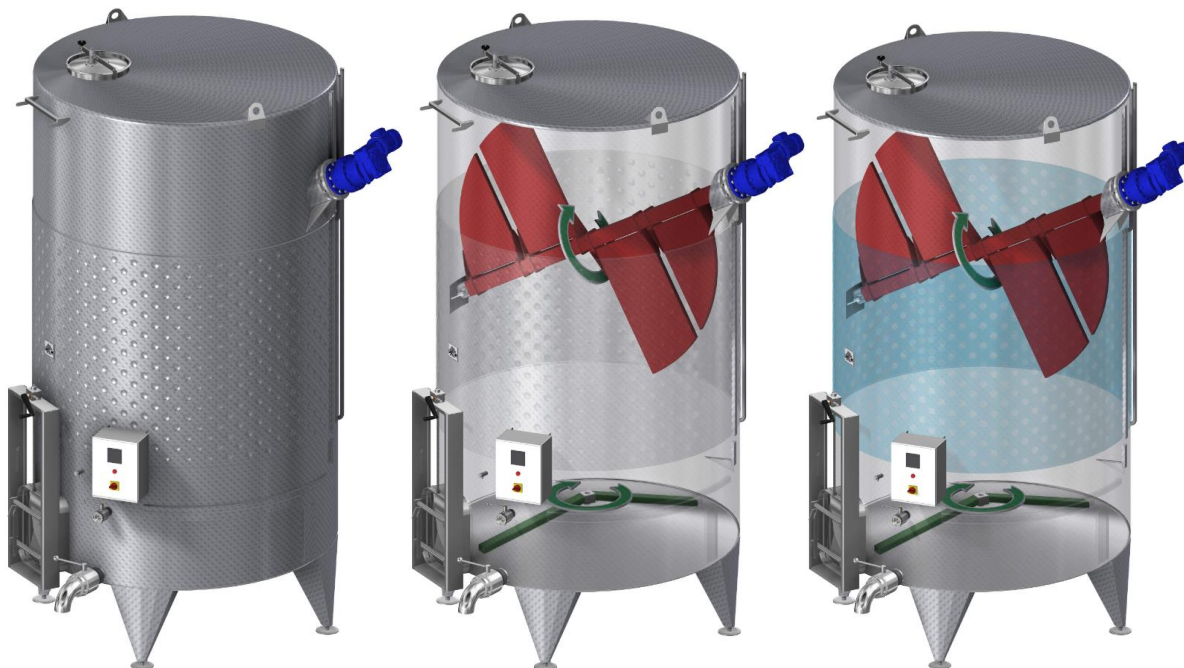
pístového mechanismu. Teplota rmutu se udržuje dvojitým dnem i pláštěm, případně je zařízení doplněno o elektrický ohřivač, obdobně chlazení, které může být prováděno deskovým výměníkem. Firma UNICOM nabízí libovolné rozmístění ventilů, průlezů a vrat se šikmým případně kuželovým dnem (spád od 5 do 35%).

Vinifikátory firmy UNICOM jsou vyráběny z materiálů AISI 304 (DIN 1.4301, ČSN 17.240), AISI 316 (DIN 1.4401, ČSN 17.346).

Podle systému potápění matolinového koláče rozdělujeme vinifikátory na skrápěcí, rotační, pístové a vinifikátory se šikmým míchadlem.

a) Vinifikátor se šikmým míchadlem

Vertikální nádoba je vybavena elektricky poháněným šikmým míchadlem, viz obrázek 18.



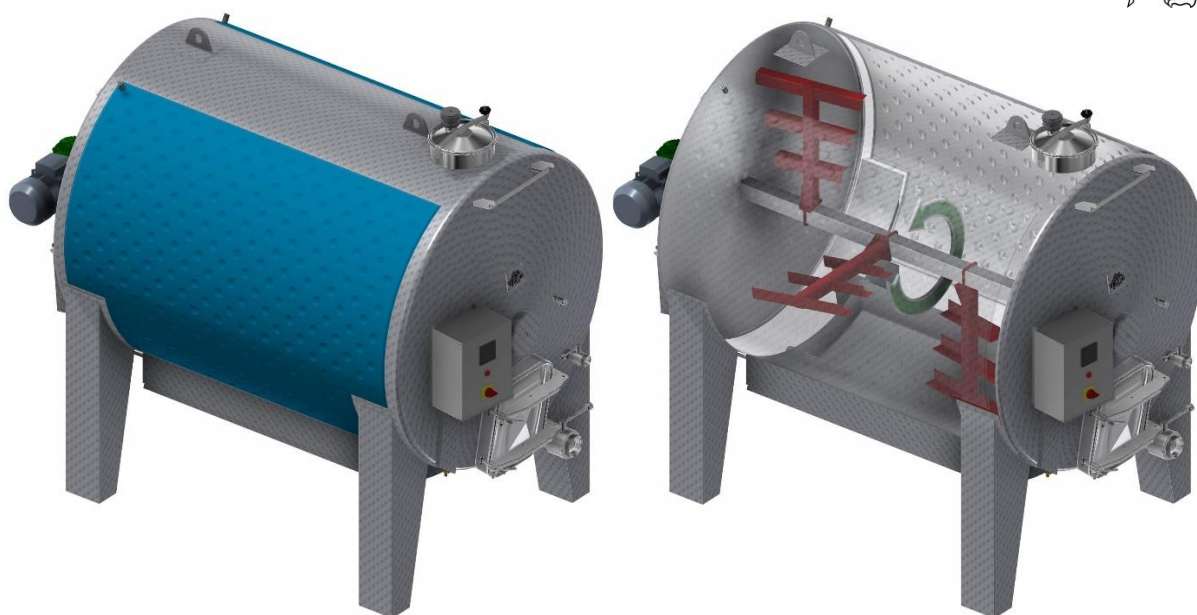
Obrázek 18: Vinifikátor se šikmým míchadlem od firmy UNICOM [24]

b) Skrápěcí vinifikátor

Zkrápění matolinového koláče je prováděno pevným nebo rotačním skrápěcím zařízením, pro přečerpání rmutu je nádoba doplněna čerpadlem. Lze také kombinovat s pístovým řešením.

c) Rotační vinifikátor

Jde o válcovou nádobu doplněnou několika elektricky poháněnými mimoběžnými lopatkami, které se otáčejí a zajišťují tak míchání. Nádrž může být umístěna horizontálně i vertikálně. Příklad od firmy UNICOM je znázorněn na obrázku 19.



Obrázek 19: Rotační vinifikátor firmy UNICOM [24]

d) Pístový vinifikátor

Válcová nádrž je vybavena pneumatickými písty s ponornými elementy, které zajišťují míchání, viz obrázek 20.



Obrázek 20: Pístový vinifikátor od firmy UNICOM [24]

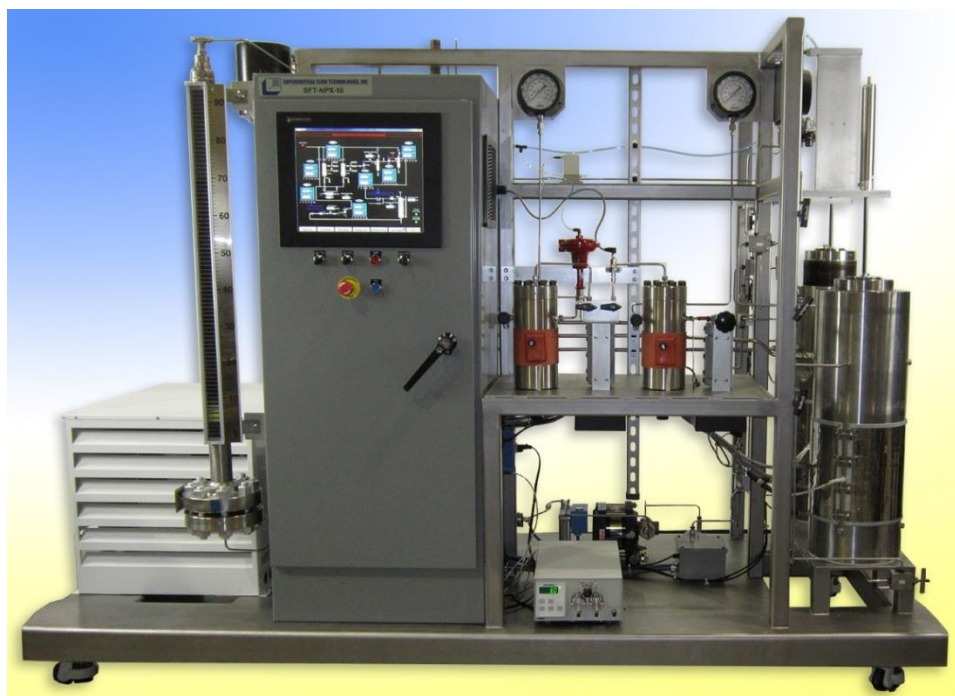
Příklad konstrukce vinifikátoru popisuje detailněji např. patent od Eugene Scazzola. [25]



### 3.6 Superkritická extrakce

Superkritickou extrakci se zabývá např. rakouská firma Natex. [26]

Dalším dodavatelem je Supercritical Technologies, inc., který se zabývá výrobou superkritických extraktorů, použitelných především v laboratorním měřítku od 5 do 20 l vzorku. Příkladem je systém SFT-NPX-10, viz obrázek 21, který pracuje s jednou nebo dvěma 10 l extrakčními nádobami schopný provozu až 690 barů při teplotě 120 °C. Systém je namontovaný na mobilním ocelovém rámu případně nerezovém s postříkem z práškové oceli. Součástí je pneumatické čerpadlo o průtoku 0,1-1 kg/min s bezvodým dochlazovačem, výměník tepla a tlak je řízen regulačními ventily. Systémy dodávají také s možností recyklace kapalného CO<sub>2</sub> a rozpouštědla. [17]



Obrázek 21: systém SFT-NPX-10 od firmy Supercritical Technologies, inc. [17]

Pro průmyslové aplikace vyrábí superkritické extraktory společnost Isolate Extraction Systems ve velikostech od 50 do 200 l a průtoky 8,2 až 42,2 kg/min. Výhodami, které slibují jsou stálá doba provozuschopnosti a špičkové průtoky. [27]

Pro ukázkou je zvoleno zařízení CDMH.100-2x-2f, viz obrázek 22., které je vybaven dvěma 100 l nádržemi. [28]



Obrázek 22: Průmyslový superkritický extraktor CDMH.100-2X-2F společnosti Isolate Extraction Systems s průtokem 20 kg/min. [28]

### 3.7 Kavitační extraktory [12], [29]

Hielscher Ultrasonics vyrábí vysoce výkonné extrakční systémy od malých laboratorních, středně velkých až po ty největší pro plně průmyslovou výrobu několika tun za hodinu.

Dodávají také ultrazvukové procesory, s amplitudou až 200  $\mu\text{m}$  při nepřetržitém provozu 24/7. Pro ještě vyšší amplitudy nabízí specifikované vysoko amplitudové sonotrody (sondy). K zesílení kavitace se používají tlakovatelny ultrazvukové reaktory a průtokové buňky. S rostoucími tlaky se kavitace a kavitační smykové síly stávají destruktivnějšími a zlepšují se tak účinky ultrazvukové extrakce.

Příkladem je ultrazvukový procesor UIP4000hdT – 4kW, viz obrázek 23, který je vhodný pro objemy 10-100 l a průtoky 2-10 l/min s ultrazvukovým výkonem až 4kW. Je určen pro průmyslové procesy s vyšší energetickou náročností a velkými objemy. Typické aplikace UIP4000hdT zahrnují homogenizaci, emulgaci, dispergování a jemné mletí částic, extrakci, rozpouštění nebo sonochemické reakce, jako je sono-syntéza a sono-katalýza. Tento vysoce výkonný systém je zvláště výhodný, protože nejsou nutná žádná další chladičí média, jako je voda nebo stlačený vzduch. Speciální konstrukce tohoto systému umožňuje jeho použití v extrémních provozních podmínkách, jako je prach, špína, teplota a vlhkost. Ultrazvukový procesor se skládá z titanu a nerezové oceli, je doplněn o oscilační přírubu pro integraci do strojů a byl přizpůsoben novým



technickým podmínkám z hlediska správného oscilačního chování. Převodník a generátor jsou umístěny odděleně od sebe a jsou propojeny kabely. Více modulů UIP4000hdT lze snadno kombinovat a vytvářet jednotky s vyššími procesními kapacitami. [30]



*Obrázek 23: Ultrazvukový procesor UIP4000hdT – 4kW [30]*



## 4 PŘEDSTAVA NAVRHOVANÉHO EXTRAKTORU

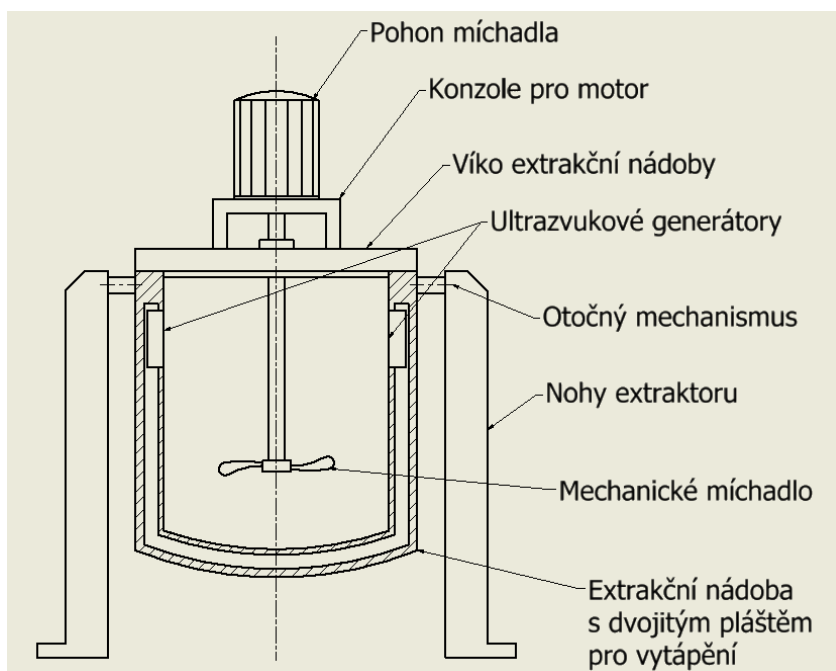
Při návrhu extraktoru se budu soustředit na tyto parametry:

- Vysoká účinnost extrakce (Výtěžnost)
- Snadné vyjmutí extrakčního zbytku (Možnost vyjmutí v koši s membránou)
- Možnost maximálního vysušení extrakčního zbytku od rozpouštědel, ještě před vyjmutím z extraktoru (Využití pístu, nebo pomocí vakua)
- Kombinace vhodných principů, případně inspirace konkrétním zařízením
- Ideální provozní podmínky
- Jednoduchý design
- Extrakční prostor 1 m<sup>3</sup>

Návrh se bude odvíjet od tří variant:

### a) Mechanický mísič podpořený ultrazvukovou kavitací

Do nádoby s dvojitým pláštěm se nasype směs extrahovaného materiálu s rozpouštědlem. Nádoba se uzavře víkem opatřeným vrtulí, k mísení extrakční směsi. V dutině extrakční nádoby jsou zabudovány ultrazvukové generátory a vytápění pro podporu procesu extrakce. Po ukončení extrakčního procesu se zvedne víko s mechanickým mísičem a celá nádoba se otočí tak aby se mohla směs vylét do připravené nádoby. Následná separace rozpouštědla a extrakčního zbytku probíhá odděleně.

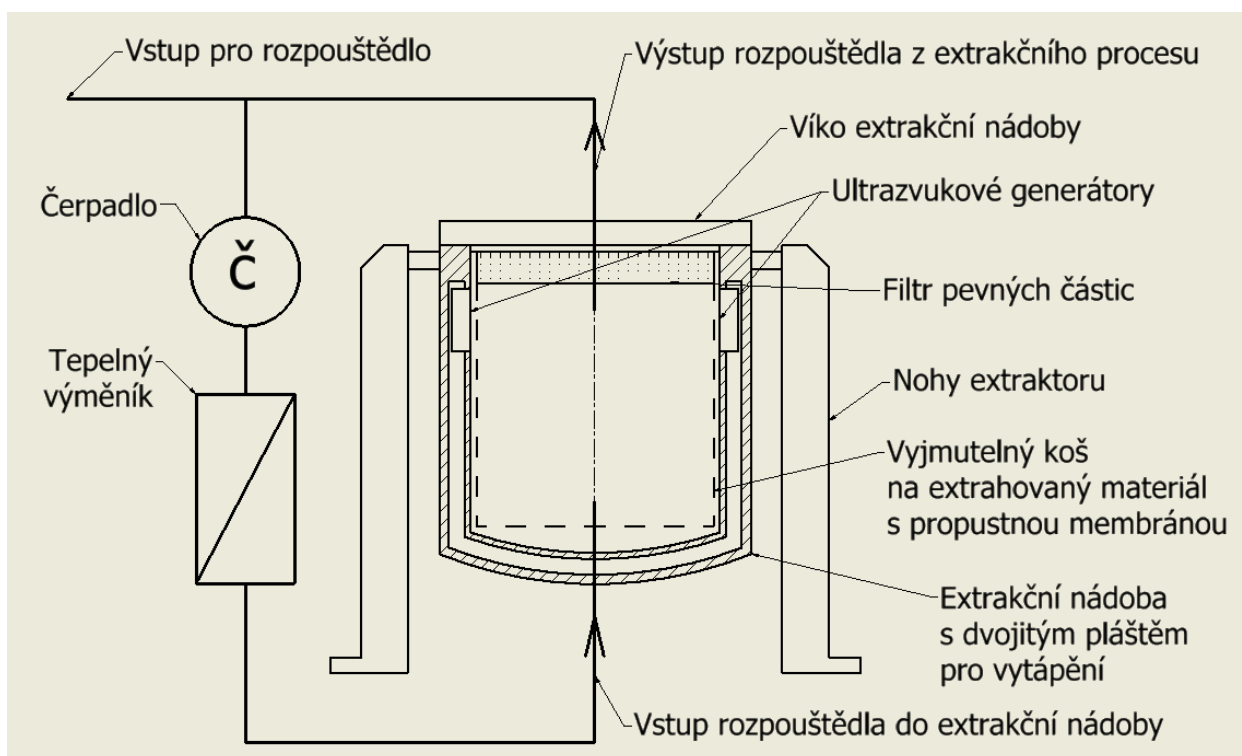


Obrázek 24: Skica možného provedení extraktoru s mechanickým mísičem a ohřevem.



b) Fluidní míšič s regulací teploty a vyjmutelným košem na extrahovaný materiál

Materiál určený pro extrakci se nejprve separátně umístí do koše s propustnou membránou a celý koš se umístí do extraktoru. Nádoba se uzavře víkem opatřeným filtrem pevných částic a výstupem pro rozpouštědlo. Extrakční proces je urychlen fluidním mísením rozpouštědlem a možným ohřevem. Po ukončení extrakce se odčerpá veškeré rozpouštědlo a vyjme se koš s extrakčním zbytkem, následně je možné ihned vložit další koš a pokračovat v procesu.

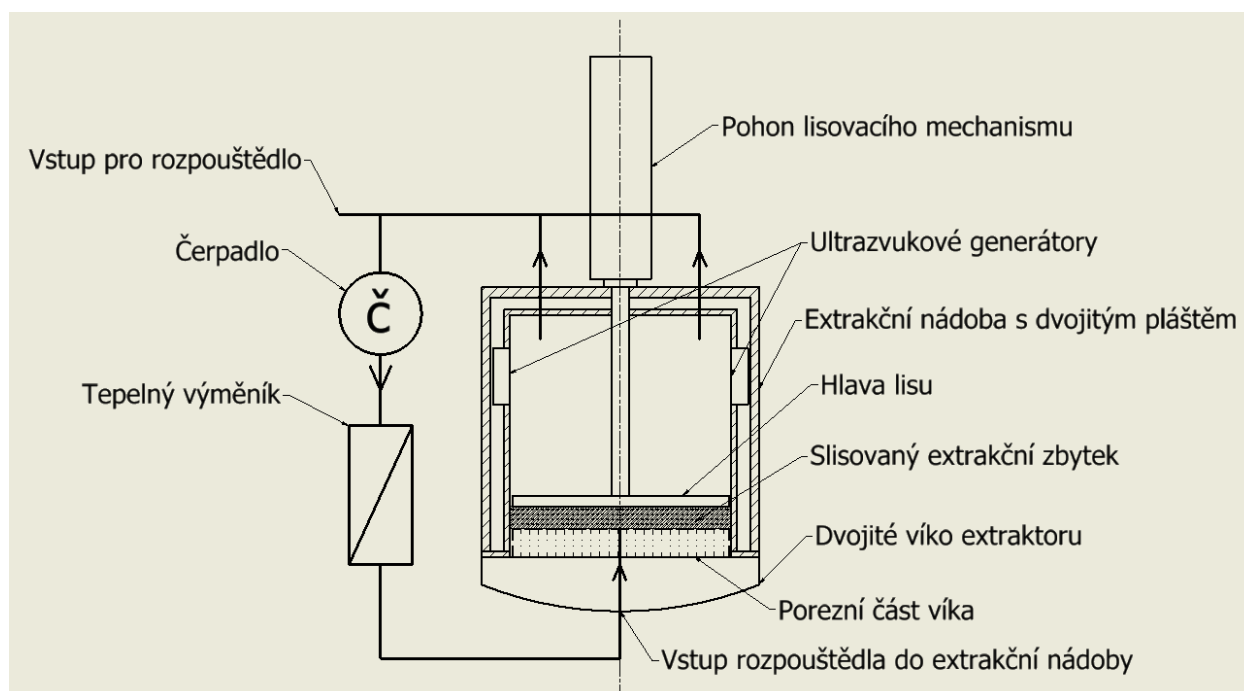


Obrázek 25: Skica možného provedení extraktoru s fluidním mícháním, ohřevem a vyjmutelným košem.



### c) Perkolátor podpořený ultrazvukovou kavitací

V tomto případě bude extraktor otočná nádoba s dvojitým víkem, jedna část bude pevná a druhá perforovaná sloužící k zachycení extrakčního zbytku při lisování. V první fázi je extraktor víkem vzhůru do nádoby se nasype extrahovaný materiál, uzavře se a přetočí o 180°, následně se nádoba napustí rozpouštědlem a dochází k jeho cirkulaci, tedy fluidnímu mísení, což urychluje extrakci, pro ideální podmínky provozu je možné rozpouštědlo ohřát. Po ukončení extrakce se z nádoby odsaje veškeré rozpouštědlo a mechanický lis s děrovanou hlavou slisuje a zároveň vyždímá extrakční zbytek od rozpouštědla. Po vylisování se otevře dvojitě víko a z nádoby se vyjme slisovaný materiál.



Obrázek 26: Skica možného provedení perkolátorového extraktoru s fluidním mícháním, ohřevem a ultrazvukem.





## 5 VOLBA PRINCIPU EXTRAKTORU A ZDŮVODNĚNÍ

Zásadou pro návrh koncepce zařízení je, aby extraktor umožňoval snadné vyprázdnění obsahu a při jednom plynulém pracovním procesu umožnil zároveň vysušení extrakčního zbytku.

S ohledem na informace získané v rešerši vznikl návrh, použít k plnění extrakční nádoby koš z perforovaného plechu, který by se přímo vkládal do extraktoru a následně by se po ukončení extrakce celý vyjmul. Rozvaha probíhala i nad možností vysušení extrakčního zbytku lisováním, které by mělo probíhat v jednom cyklu ihned po skončení extrakce ideálně ještě uvnitř extraktoru. Koš by tedy mohl být teleskopicky skládací, vkládal by se dovnitř extrakční nádoby a v poslední fázi lisování by došlo k jeho sesunutí na výšku slisované kapsle extrakčního zbytku. Tato možnost byla nakonec vyřazena z důvodu komplikací při lisování, možnému zadírání a podobně.

Další zvažovanou variantou bylo použití pytle z propustné membrány, který by se opět vkládal přímo do extrakční nádoby. Problémem, by v tomto případě byla nutnost časté výměny membrán kvůli poškození při lisování.

V tuto chvíli se objevila otázka kudy extraktor plnit, aby se zajistil co nejplynulejší průběh procesu. Plnění shora sebou nese nevýhodu především při finálním lisování a celkové manipulaci s bylinkami i extrakčním zbytkem, který by se musel lisovat směrem vzhůru, jinak by zůstal zalisovaný uvnitř nádoby. Řešením by bylo vytvořit v extrakční nádobě dvě víka nahoře i dole a udělat tak extraktor plně průchozí, to vedlo k myšlence celý extraktor otočit a plnit jej z boku. Ovšem ani toto řešení sebou nepřineslo žádná významná zlepšení. Proto bylo rozhodnuto že se extraktor bude plnit i vyprazdňovat zespodu.

Jedinou možností, jak uskutečnit plnění ze spodu extrakční nádoby, je pomocí zvedacího mechanismu, pro přepravu bylinek při plnění, doplněného plnicím zásobníkem. Tady se nejlépe uplatní možnost plnění košem, který je na kolečkách. Koš se naplní separátně z násypky mimo extrakční proces a má ve svém dnu díru pro pohyb zvedacího mechanismu, proto se při jeho plnění nejprve musí vložit posuvný díl pro dopravu bylinek směrem vzhůru. Jako ideální řešení se ukázalo vkládat na dno extraktoru modifikovaný filtr, který je nejprve zvedací hlavou při plnění extraktoru a následně je uvnitř extraktoru přichycen, aby v poslední fázi plnil funkci samotného filtru při lisování extrakčního zbytku. Aretace filtru uvnitř extraktoru byla vymyšlena tak, že je umístěna na pákovém mechanismu, který v dolní poloze zajistí plnicí koš proti pohybu a v horní poloze, zajistí navržený filtr.



Co se týče vysoušení extrakčního zbytku bylo zvažováno několik variant, například odsátím vzduchu vývěvou, což se zdálo jako příliš nákladné řešení. Hydraulické řešení bylo pro svoji složitost zavrženo a první variantou navrženého extraktoru je možnost lisování pístovým aktuátorem. Existence lisu montovaného na extrakční nádobě sebou nese zásadní problém s celkovou výškou extraktoru, tak přišlo na řadu druhé řešení s volným lisováním, volným pádem lisovací hlavy umístěné uvnitř extraktoru, které vneslo do návrhu nutnost servisního víka umístěného ve vrchní části extraktoru. Posledním řešením je pak návrh extraktoru s vyhrnovacím míchadlem, které postrádá možnost vysoušení extrakčního zbytku, ale je jakýmsi kompromisem mezi předchozími možnostmi.

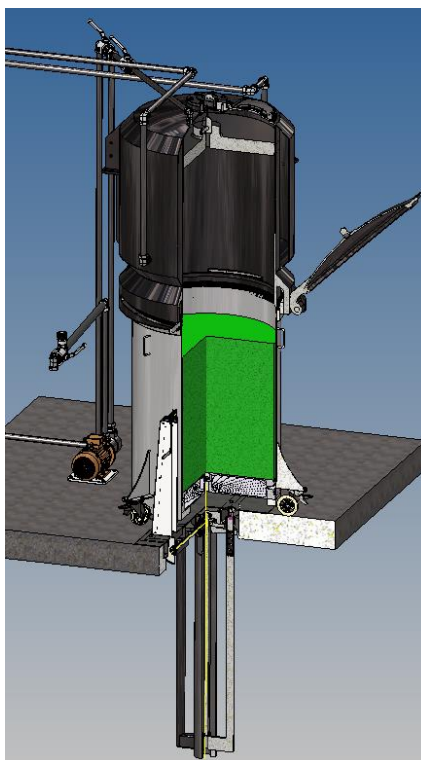


## 6 FÁZE EXTRAKČNÍHO PROCESU NAVRŽENÉHO EXTRAKTORU

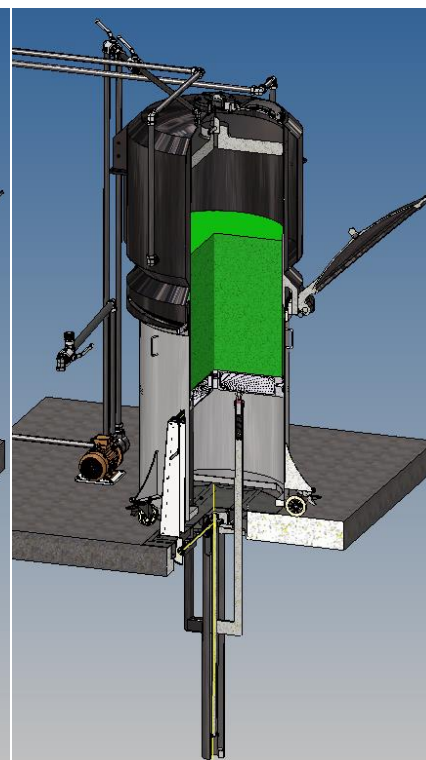
### 6.1 První fáze – plnění

V první fázi dochází k plnění extraktoru bylinkami, pomocí mechanického zvedáku, který je montovaný pod úrovní podlahy. Nejprve se bylinkami naplní pojízdný koš, který se doveze pod extraktor. Koš se v tuto chvíli zaaretuje vysouvacím prstencem pákového mechanismu umístěným ve spodní části extrakční nádoby, tak, že se páka posune do spodní polohy.

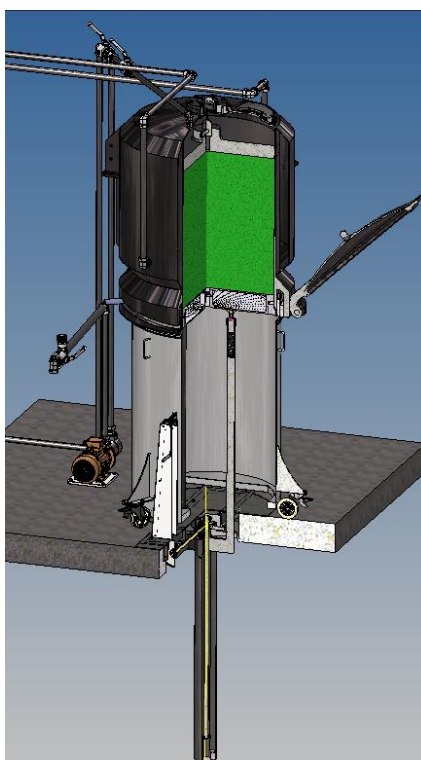
Ve dně koše je umístěný filtr, který je v tuto chvíli pevným dnem a opírají se o něj odpružené hlavy zvedáku při transportu bylinek směrem vzhůru. Po plynulém přesunutí všech bylin se zaaretuje samotný filtr uvnitř extraktoru, tak, že se páka přesune zpět do horní polohy a po bocích se vysunou opěrné klapy.



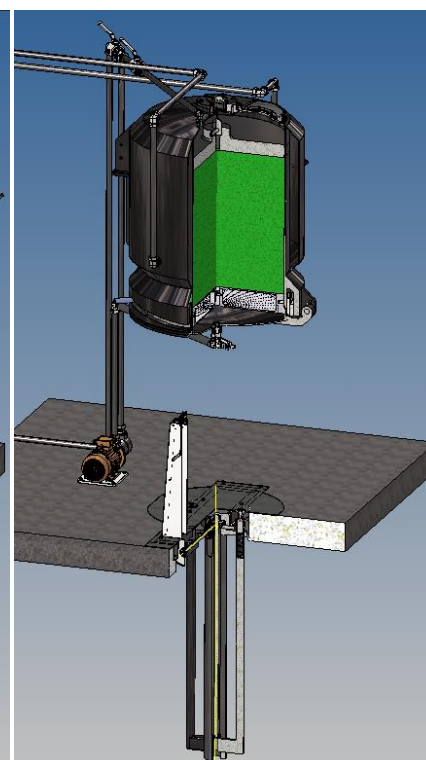
Obrázek 27: Fáze plnění 1



Obrázek 28: Fáze plnění 2



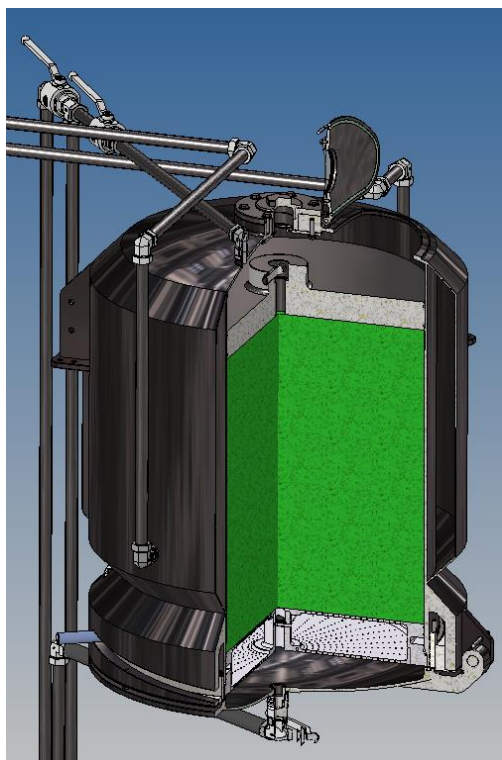
Obrázek 29: Fáze plnění 3



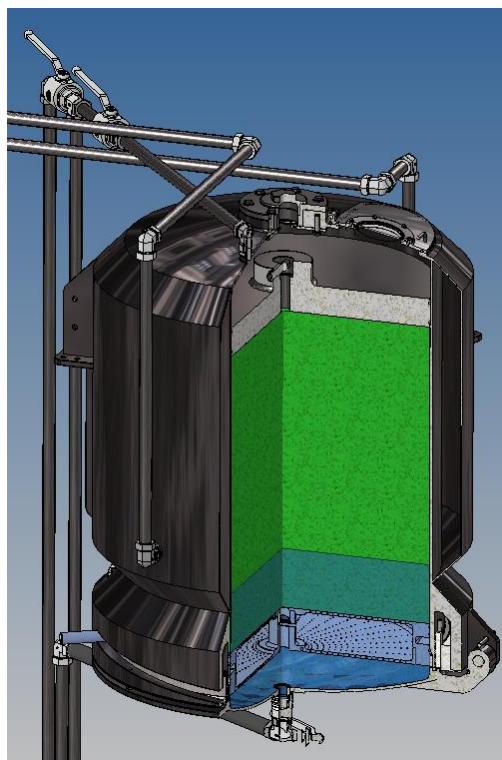
Obrázek 30: Fáze plnění 4

Zvedák se spustí pod úroveň podlahy a odveze se opět volně pojízdný koš. Víko extraktoru se zavře a zajistí pákovými upínkami, ty nejsou součástí návrhu. V posledním kroku se na víko připojí hadice s čerpadlem.

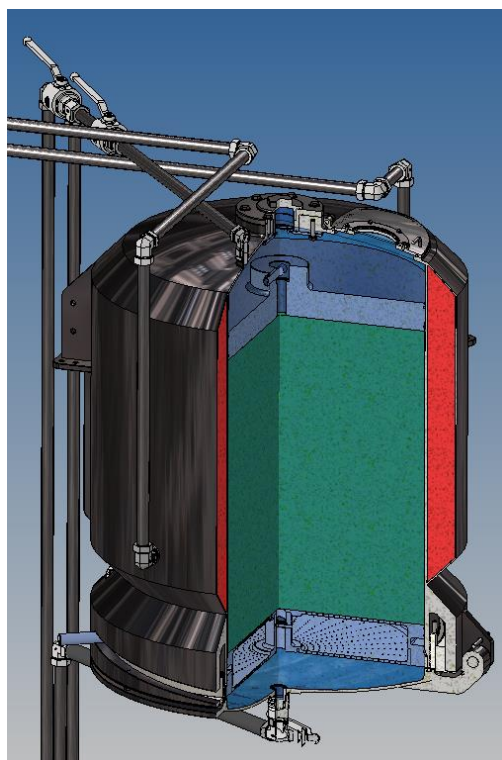
## 6.2 Druhá fáze – extrakce



Obrázek 31: Fáze extrakce 1



Obrázek 32: Fáze extrakce 2



Obrázek 33: Fáze extrakce 3

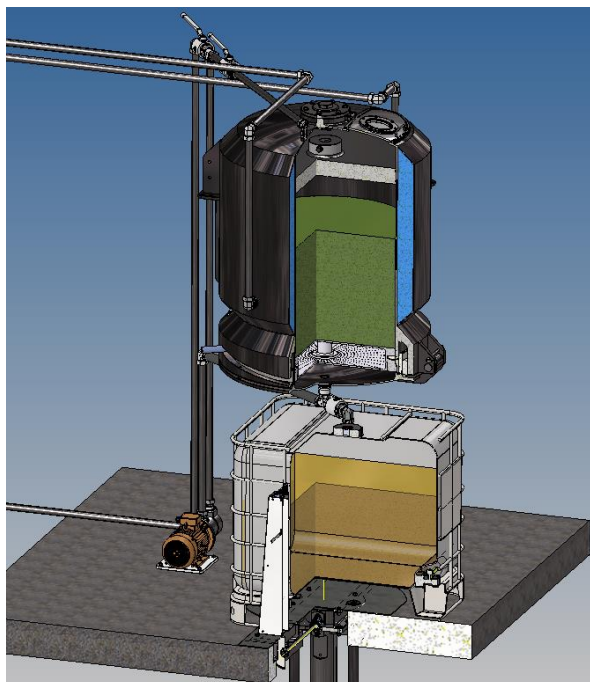
Extrakční nádoba je ve spodní části kompletně utěsněna. Ve vrchní části extraktoru je vidět lisovací hlava, kterou je nutné před začátkem extrakce zprůchodnit pro průtok extrakčního činidla, k tomu je uprostřed hlavy otvor se sítkem. Pro snadný přístup je ve vrchní části extraktoru vytvořeno servisní víko.

Poté co je zprůchodněna cesta k cirkulaci extrakčního činidla. Se extraktor kompletně uzavře a spustí se připojené čerpadlo napojené na lihový zásobník. K plnění dochází ze spodu nádoby, což nadzvedává částice bylin a dochází tak k fluidnímu míšení.

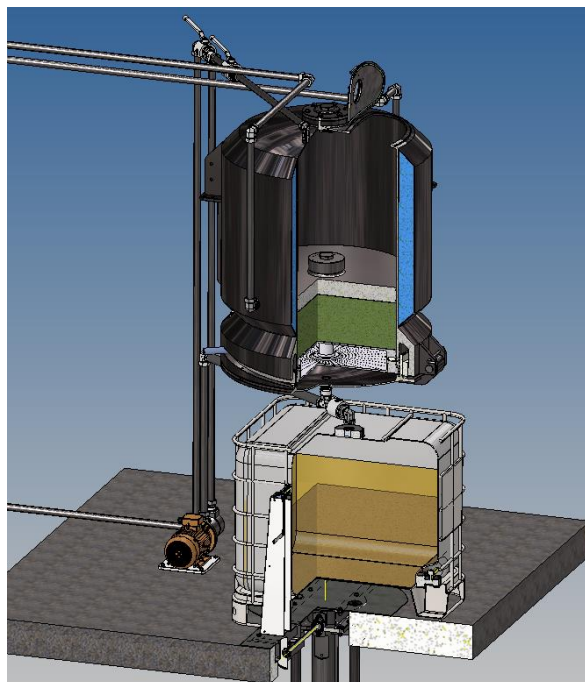
Jakmile je nádoba plně napuštěná, přepnou se ruční kulové ventily a dochází k opakované cirkulaci extrakčního činidla, což snižuje jeho spotřebu.

V případě požadavku na ohřev procesu, se do bočních stěn napouští horká voda z boileru, nebo pára z parního generátoru.

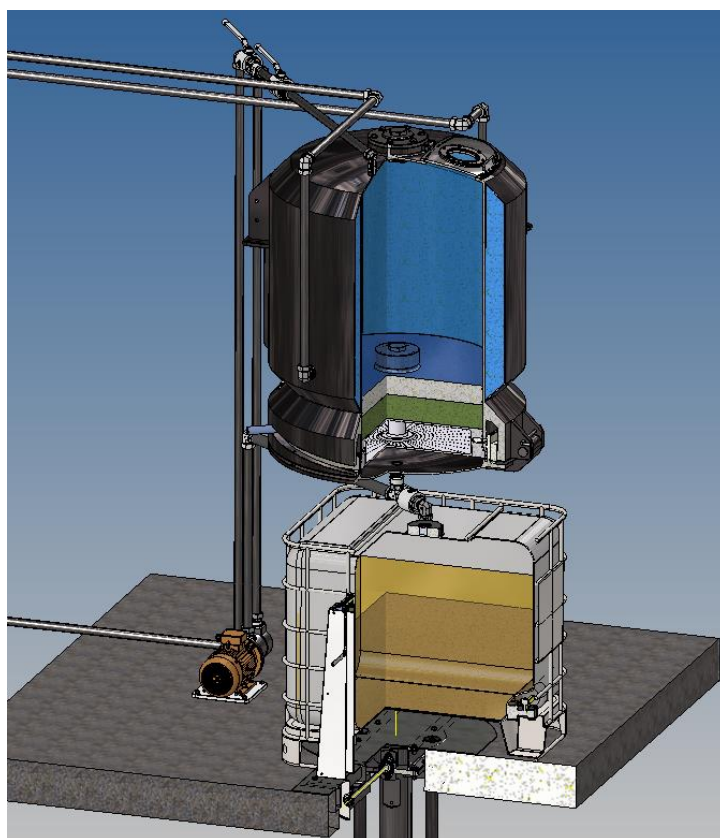
### 6.3 Třetí fáze – Vypouštění/Lisování



Obrázek 35: Fáze vypouštění



Obrázek 34: Fáze lisování 1



Obrázek 36: Fáze lisování 2

Po skončení extrakce se pod extraktor přiveze IBC kontejner a kohoutem se vypustí extrakt.

V této fázi jsou dvě možnosti.

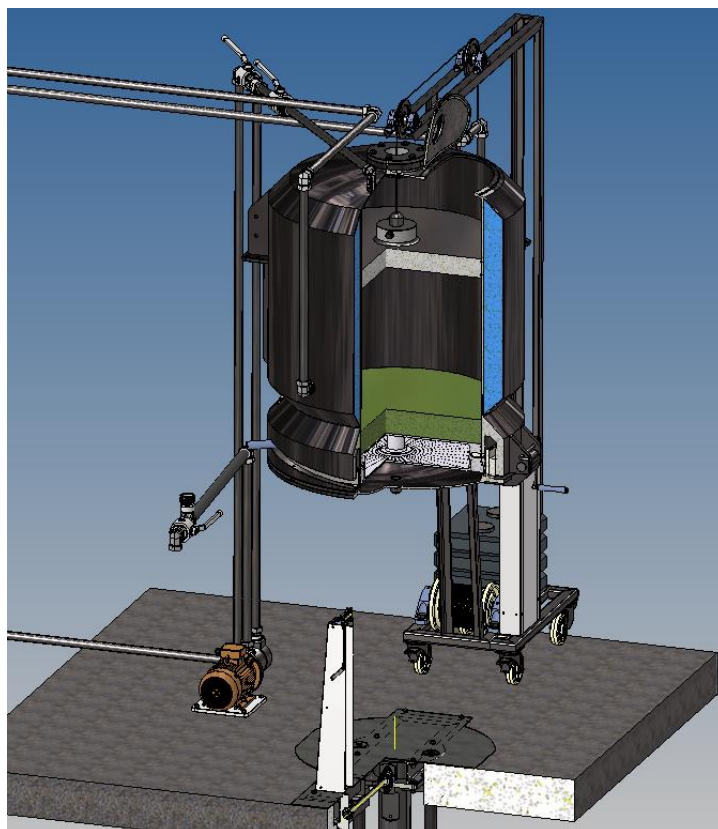
V prvním případě se seshora uvolní lisovací hlava a nechá se volně klesnout vlastní vahou až na dno. Byliny se tak částečně vysuší a získá se trochu více extraktu.

V druhém případě je nutné opět utěsnit lisovací hlavu šroubovací zátkou. Víko se uzavře a čerpadlo zapne zpětný režim. V tuto chvíli se do extraktoru horem napouští lisovací médium, které může být voda, nebo i

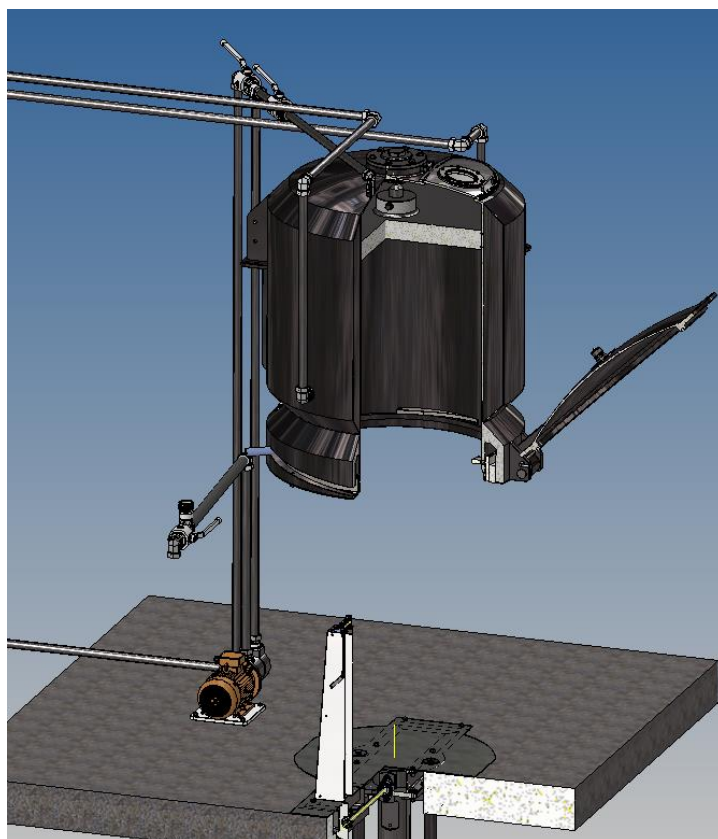
líh. Dochází tak k hydrodynamickému ždímání extrakčního zbytku a je možné tak dosáhnout vysokého stupně vysušení. Extrakční zbytek je ve formě slisované kapsle lépe zpracovatelný.



#### Čtvrtá fáze – Obnova/Příprava na extrakci



Obrázek 37: Obnova extraktoru do počátečního stavu



Obrázek 38: Znovu připravené zařízení na extrakci

V poslední fázi se extraktor uvádí do počátečního stavu k opětovnému použití.

Vypustí se veškeré tekutiny a lisovací hlava se opět připevní na vršek extraktoru. K manipulaci s lisovací hlavou je extraktor doplněn navijecím mechanismem, který je možné zavést přes otvor ve vrchní části extrakční nádoby. Servisní víko, je dostatečné velké pro průlez celého člověka.

Otevře se spodní víko a od aretuje filtr pomocí pákového mechanismu. Extrakční zbytek se i s filtrem vyhodí na připravený dopravník.

V tuto chvíli je nutné extraktor kompletně vyčistit. Je možné udělat nejprve průplach a poté přejít k ručnímu čištění od usazenin.

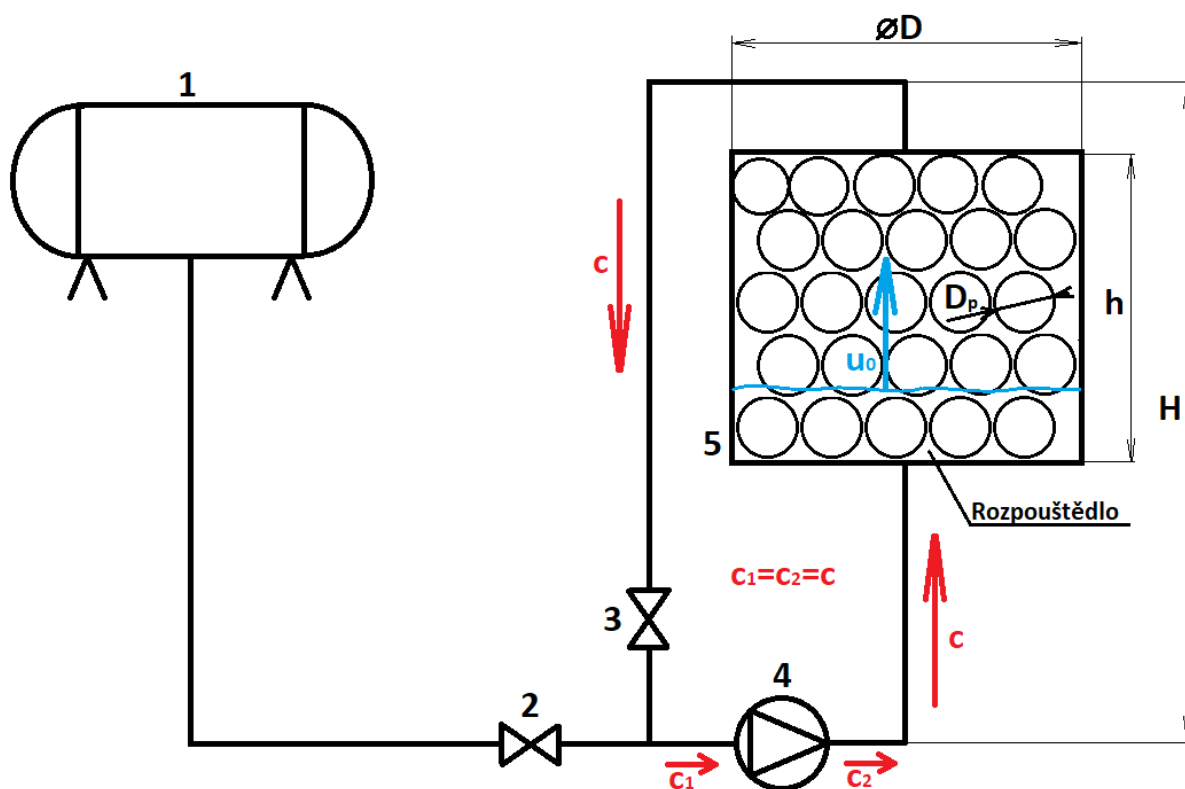
Extraktor je připravený k opětovnému použití.



## 7 VÝPOČET POTŘEBNÝCH VÝKONŮ

### 7.1 Výkon míchacího čerpadla

Návrh extraktoru závisí na fluidním mísení extrahovaného materiálu lihovým rozpouštědlem. Následujícím výpočtem získáme výkon čerpadla, který je shodný pro všechny tři navrhované varianty extraktorů.



Obrázek 39: Schéma čerpadlového okruhu

1. Lihový zásobník
2. Ruční kulový ventil
3. Ruční kulový ventil
4. Oběhové čerpadlo
5. Extrakční nádoba

Počátečním parametrem je požadavek  $D/h=1/1$  a velikost nádoby  $1 [m^3]$ . Z toho vypočítám výšku a průměr extrakční nádoby.

$$D = h$$

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * h = \frac{\pi * h^3}{4} = 1 [m^3]$$



$$h = D = \sqrt[3]{\frac{4}{\pi}} = 1,084 \text{ [m]}$$

Volím  $D = h = 1,05 \text{ [m]}$

Nejprve vypočtu potřebný objemový průtok extrakčního činidla. Požadavek je, aby se líh vyměnil každých 5 minut. Z tohoto údaje dopočítám rychlost stoupání hladiny v extraktoru a mohu vypočítat Reynoldsovo číslo, z něhož odvodím ztráty v propustné vrstvě.

$$\dot{V} = \frac{dV}{dt} = \frac{1}{5 * 60} = \frac{1}{300} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$u_0 = \frac{\dot{V}}{S_0} = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi * D^2}{4}} = \frac{\frac{1}{300}}{\frac{\pi * 1,05^2}{4}} = 0,0038 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Hydraulický výkon bez tlakových ztrát v hydraulickém rozvodu je roven odebíranému technickému výkonu:

$$P_h = \rho * g * H * \dot{V} = -P_{tech}$$

$$P_h = 789 * 9,81 * 3,15 * \frac{1}{300} = 81,27 \text{ [W]}$$

Použitím Bernoulliho rovnice hydraulických strojů lze dopočítat potřebný technický výkon čerpadla včetně tlakových ztrát v potrubí a propustné vrstvě bylinek:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{c_1^2}{2} + g * h_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} + g * h_2 + \frac{P_{tech}}{\dot{m}} + e_{z_{celková}}$$

Pro výpočet Reynoldsova čísla potřebuji znát průměr částic, volím  $D_p = 2 \text{ [mm]}$  a porozitu extrahovaného materiálu, pro její přesné určení by bylo třeba provést experiment. Pro případ tohoto výpočtu stačí zvolená porozita  $\varepsilon = 0,3$  což odpovídá materiálu v načebraném stavu. [31]

$$Re' = \frac{u_0 * D_p * \rho}{(1 - \varepsilon) * \mu} = \frac{0,0038 * 0,002 * 789}{(1 - 0,3) * 0,0012} = 7,14$$

$$\lambda' = \frac{150}{Re'} * 1,75 = \frac{150}{7,14} * 1,75 = 36,76$$

$$e_{z_{propustná\ vrstva}} = \lambda' * \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} * \frac{h}{D_p} * u_0^2 = 36,76 * \frac{1 - 0,3}{0,3^3} * \frac{1,05}{0,002} * 0,0038^2 = 7,22 \left[ \frac{J}{kg} \right]$$





To odpovídá tlakové ztrátě:

$$\Delta p_{propustná\ vrstva} = e_{zpropustná\ vrstva} * \rho = 7,22 * 789 = 5\,697 [Pa]$$

Pokračuji výpočtem tlakové ztráty třením v potrubí délky 16 metrů. Volba průměru potrubí se odvíjí od rychlosti proudění. Pro nízko viskózní kapaliny je doporučená rychlost proudění v řádech jednotek m/s. Volím tedy vnitřní průměr potrubí  $\delta = 39[mm]$  a přepočtu rychlost:

$$c = \frac{\dot{V}}{S_{potrubí}} = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi * \delta^2}{4}} = \frac{1}{\frac{\pi * 0,039^2}{4}} = 2,79 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Ano, rychlost řádově odpovídá doporučeným hodnotám proudění nízko viskózní kapaliny v potrubí. Reynoldsovo číslo tedy bude:

$$Re = \frac{u_0 * \delta * \rho}{\mu} = \frac{2,79 * 0,039 * 789}{0,0012} = 71\,540$$

Pro výpočet součinitele tření v turbulentním proudění, volím za studena taženou měď s hladkým povrchem, která splňuje požadavek na hydraulicky hladké potrubí. Není tedy třeba započítávat drsnost povrchu a pro výpočet použiji Blasiovu rovnici: [31]

$$\lambda = 0,316 * Re^{-0,25} = 0,316 * 71540^{-0,25} = 0,019$$

Pokračuji výpočtem tlakových ztrát třením o stěny potrubí:

$$\Delta p_{třecí-potrubí} = \lambda * \frac{L}{\delta} * \frac{\rho * c^2}{2} = 0,019 * \frac{16}{0,039} * \frac{789 * 2,79^2}{2} = 23\,937 [Pa]$$

Dále místní tlakové ztráty ve 12 kolenech. Firma Parker uvádí hodnotu ztrátového součinitele  $\xi=1$ : [32]

$$\Delta p_{místní-kolena} = 12 * \xi * \rho * \frac{c^2}{2} = 12 * 1 * 789 * \frac{2,79^2}{2} = 36\,850 [Pa]$$

Byly použity 2 hrdla, jejichž ztrátový součinitel definuje výrobce Parker podle rozdílu průřezů jako

$$\frac{A_2}{A_1} = 0,8 \text{ pak } \xi=0,15: [32]$$

$$\Delta p_{místní-hrdla} = 2 * \xi * \rho * \frac{c^2}{2} = 2 * 0,15 * 789 * \frac{2,79^2}{2} = 921 [Pa]$$

Pro řízení směru toku média, jsou použity dva ruční kulové ventily, výrobce Parker neudává tlakové ztráty při daném průtoku. Proto byly použity hodnoty vypočtené v software UniSim



Design, který používá pro výpočet tlakových ztrát, metodu Beggs and Brill. Kde je udávána tlaková ztráta pro plně otevřený kulový ventil o vnitřním průměru 39 mm a průtoku 200 l/min, hodnotu 26 000 Pa.

Celková ztrátová energie je suma všech tlakových ztrát, podělena hustotou proudící kapaliny.

$$e_{z_{potrubí}} = \frac{\Delta p_{třecí-potrubí} + \Delta p_{místní-kolena} + \Delta p_{místní-hrdla} + 2 * \Delta p_{ventilu}}{\rho}$$

$$e_{z_{potrubí}} = \frac{23\,937 + 36\,850 + 921 + 2 * 26\,000}{789} = 144,12 \left[ \frac{J}{kg} \right]$$

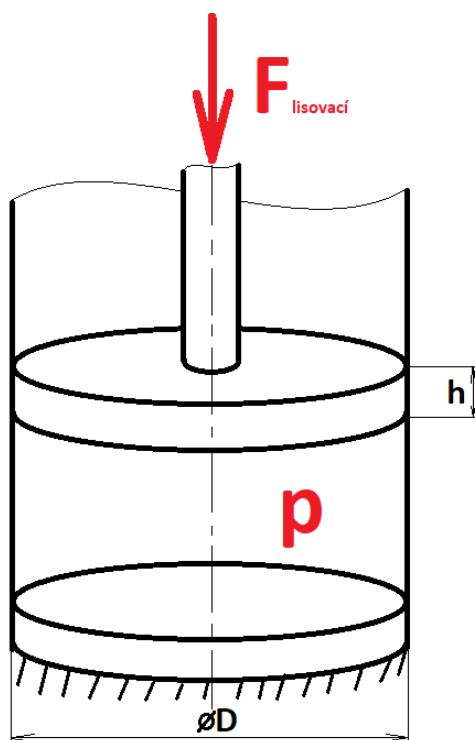
Dosazením do upravené Bernoulliho rovnice a získám výsledný technický výkon dodávaný do systému:

$$\begin{aligned} P_{tech} &= - \left( g * H + e_{z_{propustná\ vrstva}} + e_{z_{potrubí}} \right) * \dot{m} \\ &= -(9,81 * 3,15 + 7,22 + 144,12) * \frac{1}{300} * 789 = -479 [W] \end{aligned}$$

Volím čerpadlo s asynchronním motorem o výkonu 0,55 [kW].



## 7.2 Výpočet lisovací síly pístového aktuátoru



Obrázek 40: Schéma pro výpočet lisovací síly

Vysoušení pevného zbytku prvních dvou variant extraktorů, je prováděno lisováním. Nejprve tedy vypočtu tlak, který vyvine samotná hlava pístu při volném pádu.

$$V = S * h = \frac{\pi * D^2}{4} * h = \frac{\pi * 1,050^2}{4} * 0,1 = 0,087 \text{ [m}^3\text{]}$$

Vypočtu hmotnost lisovací hlavy:

$$m = V * \rho = 0,087 * 7\,850 = 682,95 \text{ [kg]}$$

Kde  $V$  je objem hlavy a  $\rho$  je běžná hustota oceli.

$$F_{\text{lisovací}} = m * g = 682,95 * 9,81 = 6\,700 \text{ [N]}$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi * D^2}{4}} = \frac{6\,700}{\frac{\pi * 1\,050^2}{4}} = 0,008 \text{ [MPa]}$$

Z výsledku je patrné že maximální lisovací tlak volně padající hlavy pístu je 0,008 MPa. Pro pístový aktuátor tedy volím tlak větší než 0,01 MPa, a spočítám požadovanou lisovací sílu aktuátoru. Plochu pístu volím shodnou, i když v reálné hlavě jsou díry pro odvod tekutiny.

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 1050^2}{4} = 865\,901,5 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$F_{\text{lis-aktuátor}} = p * S = 0,01 * 865\,901,5 = 8\,659 \text{ [N]}$$

Lisovací sílu pístového aktuátoru volím v rozsahu 10 000 N až 30 000 N:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi * D^2}{4}} = \frac{10\,000}{\frac{\pi * 1\,050^2}{4}} = 0,012 \text{ [MPa]}$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi * D^2}{4}} = \frac{30\,000}{\frac{\pi * 1\,050^2}{4}} = 0,035 \text{ [MPa]}$$

Minimální lisovací tlak je 0,012 MPa, při použití aktuátoru s lisovací silou 30 000 N bude maximální lisovací tlak 0,035 MPa.



### 7.3 Výkon motoru vyhrnovacího míchadla [33], [34]

Poslední varianta extraktoru je založená na principu vyhrnování extrakčního zbytku, pro tento účel je zde spočítán výkon pohonu vyhrnovacího míchadla.

Nejprve je nutné vypočítat příkon míchadla, který se počítá z empirického vztahu závislého na několika bezrozměrných kritériích ( $Re$ ,  $Eu$ ,  $Sl$ ,  $Fr$ , a geometrických simplexech).

Pokud uvažujeme ustálený stav (konstantní frekvenci otáčení), je možné zanedbat Strouhalovo kritérium. Dále bude docházet k vyhrnování při vypuštěném stavu, v extraktoru bude pouze zbytkové množství lihu a pro výpočet tedy není uvažován středový vír (Froudovo kritérium zanedbáno).

Poté lze aplikovat zjednodušený výpočet příkonu míchadla, na základě následujícího vztahu, pro výpočet příkonového kritéria:

$$Eu_M = P_{0M} = \frac{P}{\rho_{su} * n^3 * d^5} = f(Re_M)$$

Kde  $P$  je příkon míchadla,  $\rho_{su}$  hustota suspenze,  $n$  frekvence otáčení míchadla a  $d$  průměr míchadla.

Při zvolení průměru míchadla  $d$  jako vhodné charakteristické délky a zvolení zjednodušeného vztahu pro obvodovou rychlost míchadla, dostávám pro Reynoldsovo kritérium upravený vztah:

$$v = n * d$$

$$Re_M = \frac{n * d^2 * \rho_{su}}{\mu}$$

Pokud je Reynoldsovo kritérium v oblasti turbulentního proudění, tedy více než  $Re=10\,000$ , poté je příkonová charakteristika rovna konstantní hodnotě.

$$P_{0M} = \frac{P}{\rho_{su} * n^3 * d^5} = konst.$$

Příkonová charakteristika míchadla také závisí na typu použitého míchadla, podle kterého se odvozují grafy a empirické vztahy pro výpočet příkonové charakteristiky.

Příkon míchadla závisí na 5. mocnině průměru a disipuje se na lopatkách průměru  $d = 1 [m]$ , které stírají stěnu extrakční nádoby o průměru  $D = 1,05 [m]$ . Geometrie vyhrnovacího míchadla



je tedy podobná kotvovému míchadlu a platí následující vztah pro výpočet příkonové charakteristiky:

$$P_{0M} = \left[ \left( \frac{A_1}{Re} \right)^{A_2} + \frac{A_3}{Re^{(A_4 * Re^{A_5})}} + A_6 \right]^{\frac{1}{A_2}}$$

Konstanty pro kotvové míchadlo:

$$A_1 = 180$$

$$A_2 = 1,463$$

$$A_3 = 20,8$$

$$A_4 = 0,438$$

$$A_5 = 0$$

$$A_6 = 0$$

Dále potřebuji zjistit dynamickou viskozitu a hustotu suspenze.

Dynamickou viskozitu v porézni vrstvě by bylo možné určit na základě experimentu, pro tento výpočet ale stačí odhad, založený na předpokládaném chování suspenze. Odhaduji tedy:

$$\mu_{su} = 5 [Pa * s]$$

Pro výpočet hustoty pevné látky uvažuji semena lnu volně loženého, tedy  $\rho_s = 800 [kg/m^3]$ . [35] Objemový zlomek uvažuji shodný s porozitou.

$$\rho_{su} = c_v * \rho_s + (1 - c_v) * \rho_{líh} = 0,3 * 800 + (1 - 0,3) * 789 = 792 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

Reynoldsovo číslo je závislé na frekvenci otáčení tu nejprve odhadnu na  $0,5 [s^{-1}]$  a vypočtu příkon míchadla o průměru  $1 [m]$ :

$$Re_M = \frac{n * d^2 * \rho_{su}}{\mu} = \frac{0,5 * 1^2 * 792}{5} = 79,2$$

$$P_{0M} = \left[ \left( \frac{A_1}{Re} \right)^{A_2} + \frac{A_3}{Re^{(A_4 * Re^{A_5})}} + A_6 \right]^{\frac{1}{A_2}} = \left[ \left( \frac{180}{79,2} \right)^{1,463} + \frac{20,8}{79,2^{(0,438 * 79,2^0)}} + 0 \right]^{\frac{1}{1,463}} = 3,552$$



Výpočet je možné nastavit podle vztahu pro specifický příkon, jehož hodnota se pohybuje pro pomaloběžná míchadla od  $600 [W/m^3]$  do  $1500 [W/m^3]$ . Předpokládám koncentrovanou suspenzi, která špatně teče a pro výpočet volím hodnotu:

$$\varsigma = \frac{P}{V} = 1000 \left[ \frac{W}{m^3} \right]$$

Z tohoto vztahu odvodím potřebnou frekvenci otáčení:

$$n = \sqrt[3]{\frac{P}{P_{0M} * \rho_{su} * d^5}} = \sqrt[3]{\frac{1000}{3,552 * 792 * 1^5}} = 0,71 [s^{-1}]$$

Jedná se o iterační výpočet, proto vypočtené otáčky opět dosadím zpět do Reynolsova čísla:

$$Re_M = \frac{n * d^2 * \rho_{su}}{\mu} = \frac{0,71 * 1^2 * 792}{5} = 112,5$$

$$P_{0M} = \left[ \left( \frac{A_1}{Re} \right)^{A_2} + \frac{A_3}{Re^{(A_4 * Re^{A_5})}} + A_6 \right]^{\frac{1}{A_2}} = \left[ \left( \frac{180}{112,5} \right)^{1,463} + \frac{20,8}{112,5^{(0,438 * 112,5^0)}} + 0 \right]^{\frac{1}{1,463}}$$
$$= 2,845$$

$$n = \sqrt[3]{\frac{P}{P_{0M} * \rho_{su} * d^5}} = \sqrt[3]{\frac{1000}{2,845 * 792 * 1^5}} = 0,76 [s^{-1}]$$

Protože už se výsledek v řádu desetin nemění, považuji zaokrouhlenou hodnotu  $0,8 [s^{-1}]$  za konečný výsledek a dopočtu příkon míchadla.

$$P = P_{0M} * \rho_{su} * n^3 * d^5 = 2,845 * 792 * 0,8^3 * 1^5 = 1154 [W]$$

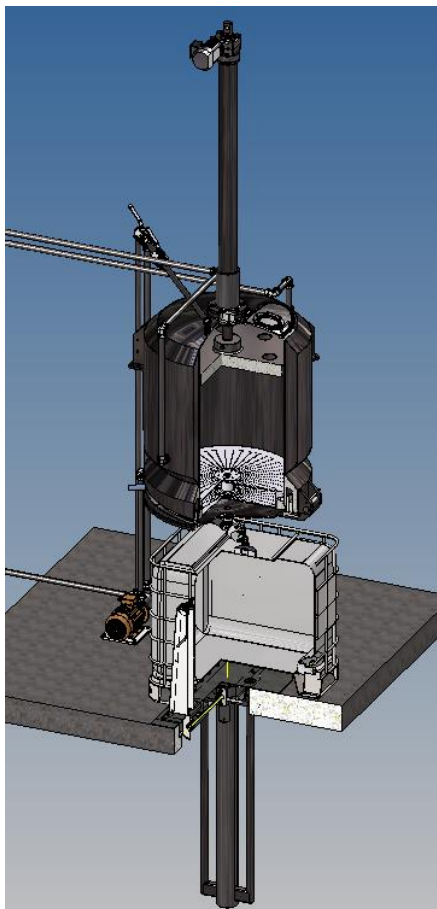
Při uvažování účinnosti šnekové převodovky  $\eta = 0,6$  získám požadovaný výkon motoru.

$$P_{Motoru} = \frac{P}{\eta} = \frac{1154}{0,6} = 1923 [W]$$

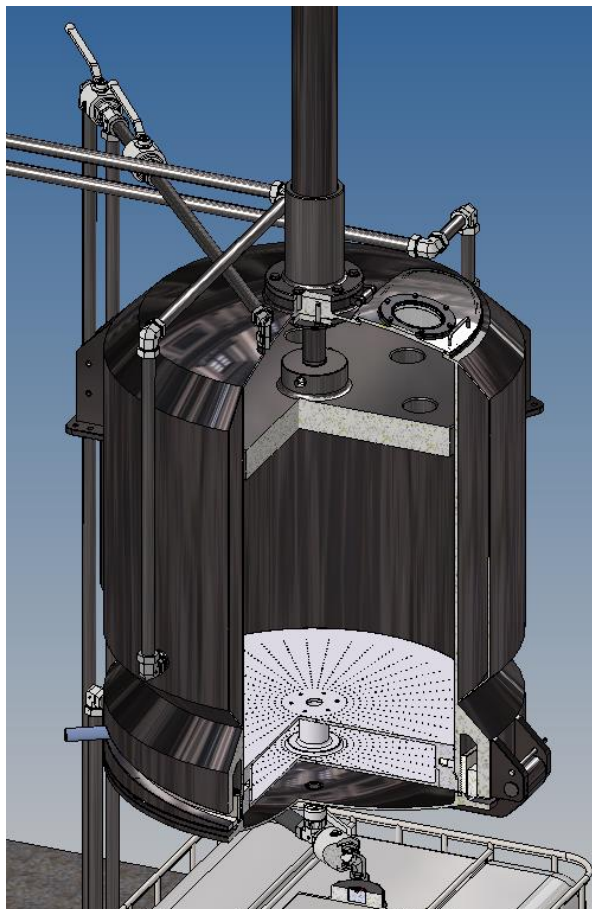
Volím asynchronní motor o výkonu  $2,2 [kW]$ .

## 8 VARIANTY A ZHODNOCENÍ

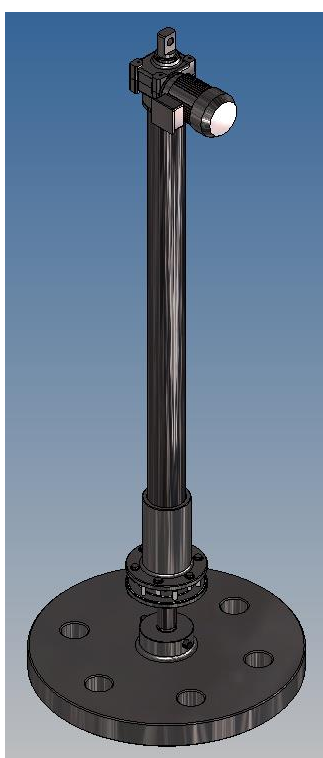
### 8.1 Varianta 1.



Obrázek 41: Extraktor V.1



Obrázek 42: Detailní pohled dovnitř extraktoru V.1

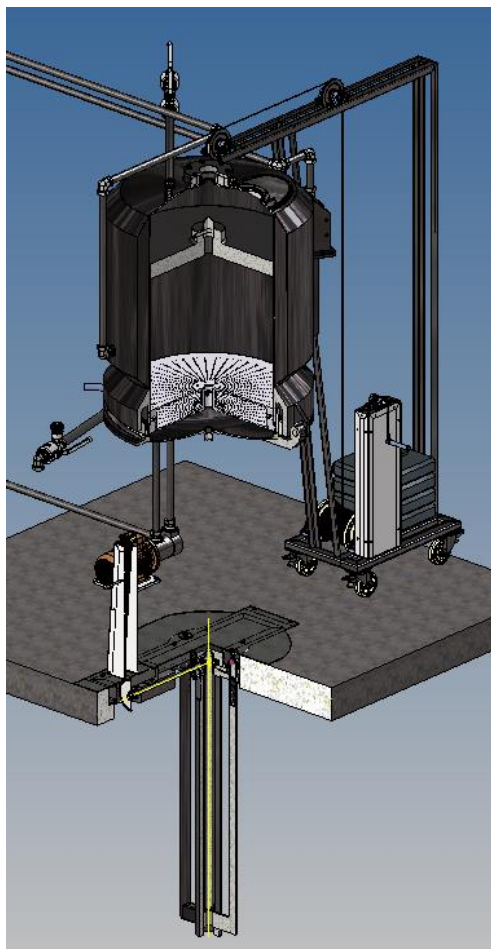


Obrázek 43: Pístový aktuátor

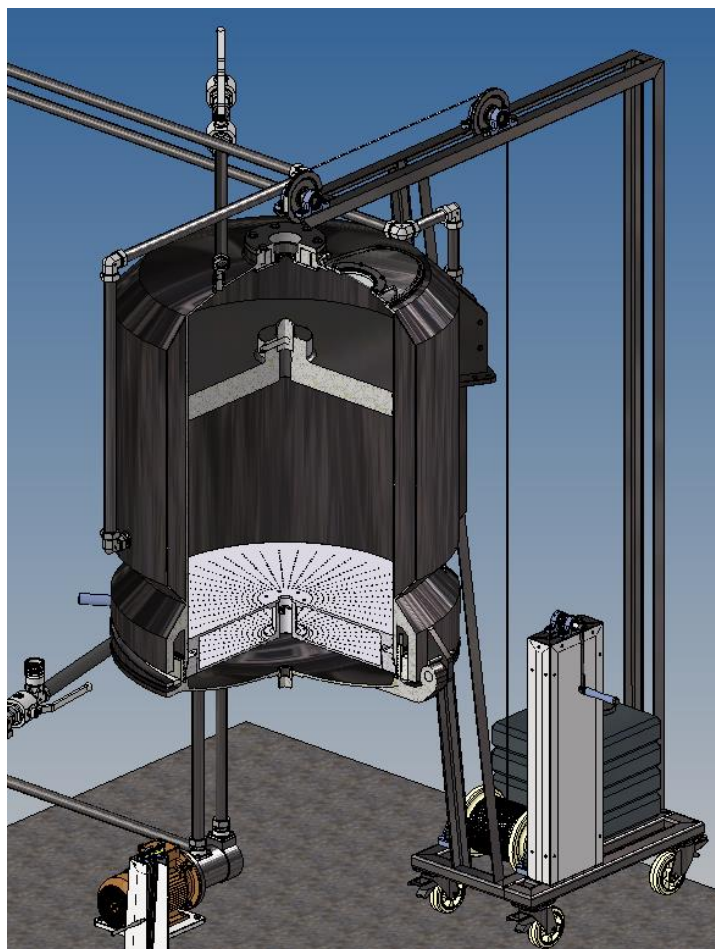
Nejefektivnější možností je extraktor opatřený pístovým aktuátorem. Možnost automatického lisování extrakčního zbytku významně urychluje celý extrakční proces, ale i konečné čištění a obnovu na opětovnou extrakci, proto je tento typ vhodný pro průmyslové aplikace a masovou výrobu extraktů.

Nevýhodou je pouze výška samotného zařízení, necelých 6 metrů, pro montáž zařízení je tedy nutností hala s vysokým stropem.

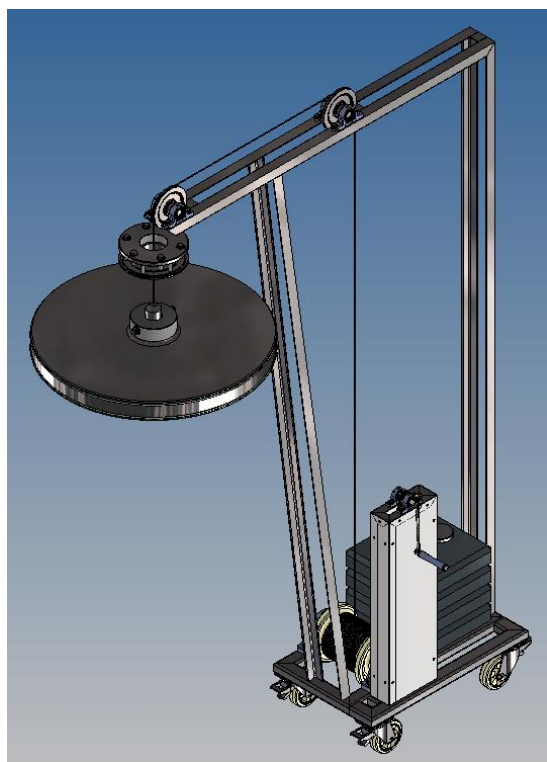
## 8.2 Varianta 2.



Obrázek 45: Extraktor V.2



Obrázek 44: Detailní pohled do extraktoru V.2



Obrázek 46: Příklad možného navíjecího mechanismu

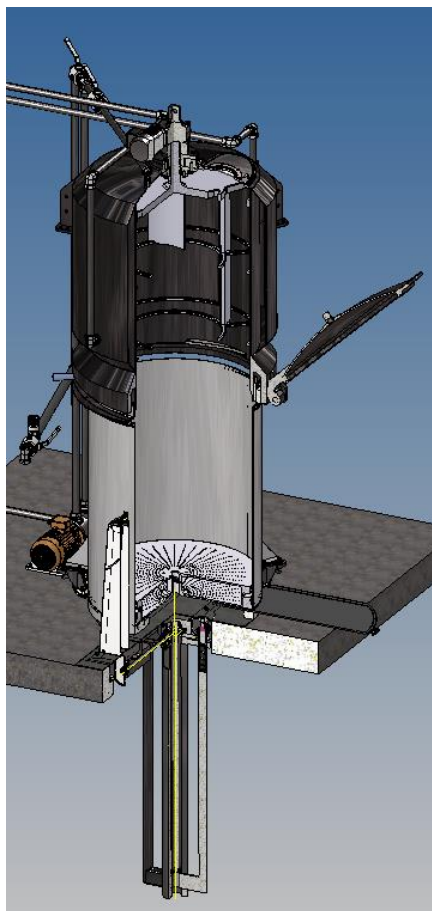
Druhá varianta již byla podrobně popsána v kapitole 5 o jednotlivých fázích extrakčního procesu. Jedná se o upravený případ prvního extraktoru, kdy je ve vrchní části pouze lisovací hlava, která je po bocích těsněna a je tak možné ji tlačit ze shora čerpanou tekutinou.

Výhodou je především výška samotného extraktoru přibližně 3,5 metrů, což je mnohem méně než u varianty s pístovým aktuátorem.

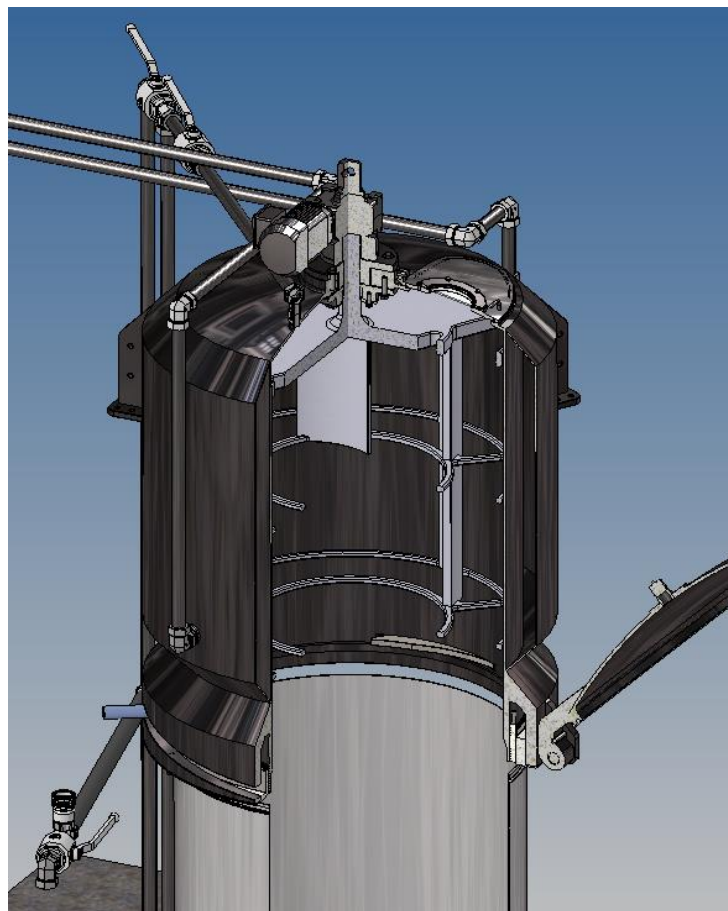
Nevýhodou, jsou poměrně náročné procesní operace, menší lisovací síla, a tak nižší vysušení extrakčního zbytku. Zároveň je nutné vlastnit navíjecí mechanismus na manipulaci s lisovací hlavou.



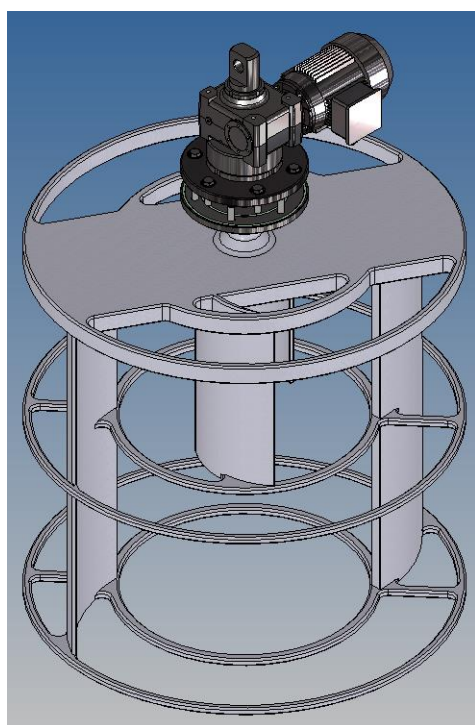
### 8.3 Varianta 3.



Obrázek 47: Extraktor V.3



Obrázek 48: Detailní pohled do extraktoru V.3



Obrázek 49: Vyhrnovací mechanismus

Třetí možností je extraktor vybavený vyhrnovacím míchadlem. Princip je obdobný jako v předešlých případech, s tím rozdílem, že postrádá fázi lisování a nedochází tak ke zpracování extrakčního zbytku. Místo toho je na konci extrakce pod extraktor znovu přivezen upravený koš, do kterého se míchadlem vyhrne veškerý extrakční zbytek, nedochází tedy k jeho vysušení od zbytku extrakčního činidla.

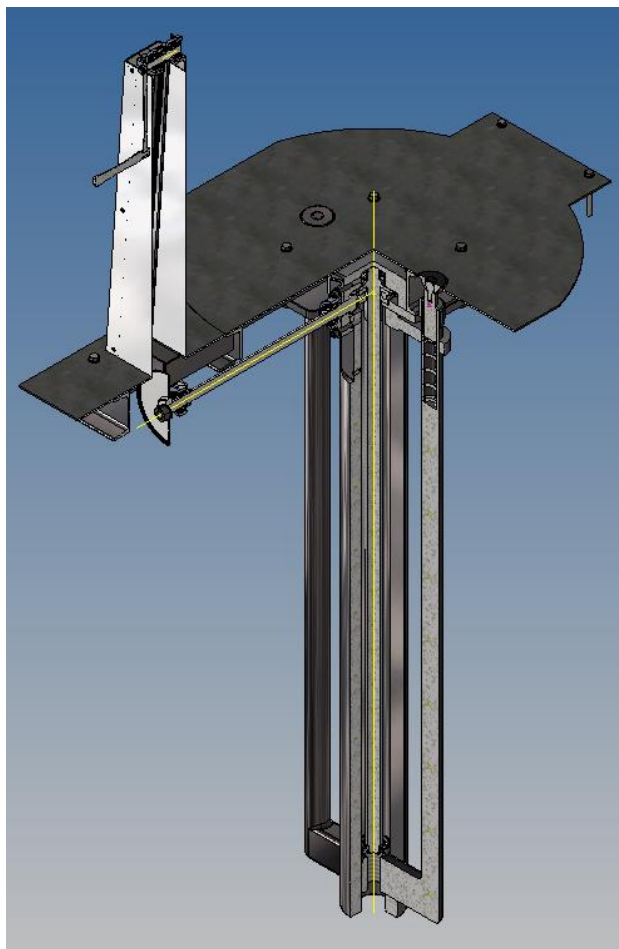
Výhodou je výška samotného extraktoru a možnost automatického řízení procesu.

Nevýhodou je především oddělení lisovací fáze mimo extrakční proces a nutnost dalšího zpracování extrakčního zbytku.

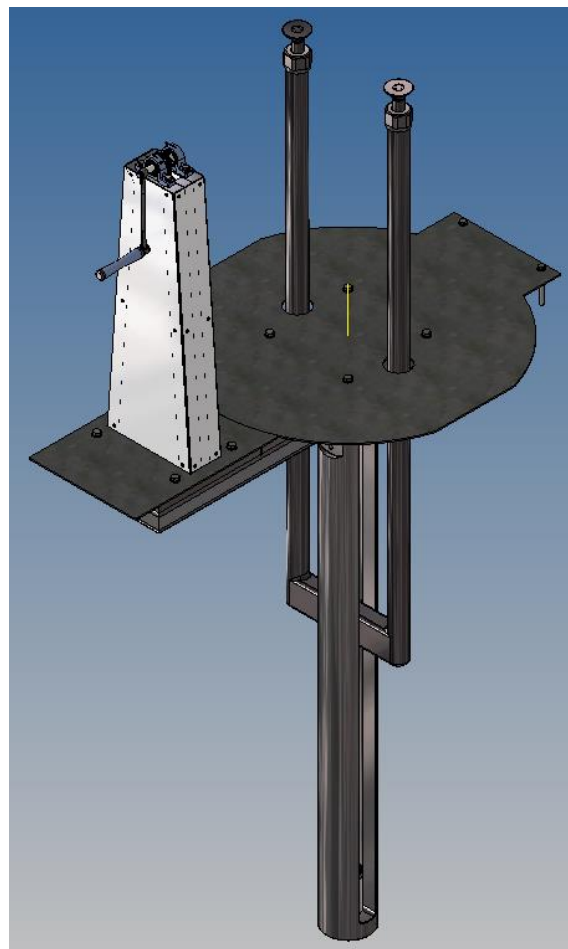


## 8.4 Další součásti

### 8.4.1 Zvedací mechanismus



Obrázek 50: Zvedací mechanismus zasunutý



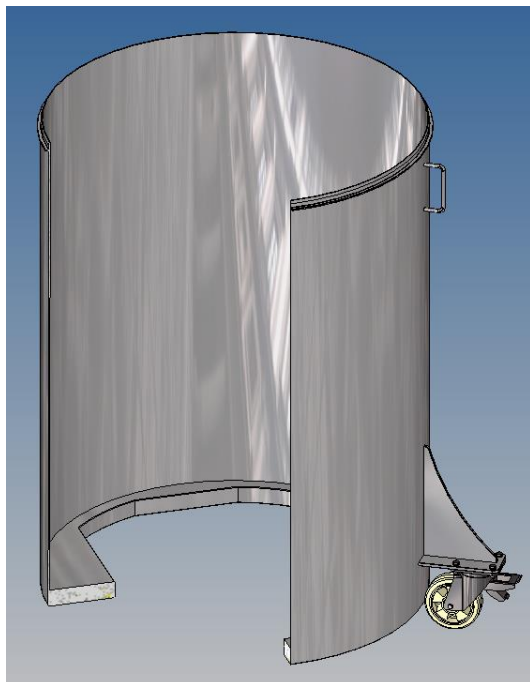
Obrázek 51: Zvedací mechanismus ve vysunutě poloze

Kvůli plynulosti extrakčního procesu, dochází k plnění ze spodu extrakční nádoby z předem naplněného koše. Důležitou součástí tedy je i zvedací mechanismus, který dokáže dopravit bylinnou vsádku do patřičné výšky.

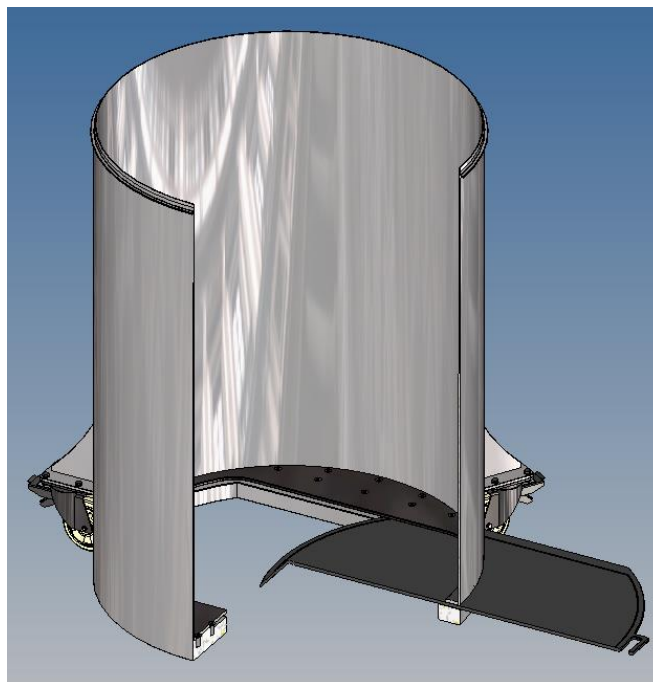
Zde je ukázka možné podoby takového zvedáku, který je založený na jednoduchém mechanismu vybaveném pohybovým šroubem a převody ukončenými klikou. Pohybový šroub je opatřen transportní maticí se dvěma tyčemi, ty mají na koncích odpružené hlavy kvůli kompenzaci nerovností, pružiny taky chrání filtr před poškozením při transportu bylin. Další možností je vybavit zvedák motorem, ideálně umístěným pod úroveň podlahy kvůli úspoře místa pro manipulaci s plnicím košem.



#### 8.4.2 Plnicí koš



Obrázek 52: Koš pro extraktor V.1 a V.2



Obrázek 53: Navržený koš pro extraktor V.3

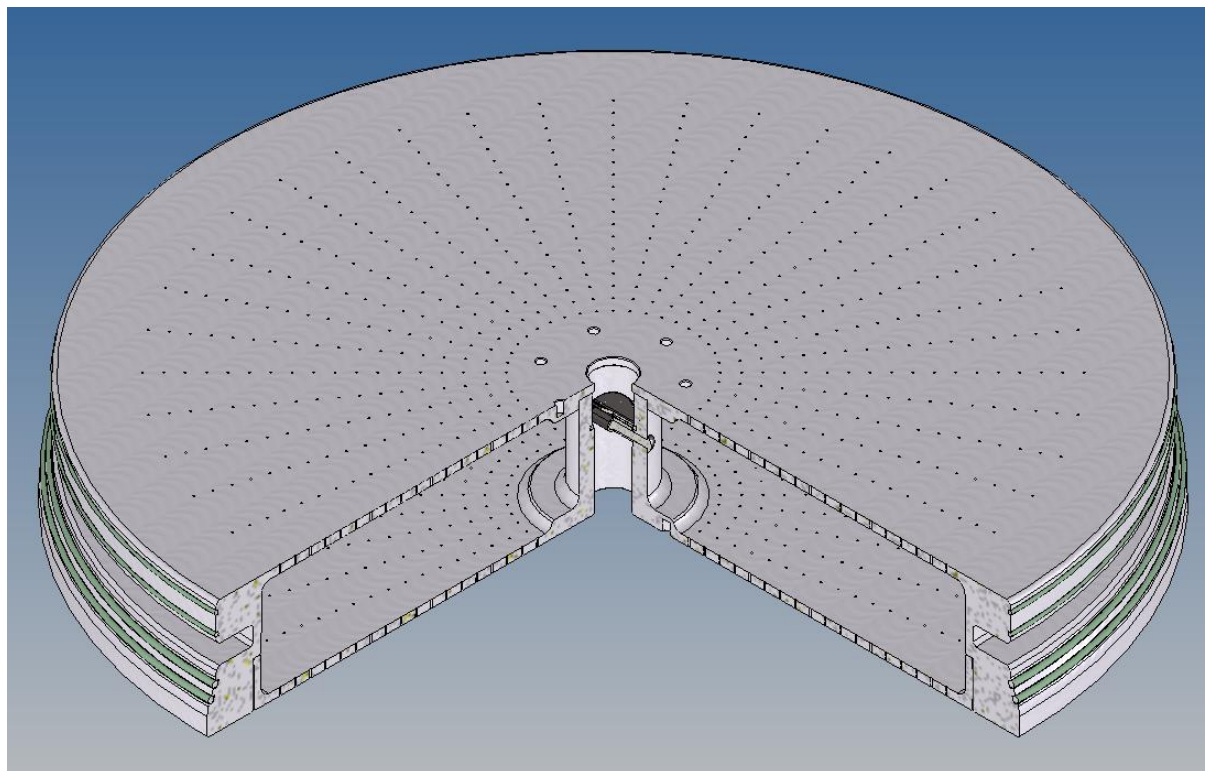
Již zmiňovaný plnicí koš byl navržen ve dvou možných podobách.

První obrázek vlevo je vhodný pro extraktor varianty 1. a 2., kde na konci procesu dochází k lisování, tedy vysušení extrakčního zbytku a jeho vyhození ve formě slisované kapsle.

Druhou možností je koš na obrázku vpravo, opatřený ve spodní části pogumovaným šuplíkem, který má za účel uzavřít dno, proti vysypání extrakčního zbytku a vylití zbytkového extraktu. Toto zpracování je vhodné pro 3. variantu extraktoru, kde dochází k vyhrnování extrakčního zbytku spolu s malým množstvím nasáklého extraktu. Po vyhrnování je možné tento koš odvést a provést částečné vysušení extrakčního zbytku mimo extrakční proces. Do každého koše se na začátku plnicího procesu vkládá filtr jako dno.



### 8.4.3 Filtr

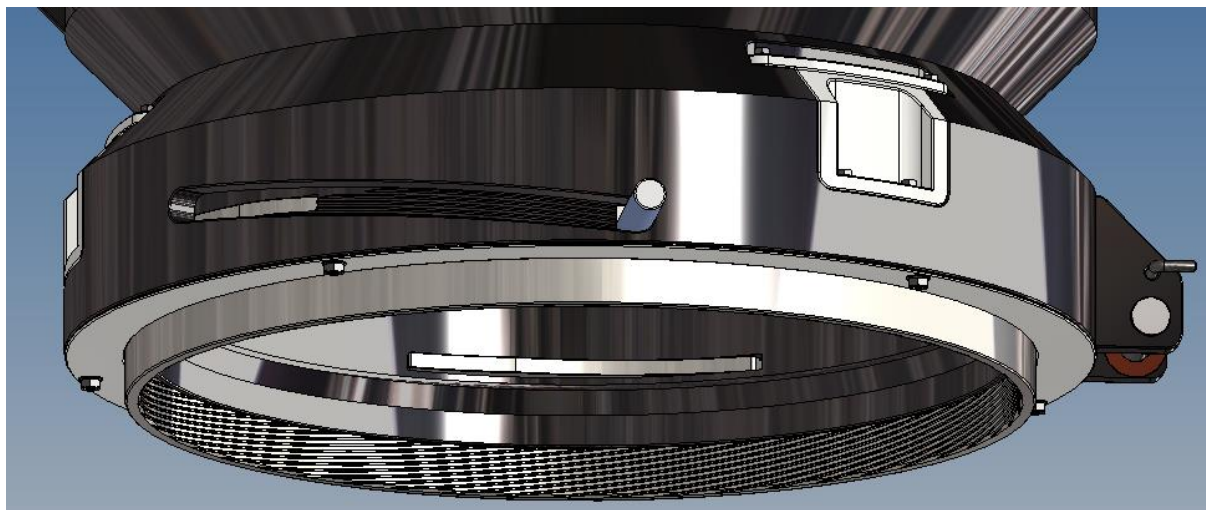


*Obrázek 54: Navržený filtr*

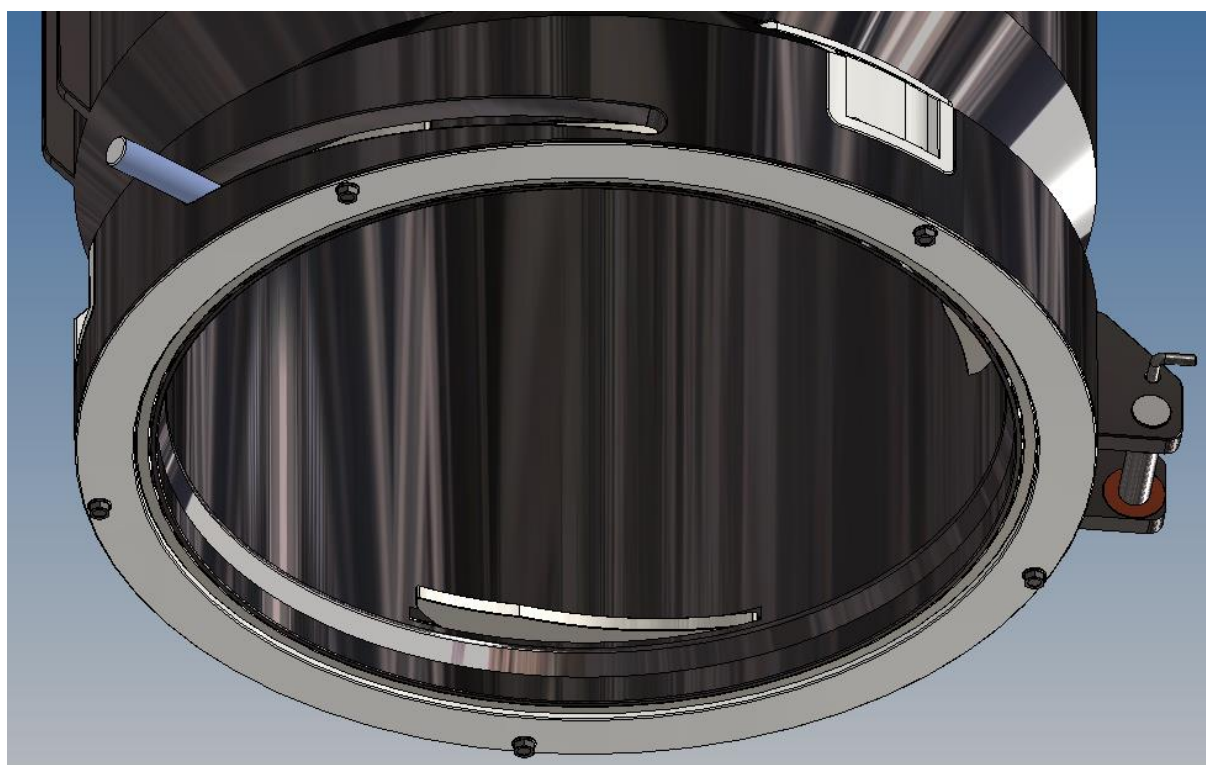
Filtr je nezbytnou součástí jak plnicího koše, tak samotného extraktoru i extrakčního procesu.

V první fázi procesu se filtr umístí na dno koše, kde má funkci posuvné hlavy pro transport bylinek. V další fázi dochází k jeho za aretování uvnitř extraktoru a brání tak propadnutí bylin ven. V poslední řadě je také samotným filtrem při konečné fázi lisování extrakčního zbytku, brání proniknutí bylinek do čistého extraktu. Filtr je opatřen dutinou pro umístění příslušného filtračního média. Uprostřed filtru je otvor se zpětnými klapkami, kterým je přiváděno extrakční činidlo do procesu a udává tak směr toku, který je kvůli dobrému mísení vhodný od středu nádoby. Po bocích je filtr opatřen aretační drážkou a řadou těsnění, ta brání průniku rozpouštědla do aretačního mechanismu a zároveň jsou pružným prvkem proti nežádoucímu zalisování v extrakční nádobě.

#### 8.4.4 Aretační mechanismus



Obrázek 55: Aretační mechanismus v dolní poloze



Obrázek 56: Aretační mechanismus v horní poloze

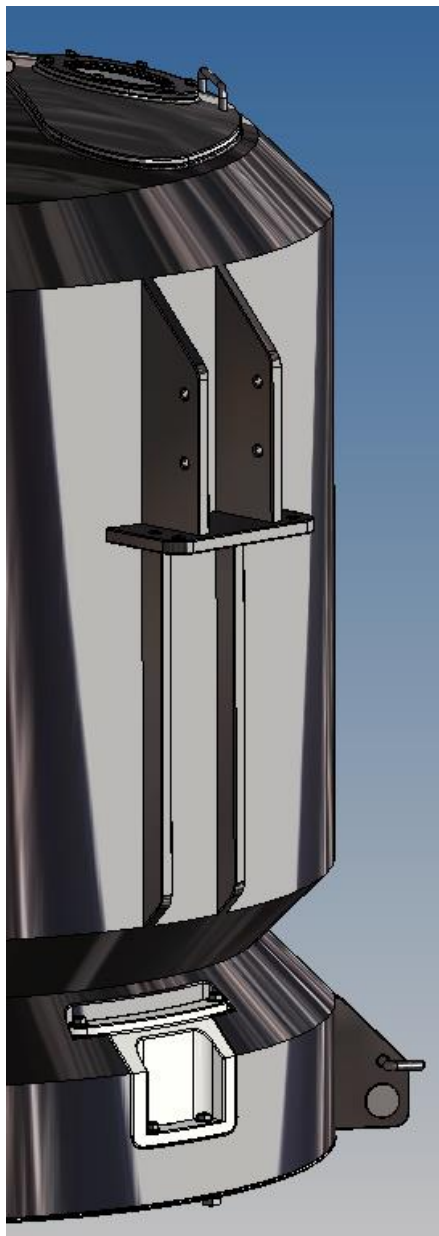
Specifickým prvkem celé této práce je aretační mechanismus, jímž je vybavena extrakční nádoba.

Na prvním snímku je aretace ve spodní poloze, při které je koš umístěný pod extraktorem vystředěný a zablokovaný proti pohybu. V této poloze jsou aretační klapky zastrčeny a je tedy možný volný průchod bylinek i filtru do extrakční nádoby.

Druhý obrázek ukazuje aretaci v horní poloze, při aretaci filtru. Po bocích vnitřní strany nádoby jsou vysunuty tři opěrné klapky, které zapadnou do drážky v navrženém filtru.



#### 8.4.5 Platle



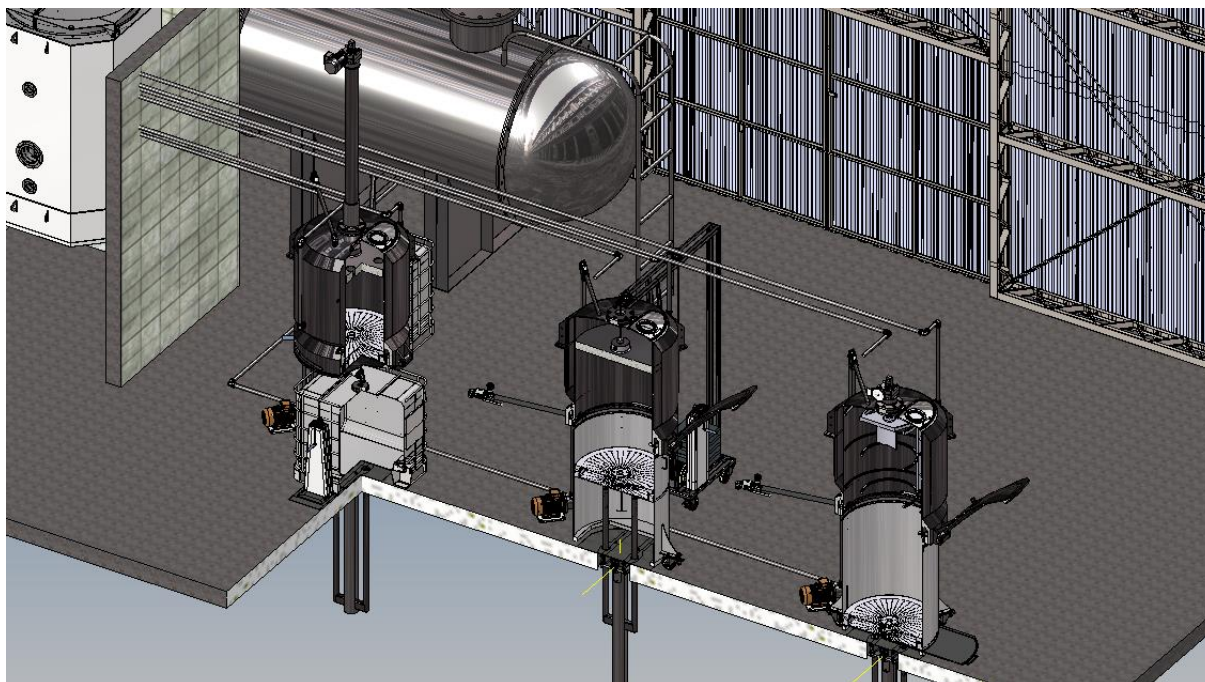
*Obrázek 57: Navržené platle*

Extraktor a celý extrakční proces je navržen tak, že pod samotnou extrakční nádobou musí být prostor pro mnoho operací, zároveň je nutný přístup i z vrchní části k servisnímu víku. Z toho důvodu se počítá s montáží extrakční nádoby na vyvýšenou ocelovou konstrukci, která není předmětem této práce.

Extrakční nádoba je po svém obvodu opatřena třemi navařenými platlemi, vhodnými pro její montáž k uvažované ocelové konstrukci.



## 9 ZÁVĚR A ZHODNOCENÍ



Obrázek 58: Halové rozložení všech tří variant extraktorů, zleva V.1 při vypouštění extraktu, uprostřed V.2 při fázi plnění a vpravo V.3 ve fázi vyhrnování.

Navrhl jsem koncepční řešení tří zařízení pro získávání aromatických látek z bylin. Dále podobu samotných extraktorů, všech nezbytných komponent a mechanismů i jejich procesní fáze, vypočítal jsem základní výkonnostní a silové parametry pro pohony, provedl kritické zhodnocení procesních parametrů a obsluhy. Preferovanou variantou je extraktor V.1, který je uplatnitelný v průmyslovém měřítku. Samotná extrakční nádoba je navržena jako snadno zaměnitelný kus mezi jakoukoliv variantou a je tedy možné extraktor libovolně modifikovat pouze výměnou charakteristických prvků. Srovnání výsledků práce je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka 1: Výsledky práce a porovnání jednotlivých variant

Varianta extraktoru	V.1	V.2	V.3
Délka x Šířka x Výška [mm]	1900 x 1700 x 5600	1900 x 1700 x 3200	1900 x 1700 x 3500
Prostor pro bylinky [l]	909	909	909
Průtok [l/min.]	200	200	200
Potrubní systém	Cu 42x1,5	Cu 42x1,5	Cu 42x1,5
Výkon čerpadla [kW]	0,55	0,55	0,55
Výkon motoru míchadla [kW]	-	-	2,2
Lisovací tlak [MPa]	0,012 – 0,035	Min. 0,008	-
Výhody	uplatnitelný v průmyslovém měřítku, automatické lisování extrakčního zbytku, plynulý chod procesních fází	lisování extrakčního zbytku, nižší zástavbový prostor	doplňněn vyhrnovacím míchadlem, plynulý chod procesních fází, snadné čištění
Nevýhody	zástavbová výška zařízení	náročná procesní manipulace	bez možnosti lisování extrakčního zbytku



## SEZNAM OBRÁZKŮ/GRAFŮ

Obrázek 1: Vsádkové zařízení na extrakci oleje ze semen [2].....	5
Obrázek 2: Bollmanův kontinuální extraktor s pohyblivým ložem [2].....	7
Obrázek 3: Schéma čtyřstupňové vsádkové perkolační extrakce [4] .....	8
Obrázek 4: Schéma kontinuální protiproudé a křížové extrakce [4] .....	9
Obrázek 5: GEA Westfalia Separátor [4], [8].....	11
Obrázek 6: Perkolační extraktor – kapacita 1 m <sup>3</sup> [4] .....	12
Obrázek 7: Crown Iron Model IV [4], [11] .....	13
Obrázek 8: Extraktor košového typu [4] .....	14
Obrázek 9: Obecné schéma superkritické extrakce pro kapalnou nebo pevnou vstupní surovinu [4] .....	15
Obrázek 10: Naviglio extraktor [4] .....	19
Obrázek 11: Horizontální rotační extraktor od firmy Athena Process design and manufacturing [5] .....	20
Obrázek 12: Lödige ploughshare mixer [21] .....	20
Obrázek 13: Odstředivý extraktor vyráběný firmou GEA [8] .....	21
Obrázek 14: Průřezové schéma ACC vytvořené CINC. Žlutá barva označuje vstupující lehkou fázi, modrá těžkou a zelená disperzi. [22] (licence Creative Commons CC-BY od MDPI) .....	22
Obrázek 15: DEVEX pilotní extrakční závod 2 x 100 l extraktory pro extrakci kapalina-pevná látka různých produktů. [9].....	23
Obrázek 16: Perkolátory od firmy United stream [10] .....	23
Obrázek 17: Příklad extraktoru DIG-MAZ firmy Samtech s pracovním objemem 1 m. <sup>3</sup> [23] .....	24
Obrázek 18: Vinifikátor se šikmým míchadlem od firmy UNICOM [24].....	25
Obrázek 19: Rotační vinifikátor firmy UNICOM [24].....	26
Obrázek 20: Pístový vinifikátor od firmy UNICOM [24] .....	26
Obrázek 21: systém SFT-NPX-10 od firmy Supercritical Technologies, inc. [17] .....	27
Obrázek 22: Průmyslový superkritický extraktor CDMH.100-2X-2F společnosti Isolate Extraction Systems s průtokem 20 kg/min. [28] .....	28
Obrázek 23: Ultrazvukový procesor UIP4000hdT – 4kW [30].....	29
Obrázek 24: Skica možného provedení extraktoru s mechanickým míšičem a ohřevem. ....	30
Obrázek 25: Skica možného provedení extraktoru s fluidním mícháním, ohřevem a vyjmutelným košem. ....	31





Obrázek 26: Skica možného provedení perkolátorového extraktoru s fluidním mícháním, ohřevem a ultrazvukem. ....	32
Obrázek 27: Fáze plnění 1 .....	35
Obrázek 28: Fáze plnění 2 .....	35
Obrázek 29: Fáze plnění 3 .....	35
Obrázek 30: Fáze plnění 4 .....	35
Obrázek 31: Fáze extrakce 1 .....	36
Obrázek 32: Fáze extrakce 2 .....	36
Obrázek 33: Fáze extrakce 3 .....	36
Obrázek 35: Fáze lisování 1 .....	37
Obrázek 34: Fáze vypouštění .....	37
Obrázek 36: Fáze lisování 2 .....	37
Obrázek 37: Obnova extraktoru do počátečního stavu .....	38
Obrázek 38: Znovu připravené zařízení na extrakci .....	38
Obrázek 39: Schéma čerpadlového okruhu .....	39
Obrázek 40: Schéma pro výpočet lisovací síly .....	43
Obrázek 42: Extraktor V.1 .....	47
Obrázek 41: Detailní pohled dovnitř extraktoru V.1 .....	47
Obrázek 43: Pístový aktuátor .....	47
Obrázek 44: Detailní pohled do extraktoru V.2 .....	48
Obrázek 45: Extraktor V.2 .....	48
Obrázek 46: Příklad možného navíjecího mechanismu .....	48
Obrázek 47: Extraktor V.3 .....	49
Obrázek 48: Detailní pohled do extraktoru V.3 .....	49
Obrázek 49: Vyhrnovací mechanismus .....	49
Obrázek 50: Zvedací mechanismus zasunutý .....	50
Obrázek 51: Zvedací mechanismus ve vysunuté poloze .....	50
Obrázek 52: Koš pro extraktor V.1 a V.2 .....	51
Obrázek 53: Navržený koš pro extraktor V.3 .....	51
Obrázek 54: Navržený filtr .....	52
Obrázek 55: Aretační mechanismus v dolní poloze .....	53
Obrázek 56: Aretační mechanismus v horní poloze .....	53
Obrázek 57: Navržené platle .....	54



Obrázek 58: Halové rozložení všech tří variant extraktorů, zleva V.1 při vypouštění extraktu, uprostřed V.2 při fázi plnění a vpravo V.3 ve fázi vyhrnování. .... 55

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Výsledky práce a porovnání jednotlivých variant..... 55

## SEZNAM SYMBOLŮ

$D$	[m]	Průměr extrakční nádoby
$h$	[m]	Výška extrakční nádoby
$V$	[m <sup>3</sup> ]	Objem extrakční nádoby
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /s]	Objemový průtok extrakčního činidla
$u_0$	[m/s]	Rychlost proudění v extrakční nádobě
$S_0$	[m <sup>2</sup> ]	Plocha průřezu extrakční nádoby
$P_h$	[W]	Hydraulický výkon
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Hustota lihu
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	Tíhové zrychlení
$H$	[m]	Celková výška čerpání
$P_{tech}$	[W]	Technický výkon čerpadla
$p$	[Pa]	Tlak
$c$	[m/s]	Rychlost kapaliny v potrubí
$\dot{m}$	[kg/s]	Hmotnostní průtok extrakčního činidla
$e_z$	[J/kg]	Ztrátová energie
$Re'$	-	Reynoldsovo číslo v propustné vrstvě
$D_p$	[m]	Velikost částic bylin
$\varepsilon$	-	Porozita
$\mu$	[Pa.s]	Dynamická viskozita
$\lambda'$	-	Součinitel tření v propustné vrstvě
$\delta$	[m]	Vnitřní průměr potrubí
$Re$	-	Reynoldsovo číslo v potrubí
$\lambda$	-	Součinitel tření v potrubí
$\Delta p$	[Pa]	Tlakové ztráty



L	[m]	Délka potrubí
$\xi$	-	Ztrátový součinitel
m	[kg]	Hmotnost
F	[N]	Síla
Eu	-	Eulerovo číslo
Sl	-	Strouhalovo číslo
Fr	-	Froudovo číslo
P	[W]	Příkon míchadla
$P_{0M}$	-	Příkonová charakteristika
n	[s <sup>-1</sup> ]	Frekvence otáčení
d	[m]	Průměr míchadla
$c_v$	-	Objemový zlomek
$\zeta$	[W/s <sup>3</sup> ]	Specifický příkon

## SEZNAM CITACÍ

- [1] KOČÍ, Petr. *Chemické inženýrství I. 4. rozšířené vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2019. ISBN 978-80-7592-049-2.*
- [2] J. F. RICHARDSON, J. H. HARKER, a J. R. BACKHURST, *Coulson and Richardson's CHEMICAL ENGINEERING Particle Technology and Separation Processes*, 5. vyd., roč. 2. 2002.
- [3] H.-J. Bart, „Extraction of Natural Products from Plants – An Introduction“, in *Industrial Scale Natural Products Extraction*, 2011, s. 1–25. doi: <https://doi.org/10.1002/9783527635122.ch1>.
- [4] A. Pfennig, D. Delinski, W. Johannsbauer, a H. Josten, „Extraction Technology“, in *Industrial Scale Natural Products Extraction*, 2011, s. 181–220. doi: <https://doi.org/10.1002/9783527635122.ch6>.
- [5] „Herbal Extraction Plants – Athena Process. Athena Process [online]. Copyright © Copyright 2017 [cit. 27.11.2022]. Dostupné z: [http://www.athenaprocess.com/herbal-phytochemicals/?fbclid=IwAR0PiBMixx3AZZtjnD-HVyoWX9I8WILb9QXuL5ZL0N7Kow4Ybuv2\\_i53bo](http://www.athenaprocess.com/herbal-phytochemicals/?fbclid=IwAR0PiBMixx3AZZtjnD-HVyoWX9I8WILb9QXuL5ZL0N7Kow4Ybuv2_i53bo)“.



- [6] KEHSE WOLFGANG a WEBER KLAUS, „ROTARY EXTRACTOR", US3860395 (A), 14. leden 1975
- [7] Zaid Alkhier Hamamah a Thomas Gruetzner, „Liquid-Liquid Centrifugal Extractors: Types and Recent Applications – a Review", *ChemBioEng Reviews*, lis. 2022.
- [8] „Clarifiers for Pharma Extraction. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © GEA Group Aktiengesellschaft 2022 [cit. 11.12.2022]. Dostupné z: <https://www.gea.com/en/products/centrifuges-separation/centrifugal-separator/clarifier/clarifiers-pharma-extraction.jsp>".
- [9] „DEVEX | Extraction Plants. DEVEX Verfahrenstechnik GmbH | Welcome [online]. Copyright © All Rights Reserved. [cit. 27.11.2022]. Dostupné z: <https://www.devex-gmbh.de/devex-extraction-plants.html>".
- [10] „e&e Extraction Plants | UNITED STREAM. Welcome to UNITED STREAM | UNITED STREAM [online]. Copyright © 2022, [cit. 27.11.2022]. Dostupné z: <http://www.unitedstream.eu/product/ee-extraction-plants>".
- [11] „Model IV Extractor - Crown Iron Works. Crown Iron Works: oilseed extraction, refining, processing equipment [online]. Copyright © 2022 [cit. 11.12.2022]. Dostupné z: <https://www.crowniron.com/specialty-extraction-washing-leaching/model-iv-extractor/>".
- [12] „Most Efficient Extraction Method for Botanical Extracts. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 1999 [cit. 27.11.2022]. Dostupné z: <https://www.hielscher.com/most-efficient-botanical-extracts.htm>".
- [13] „Natex. (2021). Načteno z [https://www.natex.at/fileadmin/content/PDFs/extraction\\_of\\_special\\_oils.pdf](https://www.natex.at/fileadmin/content/PDFs/extraction_of_special_oils.pdf)".
- [14] „CO2 Technology - NATEX Prozesstechnologie GesmbH. Home - NATEX Prozesstechnologie GesmbH [online]. Copyright © 2022 NATEX Prozesstechnologie GesmbH [cit. 11.12.2022]. Dostupné z: <https://www.natex.at/co2-technology/>".
- [15] „Supercritical CO2 Extraction - NATEX Prozesstechnologie GesmbH. Home - NATEX Prozesstechnologie GesmbH [online]. Copyright © 2022 NATEX Prozesstechnologie GesmbH [cit. 11.12.2022]. Dostupné z: <https://www.natex.at/co2-technology/supercritical-co2-extraction/>".



- [16] R. Eggers a S. Pilz, „High Pressure Processing“, in *Industrial Scale Natural Products Extraction*, 2011, s. 87–122. doi: <https://doi.org/10.1002/9783527635122.ch4>.
- [17] „SFT-NPX-10 - Supercritical Fluid Technologies. Home - Supercritical Fluid Technologies [online]. Copyright © 2022 SFT, Inc. All Rights Reserved. [cit. 11.12.2022]. Dostupné z: <https://www.supercriticalfluids.com/products/supercritical-fluid-extraction-products/sft-npx-10/>“.
- [18] „Ultrazvukové kavitace v kapalinách. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © Tyurnina et al. 2020 [cit. 11.12.2022]. Dostupné z: <https://www.hielscher.com/cs/ultrasonic-cavitation-in-liquids-2.htm>“.
- [19] „Elektrosonika - Ultrazvukové elektrody. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 1999 [cit. 11.12.2022]. Dostupné z: <https://www.hielscher.com/cs/electro-sonication-ultrasonic-electrodes.htm>“.
- [20] D. Naviglio, F. Pizzolongo, R. Romano, L. Ferrara, B. Naviglio, a A. Santini, „An innovative solid-liquid extraction technology: Use of the Naviglio Extractor® for the production of lemon liquor“, *African Journal of Food Science*, roč. 1, s. 42–50, led. 2007.
- [21] „Gebrüder Lödige Maschinenbau GmbH: Ploughshare® Mixers for batch operation ‚Universal Design‘. [online]. Copyright © 2022 by Gebr [cit. 11.12.2022]. Dostupné z: <https://www.loedige.de/en/machines/ploughsharer-mixers-for-batch-operation-universal/>“.
- [22] Bernhard C. Seyfang, Andreas Klein, a Thomas Grützner, „Extraction Centrifuges— Intensified Equipment Facilitating Modular and Flexible Plant Concepts“, *MDPI*, pro. 2018.
- [23] „DIG-MAZ 500 Animated video - Samtech. Home - Samtech [online]. Copyright © Copyright [cit. 27.11.2022]. Dostupné z: [https://samtech.at/animated\\_video/](https://samtech.at/animated_video/)“.
- [24] „Vinifikátory | UNICOM servis, spol. s r.o.. [online]. Copyright © ARSYLINE 2022 [cit. 27.11.2022]. Dostupné z: <https://www.unicom-servis.cz/cs/vinifikatory/p-119/>“.
- [25] Eugene Scazzola, „Control vinifier controlled with side hopper automatic evacuation of orujos. (Machine-translation by Google Translate, not legally binding)“, US3673947 (A), 4. červenec 1972



- [26] „Supercritical CO2 Extraction - NATEX Prozesstechnologie GesmbH. Home - NATEX Prozesstechnologie GesmbH [online]. Copyright © 2022 NATEX Prozesstechnologie GesmbH [cit. 11.12.2022]. Dostupné z: <https://www.natex.at/co2-technology/supercritical-co2-extraction/>".
- [27] „Supercritical CO2 Extraction Equipment - Botanical Extractor Machine. Supercritical CO2 Extraction Machines: Terpene Extraction Equipment [online]. Dostupné z: <https://isolatesystems.com/ies-botanical-extractors/>".
- [28] „Industrial Supercritical CO2 Extraction Equipment CDMH.100-2x-2f. Supercritical CO2 Extraction Machines: Terpene Extraction Equipment [online]. Dostupné z: <https://isolatesystems.com/ies-cdmh-100-2x-2f/>".
- [29] „Ultrasonic Extraction and Preservation - Hielscher Ultrasonics. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 1999 [cit. 04.12.2022]. Dostupné z: [https://www.hielscher.com/extraction\\_01.htm](https://www.hielscher.com/extraction_01.htm)".
- [30] „UIP4000hdT - 4kW High Performance Ultrasonics - Hielscher Ultrasonics. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 1999 [cit. 11.12.2022]. Dostupné z: <https://www.hielscher.com/uip4000hdt-4kw-high-performance-ultrasonics.htm>".
- [31] *Rieger, F., Novák, V., Jirout, T.: Hydromechanické procesy I. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. 209 s. ISBN 80-01-03283-8.*
- [32] Parker, „Industrial Tube Fittings Europe Technical handbook/Catalogue 4100-10/UK", 2023.
- [33] *NEUŽIL, Lubomír a Vladimír MÍKA. Chemické inženýrství I. Vyd. 2., upr. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1998. ISBN 80-7080-312-6.*
- [34] *Rieger, F. - Novák, V. - Jirout, T.: Hydromechanické procesy II. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005 (2007). 167 s.*
- [35] „Objemové hmotnosti skladovaných a přepravovaných komodit v zemědělství a průmyslu. Sila-nadrze [online]. [cit. 2023-07-27]. Dostupné z: <http://www.sila-nadrze.cz/objemove-hmotnosti.html>".



## PŘÍLOHY

EXTRAKTOR VARIANTA 1.stp

EXTRAKTOR VARIANTA 2.stp

EXTRAKTOR VARIANTA 3.stp