

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**



**NÁVRH LINKY NA VÝROBU  
KONZUMOVATELNÝCH OBALŮ**

**2022**

**RICHARD  
HOLEČEK**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Holeček** Jméno: **Richard** Osobní číslo: **491260**  
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:

**Návrh linky na výrobu konzumovatelných obalů**

Název bakalářské práce anglicky:

**Proposal of the production line for the production of edible packaging**

Pokyny pro vypracování:

V dnešní době je tlak na snižování produkce odpadů, zejména plastových. Určitou cestu mohou představovat obaly požitelné, konzumovatelné, kdy po konzumaci pokrmu či nápoje spotřebitel může zkonsumovat i obal.  
1) Proveďte literární rešerši zaměřenou na konzumovatelné obaly, jejich druhy, používané materiály, možnosti jejich výroby a použití. Pozornost věnujte především pečeným obalům z těsta (používané materiály, formy...)  
2) Pokuste se experimentálně zjistit operační parametry obalu (množství těsta, teploty pečení, doby pečení...) na pokusném pečícím zařízení s využitím zvolené receptury těsta.  
3) Proveďte základní návrh možné výrobní linky pro zvolenou kapacitu výroby konzumovatelných obalů včetně základní bilance této linky, odhadněte také výrobní cenu konzumovatelného obalu.

Seznam doporučené literatury:

Dle vlastní literární rešerše a doporučení vedoucího bakalářské práce.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jaromír Štancl, Ph.D. ústav procesní a zpracovatelské techniky FS**

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

Datum zadání bakalářské práce: **20.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.08.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **18.09.2022**

Ing. Jaromír Štancl, 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

## Čestné prohlášení

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

V Praze dne.....

Jméno a příjmení.....

## **Anotační list**

Jméno autora:	Richard Holeček
Název práce:	Návrh linky na výrobu konzumovatelných obalů
Název práce anglicky:	Proposal of production line for the production of edible packaging
Rozsah práce:	Počet stran: 47
	Počet obrázků: 30
	Počet tabulek: 3
	Počet příloh: 1
Akademický rok:	2021/2022
Jazyk práce:	Čeština
Ústav:	Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Studijní program:	Teoretický základ strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jaromír Štancl, Ph.D.



## **Abstrakt**

V teoretické části práce se zabývám deskripcí materiálů jak samotných konzumovatelných obalů, tak forem k jejich vytvoření. Dále je v teoretické části zpracována patentová rešerše, kde je uvedeno několik vybraných patentů forem pro výrobu konzumovatelných obalů.

Cílem praktické části bylo provést základní návrh potencionální linky na výrobu konzumovatelných obalů. Byly provedeny experimenty, kde z množství pečených vzorků byla stanovena ideální teplota pečení a ideální čas pečení, pro stanovení energetické bilance linky a pro určení množství těsta na jeden kelímek. Na konci je zpracována jednoduchá ekonomická rozvaha pro stanovení ceny kelímku.

## **Abstract**

In the theoretical part of the work I describe the materials for edible packaging itself and the molds for their creation. Furthermore in the theoretical part there is also patent research, which lists several patents of molds for the production of consumable packaging.

The aim of the practical part was to make a basic design of a potential production line for the production of consumable packaging. From the couple of experimentally baked samples, the ideal baking temperature and the ideal baking time were determined, to do the energy balance of the line and to determine the amount of dough per cup. At the end, a simple economic balance sheet were prepared to determine the price of the crucible.

## **Klíčová slova**

Konzumovatelné obaly, jedlý kelímek, materiály konzumovatelných obalů, formy na konzumovatelné obaly, pečení těsta v uzavřené formě, ekonomická rozvaha

## **Keywords**

Edible packaging, edible cup, edible packaging materials, forms for edible packaging, baking the dough in a closed mold, economic balance sheet

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jaromíru Štanclovi, Ph.D. za odborné vedení a za pomoc a rady při zpracování bakalářské práce. Rád bych rovněž poděkoval rodině a Kennymu Špagetkovi za podporu během studia.

# Obsah

Úvod.....	9
1 Látky pro jedlé obaly.....	10
1.1 Proteiny.....	10
1.2 Sacharidy.....	10
1.2.1 Monosacharidy.....	10
1.2.2 Oligosacharidy.....	10
1.2.3 Polysacharidy.....	10
1.3 Lipidy.....	11
2 Výroba jedlých obalů.....	11
2.1 Pečené konzumovatelné obaly.....	11
2.1.1 Formy.....	12
Patent Arthur L. Beloff.....	12
CUPFFEE LTD.....	13
Patent Nam, Hye Kyung & Lee, Keum Rye.....	14
2.1.2 Materiály pro pečené konzumovatelné obaly.....	15
2.1.3 Materiály pečících forem.....	17
Nerezová ocel.....	17
Hliník.....	17
Leidenfrostův-Boerhaavenův jev, povlakování lipidy.....	18
Teflonový povlak.....	18
Silikonový povlak.....	18
2.2 Konzumovatelné kelímky s gelovým základem.....	19
2.2.1 Formy.....	19
Loliware.....	19
2.2.2 Materiály gelových konzumovatelných obalů.....	19
Základ z polysacharidového hydrokoloidu.....	19
Proteinový základ.....	20
Chitinový základ.....	20
2.2.3 Materiály forem.....	21
3 Experimentální část.....	22
3.1 Příprava těsta.....	22
3.2 Schéma měřicí aparatury.....	24
3.2.1 Použité vybavení.....	25
3.3 Výsledky měření.....	25
3.3.1 Placka číslo 1.....	26
3.3.2 Placka číslo 2.....	26
3.3.3 Placka číslo 3.....	27
3.3.4 Placka číslo 4.....	27
3.3.5 Placka číslo 5.....	28
3.3.6 Placka číslo 6.....	28
3.3.7 Placka číslo 7.....	29
3.3.8 Placka číslo 8.....	29
3.3.9 Placka číslo 9.....	30
3.4 Shrnutí měření.....	31
4 Základní bilance navrhované výrobní linky.....	33
4.1 Specifikace vyráběného produktu.....	33

4.2 Stanovení potřebného množství těsta a surovin.....	34
4.3 Schéma a návrh uspořádání linky.....	35
4.3.1 Blokový diagram výroby.....	35
4.3.2 Návrh uspořádání.....	37
4.4 Základní bilance linky.....	38
4.4.1 Příkon na vytápění forem.....	38
4.4.2 Bilance energie pro pečení jednoho kelímku.....	39
4.4.3 Příkon pečící linky.....	40
5 Ekonomická rozvaha.....	41
5.1 Náklady produktu.....	41
5.2 Určení ceny kelímku.....	42
Závěr.....	43

# Úvod

Každoročně se světově spotřebuje průměrně 300 milionů tun plastového odpadu [15.], z čehož nemalé množství tvoří odpady jednorázové. Kupříkladu jen v Anglii se za rok vyhodí 25 000 tun jednorázových kelímků na kávu [16.]. V bakalářské práci se zabývám bilancí linky pro výrobu jednorázových jedlých a biodegradovatelných obalů, které by sloužili jako alternativa k výše uvedeným plastovým a kompozitovým obalům.

Idea jedlých obalů není nijak nová. Naopak například kornouty na zmrzlinu jsou mezi námi už od roku 1896 [18.]. V posledních letech 21. století však výrazně přibylo patentů, ať už jsou to kelímky na kávu od firmy Cupfee či Twice, které mají nahradit z pohledu recyklace nejobtížnější komoditu jednorázových kelímků na kávu, či nápad Johna Amoto na výrobu jednorázových jedlých kalíšků s vínem z těsta podobnému těstu hostií k účelu hromadných ceremonií [19.]. K výrobě kelímků se nepoužívá pouze těsto se škrobovým základem. Práce pojednává i o konzumovatelných materiálech vyrobených ze sacharidů či bílkovin, a které mechanickými vlastnostmi dosahují vlastností nahrazovaných plastů.

# 1 Látky pro jedlé obaly

Jedlé obaly jsou tvořeny zejména: proteiny, sacharidy a lipidy, případně dodatečnými aditivami a rozpouštědly. Výsledný materiál obalu pak získáme tepelnou úpravou, vysušováním či krystalizací těchto základních hmot.

## 1.1 Proteiny

Proteiny, neboli bílkoviny, jsou tvořeny z delších řetězců aminokyselin spojených peptidovou vazbou<sup>1</sup>. Jedná se zejména o  $\alpha$ -aminokyseliny, které jsou základní stavební jednotkou všech živých organismů a tvoří 50-80 % jejich sušiny. Bílkoviny jsou dobře rozpustitelné v polárních rozpouštědlech jako ve vodě či v alkoholu, naopak v nepolárních rozpouštědlech se rozpustit nedají. Většinu bílkovin je možno denaturovat, přetvořit jejich biologickou strukturu a vytvořit jinou polymerní sraženinu, která již nadále není rozpustná ve vodě. Denuraci je možné provést kyselinami, silnými zásadami či zvýšenou teplotou [1. 3.].

## 1.2 Sacharidy

Sacharidy jsou jedním z nejvýznamnějších zdrojů energie. Podle jednoho řazení dělíme sacharidy na monosacharidy, oligosacharidy a polysacharidy. Jednotlivé skupiny jsou seřazeny vzestupně podle počtu vázaných monosacharidových skupin v jedné jednotce [1.].

### 1.2.1 Monosacharidy

Monosacharidy se mohou v roztocích vyskytovat v lineární konfiguraci, častěji se však vyskytují v cyklické formě, pětičlenného či šestičlenného kruhu. Mezi nejznámější monosacharidy patří glukóza a fruktóza. Monosacharidy se vyznačují sladkou chutí, jsou rozpustné ve vodě [1.].

### 1.2.2 Oligosacharidy

Oligosacharidy jsou řetězce dvou až deseti monosacharidů navzájem propojených glykosidovou vazbou<sup>2</sup>. Mezi nejvýznamnější oligosacharid patří disacharid sacharóza, tedy řepný cukr [1.].

### 1.2.3 Polysacharidy

Polysacharidy jsou rozsáhlé, monosacharidy tvořené struktury. Polysacharidy tvoří nejzastoupenější skupinu sacharidů. Patří sem škrob, gelový agar, pektin či karagenan, ve vodě nerozpustná celulóza či chitin [1.].

---

1 Jednotlivé aminokyseliny jsou tvořeny jejich charakteristickou složkou R visící na kanonické chemické sloučenině, jejíž řetězec tvoří  $\text{OH-CO-CRH-NH}_2$ . Při vzniku peptidové vazby se krajní atomy OH a H sloučí v  $\text{H}_2\text{O}$  a zbylý polypeptidovou vazbu tvoří řetězec  $[-\text{CO-CRH-NH-}]_n$  [2.].

2 Glykosidová vazba vzniká reakcí dvou hydroxylových skupin za odštěpení vody.  $(-\text{OH})+(\text{OH}-) = \text{H}_2\text{O} + (-\text{O}-)$  [1.]

## 1.3 Lipidy

Lipidy se vyznačují na rozdíl od ostatních přírodních látek hydrofobicitou a rozpustností v nepolárních rozpouštědlech. Většinou se jedná o mastné kyseliny různé délky nepolárního řetězce či jejich esterové sloučeniny [1.].

Lipidy v porovnání se sacharidy a proteiny vykazují špatné mechanické vlastnosti, jsou kluzké, bez chuti. Obaly z lipidů v podobě naneseného filmu jsou však málo hydrofilní, až hydrofobní, v čemž tkví jejich výhoda [5.].

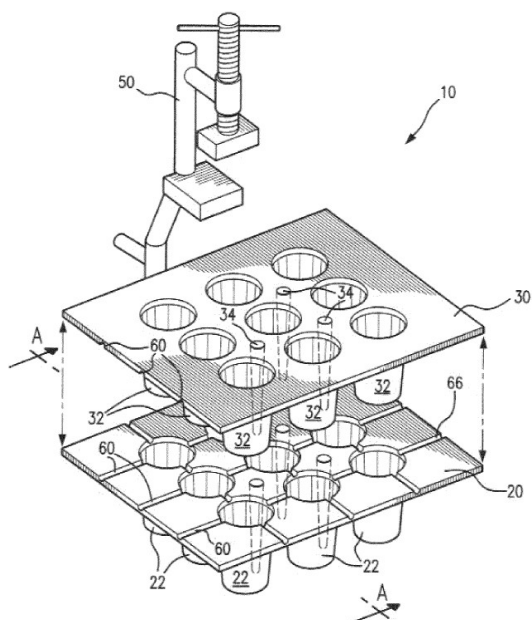
# 2 Výroba jedlých obalů

## 2.1 Pečené konzumovatelné obaly

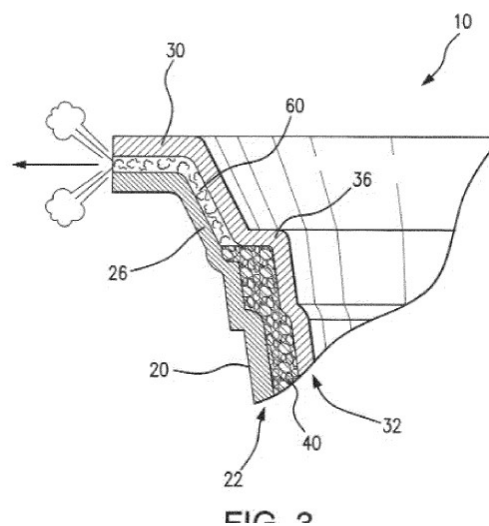
Jedná se o jedlé obaly pečené zalisované ve formě. Forma se skládá z dolní části tvořené často více kalíšky (negativy vnější části kelímku) a horní, samčí části formy, která je naopak negativem vnitřní části kelímku. Do spodní části formy je vpraveno těsto, které je posléze horní částí stlačeno a obě části formy s těstem uvnitř na sebe dosednou tak, že mezi sebou vytvoří prostor pro kelímek odpovídající tloušťky stěn a odpovídajícího tvaru. Po nalisování těsta do mezistěnných prostor je těsto ve formě upečeno ať již v samotném lisu, či v jiném zařízení. Při pečení se zvětší objem těsta tak, že vyplní celý prostor formy a získá pevný tvar konečných požadovaných vlastností kelímku. Během procesu pečení jsou pára a plyny unikající z těsta odváděny k tomu uzpůsobenými kanálky a dírami. Následně je kelímek vyjmut z formy a připraven k balení [6.].

## 2.1.1 Formy

### Patent Arthur L. Beloff



Obrázek 1: Forma Arthura L. Beloffa 1 [1.]

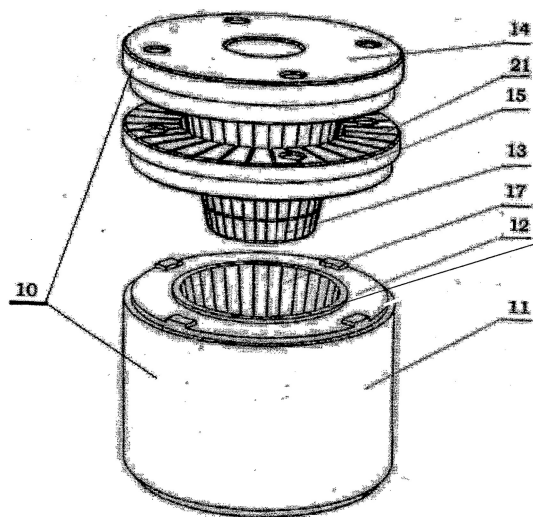


Obrázek 2: Forma Arthura L. Beloffa 2 [2.]

Forma Arthura L. Bellofa [9.] je tvořena klasicky dvěma díly a splňuje specifikaci formy dle úvodu kapitoly. Navíc je spodní část formy opatřena vodícími trubkami a horní část formy je opatřena vodícími kolíky. S takovou konfigurací formy a s dosedací plochou je zvýšená souosost jednotlivých forem na kelímky a tím je i zvýšená dosažená přesnost tloušťky stěn kelímků, která je zásadní pro jejich pevnost. Spodní forma je podle jedné z konfigurací opatřena drážkami pro odvod plynů při pečení, jak vidíme na obrázku 1. Patent se zaměřuje zejména na vodící kolíky formy, druh těsta, lis ani materiál kelímku nejsou důležité. V návrhu formy je počítáno s tím, že k sobě budou obě části formy uchyceny svorkami tak, aby se v průběhu pečení formy od sebe obě části neoddělily z důvodu expanze těsta.



## CUPFEE LTD



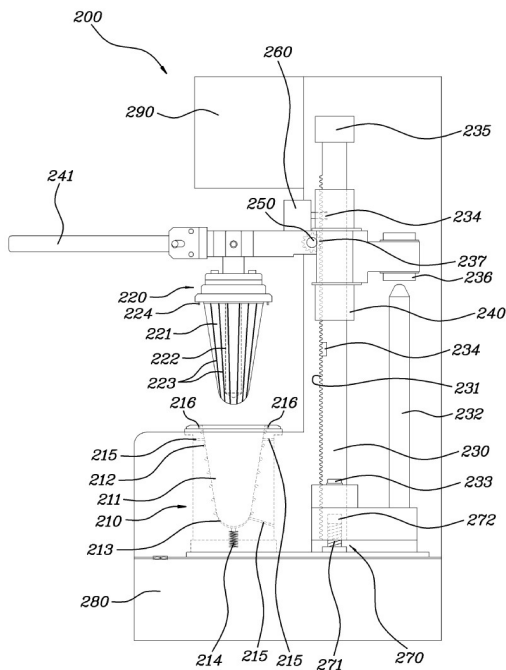
Obrázek 3: CUPFEE [3.]

Patent od Miroslava Atanasova Zapryanova z firmy Cupfee [10.] je velice komplexní a obsahuje jak přibližné složení těsta, tak hrubou deskripci celého výrobního procesu od hnětení těsta po balení produktu. Co se konstrukce formy týče, jedná se opět o formu složenou z miskové a pístní části blíže nespecifikovaných rozměrů. Spodní miskové části formy jsou odjímatelné od supportního stolu lisu a lze je umístit v celých řadách za sebou podle současně nastavené produkce. K miskovým částem je vždy přidružena část pístní a pohyblivá podložka, umístěná mezi spodní a svrchní částí, která slouží k oddělení produktu od pístové, svrchní části formy. Pístní část i pohyblivá podložka jsou centrovány na část spodní vodičnými tyčemi vsazenými do válcových otvorů umístěných na přírubě pístní části a po obvodu podložky.

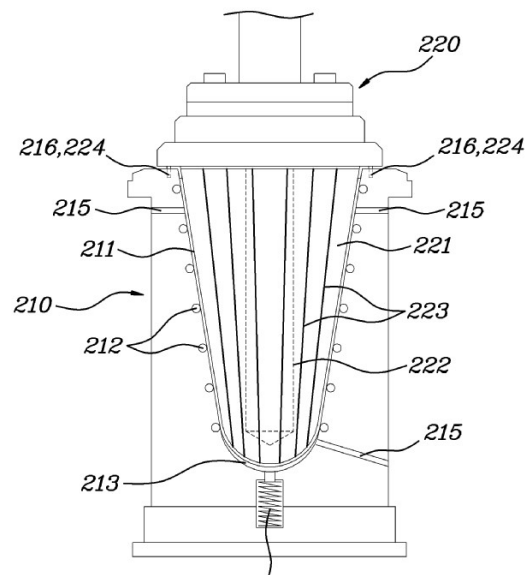
Podle různých konfigurací je vždy alespoň jedna z částí formy ze strany výrobku axiálně drážkovaná. Drážkování slouží k odvodu páry a plynů unikajících z těsta z formy. Axiální drážky navazují na radiální drážkování na vložené destičce tak, že každá axiální drážka formy navazuje na radiálně umístěnou drážku vložené destičky.

V pístové části je umístěno alespoň jedno topné těleso sloužící k pečení lisovaného těsta přímo v lisu. S touto výhodou a s výhodou dle popisu patentu zcela automatizované linky se zvyšuje produkce a efektivita výroby.

## Patent Nam, Hye Kyung & Lee, Keum Rye



Obrázek 4: Forma vynálezců Nam, Hye Kyung a Lee, Keum Rye 1 [4.]



Obrázek 5: Forma vynálezců Nam, Hye Kyung a Lee, Keum Rye 2 [5.]

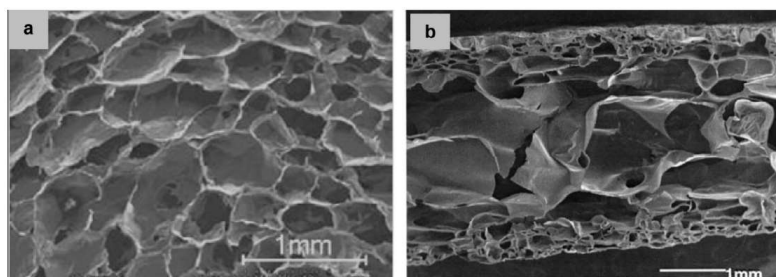
V patentu se korejští vynálezci zabývají celou konstrukcí lisu i s pohonnými zařízeními, na rozdíl od dvou předchozích patentů, které se zabíraly primárně samotnou formou.

Forma pečicího lisu na jedlé kelímky pro všeobecné použití podle korejského patentu je opět tvořena horní písní a spodní miskovou částí. Zatímco spodní misková část je pevně přichycena ke stolu, horní písní část je pevně přichycena na tuhém rameni vedeném ozubeným hřebenem (231) a pomocnou osou (232) umístěnou svisle na základním těle lisu. Vertikální pohyb je realizován skrze pastorek ozubeným hřebenem. Hnací moment pastorku je řízen elektromotorem. Dosedací plocha zde není realizována na okrajích horní a spodní části forem, nýbrž na spodní části ozubeného hřebenu (který je pro účel řízení vybaven spínačem) a spodní stranou ramene písní části formy. Z důvodu kalibrace mezery mezi oběma částmi formy pro tvorbu kelímku lze celý hnací mechanismus i s vodícím hřebenem, tyčí a dosedací plochou posunout ve vertikálním směru kalibračním šroubem (270). Za zmínku stojí pružný člen (214) dole v miskové části formy. Pružina v pružném členu je volena tak, že při lisování těsta se prohne a vytvoří požadovanou rovnoměrnou tloušťku na spodní straně kelímku, při upečení kelímku a odlehčení písní části formy pak plní funkci vyhazovače a sama vyjme kelímek z miskové části formy.

Celý proces tvorby kelímku se skládá z vložení těsta do miskové části formy, zalisování těsta do mezistěnných prostor až ke spínači na dosedací ploše, který vypne elektromotor a spustí topné spirály v horní i spodní části formy. Po odměření času na upečení kelímku je pístní část odlehčena a kelímek je vyhozen pružným členem spodní části formy [22.].

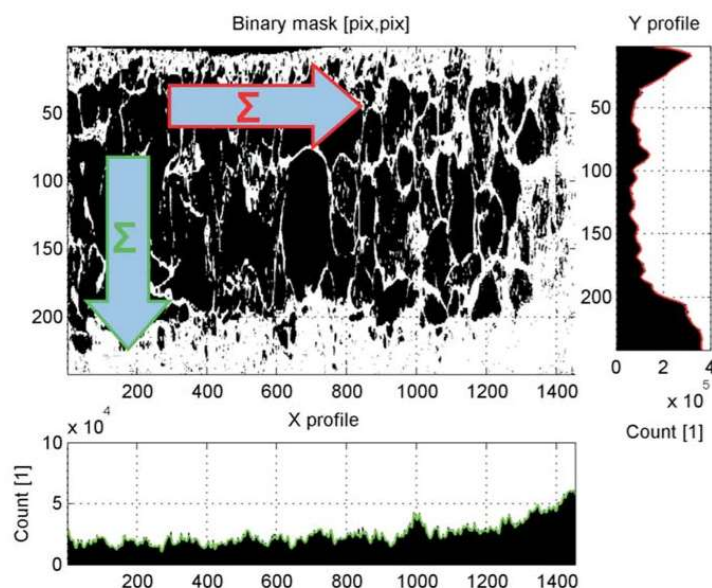
### 2.1.2 Materiály pro pečené konzumovatelné obaly

Podle přezkoumání Mae Fah Luang University [24.] je základní stavební složkou pečených konzumovatelných kelímků suspenze škrobu ve vodě. Tato směs je pak nalita do formy, uzavřena a zahřívána, ať již odporově přímým prostupem proudu, konvektivně vyhřívanými stěnami formy či mikrovlnným zářením. Při teplotě 50-80 °C (záleží na druhu škrobu, tvaru a velikosti zrn) probíhá želatinizace škrobu. Při želatinizaci se rozpadají některé vazby v monosacharidovém řetězci, kterými je polysacharid škrobu tvořen a dochází k jejich intenzivní hydrataci. Škrobová zrna tak bobtnají a měknou, či ztratí tvar úplně a vzniká tak amorfni struktura škrobového mazu. Při dalším zahřívání škrobového gelu se začíná vařit použité rozpouštědlo, tedy voda. Vodní páry expandují a vysušují škrobový maz. Tím gel bobtná, nabírá na objemu a tvoří porézní strukturu. Těsto tímto expanduje na 2x až 3x větší objem [24.], než je původní objem suspenze. Při tomto procesu nastává ve formě největší přetlak cca 2 až 6 bar [21.]. Tvar vybraného jedlého obalu pak dokážeme řídit pouhým výběrem formy, do které škrobová pasta expanduje.



Obrázek 6: Struktura upečené škrobové suspenze [10.]

Dle výzkumu na fakultě strojní ČVUT [20. 21.] vyplývá, že takto expandující sacharidová suspenze uzavřená mezi stěnami pečící formy netvoří rovnoměrně pórovitý povrch. Blíže k topným stěnám gel postupuje pomaleji, než ve středu formy, proto se tímto způsobem po upečení vytvoří sendvičová struktura tvrdé kůrky na kraji s malými póry a střídky uprostřed stěny výrobku, která se vyznačuje naopak většími a objemnějšími póry. Tento fenomén je znázorněn na obrázku 7. Na obrázku je vidět upravená fotografie řezu upečené škrobové suspenze mezi topnými deskami (nahore a dole). Černé části značí póry korelované inkoustem, bílé značí výbrus pevné škrobové struktury. Z grafu sumace vlevo a dole si můžeme povšimnout, že materiál blíže k topným deskám (nahore a dole) je výrazně méně pórovitý.



Obrázek 7: Řez pečeným filmem škrobové suspenze [6.]

Takto vytvořené škrobové struktury mají řadu výhod, i nevýhod. Mezi jejich výhody patří nízká hustota (cca  $0,3 \text{ g/cm}^3$ ) a relativně dobrá pevnost (přibližně  $2 \text{ MPa}$ ) [24.]. Mezi hlavní nevýhody ovšem patří špatná říditelnost velikosti pórů a ze všeho nejvíc háklivost takto vzniklé struktury na vlhkost. Za vysoké teploty vysušený gel s vodou rychle reaguje a rozpadá se, znovu želatinuje [24.].

Aby se předešlo těmto nežádoucím účinkům, přidávají se do škrobové suspenze další aditiva a vzniká tak těsto podobné těstu na sušenky. Pro snížení reakce škrobové struktury s vodou se do těsta přidává bílkovina, které po denuraci za vysoké teploty vytváří dodatečnou ve vodě nerozpustnou strukturu, či lipidy, které působí v materiálu hydrofobně, čímž opět chrání škrobovou strukturu před kontaktem s vodou. Jako méně kalorické plnidlo, které zároveň neubírá na mechanických vlastnostech se dá použít celulósová drť z otrub [24.].

Strukturální vlastnosti výsledného obalu či samotného těsta korigujeme dalšími aditivami ať již přírodními či chemickými. Hydrogenuhličitan sodný se používá pro zkyprění těsta [6.], sterát hořčnatý přidává těstu protispékavé vlastnosti, přidávají se barviva pro zpříjemnění barvy produktu, další aditiva zaměřující se na chuťovou stránku, či jedlá guma, která slouží ke zlepšení struktury těsta [6. 24.].

Jako polysacharid slouží převážně škrob všeho druhu, jako pšeničná mouka, čiroková mouka, kukuřičný škrob. Jako zdroj bílkovin se používají mléčné bílkoviny, bílkovina z luštěnin či obyčejný vaječný bílek. Co se lipidů týče, nejčastěji se používají rostlinné tuky, ať už oleje či nasycené margaríny.

Pevnost v tahu takového těsta může být i **1,1 MPa**, kde záleží na použitém škrobu či množství proteinu [23.].

### 2.1.3 Materiály pečících forem

Forma na pečené jedlé kelímky musí mít tři zásadní vlastnosti a to tuhost, aby odolala tlaku expandovaných par při pečení, musí umožnit dostatečný prostup tepla ať již tepelnou vodivostí či dobrou průchodností mikrovlnného záření a musí umožnit dobrou manipulaci s hotovým výrobkem. Výrobek se nesmí k formě připéct. První dvě vlastnosti, tedy dobrou tuhost a tepelnou vodivost zabezpečí běžně dostupná ocel či hliník. Zabezpečení nepřipečení těsta k formě se pak běžně řeší povrchovou úpravou interiéru formy.

Připékáním je míněn vznik chemických vazeb mezi sacharidy a bílkovinami v těstě s kovem. Běžně mezi kovem a složkami těsta vznikají van der Waalsovy vazby, ovšem i vazby kovalentní [30.]. V následujících odstavcích popisují pár způsobů, kterými se dá vzniku chemických vazeb mezi materiálem formy a výrobkem zamezit.

#### Nerezová ocel

Jako materiál pro formy se používá kupříkladu nerezová ocel, běžně používaná ocel v potravinářství je ČSN 17240 [32.] s obsahem chromu 18%. Právě chrom na formě vytvoří slabou vrstvou oxidu, která zhoršuje reaktivnost materiálu formy s těstem [30.].

Koeficient tepelné vodivosti nerezové oceli  $\lambda = 15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  [40.]

#### Hliník

Nejčastěji používané slitiny hliníku v potravinářství jsou EN AW 1050A, tedy čistý hliník s maximálním podílem nečistot do 0,5%, nebo slitiny EN AW 60XX s obsahem křemíku a hořčíku [34. 35.]. Podobně jako chrom u korozivzdorných ocelí i hliník tvoří na svém povrchu tenkou oxidickou vrstvu, která zhoršuje jeho reaktivitu s těstem a tím zlepšuje nepřilnavost těsta k povrchu [36.].

Nevýhoda hliníku tkví v jeho toxicitě a nebezpečí pro lidský organismus. Denní dávka hliníku překračující 6 mg za den způsobuje selhávání ledvin [37.] a nervová onemocnění [36.]. Oxidická vrstva hliníkových potravinářských nádob se snadno rozpouští zejména v kyselém prostředí a podle studií přechází do rajčatové omáčky či kyselého zelí při jejich vaření přibližně 300 mg hliníku na 1 kg sušiny produktu [37.]. Je však dokázáno [36.], že jednoduchým převařením hliníkového nádobí lze migraci značně snížit. Například při vyvařování nádobí ve vodě po dobu 30 minut kleslo množství migrovaného hliníku na devítinu původního množství.

Koeficient tepelné vodivosti hliníku  $\lambda = 239 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  [40.]

## Leidenfrostův-Boerhaavenův jev, povlakování lipidy.

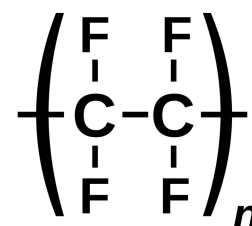
Tento jev popisuje chování kapaliny, která je vnějšími silami tlačena na povrch, který převyšuje teplotu varu dané kapaliny. Kapalina v tomto případě nikdy nesmočí rozehřátý povrch a bude se vznášet na polštáři tvořenými vlastními parami, dokud se zcela nevypaří [31.]. Kupříkladu dosedá-li těsto konzumovatelného obalu na stěnu formy, která převyšuje bod varu vody při daném tlaku, voda v těstě se vypaří a vysuší jej dříve, než se vůbec dotkne stěny formy. Upečené těsto pak již nadále nemůže tvořit chemické vazby s formou. Tomuto principu napomáháme povlakováním interiéru formy lipidy, nejčastěji rostlinnými oleji.

## Teflonový povlak

Polytetrafluoroethylen, neboli pod svým produktovým názvem známý Teflon je polymerní materiál tvořený základním uhlíkovým řetězcem s vázanými atomy fluoru. Tato chemická kombinace je natolik stálá, že se tento materiál neváže k žádným jiným běžným materiálům. Společně se svojí vysokou tepelnou odolností tak tvoří ideální materiál pro povlakování vnitřku forem [29.].

Nevýhoda polytetrafluoroethylenu tkví v jeho toxicitě při přesažení teploty 260°C. Při zahřátí nad teplotu 350°C můžou jeho páry po vdechnutí způsobovat horečky [27.].

Koeficient tepelné vodivosti polytetrafluoreethylenu  $\lambda = 0,2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  [39.]

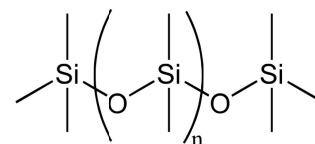


Obrázek 8:

Strukturální vzorec  
Polytetrafluoroethylenu  
[11.]

## Silikonový povlak

Silikon je elastomer, jehož hlavní složku tvoří polymerní řetězec -O-Si-. Na atomu křemíku jsou pak navázány další uhlovodíkové skupiny, jako methyl, fenyl, vinil či trifluoropropylen, které se společně s délkou silikonového polymeru podílejí na výsledných vlastnostech silikonu [28.]. Chemická vazba Si-O je silnější, a stabilnější, než uhlíková vazba C-C. Právě proto jsou pak silikonové povlaky odolné vůči vnějším vlivům a odolávají teplotám nad 200°C [28.].



Obrázek 9: Strukturální vzorec  
polydimethylsiloxanu [12.]

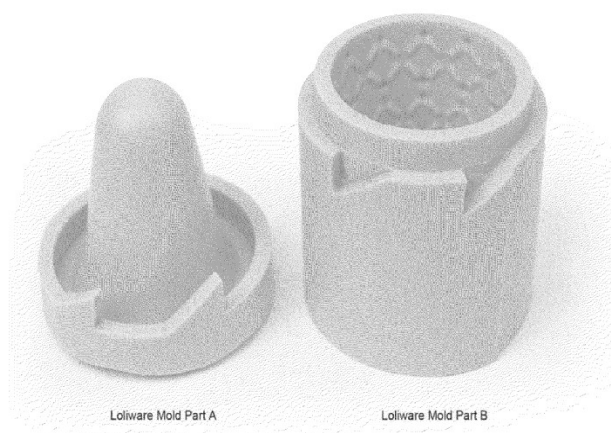
Silikonové formy se snadno myjí, mají vhodný nepřilnavý povrch, jsou velmi trvanlivé a netoxické. Nemění barvu ani chuť jídla [28.]. Špatně připravený silikon však potenciálně toxický být může, migraci částí silikonu do pokrmů se dá zamezit temperováním silikonu, jeho zahřátím na delší dobu na vysokou teplotu [26.].

Koeficient tepelné vodivosti silikonu  $\lambda = 0,2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  [38.]

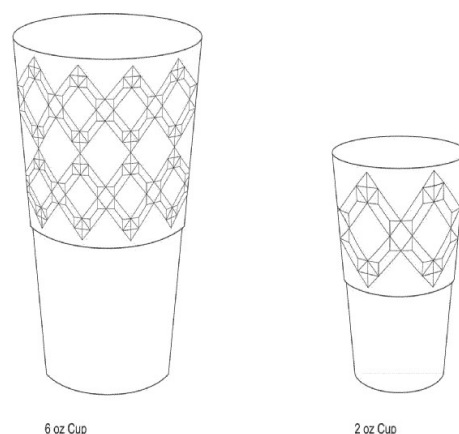
## 2.2 Konzumovatelné kelímky s gelovým základem

### 2.2.1 Formy

#### Loliware



Obrázek 10: forma Loliware [7.]



Obrázek 11: kelímek Loliware [8.]

Kelímek Loliware od firmy The Way We See The World, LLC [11.] je vytvořen z gelu nejrůznějších polysacharidů. Patent se zabývá jak recepturou kelímku, tak výrobou formy, která je určena primárně pro ruční či malosériové použití, vzhledem k principu její výroby a užívání.

Forma na kelímek Loliware je tvořena dvěma kusy z měkkého potravinářského silikonu. Oba kusy formy byly získány odlitím předlohy Loliware kelímku a opatřeny drážkami, jak je vidět na obr 10. Samotný Loliware kelímek je vytvořen nalitím odměřeného množství polysacharidového gelu do spodní miskové formy a přikrytím formy s gelem částí horní. Odlitek pak zatuhne a Loliware kelímek je z formy vyjmut.

Podle konstrukce formy lze usoudit, že je tento způsob používán pouze pro malosériovou výrobu. V patentu rovněž není ani náznak případné automatizace ani jedné části procesu.

### 2.2.2 Materiály gelových konzumovatelných obalů

#### Základ z polysacharidového hydrokoloidu

Hydrokoloidy jsou obecně polysacharidy, které v kombinaci s vodou vytváří gel. Fyzikální vlastnosti vzniklého filmu závisí na druhu hydrokoloidu, teplotě a jeho poměru s vodou. Mezi hydrokoloidy patří například agar či karagenan, který se získává extrakcí z mořských řas, pektin, který se vyskytuje v plodech rostlin, či škroby [11.].

K výrobě kelímků se používá kombinace vody či šťávy plodů, hydrokoloidu a sladidla v různém poměru [11.].

Filmy tvořené  $\kappa$ -karagenanem mají podle výzkumu Jong-Whan Rhima [14.] pevnost v tahu **40 MPa** s relativním prodloužením při maximálním tahu o 24%.

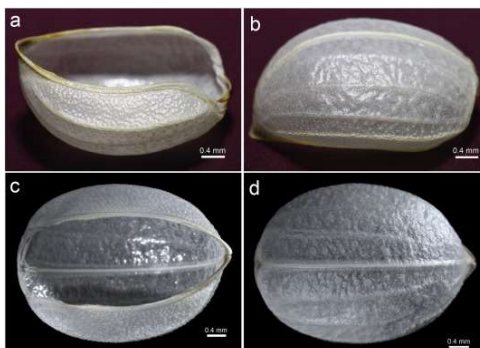
### Proteinový základ

Další formou náhrady plastových obalů je materiál tvořený základem ze sojového proteinu. Tento materiál testovaný na táčcích, ale aplikovatelný i na jedlé a biodegradovatelné obaly, byl vynalezen kanadskými vědci Eugene Moharebem a Gauri S. Mittalem. Základní materiál tvoří koncentrát sójové bílkoviny, voda a vícečetné alkoholy jako glycerol, sorbitol a mannitol. Jako gelující činidlo byla použita gellanová guma<sup>3</sup>. Za zvýšené teploty 60°C byl ze surovin vytvořen gel, který byl následně uzavřen ve formách a vysušován v konvektomu při teplotě 95 °C. Tímto způsobem byly vyrobeny tácky tloušťky 0,8 mm, které se vyznačovaly průměrnou mezí pevnosti v tahu cca **1,13 N/mm<sup>2</sup>** a relativním prodloužením vzorku při maximálním tahu o 4,6 % [7.].

V extrému může proteinový film, například tvořený syrovátkovým izolátem, dosahovat pevnosti v tahu až **28 N/mm<sup>2</sup>** při relativním prodloužení o 1,8% [17.].

### Chitinový základ

Jednou z metod přípravy konzumovatelného biodegradovatelného kelímku s chitinovým či chitosanovým základem je podle trojice tureckých vědců prostá úprava chitinového krunýře brouka rodu *Pimelia* [12.]. Pomocí série čištění, extrakcí a odbarvování byli vědci schopni extrahovat chitinový kalíšek původního tvaru exoskeletu, který je jedlý a zdravotně nezávadný.



Obrázek 12: Chitinový kalíšek [9.]

Chitin se dále dá extrahovat pomocí solných rozpouštědel a formovat do uměle vytvořeného filmu. Takové filmy mají pak maximální pevnost v tahu až **65 N/mm<sup>2</sup>** při relativním prodloužení o 9% [13.].

---

3 Gellanové guma je polysacharid proukovaný bakterií *Sphingomonas paucimobilis* [8.].



### 2.2.3 Materiály forem

Jako materiál na formy pro výrobu obalů s gelovým základem se zpravidla volí silikon, o němž pojednává kapitola výše. Usuzuji tak ze dvou důvodů. Prvním je, že jediným nalezeným obalem z hydrokoloidu byl kelímek Loliware, druhým důvodem je absence jakýchkoli forem z jiného než silikonového materiálu na veřejném trhu.

Další možností materiálu na formy pro výrobu obalů z gelového základu může být škrob. Škrob se běžně používá pro výrobu želatinových bonbónů, tedy výrobků z hydrokoloidu. Škrobová forma na bonbóny se vyrábí v zařízení mogul. Jedná se o linku tvořenou násypkou škrobu, kde se škrob nasype na táč, dále se škrob na tácu uhladí a pokračuje do razící části, kde se do zarovnaného škrobu na tácu vytlisují tvary bonbónů. Do výlisku ve škrobové formě je pak nalit hydrokoloid, ze kterého je bonbón vyroben a nechá se zatuhnout. Celý proces je zakončen vysypáním škrobové formy i s obsahem na síto, na němž se oddělí škrob a produkt. Propadnuvší škrob se vrací do výrobního oběhu [33.].

Svým tvarem a velikostí se gumový medvídek například od kelímku Loliware velmi liší. Možná se však dá technologie škrobové formy v určité úpravě aplikovat i na jedlé obaly.

### 3 Experimentální část

Pro vytvoření zhrubého návrhu výrobní linky na jedlé kelímky a pro stanovení jejich ceny bylo potřeba zjistit základní charakteristiky těsta při pečení, kterými jsou:

1. Expanzní poměr těsta, pro stanovení množství surového těsta pro výrobu jednoho kelímku.
2. Ideální teplota a doba pečení při dané tloušťce tak, aby se těsto dokonale propeklo, nespálilo a peklo se co nejkratší chvíli.
3. Tlak expandované páry pro případný návrh samotné formy.

#### 3.1 Příprava těsta

Pro výrobu testových placek byla použita veřejně dostupná receptura firmy cupffee [41.], pouze s malou změnou, tedy že v našem případě bylo použito o 40% více vody, než je v původním receptu.

Tabulka 1 - Složení těsta pro výrobu testovacích placek

<b>Ingredience</b>	<b>Množství [%]</b>	<b>Množství pro výrobu 933 g [g]</b>
Hladká mouka babiččina volba	23,3	217
Ovesné otruby enerBIO	26,8	250
Cukr krupice TTD	7,5	70
100% Rostlinný tuk omega	3,2	30
Alginát sodný (E401) REMI M. B.	0,7	6,5
Xantanová guma Wolfberry	0,7	6,5
Voda z vodovodního řádu	37,5	350

Po smísení všech sypkých surovin (hladké mouky, mletých ovesných otrub, cukru, alginátu sodného a xantanové gummy) byl přidán rozpuštěný 100% rostlinný tuk. Voda byla do těsta dávkována postupně během první minuty hnětení. Následně se v kuchyňském robotu STORIO (ETA, ČR) směs hnětla nejprve 5 minut hnětacím hákem (Obrázek 13), poté 5 minut gumovým třecím nástavcem (Obrázek 14). Těsto pak bylo zabaleno do polyethylenové fólie a ponecháno odpočívat jednu hodinu v chladu. Při následné práci bylo těsto tuhé, dobře tvárné a dobře držící tvar, velmi lepkavé a snadno ulpívalo na rukou.

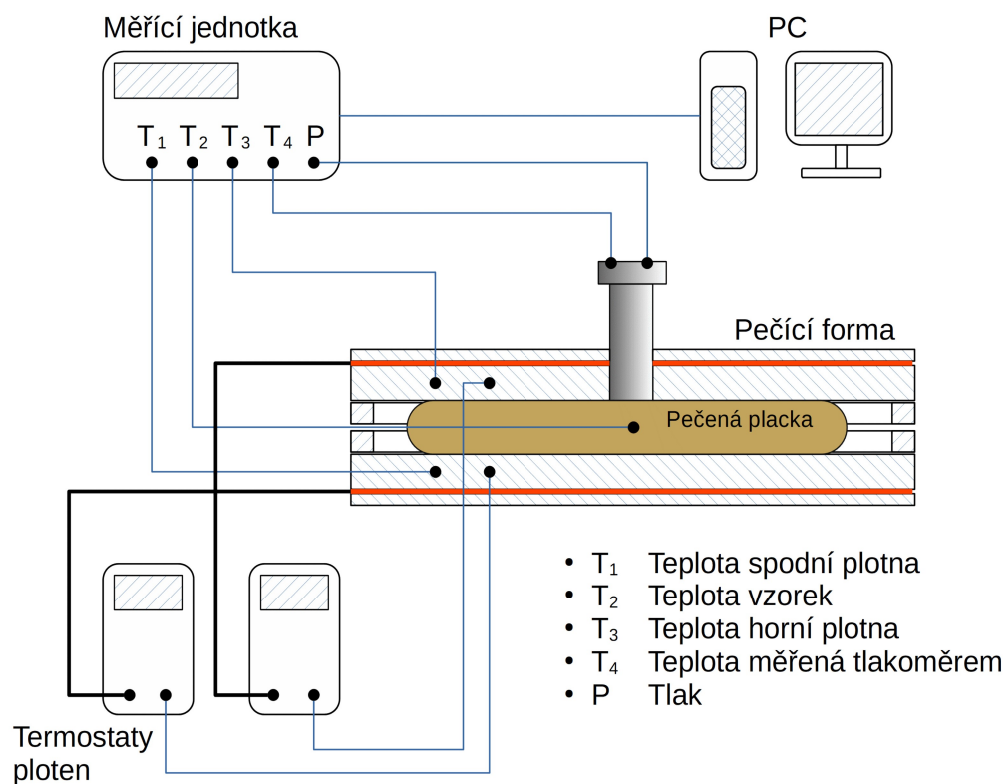


Obrázek 13: hnětací hák

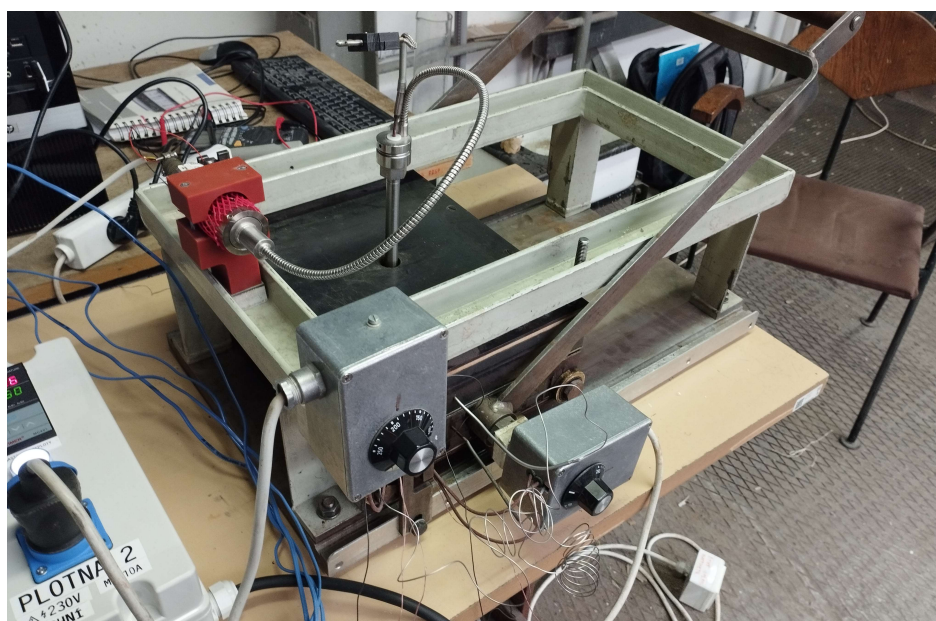


Obrázek 14: třecí stěrka

## 3.2 Schéma měřící aparatury



Obrázek 15: schéma měřící aparatury



Obrázek 16: Pečící zařízení

### 3.2.1 Použité vybavení

- Měřicí jednotka Agilent 34970A s univerzální měřicí kartou (Agilent, USA)
- Termočlánky typu T
- Regulátory teploty SINOTIMER MC401, zajišťující PID regulaci teploty pečících ploten spínáním výkonových SSR relé.
- Tlakoměr Dynisco TDT432H-M18-17-15/46 s rozsahem 0-17 bar s vestavěným termočlánkem typu J.
- Pečící forma tvořena dvěma pečícími plotnami oddělených distančními plíšky v rámu. Horní plotna s příkonem 1230 W, spodní plotna s příkonem 2730 W, s vnitřními rozměry 200x270x5,5 mm.
- PC se softwarem pro zpracování dat z měřicí jednotky LabView (National instruments)

Pro měření teploty  $T_{1, 2, 3}$  a pro regulaci termostatů byly použity termočlánky typu T, v tlakoměru je pro měření teploty  $T_4$  zabudován termočlánek typu J. Teploty regulované termostaty se liší od těch, které ukazovala měřicí jednotka, proto hodnoty nastavené na termostatu vůbec neuvažují. Důvodem nepřesností měření termostatu je absence referenčního chladného konce a poloha termočlánků, které byly umístěny na kraji formy a proto plně nereprezentovaly danou hodnotu.

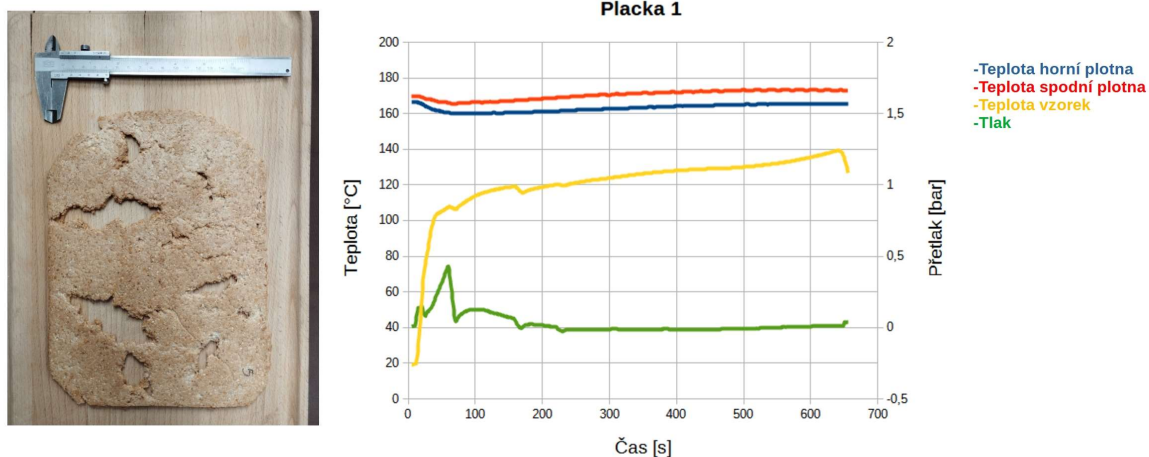
## 3.3 Výsledky měření

Pečení placek probíhalo následujícím způsobem. Z celkového množství těsta byla odebrána část cca 200 g, která byla zvážena a zformována přibližně do tvaru kuličky. Následně byl doprostřed koule vsazen termočlánek. Kulička pak byla vložena doprostřed mezi dvě slunečnicovým olejem ošetřené ocelové plotny a stlačena. Po uplynutí předem stanovené doby byla placka vyjmuta a změřena.

Bylo upečeno 9 placek při různých teplotách a časech pečení. V následujících tabulkách písmena  $T$ ,  $t$ ,  $S$ ,  $h$ ,  $m_1$  a  $m_2$  značí popořadě teplotu pečení, čas pečení, plochu stanovenou z pořízené fotografie programem imageJ (LOCI, University of Wisconsin, USA), tloušťku placky změřenou na min. 4 místech posuvným měřítkem, hmotnost těsta stanovenou laboratorní váhou, hmotnost upečené placky stanovenou stejnou váhou.

### 3.3.1 Placka číslo 1

T [°C]	t [min]	S [mm <sup>2</sup> ]	h [mm]	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]
166	10	42962,1	5,3	199,6	103,4

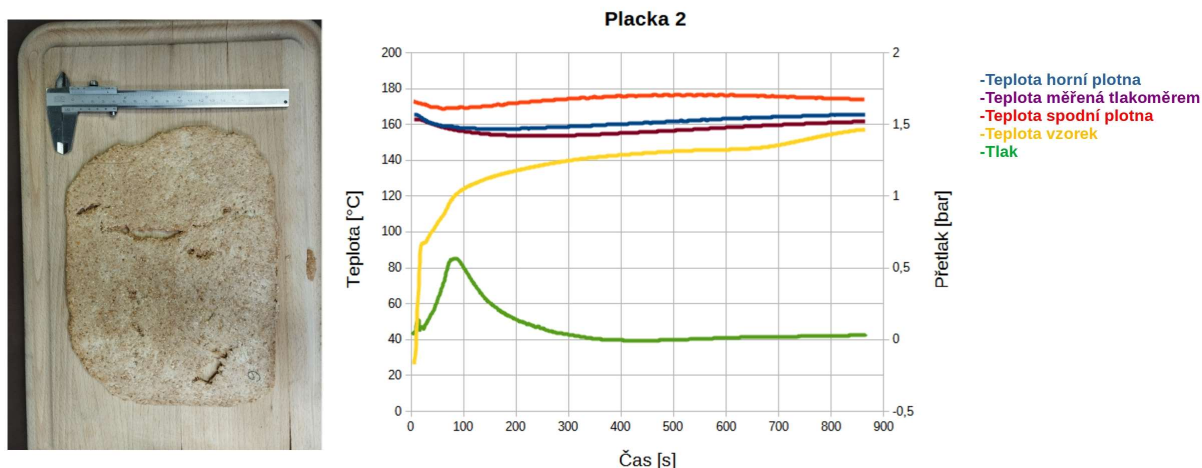


Obrázek 17

Placka z velké části vyplnila formu, je plně propečená s lehce nahnědlým okrajem. Na placce se nachází 9 výrazných trhlin vzniklých při pečení.

### 3.3.2 Placka číslo 2

T [°C]	t [min]	S [mm <sup>2</sup> ]	h [mm]	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]
170	13	45324,7	5,7	203,2	106,4

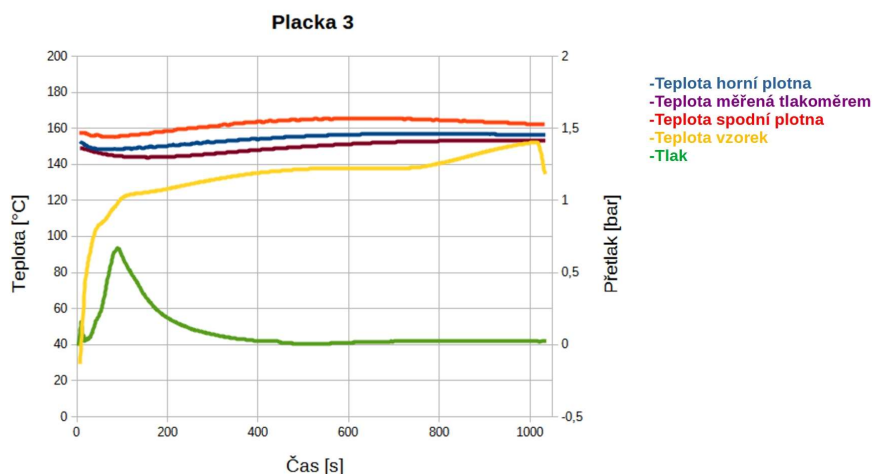


Obrázek 18

Placka opět plně propečená s nahnědlými okraji. Při pečení na placce vzniklo 6 výrazných trhlin.

### 3.3.3 Placka číslo 3

T [°C]	t [min]	S [mm <sup>2</sup> ]	h [mm]	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]
160	15	45690,4	5,7	205,2	109,8

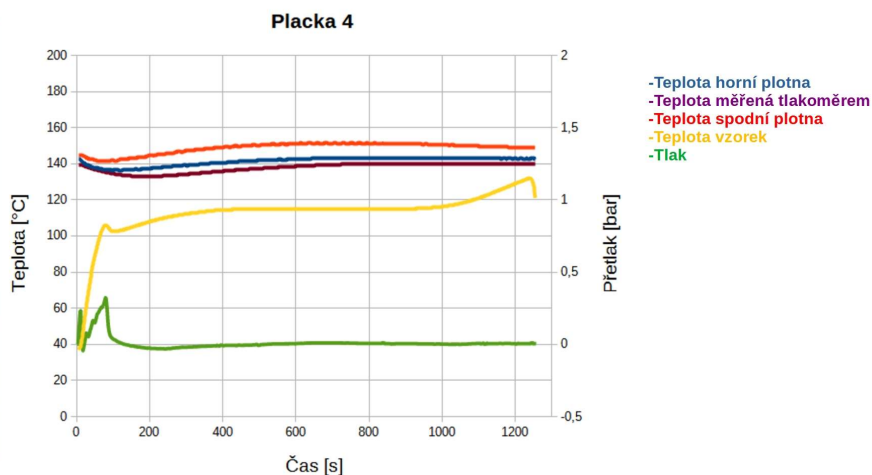


Obrázek 19

Placka plně propečená se světlými okraji. Na placce se opět nachází výrazné trhliny v počtu pěti kusů.

### 3.3.4 Placka číslo 4

T [°C]	t [min]	S [mm <sup>2</sup> ]	h [mm]	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]
146	18	41864,1	5,5	189,2	101,2



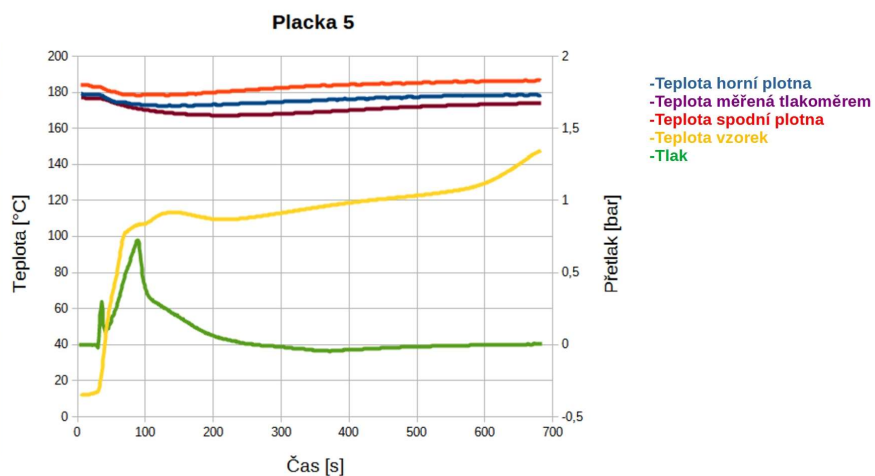
Obrázek 20

Placka plně propečená či vysušená s výrazně světlým zbarvením. Opět se zde nachází 5 výrazných trhlin.



### 3.3.5 Placka číslo 5

T [°C]	t [min]	S [mm <sup>2</sup> ]	h [mm]	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]
182	10	38915,1	5,4	197	109,4

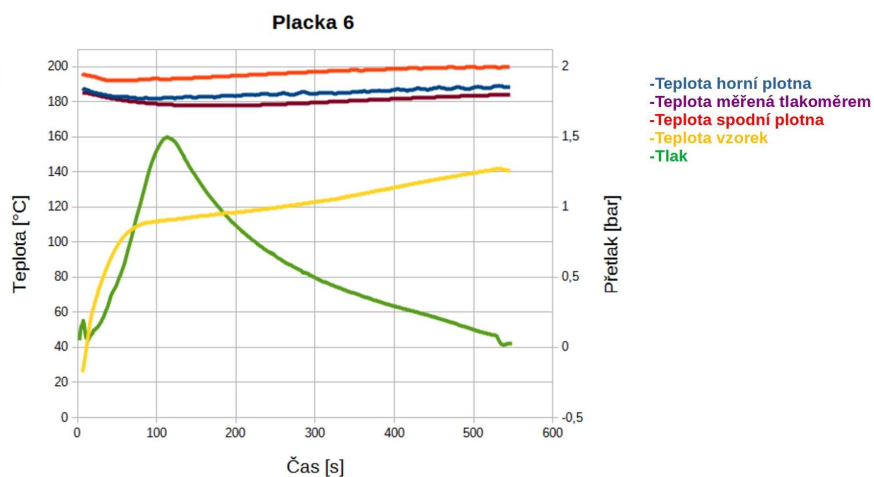


Obrázek 21

Placka plně propečená s místy výrazně hnědým zbarvením. Vytvořila se pouze jedna značná a jedna nepatrná trhlinka.

### 3.3.6 Placka číslo 6

T [°C]	t [min]	S [mm <sup>2</sup> ]	h [mm]	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]
194	7	37285,3	5,5	202,8	111,4



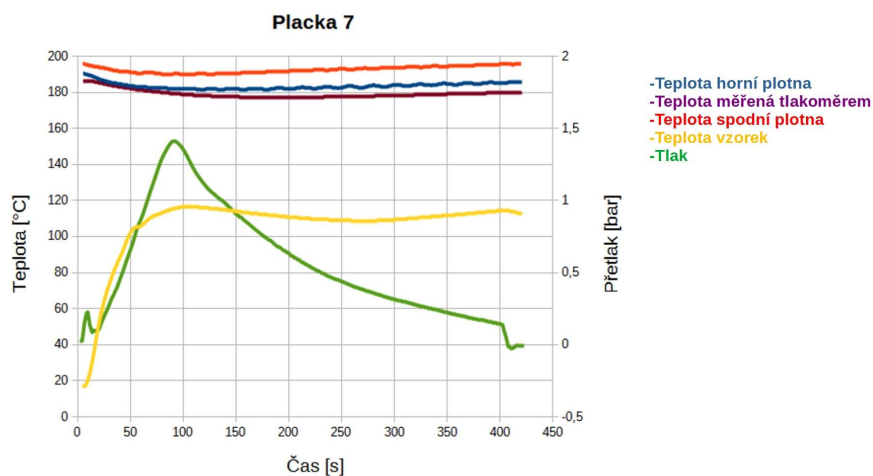
Obrázek 22

Placka plně propečená hnědého zbarvení kompletně bez znatelných trhlin.



### 3.3.7 Placka číslo 7

T [°C]	t [min]	S [mm <sup>2</sup> ]	h [mm]	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]
190	6	-	-	244,6	144,2

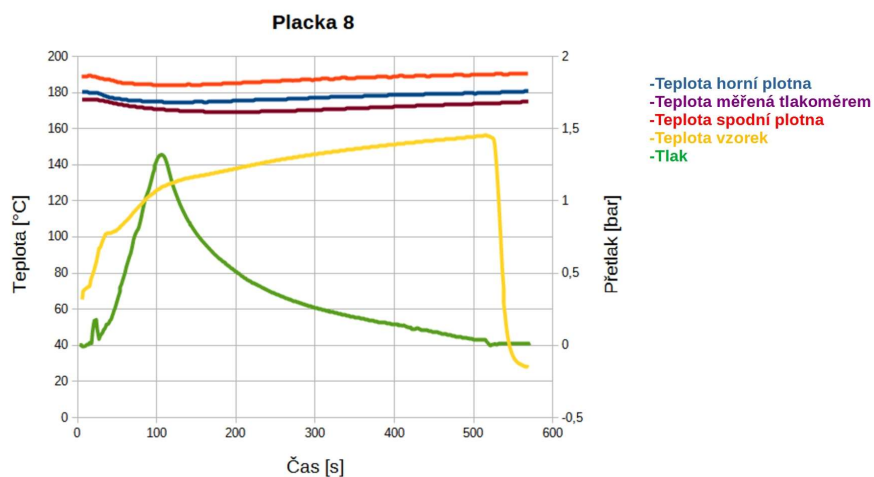


Obrázek 23

Placka uprostřed nedopečená se světlými místy. Na placce nejsou vnější trhliny, v jedné její polovině se však vytvořila velká výduť.

### 3.3.8 Placka číslo 8

T [°C]	t [min]	S [mm <sup>2</sup> ]	h [mm]	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]
185	7	18473,9	5,5	96,6	54,4

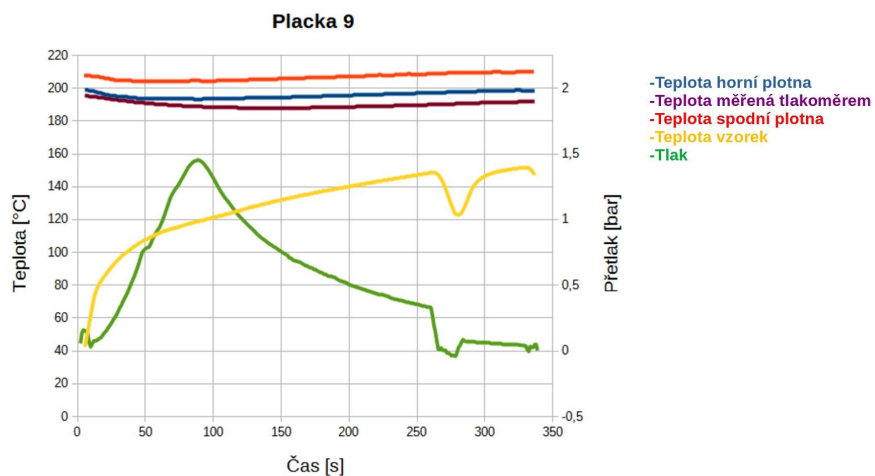


Obrázek 24

Placka plně propečená s převažujícím hnědým zbarvením bez trhlin a výdutí.

### 3.3.9 Placka číslo 9

T [°C]	t [min]	S [mm <sup>2</sup> ]	h [mm]	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]
204	5	-	-	149,2	89



Obrázek 25

Placka nepropečená s velkou výdutí skrze větší část placky. Placka upečená místy až do tmavě hnědého zbarvení.

### 3.4 Shrnutí měření

Tabulka 2 - Shrnutí měření

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T [°C]	166	170	160	146	182	194	190	185	204
t [min]	10	13	15	18	10	7	6	7	5
$\rho_1$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1071,6	1071,6	1071,6	1071,6	1071,6	1071,6		1071,6	
$\rho_2$ [kg/m <sup>3</sup> ]	454,1	411,8	421,6	439,5	520,6	543,2		535,4	
S [mm <sup>2</sup> ]	42962,1	45324,7	45690,4	41864,1	38915,1	37285,3		18473,9	
h [mm]	5,3	5,7	5,7	5,5	5,4	5,5		5,5	
m <sub>t</sub> [g]	199,6	203,2	205,2	189,2	197	202,8		96,6	
m <sub>2</sub> [g]	103,4	106,4	109,8	101,2	109,4	111,4		54,4	
V <sub>1</sub> [mm <sup>3</sup> ]	186265,8	189625,4	191491,7	176560,6	183839,5	189252,1		90146,7	
V <sub>2</sub> [mm <sup>3</sup> ]	227699,1	258350,8	260435,3	230252,6	210141,5	205069,2		101606,5	
Expanzní poměr [%]	42,4	38,4	39,3	41,0	48,6	50,7		50,0	
Pórovitost [%]	42,4	38,4	39,3	41,0	48,6	50,7		50,0	
Maximální tlak [bar]	1,47	1,57	1,67	1,35	1,74	2,58	2,42	2,32	2,44

V tabulce výše jsou shrnuty výsledky z měření. Index 1 označuje stav těsta před pečením, index 2 stav po upečení.

Teplota  $T$  je průměrná teplota vzata z teplot horní a spodní formy, hustota  $\rho_1$  je hustota spočtená ze změřené hmotnosti těsta  $m_t = 803\text{g}$  při objemu změřeného na měrném válci  $V_t = 750\text{ml}$  dle rovnice 1. Plocha placky  $S$  byla stanovena z fotografie placky programem imageJ, výška placky  $h$  byla určena z průměrné hodnoty výšky stanovené posuvným měřítkem na minimálně 4 místech. Expanzní poměr  $Ex$  je vypočítán dle rovnice 2 jako poměr objemu placky  $V_2$  ku objemu těsta  $V_1$  na její výrobu. Pórovitost  $Po$  je procento placky vyplněné vzduchem, tedy hustota placky ku hustotě těsta, dle rovnice 3.

$$\rho_1 = \frac{m_t}{V_t} \quad (1)$$

$$Ex = \frac{V_2}{V_1} \quad (2)$$

$$Po = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (3)$$

Dále byl experimentálně stanoven obsah volné vody v připraveném těstě i obsah volné vody v upečené placce. Stanovení obsahu volné vody bylo provedeno ze zjištěné hmotnosti těsta  $m_{0t}$  a hmotnosti placky  $m_{0p}$  před sušením a hmotnosti těsta  $m_{1t}$  a hmotnosti placky  $m_{1p}$  po sušení dle rovnic 4 a 5. Sušení bylo prováděno v komorové sušárně BINDER při teplotě 105 °C po dobu 24 hodin. Zjištěný obsah volné vody je aritmetický průměr z 6 sušených vzorků.

$$\frac{m_{0t} - m_{1t}}{m_{0t}} \cdot 100 = \frac{6,52 - 3,76}{6,52} \cdot 100 = 42,3\% \quad (4)$$

$$\frac{m_{0p} - m_{1p}}{m_{0p}} \cdot 100 = \frac{2,75 - 2,68}{2,75} \cdot 100 = 2,5\% \quad (5)$$

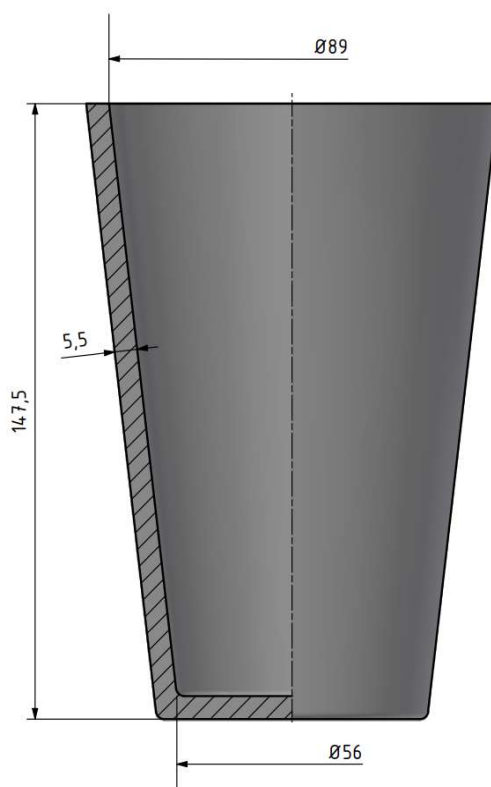
Při teplotách pečení pod 185°C byla vždy výsledná placka roztrhána unikající párou. V takovém případě pak materiál není vhodný pro výrobu obalů mající za účel držet tekutiny. Tento problém jsem se v počátku měření snažil vyřešit snížením teploty ploten, aby se pára odpařovala pomaleji a těsto netrhala. Naopak však při zvyšování teploty začala být sušenka více homogenní, bez prasklin. Tento fenomén si vysvětluji tím, že při vyšších teplotách pečení se těsto rychle po okrajích dotýkajících se ploten speče a lépe drží výsledný tvar. Tvorbě trhlin se dá rovněž zabránit jemným drážkováním formy, kde drážky odvádějí unikající páru a redukují vzniklé trhliny v těstě. Při dalším zvyšování teploty a zkracování času pečení se po vyjmutí placka začala deformovat a tvořit rozsáhlé výdutě. Placka v těchto případech zřejmě nebyla uprostřed dopečená a zbylé páry a napětí v placce roztrhli měkkou či sirovou střídku. V těchto případech jsem nadále neprováděl měření tloušťky a plochy.

Jako nejlepší varianta se jeví pečení placky tloušťky 5,5 mm na teplotu ploten 185°C po dobu 7 minut.

## 4 Základní bilance navrhované výrobní linky

### 4.1 Specifikace vyráběného produktu

Fiktivní zadavatel má zájem o výrobu a prodej jedlého kelímku na studené nápoje jako například na pivo a limonádu. Pro tento účel je navrhnut kelímek (Obrázek 26) o vnitřním objemu 0,6 l. Cílem modelového kelímku je posloužit jako vzor pro stanovení ceny takového produktu, cílem modelu není testování jeho rezistivity vůči vlhkosti, nebo testování mechanické únosnosti.



Obrázek 26 Základní rozměry produktu

Jako další specifikace je uvedeno, že požadovaná produkce je cca 1 200 kelímků za den, tedy 100 kelímků za hodinu při dvousměnném provozu po osmi hodinách s celkovým časem odstávek 4 hodiny na sanitaci zařízení, odstávky a nájezd linky. V bilanci není pro zjednodušení uvažováno se zmetkovitostí výroby.

## 4.2 Stanovení potřebného množství těsta a surovin

Podle jednoduchého modelu kelímku o vnitřním objemu 0,6 l a tloušťky stěny 5,5 mm viz obr. 26 byl stanoven objem materiálu takového kelímku, který činí 211 273 mm<sup>3</sup>. Podle výše uvedeného expanzního poměru cca 112 % činí množství těsta pro výrobu jednoho kelímku 188 636 mm<sup>3</sup>, čemuž odpovídá při přepočtu podle hustoty těsta  $\rho_1$  hmotnost dávky těsta 202 g. V následující tabulce jsou uvedeny množství jednotlivých surovin a jejich ceny za dané množství, stanovené dle maloobchodních cen [42. 43. 44. 45. 46. 47. 48.].

Tabulka 3 - cena a množství surovin na výrobu jednoho kelímku

Ingredience	Množství na jeden kelímek [g]	Cena na jeden kelímek [kč]
Hladká mouka babiččina volba	47	1,41
Ovesné otruby enerBIO	54,1	3,68
Cukr krupice TTD	15,2	0,3
100% Rostlinný tuk omega	6,5	0,65
Alginát sodný REMI M. B.	1,4	2,53
Xantanová guma Wolfberry	1,4	0,49
Voda z vodovodního řádu <sup>4</sup>	75,8	0
<b>Kelímek</b>	<b>202</b>	<b>9,06</b>

Pro výrobu požadovaného množství kelímků je nutný přísun těsta  $\dot{m}_t = 100 \cdot 0,202 = 20,2 \text{ kg/h}$ .

<sup>4</sup> 10<sup>-3</sup> kč, proto zanedbávám cenu.

## 4.3 Schéma a návrh uspořádání linky

### 4.3.1 Blokový diagram výroby



Obrázek 27: Blokový diagram výroby

**a) Násyp surovin.**

Do hnětače jsou nejprve vpraveny veškeré sypké suroviny, posléze je přidáván tuk a postupně voda. Vše v množství dle receptury.

**1. Hnětení těsta.**

Veškeré ingredience se smíchají a dobře prohnětou v průmyslovém hnětacím zařízení, například ve spirálovém hnětači.

**b) Přelití těsta.**

Promíchané těsto bude přelito do zásobníku k dalšímu použití

**2. Aktivace lepku**

Těsto se nechá hodinu odležet v chladu.

**c) Přelití těsta.**

Odleželé těsto se rozdělí do zásobníku extrudérů.

**3. Dávkování do forem.**

Pomocí šroubového extrudéru bude 202 g těsta vpraveno do spodní části formy, která je součástí článkového dopravníku.

**d) Posun na dopravníku**

**4. Stlačení pístitní části formy**

Pístitní část, která je součástí druhého článkového řetězu, bude přitlačena na část spodní. Souosost je zajištěna vodíciými kolíky po stranách.

**e) Posun na dopravníku**

**5. Pečení**

Pečení je realizováno odporovými topnými tělesy umístěnými jak ve spodní, tak ve svrchní části formy po dobu 7 minut při teplotě 185°C.

**f) Posun na dopravníku**

**6. Odklopení pístitní části formy**

Pístitní část je opět vyjmuta z dolní části formy.

**g) Posun na dopravníku**

**7. Oříznutí okraje**

Ostrý nůž umístěný tak, aby lícoval s hranou formy seřízne výron vytvořený mezi horní a spodní částí formy. Zarovná tak horní okraj kelímku.

**h) Posun na dopravníku**

Forma je posunuta dále na dopravníku až do jeho úvrati, následně pokračuje na dopravníku v převrácené poloze.



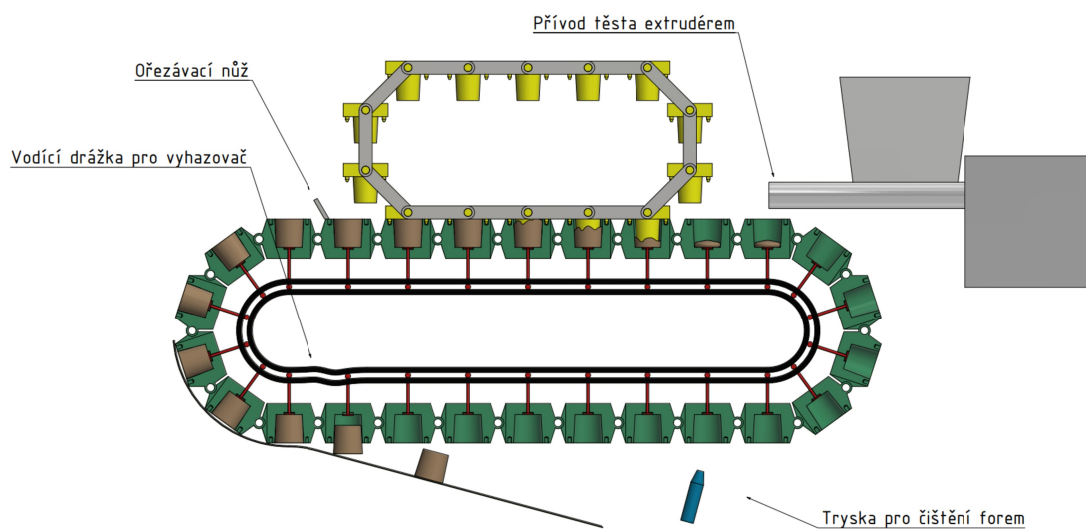
## 8. Vytlačení hotového kelímku

Kelímek je vytlačen pohyblivým členem (vyhazovačem) na spodní části formy. Upečený kelímek vypadne na dopravník tvořen nakloněnou rovinou.

- i) Po nakloněné rovině je kelímek dopraven na následující článkový dopravník, po kterém je dopraven na kontrolu kvality, kde jsou pomocí softwaru detekovány vadné kousky a tryskou vyřazovány z dopravníku. Následně jsou kelímky dopraveny na balící linku.

## 9. Čištění formy

Forma je stále v obrácené poloze proudem stlačeného vzduchu zbavena zbylých částí kelímku ať již jen drobků, či celých zmetkových kusů.



Obrázek 28: Stručné schéma pečící linky

### 4.3.2 Návrh uspořádání

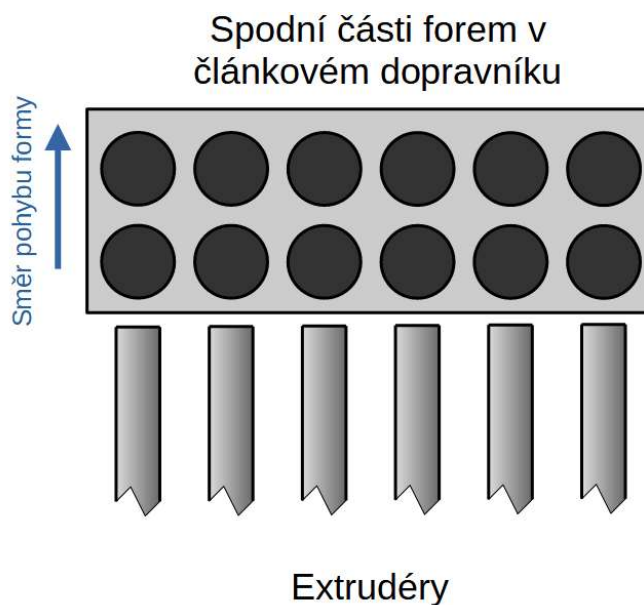
Při experimentálně zjištěné době pečení 7 minut jsme schopní nejlépe návrhu vyprodukovat při výrobě 12 kelímků v jednom článku formy podle rovnice 6 103 kelímků za hodinu. K účelu distribuce těsta do spodní části formy jsou použity extrudéry například od firmy Auris [49.] s hmotnostním průtokem 4 kg/h. Dle rovnice 7 stačí pro zajištění celkového hmotnostního průtoku těsta 20,2 kg/h pět extrudérů. Dále uvažujeme k distribuci těsta 6 extrudérů, z nichž by každý obsluhoval 2 formy.

Ke hnětení těsta by bylo možné použít například hnětač těsta od firmy Auris pro míchání těsta o hmotnosti 8 kg. Těsto by mohlo být hněteno po dobu až 20 minut.

Nejvhodnější uspořádání forem na jednom článku dopravníku by bylo ve dvou řadách po šesti formách, z nichž každé dvě formy umístěné za sebou by obsluhoval jeden extrudér viz obrázek 29. Pro zjednodušení dodávání těsta do formy by mohl být mezi extrudérem a formou pomocný pásový dopravník, který není na obrázku zobrazený.

$$n_k = \frac{n_{\text{kelímku}}}{t_{\text{pečení}}} \cdot 60 = \frac{12}{7} \cdot 60 = 103 \quad (6)$$

$$n_e = \frac{m_{\text{těsta}}}{m_{\text{extrudéru}}} = \frac{20,2}{4} = 5 \quad (7)$$



Obrázek 29: Rozmístění forem

## 4.4 Základní bilance linky

### 4.4.1 Příkon na vytápění forem

Podle měření vlhkosti těsta před upečením a po upečení dokážeme určit množství vody odpařené během pečení. V těstě před upečením byla naměřena vlhkost **42,3 %**, po upečení byla naměřena vlhkost **2,5 %**. Z těchto hodnot a ze známé hmotnosti kelímku 202 g dokážeme určit množství vody v kelímku  $m_v$  a množství odpařené páry  $m_p$ , dále pak množství sušiny  $m_s$ . Z hmotnosti a doby pečení 7 minut pak můžeme určit příkon pečících ploten formy. Teplota těsta na vstupu do pečícího zařízení je 20 °C.

#### 4.4.2 Bilance energie pro pečení jednoho kelímku

Charakteristiky vody: Výparné teplo při 1,5 bar  $\Delta h_{0,15 MPa} = 2226 \frac{kJ}{kg}$   
 Měrný tepelná kapacita  $C_{pv} = 4,186 \frac{kJ}{kg K}$   
 Teplota sytých par při 1,5 bar  $T_{0,15 MPa}^p = T_{2v} = 111,3^\circ C$

Charakteristiky sušiny: Měrná tepelná kapacita  $C_{ps} = 1,5 \frac{kJ}{kg K}$   
 Teplota placky na konci pečení  $T_{2s} = 160^\circ C$

Charakteristika formy: Měrná tepelná kapacita  $C_{pAl} = 0,896 \frac{kJ}{kg K}$   
 Hmotnost formy  $m_f = 20 kg$   
 při čištění a dopravě naprázdno  $\Delta T_f = 15^\circ C$   
 předpokládáme ochlazení o

Hmotnost dávky těsta:  $m = 202 g$

Obsah volné vody v těstě:  $w_t = 42,3 \%$

Obsah volné vody v placce:  $w_p = 2,5 \%$

$$\text{Hmotnost vody v těstě: } m_v = m \cdot w_t = 202 \cdot 0,423 = 85,5 g \quad (8)$$

$$\text{Hmotnost odpařené páry: } m_p = m \cdot (w_t - w_p) = 202 \cdot (0,423 - 0,025) = 80,4 g \quad (9)$$

$$\text{Hmotnost sušiny těsta: } m_s = m - m_v = 202 - 85,5 = 116,5 g \quad (10)$$

Energie disipovaná do vody a pro tvorbu páry dle rovnice (11).

$$Q_{voda} = C_{pv} \cdot m_v \cdot (T_{2v} - T_1) + \Delta h \cdot m_p = \quad (1)$$

$$= 4,186 \cdot 85,5 \cdot 10^{-3} \cdot (111,3 - 20) + 2226 \cdot 80,4 \cdot 10^{-3} = 211,6 kJ \quad (1)$$

Energie disipovaná do sušiny dle rovnice (12).

$$Q_{sušina} = C_{ps} \cdot m_s \cdot (T_{2s} - T_1) = 1,5 \cdot 116,5 \cdot 10^{-3} \cdot (160 - 20) = 24,5 kJ \quad (12)$$

Energie pro vyhřátí formy po ochlazení při čištění dle rovnice (13)

$$Q_f = C_{pAl} \cdot m_f \cdot \Delta T_f = 0,896 \cdot 20 \cdot 268,8 \text{ kJ} \quad (13)$$

Potřebná energie z ploten dle rovnice (14)

$$Q_{ploten} = Q_{vody} + Q_{sušiny} + \frac{Q_f}{12} = 211,6 + 24,5 + \frac{268,8}{12} = 258,5 \text{ kJ} \quad (14)$$

Potřebný výkon ploten:

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{258,5}{60 \cdot 7} = 615,5 \text{ W} \quad (15)$$

Pro výrobu jednoho kelímku je spotřebováno **258,5 kJ** z ploten o minimálním výkonu 616 W, Celkový výkon jednoho článku by dosahoval 7,4 kW, a odebíral by pro upečení jedné várky energii 3,1 MJ.

#### 4.4.3 Příkon pečící linky

Příkon pečící linky je stanovený odhadem. Hlavní odběr bude tvořit 6 extrudérů mající dle technických údajů firmy Auris [49.] dohromady příkon 2,4 kW. Další odběr budou tvořit motory pohánějící linku odhadované na celkový příkon 2 kW, hnětač těsta podle firmy Auris s příkonem 0,75 kW [50.] a balící jednotka odhadovaná na příkon 500 W. Slabší stroje jako pásové dopravníky či automatická kontrola jsou odhadnuty na společný příkon 500 W. Celkový příkon pečící linky bez samotného pečení by tedy mohl dosahovat **6,1 kW**. Na výrobu dvanácti kelímku při ustáleném chodu linky, tedy **0,5 kW** na jeden kelímeček. Na jeden kelímeček tedy připadá energie dle rovnice 16 210 kJ.

$$Q_{linky} = P_{linky} \cdot t = 0,5 \cdot 10^3 \cdot 7 \cdot 60 = 210 \text{ kJ} \quad (16)$$

---

5 Energie pro opětovný výhřev formy  $Q_f$  je rovnoměrně přepočtena mezi všech 12 kelímků na článku.

## 5 Ekonomická rozvaha

### 5.1 Náklady produktu

Náklady na jeden kelímek při maximálním zatížení. Cena energií je stanovena dle společnosti eon [51.] na  $5,8 \text{ kč/kWh}$ , tedy  $C_{el} = 1,611 \cdot 10^{-3} \text{ kč/kJ}$ .

Cena energií pro výhřev ploten dle rovnice 17:

$$C_{e1} = Q_{ploten} \cdot C_{el} = 1,611 \cdot 10^{-3} \cdot 258,5 = 0,42 \text{ kč} \quad (17)$$

Cena energií na provoz linky dle rovnice 18:

$$C_{e2} = Q_{linky} \cdot C_{el} = 210 \cdot 1,611 \cdot 10^{-3} = 0,34 \text{ kč} \quad (18)$$

Cena ingrediencí na jeden kelímek<sup>6</sup>  $C_i = 9,06 \text{ kč}$

Celková cena dle rovnice 19:

$$C = C_i + C_{e1} + C_{e2} = 9,82 \text{ kč} \quad (19)$$

---

<sup>6</sup> Cena ingrediencí je počítána dle maloobchodních cen. Při odebírání za velkoobchodní ceny je možné s cenami ingrediencí klesnou na cca 70% maloobchodních cen. Tedy cca 6,5 kč.

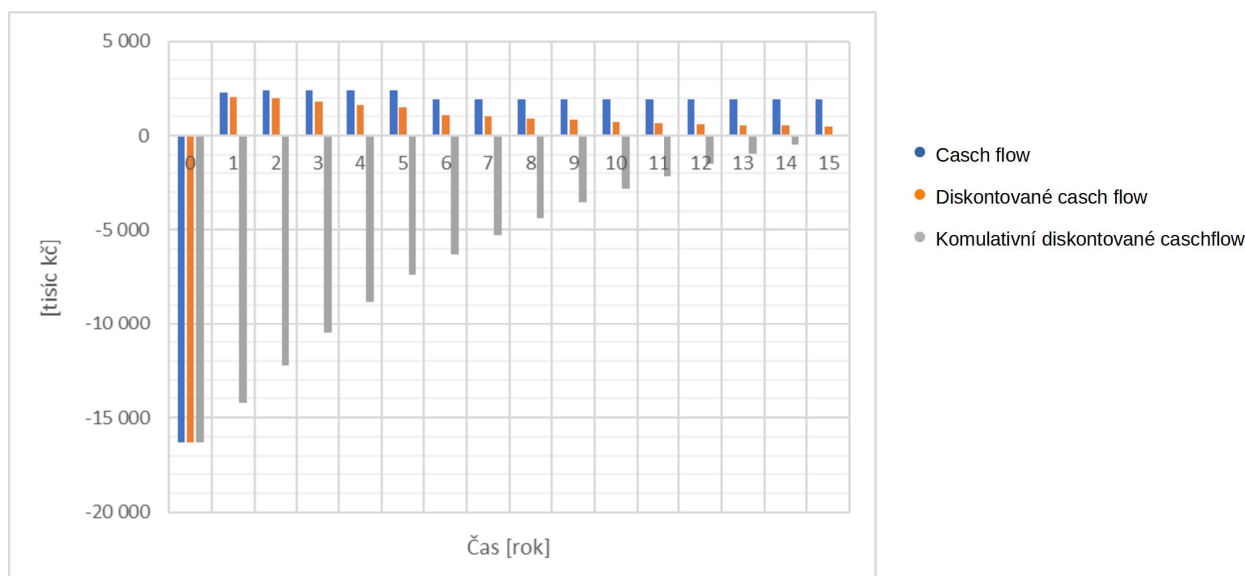
## 5.2 Určení ceny kelímku

Cena kelímku je určena dle přiložené tabulky převzaté z dostupných studijních materiálů k předmětu Projekt II vyučovaného na ústavu procesní a zpracovatelské techniky na fakultě strojní ČVUT. V tabulce je dále operováno s těmito předpoklady:

- Cena přímých provozních nákladů na výrobu jednoho kelímku je 7,25 Kč.
- Výrobní linku budou obsluhovat dva pracovníci ve dvou směnách s hrubou měsíční mzdou 35 000 Kč na měsíc. V osobních nákladech jsou dále zohledněny zákonné odvody na sociální pojištění a zdravotní pojištění odváděné zaměstnavatelem ve výši 33,8 % z hrubé měsíční mzdy.
- Během dvousměnného provozu linka vyrábí 12 hodin, čímž vyrobí 309 000 kelímků za rok. Zbytek provozu je linka sanitována či prochází odstávkou
- Náklady na údržbu linky jsou uvažovány 130 000 Kč ročně.
- Investiční náklady na pořízení výrobní linky jsou dle doporučení vedoucího práce 16 200 000 Kč. V ekonomické rozvaze je počítáno s daňovými odpisy technologie s dobou odepisování 5 let (stroje v potravinářském průmyslu).
- Režijní náklady firmy byly odhadnuty na 40 % z nákladů na obsluhu a na 20% z nákladů na údržbu.

Vlastní minimální prodejní cena kelímku byla stanovena podle nulové čisté současné hodnoty po uplynutí 15 let s uvažovanou diskontní sazbou 10 %. Cash flow projektu, diskontované cash flow a průběh čisté současné hodnoty můžeme sledovat na obrázku 30. Životnost projektu je uvažována na 15 let, na konci projektu proto neuvažuje prodej použitého zařízení za zůstatkovou hodnotu.

S přihlédnutím k dalším podrobnostem, které jsou uvedeny v tabulce v příloze je možné prodávat půllitrový jedlý kelímek za minimální cenu **25,8 Kč**.



Obrázek 30 Průběh ročního cash flow a diskontovaného cash flow projektu

## Závěr

V teoretické části jsem sestavil literární a patentovou řešerši na téma konzumovatelných obalů, materiálů pro jejich výrobu a forem pro jejich vyrábění. Obzvláštní pozornost jsem pak věnoval výrobě konzumovatelných obalů ze škrobového základu a podrobněji jsem se rozepisoval o dějích probíhajících v těstě při jeho pečení v uzavřené formě.

V praktické části jsem se věnoval pečení experimentálních vzorků z těsta, které bylo vytvořeno přibližně dle veřejně dostupné receptu firmy cupffee. Experimentálně jsem zjistil nejvhodnější teplotu (185°C) a čas pečení (7 minut) pro vzorek tloušťky 5,5 mm. Na základě těchto údajů jsem navrhl blokové schéma linky, naznačil jsem její základní uspořádání a stanovil její základní hmotnostní a energetickou bilanci. V poslední části práce jsem na základě provedené ekonomické rozvahy navrhl minimální reálnou prodejní cenu takového kelímku, která by činila **25,8 Kč** za kus.

Výsledný kelímek by se pak mohl prodávat za reálnou cenu například 30 Kč. Při takto nastavené produkci vychází samotný kelímek draž, než některé nápoje, které by případně v množství 0,5 l uchovával. Cena kelímku by mohla klesat s vyšším stupněm automatizace procesu, poněvadž mzdy pracovníků představují jednu z nejvyšších složek rozvahy. Dále by cena mohla klesat se zvětšujícím se odběrem. Při takto nastavené produkci by však nejspíš kelímek nenašel na trhu uplatnění.

## Použitá literatura

1. ŠTÍPAL, Zdeněk, Pavel ANZENBACHER, Pavel PEČ, Jiří POSPÍŠIL a Ivan RŮŽIČKA, 1992. Biochemie. 1. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha. ISBN 80-04-21736-2.
2. NGUYỄN THỊ THU HUỖNG, 2013. BIOCHEMIE. Ústí nad Labem. Dostupné také z: [https://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/Biochemie%20N208\\_MEVAPOX.pdf](https://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/Biochemie%20N208_MEVAPOX.pdf)
3. Denaturace, [2010]. Vydavatelstvi-old [online]. Praha: VŠCHT [cit. 2021-10-22]. Dostupné z: [https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid\\_es-002\\_v1/hesla/denaturace.html](https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid_es-002_v1/hesla/denaturace.html)
4. SYUHADA MOHAMAD YAZID, Nurulain, Norhayati MUHAMMAD a Hazel MONICA MATIAS-PERALTA, 2018. Application of Starch and Starch-Based Products in Food Industry. Journal of Science and Technology. Pagoh, 2018(10), 31. Dostupné z: [doi:https://10.30880/jst.2018.10.02.023](https://doi.org/10.30880/jst.2018.10.02.023)
5. PETKOSKA, Anka Trajkovska, Davor DANILOSKI, Nathan D'CUNHA, Nenad NAUMOVSKI a Anita BROACH, 2020. Edible packaging: Sustainable solutions and novel trends in food packaging. Food Research International [online]. 2020, 2020(140), 15 [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109981](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109981)
6. KUMAR, Satheesh, 2020. Manufacturing methods of healthy and edible cups-An integrative review. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering [online]. 2020(1055), 20 [cit. 2021-11-07]. Dostupné z: [doi:10.1088/1757-899X/1055/1/012017](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1055/1/012017)
7. MOHAREB, Eugene a Gauri S MITTAL, 2006. Formulation and Process Conditions for Biodegradable/Edible Soy-based Packaging Trays. Packaging technology and science [online]. 2006(20), 15 [cit. 2021-11-08]. Dostupné z: [doi:10.1002/pts.736](https://doi.org/10.1002/pts.736)
8. GIAVASIS, Ioannis, Linda M HARVEY a Brian MCNEIL, 2000. Gellan gum [online]. 2000(20), 177-211 [cit. 2021-11-08]. ISSN 0738-8551. Dostupné z: [doi:10.1080/07388550008984169](https://doi.org/10.1080/07388550008984169)
9. BELOFF, Arthur L. Edible bread cup and method of production. USA. US20120003363A1. Uděleno 7. 3. 2010.
10. ZAPRYANOV, Miroslav Atanasov. A PRODUCTION LINE AND METHOD FOR MANUFACTURING OF EDIBLE, BIODEGRADABLE CONTAINERS FOR HOT AND COLD BEVERAGES AND FOOD. Bulharsko. WO2019119075. Uděleno 27. 6. 2019.
11. BRIGANTI, Chelsea, Leigh Ann TUCKER, Ingrid ZWEIFEL, Monica BHATIA a Kevin STANTON. EDIBLE CUP AND METHOD OF MAKING THE SAME. USA. US20140161944. Uděleno 12. 6. 2014.
12. MURAT, Kaya, Sargin IDRIS a Erdonmez DEMET, 2016. Microbial biofilm activity and physicochemical characterization of biodegradable and edible cups obtained from abdominal exoskeleton of an insect. Innovative Food Science and Emerging Technologies [online]. 2016(36), 7 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: [doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2016.05.018](http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2016.05.018)
13. BAHEKAR, Amit a Kishore K GADGEY, 2017. STUDIES ON EXTRACTION METHODS OF CHITIN FROM CRAB SHELL AND INVESTIGATION OF ITS MECHANICAL PROPERTIES. International Journal of Mechanical Engineering and Technology [online]. 2017(8), 13 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <file:///C:/C5%A1kola/t/C5%99e%C5%A5%C3%A1k/bakal%C3%A1%C5%99y/zdroje/chitin%20stress.pdf>
14. JONG-WHAN, Rhim, 2012. N: Nanoscale FoodSciencePhysical-Mechanical Properties of Agar/κ-Carrageenan Blend Film and DerivedClay Nanocomposite Film. Food science [online]. 2012(77), 9 [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: [doi:10.1111/j.1750-3841.2012.02988.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02988.x)
15. 2018. United Nations Environment Programme: SINGLE-USE PLASTICS. UN environment, 2018.
16. Results of a field experiment to reduce coffee cup waste [online], 2017. Welsh School of Architecture & School of Psychology, Cardiff University, 2017 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <http://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/99366>
17. WIHODO, Mila a Carmen I. MORARU, 2013. Physical and chemical methods used to enhance the structure and mechanical properties of protein films: A review. Journal of Food Engineering [online]. 2013(114), 11 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877412004049>
18. The History of the Ice Cream Cone, 2021. International dairy foods association [online]. USA: international dairy foods association [cit. 2021-11-24]. Dostupné z: <https://www.idfa.org/the-history-of-the-ice-cream-cone>



19. LIQUID FILLED, WAFER COVERED, EDIBLE COMMUNION CUP. USA. US20040253346.
20. SKOČILAS, Jan, Rudolf ŽITNÝ a Jiří ŠESTÁK, 2010. Starch Foam Expansion in a Closed Mold. *Food Bioprocess Technol.* Praha: Springer, 2010, 5. Dostupné z: doi:10.1007/s11947-010-0348-y
21. ŠTANCL, Jiří, Jan SKOČILAS, Jiří ŠESTÁK a Rudolf, 2008. Properties of Starch Based Foams Made by Thermal Pressure Forming. *Acta Polytechnica.* Praha: czech technical university, 2008(48), 10.
22. EDIBLE CUP MOLDING APPARATUS CAPABLE OF STORING INSTANT FOOD, 2011. Republic of Korea. KR1020110086225. Uděleno 22. 1. 2010. Zapsáno 28. 7. 2011.
23. Flour from wheat cultivars of varying hardness produces semi-sweet biscuits with varying textural and structural properties, 2013. *LWT - Food Science and Technology.* Belgie: elsevier, 2013(53), 6.
24. SOYKEABKAEW, Nattakan, Chuleeporn THANOMSILP a Orawan SUWANTONG, 2015. Starch-based composite foams: A review. *Composites* [online]. Mae Fah Luang University, Thailand: Mae Fah Luang University, 2015, 2015(157), 246-261 [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X15002857?via%3Dihub>
25. SABALONI, S. S., M. MARCOTTE, O. D. BAIK a F. CASTAIGNE, 1998. Modeling of Simultaneous Heat and Water Transport in the Baking Process. *LWT - Food Science and Technology* [online]. St. Hyacinthe, Quebec, J2S 8E3, Canada, 1998, 1998(31), 201-209 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643897903601#!>
26. LIU, Yi-Qi, Magdalena WRONA, Qi-Zhi SU, Paula VERA, Cristina NERÍN a Chang-Ying HU, 2021. Influence of cooking conditions on the migration of silicone oligomers from silicone rubber baking molds to food simulants. *Food Chemistry* [online]. 2021(347), 9 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620328478?via%3Dihub>
27. SAJID, Muhammad a Muhammad ILYAS, 2017. PTFE-coated non-stick cookware and toxicity concerns: a perspective. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2017(24), 23436-23440 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017-0095-y>
28. SHIT, Subhas a Pathik SHAH, 2013. A Review on Silicone Rubber. *National Academy Science Letters* [online]. 2013(36), 355-365 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40009-013-0150-2>
29. LOVINGER, Andrew J., 2001. If nothing sticks to Teflon, how does it stick to pans?. *Scientific american* [online]. USA: scientific american [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.scientificamerican.com/article/if-nothing-sticks-to-tefl/>
30. Why does food stick to stainless steel surfaces, [2020]. *Science of Cooking* [online]. World wide web: Science of Cooking [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: [https://www.scienceofcooking.com/why\\_food\\_sticks.htm](https://www.scienceofcooking.com/why_food_sticks.htm)
31. KONEČNÝ, Pavel, 2021. Leidenfrostův jev [online]. Praha: Veletrh nápadů učitelů fyziky 21 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: [http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/pdf/21-10-Konecny\\_P.pdf](http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/pdf/21-10-Konecny_P.pdf)
32. Charakteristika nerezových ocelí, 2017. *Königfrankstahl s.r.o.* [online]. ČR: Königfrankstahl [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <http://www.koenigfrankstahl.cz/?menu=234>
33. STARCH MOGUL GUMMY CANDY PRODUCTION LINE, 2022. *Dr-machinery* [online]. China: dr machinery [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.dr-machinery.com/ProDetail/Starch%20mogul%20gummy%20candy%20production%20line>
34. IMC slovakia [online], 2022. Považská bystrica: IMC slovakia [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.hlinikbronz.cz/vyuziti-hlinikovych-slitin/>
35. Ehlinik [online], 2022. pardubice: ehlinik [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/>
36. KARBOUJ, Rim a Desloges, P NORTIER, 2008. A simple pre-treatment of aluminium cookware to minimize aluminium transfer to food. *Food and Chemical Toxicology* [online]. francie: Elsevier, 2008, 2005(47), 571-577 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: doi:10.1016/j.fct.2008.12.028
37. ŠČANČAR, J., V. STIBILJ a R. MILAČIČ, 2003. Determination of aluminium in Slovenian foodstuffs and its leachability from aluminium-cookware. *Food Chemistry* [online]. Slovenia: Elsevier, 2003(85), 151-157 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2003.07.028

38. Sugawara, A., Takahashi, I. (1976). Thermal Conductivity of Polysiloxane in Intermediate Temperature Range. In: Klemens, P.G., Chu, T.K. (eds) Thermal Conductivity 14. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3751-3\\_43](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3751-3_43)
39. Virgin PTFE datasheet, [2005]. Engineering and design plastic ltd [online]. Cambridge: engineering and design plastic [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.edplastics.co.uk/PTFE.htm>
40. Cr-Ni austenitická ocel odolná korozi, [2010]. Techportal [online]. Praha: techportal [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: [https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR\\_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a\\_RmSdJyeRjHvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLnzl00RA9x7p75N8MGgz73w](https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRjHvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLnzl00RA9x7p75N8MGgz73w)
41. ZAPRYANOV, Miroslav Atanasov a Simeon Krasimirov GAVRAILOV. MIXTURE FOR PRODUCTION OF EDIBLE CONTAINERS FOR HOT AND COLD BEVERAGES AND FOOD. WO2020061653. Uděleno 2. 4. 2020.
42. Otruby ovesné 250g ZP, [2020]. Zdravý krám [online]. World wide web: Zdravý krám [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: [https://www.zdravykram.cz/otruby-ovesne-250g-zp-2/?gclid=CjwKCAjwrfCRBhAXEiwAnkmKma\\_pnPGN\\_EHzO4KEjILOYbjT8s56dco9\\_AJNYbLZSsNetPt3h14a9RoCmDoQAvD\\_BwE](https://www.zdravykram.cz/otruby-ovesne-250g-zp-2/?gclid=CjwKCAjwrfCRBhAXEiwAnkmKma_pnPGN_EHzO4KEjILOYbjT8s56dco9_AJNYbLZSsNetPt3h14a9RoCmDoQAvD_BwE)
43. Alginát sodný - potravinářský prášek, E 401, 100 g, [2020]. Top potraviny [online]. World wide web: top potraviny [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://www.toppotraviny.cz/molekularni-avantgardni-kuchyne-1/alginat-sodny-potravinarsky-prasek-e-401-100-g>
44. Wolfberry Xantanová guma 100 g, [2020]. Drmax [online]. World wide web: drmax [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: [https://www.drmax.cz/wolfberry-xantanova-guma-100g?gclid=CjwKCAjwrfCRBhAXEiwAnkmKma\\_pnPGN\\_EHzO4KEjILOYbjT8s56dco9\\_AJNYbLZSsNetPt3h14a9RoCmDoQAvD\\_BwE](https://www.drmax.cz/wolfberry-xantanova-guma-100g?gclid=CjwKCAjwrfCRBhAXEiwAnkmKma_pnPGN_EHzO4KEjILOYbjT8s56dco9_AJNYbLZSsNetPt3h14a9RoCmDoQAvD_BwE)
45. Omega 100% rostlinný tuk 250g, [2020]. Tesco [online]. World wide web: tesco [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ/products/2001000129584>
46. Babiččina Volba Mouka hladká pšeničná světlá 1kg, [2020]. Tesco [online]. World wide web: tesco [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ/products/2001019300844>
47. Korunní Cukr Krupice 1000g, 2021. Tesco [online]. World wide web: tesco [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ/products/2001014531595>
48. Cena vody (vodné a stočné) v roce 2021, 2021. Srovnej to [online]. World wide web: Srovnej to [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://www.srovnejto.cz/blog/cena-vody-vodne-a-stocne-v-roce-2021-prekvapive-zdrazuje/>
49. Automatický extrudér a kráječ těsta z nerezové oceli, [2020]. Auris [online]. Čína: Auris [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <http://cz.aurismachineplant.com/cookie-machine/cookie-extruder/stainless-steel-automatic-cranberry-ice.html>
50. Automatický hnětač, [2020]. Auris [online]. Čína: Auris [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <http://cz.aurismachineplant.com/bread-machine/dough-mixer/automatic-professional-stand-flour-dough-hook.html>
51. Kolik stojí kWh energie, 2022. Eon [online]. ČR: eon [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/zelena-energie/ceny-energie/kolik-stoji-kwh-energie/>

## Použité obrázky

1. Edible bread cup form 1, 2011. In: Patentscope [online]. USA [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: [https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US73450593&\\_cid=P21-KVW9OJ-29210-2](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US73450593&_cid=P21-KVW9OJ-29210-2)
2. Edible bread cup form 2, 2011. In: Patentscope [online]. USA [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: [https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US73450593&\\_cid=P21-KVW9OJ-29210-2](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US73450593&_cid=P21-KVW9OJ-29210-2)
3. Cupfee, 2019. In: Patentscope [online]. Bulharsko [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2019119075>
4. EDIBLE CUP MOLDING APPARATUS CAPABLE OF STORING INSTANT FOOD 1, 2011. In: Patentscope [online]. korea [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: [https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=KR45522352&\\_cid=P21-KVWDVJ-87703-5](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=KR45522352&_cid=P21-KVWDVJ-87703-5)
5. EDIBLE CUP MOLDING APPARATUS CAPABLE OF STORING INSTANT FOOD 2, 2011. In: Patentscope [online]. korea [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: [https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=KR45522352&\\_cid=P21-KVWDVJ-87703-5](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=KR45522352&_cid=P21-KVWDVJ-87703-5)

6. ŠTANCL, Jiří, Jan SKOČILAS, Jiří ŠESTÁK a Rudolf, 2008. Properties of Starch Based Foams Made by Thermal Pressure Forming. Acta Polytechnica. Praha: czech technical university, 2008(48), 10.
7. Loliware cup, 2014. In: Patentscope [online]. USA [cit. 2021-11-16]. Dostupné z: [https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US97881720&\\_cid=P12-KW2MVT-69575-1](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US97881720&_cid=P12-KW2MVT-69575-1)
8. Lolyware mold, 2014. In: Patentscope [online]. USA [cit. 2021-11-16]. Dostupné z: [https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US97881720&\\_cid=P12-KW2MVT-69575-1](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US97881720&_cid=P12-KW2MVT-69575-1)
9. Chitin edible cup, 2016. In: Science direct [online]. turecko: science direct [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856416301059#f0010>
10. Structure of backed starch suspension, 2015. In: ScienceDirect [online]. Thailand: Mae Fah Luang University [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X15002857?via%3Dihub>
11. Polytetrafluorethylen, [2020]. In: Wikipedia [online]. World wide web: Wikipedia [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polytetrafluorethylen>
12. Chemical structure of the silicone polydimethylsiloxane, [2020]. In: Wikipedia [online]. World wide web: Wikipedia [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Silicone>

## Seznam symbolů a zkratk

$c$	$[k\check{c}]$	Cena
$c_p$	$\left[\frac{kJ}{kg K}\right]$	Měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku
$Ex$	$[\%]$	Expanzní poměr
$h$	$[mm]$	Výška pečené placky
$\Delta h$	$\left[\frac{kJ}{kg}\right]$	Výparné teplo
$m$	$[g, kg]$	Hmotnost
$\dot{m}$	$\left[\frac{kg}{h}\right]$	Hmotnostní průtok
$n$	$[1]$	Počet
$P$	$[kW]$	Výkon
$p$	$[bar]$	Tlak
$Po$	$[\%]$	Pórovitost placky
$Q$	$[kJ]$	Energie
$S$	$[mm^2]$	Plocha
$t$	$[min]$	Čas
$T$	$[^{\circ}C]$	Teplota
$V$	$[mm^3]$	Objem
$w$	$[\%]$	Obsah volné vody
$\lambda$	$\left[\frac{W}{m K}\right]$	Koeficient tepelné vodivosti
$\rho$	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$	Hustota