



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

U12118 Ústav procesní a zpracovatelské  
techniky

Návrh formy pro výrobu konzumovatelných  
obalů

Mold proposal for edible packaging production

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
2023**

Mikuláš Melichar

Studijní program: B2342 Teoretický základ strojního inženýrství

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bez oboru

Vedoucí práce: Ing. Jaromír Štancl, Ph.D.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Melichar** Jméno: **Mikuláš** Osobní číslo: **501222**  
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 formy pro výrobu konzumovatelných obalů**

Název bakalářské práce anglicky:

**Mold proposal for edible packaging production**

Pokyny pro vypracování:

Určitou cestu při snižování produkce zejména plastových odpadů mohou představovat obaly, které jsou jednoduše rozložitelné či požitelné, kdy po konzumaci pokrmu/nápoje může spotřebitel zkonsumovat i obal.

- Proveďte literární, případně patentovou rešerši zaměřenou na konzumovatelné obaly (jaké druhy existují, jak se vyrábí, jaké jsou jejich výhody a nevýhody). Zaměřte se zejména na používané materiály, způsob výroby, používané formy.
- Na základě poznatků z rešerše, případně vlastního provedení experimentu, proveďte základní návrh formy jednoduchého pečícího zařízení pro výrobu zvoleného druhu konzumovatelného obalu zvolené velikosti v uzavřené formě (stanovení potřebné dávky těsta, určení síly nutné k uzavření formy, základní nákres formy...).

Seznam doporučené literatury:

Dle vlastní rešerše a doporučení vedoucího práce.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

Jméno a pracoviště druhého(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**

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

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Návrh formy pro výrobu konzumovatelných obalů“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne .....

.....

Jméno a Příjmení

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jaromíru Štanclovi, Ph.D. za ochotný přístup, skvělé vedení, rady a konzultace.

Dále bych chtěl poděkovat vedení Výzkumného ústavu potravinářského v Praze za umožnění provedení experimentu.

Nakonec bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a rady při tvorbě mé práce.

## Anotační záznam

Jméno autora: Mikuláš Melichar

Název BP: Návrh formy pro výrobu konzumovatelných obalů

Anglický název: Mold proposal for edible packaging production

Akademický rok: 2022/2023

Ústav: Ústav procesní a zpracovatelské techniky

Vedoucí BP: Ing. Jaromír Štancl, Ph.D.

Bibliografické údaje:

Počet stran: 88

Počet obrázků: 17

Počet tabulek: 12

Počet příloh: 38

Klíčová slova: textuometr, lisovací síla, sněditelné kelímky, otrubové těsto, tlak páry

Keywords: textuometr, pressing force, edible cups, bran dough, steam pressure

## **Anotace**

Práce se zabývá ekologickým řešením výroby kelímků, možnými materiály formy na kelímky, a teoretickým návrhem samotné formy pomocí výpočtů pro zvolené otrubové těsto. Provedli jsme měření vlastností těsta na texturometru a měření tlaku páry při pečení, z kterých jsme určili závěrnou sílu formy. Provedli jsme návrh formy a určili možná topná tělesa na vytápění formy.

## **Abstract**

The thesis deals with ecological solutions for the production of edible cups, possible mould materials, and the theoretical design of the mould itself using calculations for the chosen bran dough. We performed measurements of dough properties on a texturemeter and steam pressure measurements during baking from which we determined the final closing strength of the mould. We performed the mould design and determined the possible heating elements for heating the mould.

# Obsah

1	Úvod .....	4
2	Biologicky rozložitelné plasty s biologickou bází .....	5
2.1	PLA .....	5
2.2	PHA .....	6
3	Biologicky rozložitelné plasty s fosilní bází .....	7
3.1	PCL .....	7
3.2	PBS .....	7
3.3	PBAT .....	8
4	Oxo-degradabilní plasty .....	8
5	Papír s PE / PLA folií .....	8
6	Souhrn .....	9
7	Jedlé obaly .....	10
7.1	Jedlé filmy z mořských řas míšené s celulórou .....	10
7.2	Těsto .....	11
7.2.1	Výhody .....	11
7.2.2	Nevýhody .....	12
7.2.3	Jáhlové těsto .....	12
7.2.4	Cupffee těsto .....	12
7.2.5	Sucharové těsto .....	13
7.2.6	Marushige Seika K.K. ....	14
7.2.7	Honest .....	14
7.2.8	Do eat .....	14
7.2.9	Biotrem .....	15
7.2.10	Munch bowls .....	15
7.2.11	Loliware .....	15
7.2.12	ChocAmo .....	16
8	Možné povrchové úpravy .....	16
8.1	Hydrofobní jedlá povrchová vrstva .....	16
9	Souhrn poznatků jedlých materiálů na kelímky .....	17
10	Používané materiály forem pro výrobu jedlých obalů .....	19
10.1	Silikon .....	19
10.2	Litina .....	19
10.3	Ocel .....	19
10.4	Hliník .....	20
10.5	Teflon .....	21

11	Návrh parametrů lisování.....	22
11.1	Technologické podmínky lisování.....	23
11.1.1	Lisovací tlaky.....	23
11.1.2	Plnicí doba dutiny formy .....	23
11.1.3	Tvrdící doba (doba pečení) a lisovací teplota:.....	23
11.2	Stanovení lisovací síly.....	24
11.3	Elektrické vytápění forem .....	25
11.4	Tepelná izolace formy .....	26
12	Měření lisovací síly .....	27
12.1	Použité přístroje .....	27
12.1.1	Texturometr .....	27
12.2	Schéma aparatury .....	27
12.3	Příprava vzorků těsta.....	28
12.4	Měření.....	29
12.5	Přehled měření.....	29
12.6	Výstup experimentu .....	30
12.7	Vyhodnocení experimentu.....	30
13	Měření tlaku páry a expanze těsta při pečení.....	32
13.1	Použité přístroje .....	32
13.1.1	Pečící stroj .....	32
13.1.2	PID Regulátor pečícího zařízení .....	33
13.2	Schéma zapojení aparatury .....	34
13.2.1	Agilent 34970A .....	34
13.2.2	Laboratorní zdroj Mason SDP2405.....	34
13.3	Příprava .....	35
13.4	Měření.....	35
13.5	Přehled měření s naměřenými hmotnostmi a rozměry .....	36
13.6	Výstup experimentu .....	37
14	Návrh pečící formy .....	42
14.1	Popis finálního výrobku .....	42
14.1.1	Tvar výrobku.....	42
14.1.2	Těsto .....	43
14.2	Určení množství těsta pro výrobu kelímku .....	43
14.3	Výpočet závěrné síly formy .....	44
14.3.1	Určení závěrné síly formy z tlaku páry .....	44
14.3.2	Síla nutná na stlačení těsta.....	44
14.4	Návrh topného tělesa pro ohřev formy .....	48



14.4.1	Energetická bilance pečení.....	48
14.4.2	Návrh příkonu topného tělesa .....	50
14.5	Konstrukční řešení formy .....	53
15	Závěr .....	54
16	Bibliografie .....	55
17	Seznam symbolů.....	59
18	Seznam zkratk.....	61
19	Seznam příloh.....	62

# 1 Úvod

Jednorázové obaly jsou velkou zátěží pro životní prostředí. Ačkoliv v dnešní době zvládneme recyklovat plasty a jiné obalové materiály na vysoké úrovni, nic nemění fakt, že velké procento odpadu skončí nerecyklováno a znečišťuje životní prostředí mnoha způsoby. Navíc je u jednorázových obalů jejich užití často nadměrné nebo dokonce zbytečné. Ve většině případů existují ekologičtější varianty pro použití, ať už jde v oblasti nádobí o příbory a nádoby které jsou použitelné víckrát, nebo nádobí s menším dopadem na životní prostředí z hlediska znečištění či likvidace odpadu. U nádobí s možností vícero použití je však problém, že dnešní kultura rychlého občerstvení do ruky tyto druhy nádobí nepodporuje. Řešením by tedy v tomto případě mohlo být jen změna chování a návyků spotřebitelů, nebo alternativní jednorázové obaly, které mají menší negativní dopady na přírodu.

Jedlé obaly použité jako nádobí existují ve společnosti poměrně dlouho. Jako příklad bych uvedl, že už ve středověku se občas při stolování místo talířů využívaly chlebové placky, které se po využití snědly [1]. Dalším příkladem můžou být zmrzlinové kornouty, které se hojně používají dodnes. V dnešní době se začíná rozšiřovat i trend jedlých kelímků z těsta s větší odolností vůči tekutinám. Z evropských výrobců bych uvedl příklad firmu Cupfee, která vyrábí jedlé pohárky do kavárenského prostředí, kde je trend kávy do ruky velmi oblíbený. V práci bych se tedy chtěl dále zabývat porovnáním jedlých kelímků s ostatními možnostmi prezentovaných materiálu na ekologičtější jednorázové nádobí a problematikou návrhu výroby formy na jedlé kelímky.

## 2 Biologicky rozložitelné plasty s biologickou bází

### 2.1 PLA

PLA je plast vyráběný ze škrobů rostlinné biomasy (kukuřice, obilniny, brambory, cukrová řepa, cukrová třtina, sója, tabák). Aby se škrob přeměnil na látku vlastnostmi odpovídající plastům z ropy, je nutné jej vystavit vysokým teplotám a pomocí izolace z něj získat glukózu. Kvašením je z glukózy získána kyselina mléčná a později kyselina polymléčná (Polylactid acid) tzv. „PLA“. Tento polymer je zdravotně nezávadný, takže je vhodný pro potravinářský průmysl i farmacii [2]. Pro výrobu tohoto materiálu se dají použít stejné přístroje jako pro výrobu klasických plastů, s tím rozdílem, že výroba bioplastů je až o 65 % energeticky méně náročná a nevyužívá se u ní ropa ani přídavné chemické směsi, změkčovače či jiná syntetická činidla.

Polymery PLA se pohybují od amorfního sklovitého polymeru po semikrystalický a vysoce krystalický polymer se skelným přechodem 60-80 °C, teplotou tání 130-180 °C [3], s úpravami a příměsemi lze teplota tání i skelný bod zvýšit, a to až na tepelnou odolnost na 110 °C, to je však často na úkor recyklovatelnosti a chemické nezávadnosti. Základní mechanické vlastnosti PLA se pohybují mezi vlastnostmi polystyrenu a PET. Modul pružnosti se nachází mezi 2.7–16 GPa [4].

Značnou nevýhodou je špatná recyklovatelnost. Ačkoli lze kyselinu polymléčnou chemicky recyklovat na monomer tepelnou depolymerizací nebo hydrolyzou a teoreticky po vyčištění monomer použít pro výrobu nového PLA, bez ztráty původních vlastností se PLA plasty špatně rozlišují od jiných druhů plastů a tudíž je obtížná separace samotného PLA od ostatního odpadu (teoreticky možná optická detekce plastů pomocí NIR spektroskopu, v praxi se ale zatím neaplikuje) [5].

Další možností likvidace PLA je průmyslové kompostování. Tento proces začíná chemickou hydrolyzou, po níž následuje mikrobiální rozklad po kterém se PLA zcela rozloží. Za ideálních podmínek průmyslového kompostování (58 °C) se PLA může částečně (přibližně z poloviny) rozložit na vodu a oxid uhličitý za 60 dní, poté se zbytek rozkládá mnohem pomaleji [6]. V prostředí bez potřebných podmínek dochází k velmi pomalému rozkladu podobnému rozkladu nebioplastů, které se plně rozloží až za stovky či tisíce let. Z tohoto faktu vychází, že skládkování pro tyto plasty také není vhodnou formou likvidace [7].

Poslední variantou likvidace je spalování. PLA lze spalovat bez vzniku chemických látek obsahujících chlor nebo těžké kovy, protože obsahuje pouze atomy uhlíku, kyslíku a vodíku. Během úplného spalování PLA vzniká jen  $\text{CO}_2$  a voda. PLA lze navíc spalovat bez zbytků a výhřevnost při spalování je 19,5 MJ/kg (což je podobná výhřevnost jako u suchého dřeva). Tyto a další výsledky naznačují, že spalování je ekologicky šetrnou likvidací odpadu z PLA s přidanou hodnotou možnosti použití jako paliva v energetice [8].

## 2.2 PHA

Polyhydroxyalkanoáty (PHA) jsou termoplastické polymery. Termoplastickými se označují proto, že jejich teploty tání se nacházejí v oblasti 50 – 180 °C. Vznikají nejčastěji v buňkách bakterií, které ukládají uhlík jako zásobu energie v případě stresu nebo v případě, kdy je jejich růst omezen nedostatkem základních látek – dusíku, kyslíku, fosforu nebo hořčíku [9]. Proces výroby je tedy velice podobný fermentaci využívané pro výrobu lihovin. Zkvašením rostlinných cukrů se však nezískává alkohol, nýbrž takzvané nižší mastné kyseliny. Těch se pak zhostí bakterie, které je polymerují vstupní materiál pro PHA. Dříve byly hlavními zdroji surovin kukuřice, cukr a rostlinné oleje. Dnes mnoho začínajících podniků vyrábějících PHA pracuje s inovativními technologiemi, které jako vstupní surovinu využívají odpadní vody, plastový odpad, obnovitelný metan i oxid uhličitý [10], [11].

Dnes se vyrábí 9 různých skupin PHA vyvinutých ve složení s krátkým, středním a dlouhým řetězcem. Produkty PHA se pohybují od amorfních až po vysoce krystalické. Přejíždějí od vysoce pevných, tvrdých a křehkých až po nízkopevnostní, měkké a pružné. Chemické složení PHA lze tvořit a upravovat v závislosti na tom, jaké monomery jsou použity a v jakém složení. PHA mají potenciálně velký konstrukční prostor a z toho vyplývající možnosti použití, protože lze kopolymerovat a míchat širokou škálu různých polymerů [10]. Pro výrobu kelímků by například měl ideální vlastnosti PHBV. Tento materiál je méně křehký, je elastický, odolný vůči UV záření a dobře drží aroma nebo vlhkost. Na rozdíl od PLA je rozložitelný i ve vodě a v půdě, a tedy nezatěžuje planetu jako plasty. Přesné vlastnosti PHBV lze navíc podle obalového materiálu doladit poměrem jednotlivých hydroxykyselin v polymerním řetězci. Hlavní nevýhodou tohoto polymeru je však v dnešní době cena, která zatím nedokáže konkurovat polymerům z ropy [11]. Další nevýhodou je, že výrobní proces kelímků je značně obtížnější než u běžně používaných plastů, jelikož je kvalita polymerů na biologické bázi variabilnější. Výrobní proces také trvá déle a viskozita je nižší, než u běžných polymerů [12].

PHA lze recyklovat zpět na polymer pro nové aplikace. Lze jej také recyklovat zpět na suroviny, které se použijí jako obnovitelná surovina. Může být také recyklován prostřednictvím životního prostředí při užití průmyslového nebo domácího kompostování. Lze jej recyklovat spalováním, čímž vzniká obnovitelná energie. A konečně může být recyklován na živiny pro živé organismy prostřednictvím úplného biologického rozkladu [10].

### 3 Biologicky rozložitelné plasty s fosilní bází

#### 3.1 PCL

PCL je druh biologicky odbouratelného a biokompatibilního polyesteru. Je netoxický a má vysokou průrazuvzdornost (vrubovou houževnatost). Mezi nedostatky PCL patří pomalá rychlost degradace v důsledku jeho hydrofobicity a relativně vysoké krystalinity. Jeho odolnost vůči vodě lze ale odbourat příměsemi polyethylenglykolu (PEG), který má jedinečnou biologickou snášlivost a je netoxický a neantigenní [13]. Ke snížení ceny a zlepšení biologické rozložitelnosti jej lze také smísit se škrobem.

Polykaprolakton může být rozložen bakteriemi z kmenů *Firmicutes* a *Proteobacteria*. Kmen štětičkovce 26-1 může rozkládat vysokohustotní polykaprolakton, ovšem ne tak rychle jako kmen kropidláku ST-01. Druhy z rodu *Clostridium* jej rozkládají za anaerobních podmínek. [14]

#### 3.2 PBS

Polybutylensukcinát (PBS) je biologicky odbouratelný semikrystalický termoplastický polyester syntetizovaný polykondenzací kyseliny jantarové a 1-4-butandiolu. Oba stavební bloky lze vyrábět buď z obnovitelných surovin, jako je glukóza a sacharóza, fermentací, nebo z ropných surovin.

Mechanické vlastnosti jsou srovnatelné s vlastnostmi vysokohustotního polyethylenu a izotaktického polypropylenu. Stejně jako kyselina polymléčná (PLA) se plně rozkládá na biomasu, CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O, a lze jej tedy likvidovat společně s ostatním organickým odpadem. Je však mnohem pružnější, a proto nevyžaduje změkčovadla, ale má nižší bod tání než PLA (115 °C oproti ~130 °C) [15]. Vstříkované výrobky, jako kelímky, využívají vysoké krystalinity PBS, která umožňuje efektivní velkoobjemovou výrobu tepelně odolných výrobků. PBS film je také ideální na potahování papírových kelímků, protože je lze recyklovat nebo znovu lisovat a navíc je lze likvidovat kompostováním [16].

### 3.3 PBAT

PBAT, známý také jako polybutyrát, je poloaromatický, biologicky odbouratelný termoplastický kopolyester, který lze snadno tvarovat a tepelně formovat. Vyrábí se kopolymerací monomerů 1,4-butandiolu, kyseliny adipové a dimethyltereftalátu (DMT) [17].

Tento materiál má mnoho atraktivních vlastností, které jsou podobné polyethylenu. Má například relativně vysoké prodloužení při přetržení (30-40 %) a také středně vysokou rázovou a průraznou houževnatost, ale pouze střední pevnost v tahu a nízkou tuhost [17].

Vlastnosti jsou podobné jako u vysokohustotního nebo nízkohustotního polyethylenu, a proto je lze použít pro podobné aplikace v potravinářských obalech a zemědělských fóliích. Kromě toho je plně biologicky rozložitelný (kompostovatelný) a lze jej zpracovávat na běžných zařízeních na vyfukování fólií používaných pro polyethylen [17].

Kompostovatelné bioplasty na bázi PBAT se rozkládají díky přirozeně se vyskytujícím mikroorganismům (houbám, řasám a bakteriím) [18].

## 4 Oxo-degradabilní plasty

Oxo-Biodegradabilní plast používá kovové soli k zahájení a urychlení procesu degradace pod světlem, vlhkostí, živými organismy, kyslíkem. Výsledkem jsou extrémně malé úlomky plastu, které již „vizuálně“ neznečišťují životní prostředí. Fakticky ale produkují mikroplasty, které často způsobují mnohem horší následky [19].

## 5 Papír s PE / PLA folií

Další variantou komerčně prodávaných kelímků jsou papírové kelímky, které jsou potaženy plastovou folií, aby se kelímek nerozmočil. Vlastnosti kelímku, jako teplotní odolnost, a pevnost jsou dané hlavně vlastnostmi folie. Nejběžnějšími variantami folie jsou PE, PET a PLA folie. Problémem papírových kelímků je, že ačkoli jsou společensky vnímané jako menší zlo oproti kelímkům plastovým, jsou jejich následky často horší, jelikož recyklačních linek pro tento druh kombinovaného odpadu (papír-plast) je málo (v Česku aktuálně žádná). Nejenže je obtížná separace papíru z plastových folií, ale navíc jsou běžně papírové kelímky vyráběny z nového nerecyklovaného papíru míšeného s polyetylénem (zhruba 5 % obsahu) kvůli větší odolnosti. To často znemožňuje úplnou recyklaci a kelímky tedy končí ve spalovnách nebo na skládkách.

Vzhledem k tomu že je používáný papír často plný chemikálií, které jsou pro přírodu škodlivé, je často jediným možným způsobem likvidace spalování [20].

## 6 Souhrn

Ačkoliv existují bioplasty, které jsou ekologičtější než běžně užívané plasty z pohledu recyklace, výroby, či skládkování (kompostování), nelze zcela říci, že existují plasty, které by žádným způsobem nepoškozovaly přírodu. Ačkoliv se PLA vyrábí z obnovitelných přírodních zdrojů, je kvůli své špatné rozložitelnosti v prostředí stejně nebezpečný vůči přírodě jako běžné plasty. PHA skýtá podobné výhody jako PLA (výroba z obnovitelných zdrojů) a dokonce je rozložitelná v normálním prostředí (za dostatečné vlhkosti), ale výroba tohoto materiálu je prozatím drahá a kvůli odlišným vlastnostem oproti konvenčním plastům je i práce s tímto materiálem náročnější. PCL, PBS a PBAT jsou další plasty které jsou rozložitelné v přírodě, ale jejich problémem je, že jsou to plasty vyrobené z ropy, jejíž těžba nelze nazvat šetrnou k přírodě a ekologickou. Z pohledu znečištění prostředí jsou v přírodě rozložitelné plasty nepochybně lepší alternativou, ale jejich rozklad v přírodě často trvá poměrně dlouho a pokud se vyhodí do tříděného odpadu, je jejich separace složitá a další likvidace (nedostatek specializovaných kompostáren), ve většině případů tedy cyklus těchto plastů končí s ostatními neroztříděnými druhy odpadu ve spalovnách. Problémem v jednorázových obalech jsou ale i alternativy, které se vydávají, nebo mají vypadat jako ekologické, ale jejich dopady na prostředí jsou často ještě horší než u konvenčních plastů. Mezi ty bych zařadil oxo-degradabilní plasty, které zamožňují prostředí mikroplasty, a jako sporné bych označil i užití papírových kelímků, které znemožňují recyklaci jednotlivých složek. V tabulce 1 lze nalézt souhrnné porovnání bioplastů.

Tabulka 1-porovnání bioplastů

	PLA	PHA	PCL	PBS
báze	biologická	biologická	fosilní	fosilní
rozložitelnost	průmyslové kompostovatelné	domácí kompostování	pomocí bakterií	kompostování
recyklovatelnost	teoreticky	ano	neuveдено	ano
	PBAT	oxo-degradabilní	papír s PE/PLA	
báze	fosilní	fosilní	biologická/fosilní	
rozložitelnost	domácí kompostování	ne	ne	
recyklovatelnost	neuveдено	ne	teoreticky	

## 7 Jedlé obaly

### 7.1 Jedlé filmy z mořských řas míšené s celulózu

Mořské řasy a celulóza jsou slibné přírodní polymery, které umožňují tvorbu kompozitních filmů, jelikož jak mořské řasy, tak celulóza vykazují zajímavé filmotvorné vlastnosti. Nicméně mořské řasy mají špatnou odolnost proti vodním parám i vodě a nevhodné mechanické vlastnosti, zatímco celulóza není kvůli své vysoce krystalické struktuře tavitelná ani rozpustná ve vodě nebo běžných organických rozpouštědlech. Proto byla provedena modifikace těchto hydrokoloidů s cílem využít jejich užitečných vlastností. Mořské řasy jsou dobře kompatibilní s celulózu, která má vynikající mechanickou pevnost a voděodolné vlastnosti. Kromě toho mohou kompozitní fólie z mořských řas a celulózy prodloužit trvanlivost výrobku při zachování jeho biologické rozložitelnosti [21].

Mořské řasy, stejně jako jiné rostlinné produkty, jsou ekologickým, hojně dostupným a levným materiálem, pouze s tím rozdílem, že se sklízají z moře. Řasy lze sklízet po celý rok. Zelené řasy jsou dokonce běžně vyskytující i ve sladkých vodách, jako jsou řeky a jezera. Z řas se dále vyrábějí produkty jako agar, které vykazují zajímavé filmotvorné vlastnosti. Řasy se obecně dělí na červené (Rhodophyta), hnědé (Phaeophyta) a zelené (Chlorophyta) mořské řasy. Červené a



hnědé řasy se vyskytují téměř výhradně v oceánech, zatímco zelené řasy se vyskytují ve sladkovodních situacích [21].

Vláknina celulózy lze získat z dřevní (měkké a tvrdé dřevo) a nedřevní (zemědělský odpad, původní rostliny a nedřevní rostlinná vlákna) lignocelulózy biomasy. Většina lignocelulózy biomasy se skládá přibližně ze 40-60 % celulózy, 20-30 % hemicelulózy a 10-25 % ligninu. Hlavní složkou rostlinných vláken je tedy celulóza, která vykazuje široký rozsah krystalinity (20-90 %). Obecně lze rostlinná vlákna rozvláknit a vyrobit z nich papírenské a deskové výrobky nebo je lze zpracovat dalšími procesy, jako je předhydrolyza nebo rozvláknění, aby se získala čistá celulóza (> 90 % obsahu celulózy). Tento materiál lze dále chemicky nebo mechanicky zpracovávat na mikrocelulózu a deriváty celulózy (ether a ester) pro použití v kompozitech na bázi celulózy, tenkých polymerních filmech a hydrogelech [21].

Tento materiál je velice dobře rozložitelný, je jedlý i voděodolný, tudíž nezatěžuje životní prostředí, ani neztěžuje třídění odpadu. Výhodou je také možnost produkce tohoto materiálu v běžném závodě na výrobu polymerů. Jedinou podmínkou je, že musí splňovat normy, které platí pro výrobu potravin. Pokud je v blízkosti nevyčerpatelný zdroj řas (tj. oceán), pak bude vytvoření takových filmů poměrně jednoduché [22]. Nevýhodou je ale tuhost materiálu, jelikož folie vyrobená z celulózy a produktů z mořských řas je podobně pružná jako želatina, tudíž není moc vhodná pro výrobu kelímků [23], [24]. Dle mého úsudku by se spíše hodila na vnitřní povrchovou vrstvu méně voděodolného tvrdšího materiálu, který by tvořil tvar kelímku, nebo jako přídatná složka zlepšující vlastnosti těst.

## 7.2 Těsto

V této kapitole bych se chtěl zabývat porovnáním výhod, nevýhod těsta a dále bych chtěl prozkoumat možné receptury jedlých materiálů pro výrobu kelímku, které již byly uvedeny na trh, nebo se nad nimi uvažuje.

### 7.2.1 Výhody

Netvoří žádný odpad, jelikož se předpokládá, že se kelímek sní. Kelímky z tohoto materiálu jsou biologicky rozložitelné, vyráběné z dostupných surovin, které při produkci nezatěžují životní prostředí a jsou teplotně i chemicky stabilní za vyšší teploty (nevyučuje žádné toxiny) [25], [26].

## 7.2.2 Nevýhody

Skladování (musí být v suchu a bezprašném prostředí), cenově jsou také kelímky pravděpodobně dražší, než plast (záleží na množství produkce). Užité životnosti je v řádu desítek minut, maximálně hodin. Kelímek přijde do kontaktu s nesterilním prostředím (stoly...), pro zamezení znečištění je tedy nutné podložka pod dno, těsto navíc může zvlhnout nebo změnit chuť nápoje, podobně i pórovitá struktura těsta může způsobovat zachycování prachu či kapaliny. Materiál může zatuhnout, zkazit se či plesnivět (problémy s dlouhým skladováním, a životností). Naposledy bych zmínil problémy s tuhostí některých materiálů (viz materiály z mořských řas) [25].

## 7.2.3 Jáhlové těsto

Indický podnikatel Narayana Peesapathy vyrábí jedlé příbory (lžíce, vidličky a dokonce i hůlky) ze sušených jáhlů (jáhlová mouka nebo čirok), rýže a pšenice. Lžíce a jídelní hůlky při vložení do vody a jídla hned nezvlhnou. Změknou až po určité době (10-15 minut) a na konci jídla je lze snadno sníst. I když se vyhodí, rozloží se do 5 až 6 dnů, protože jsou biologicky rozložitelné [26]. Pro užití na kelímky vydrží dle mého názoru toto těsto příliš krátkou dobu, při které odolává vodě, a tudíž není tento recept bez vhodné úpravy použitelný na kelímky.



Obrázek 1-příbory z jáhlového těsta [27]

## 7.2.4 Cupffee těsto

Cupffee kelímky jsou určeny pro konzumaci horkých i studených nápojů. Jsou vyrobeny z otrubového těsta, které má složení: ovesné otruby 26,1 až 35,3 %, mouka 22,4 až 28,9 %, cukr 7,5 až 10,1 %, rostlinný tuk 3 až 4,04 %, alginát 0,71 až 0,93 % a xantánová guma jako stabilizátor 0,71 až 0,93 %, zbytek tvoří voda. Proces výroby je takový, že se nejdříve všechny tuhé složky těsta smíchají, až je výsledný materiál homogenní, poté se dodá tekutý rostlinný tuk nahřátý na 38 °C v termostatu a míchá se, dokud hmota není homogenní. Dále se přilije voda a těsto se hněte, dále se pak těsto přesune do sběrného zásobníku dávkovacího stroje, odkud se těsto přesně

dávkuje do formy, kde se peče v uzavřené formě při teplotě mezi 150 až 180 °C. Formy jsou složeny ze dvou částí, horní, která přijde do kontaktu s vnitřním povrchem kelímku, a dolní, která formuje vnější část kelímku. Preferované složení výrobcem je 25,11% pšeničné mouky, 29,96% ovesných otrub, 8,81 % cukru, 3,52% palmového oleje, 0,88% alginátu a 0,88% xantanové gumy, zbytek doplněn vodou. Kelímek z toho těsta má nejen dlouhou užitnou životnost (pro horké nápoje ohřáté na 80 až 90°C vydrží 40 -50 minut a vychladlou kapalinu udrží okolo dne), ale těsto i pomaleji vlhne [28], [29].

Běžně užívané těsto, jehož úpravou se získalo cupffee těsto, má složení: ovesné otruby 20,9 až 28,3 %, mouka 17,4 až 23,6 %, cukr 7 až 9,4 %, lepek 4,9 až 6,6 %, margarín 7 až 9,4 %, alginát 0,7 až 0,9 % a xantanová guma jako stabilizátor 0,7 až 0,9 %, sůl 0,35 až 0,5 %, sorban sodný 0,70 až 0,9 %, esence 1,1 až 1,4 % a zbytek doplnit vodou [28].

### 7.2.5 Sucharové těsto

Japonský designér Nobuhiko Arikawa ze společnosti Rice-Design vytvořil jedlé nádobí pro kavárnu Orto Cafe v Japonsku. Talíře, misky a jídelní hůlky mají nahradit jednorázové papírové nádobí. Kusy jsou vyrobeny ze sucharového těsta z mouky, vody a kuchyňské soli, tuku a droždí bez použití vajec ani mléčných výrobků. Pečou se jako housky v pekárně, což usnadňuje výrobu. Materiál misek vydrží několik měsíců, pokud se uchovává v suchu. Deklarovaná skladovací životnost je 45 dní. V současné době je na trh uváděna pouze miska. Pokud jde o ostatní výrobky, jako jsou talíře a lžice, nemohou být uváděny na trh z důvodu nedostatečné odolnosti vůči běžnému používání jídelního náčiní [26].



Obrázek 2-jídelní náčiní od Rice-Design [30]

### 7.2.6 Marushige Seika K.K.

Sakakibara Katsuhiko provozuje pod názvem Marushige Seika K.K. malý rodinný podnik, který vyvíjí řadu jedlého nádobí. Vyvíjí talíře s použitím krevet, soli a bramborového škrobu. Společnost vyrábí talíře tak, že mísí syrové krevety ve škrobovém těstíčku a směs peče pod vysokým tlakem do 5 milimetrů silných plátů. Nádobí vyhledávají prodejci jídla na baseballových stadionech, místních festivalech a výrobce dostává i objednávky ze zámoří. Talíře a mísy mají různé oválné nebo obdélníkové tvary a jsou poměrně tvrdé. Dokážou udržet vodu až 30 minut. Mezi jejich výrobky patří dokonce i talíře z krevet s příchutí sladkých brambor nebo cibule [26], [31].



*Obrázek 3-jeditelné misky od Marushige Seika K.K. [51]*

### 7.2.7 Honest

Japonská společnost Honest vyrábí malé kelímky z jedlých mořských řas. Kelímky o hloubce asi 2 cm a průměru 4 cm u dna se nejčastěji využívají pro balení jídla pro děti do školy. Původně byly kelímky určeny pouze k prodeji v restauracích, ale vzhledem k vysoké poptávce spotřebitelů byl v roce 2007 otevřen internetový obchod. Od té doby společnost vyrábí jedlé kelímky s novými příchutěmi a uzavíratelné obaly, které zabraňují změknutí mořských řas vlivem vlhkosti. Společnost používá pouze japonské mořské řasy, čímž snižuje uhlíkovou náročnost způsobenou z dopravy surovin [26], [32].

### 7.2.8 Do eat

Mladí podnikatelé Helene Hoyois a Thibaut Gilquin vyrábějí jedlé ekologické obaly z bramborového škrobu, vody a přírodní ochranné vrstvy. Tyto nádoby jsou dostatečně odolné, aby udržely všechny druhy potravin a omáček studené i ohřáté a zároveň jsou stravitelné. Pokud se nesní, lze je likvidovat, protože jsou biologicky odbouratelné. Výrobce používá obaly

s neutrální chutí, aby mohly sloužit jako doplněk ke slanému i sladkému jídlu. Do budoucna plánují vyrábět kelímky, příbory a misky [26], [33].

### 7.2.9 Biotrem

Biotrem pod vedením Jerzyho Wysocki vyrábí nádobí lisováním z pšeničných otrub. Jejich moderní a rychle se rozvíjející výrobní závod nabízí široký sortiment plně biologicky rozložitelného nádobí (do 30 dnů) a příborů vyráběných z přírodních a jedlých pšeničných otrub. Z 1 tuny čistých jedlých otrub vyrobí 10 000 kusů talířů nebo misek. Nádobí lze použít k servírování teplých i studených pokrmů. Lze je používat i v klasických nebo mikrovlnných troubách. Rozměry nádobí zahrnují: Talíře o průměru 28 cm, 24 cm a 20 cm, mísy o průměru 20 cm, oválná mísa 24x16 cm. Společnost také vyrábí z otrub příbory [26], [34].

### 7.2.10 Munch bowls

Společnost MunchBowls Private Limited založila Georgina de Kock a od roku 2011 sídlí v Západním Kapsku v Jihoafrické republice. Vyrábí jedlé pšeničné misky, známé jako Munch Bowls. Misky jsou ekologickou, jedlou alternativou k plastu a polystyrenu. V jedlých miskách z křupavé pšenice lze uchovávat jídla, jako jsou smažené pokrmy, saláty apod. po dobu delší než 60 minut. Dušená jídla a husté polévky vydrží 30 minut i déle, přičemž miska si zachovává svou křupavost a tvar. Její trvanlivost je 15 měsíců a křupavost lze obnovit udržováním v troubě po dobu 3-5 minut při teplotě 70-100 °C. Mezi přísady používané k výrobě této misky patří mouka, otruby, cukr a olej. Je plně veganská, bez umělých barviv a bez kvasnic [26].

### 7.2.11 Loliware

Společnost Loliware produkuje jedlé jednorázové kelímky. Ty byly uvedeny na trh v březnu 2015. Recept Loliware je bez lepku, bez želatiny, bez geneticky modifikovaných surovin, zcela přírodní, bezpečný a netoxický. Kelímky jsou biologicky odbouratelné a také jedlé. Vyrábí se z mořských řas, organických sladidel, aromat a barviv získaných z ovoce a zeleniny. V současné době se používá příchutí grapefruit a yuzu. Potraviny lze podávat při pokojové teplotě, dokonce i chlazené nebo mražené. Loliware má spotřebitele ve 40 zemích na 6 kontinentech. Tyto kelímky lze vyhodit do přírody nebo je během několika minut rozložit horkou vodou. Problematická u těchto jedlých kelímků je cena. Balení 4 kelímků stojí 11,95 USD. Zatím nejsou k dostání mimo USA. Nově také společnost uvedla do prodeje brčka ze stejného materiálu [26].

## 7.2.12 ChocAmo

Společnost ChocAmo vyrábí jedlé košíčky. Společnost, kterou založila mladá podnikatelka Michelle Silberman, vyrábí inovativní jedlé nádoby s použitím sušenkového „Cookie“ těsta s vnitřní vrstvou čokolády proti promáčení. Vzhledem k využití čokolády tento produkt není vhodný pro teplé nápoje [26].

## 8 Možné povrchové úpravy

### 8.1 Hydrofobní jedlá povrchová vrstva

Vrstva je složená z extrahované kutikuly z rajčat (povrchová vosková vrstva) a povrchového vosku lotosového listu. Kombinací těchto materiálů lze vytvořit voděodolný voskový materiál, který se dá nanést na povrch kelímků, případně i brček či sáčků na čaje. Do vrstvy lze také přidat včelí vosk pro zvýšení voděodolnosti, materiál je také biologicky rozložitelný. Použití omezuje jeho malá odolnost vůči vyšší teplotě. Materiál se taví již při teplotě 55 °C, což jej činí vhodným jen pro povrchovou úpravu pro studené nápoje, ale nepoužitelným pro kelímky na horké nápoje. Rozpustnost v horké vodě lze i využít pro obalové materiály pro různá dochucovadla, případně kávové kapsle nebo čajové pytlíky, či se tato vrstva dá nanést na ovoce i zeleninu a zamezit tak rychlému kažení [35]. Dle mého úsudku by tato povrchová úprava byla vhodná pro vnitřní úpravu pro těstové kelímky na studené nápoje, kde by zvýšila životnost užitnou i skladovací. Na kelímky je vhodné nanášet tento materiál v tekutém skupenství, jelikož tak tvoří lepší jednotný film, čímž by potenciálně mohl i zmenšit navlhnutí nosného materiálu (těsta).

## 9 Souhrn poznatků jedlých materiálů na kelímky

Ačkoli existuje mnoho receptur na jedlé kelímky, dají se tyto produkty v zásadě rozdělit podle vlastností a materiálu na kelímky z řas a z těsta. Kelímky z řas jsou sice ekologickou variantou, problémem je však jejich nízká tuhost a lokální nedostupnost pro českého výrobce (musely by se dovážet). Pokud je porovnáme s plastovými kelímky, mají horší životnost, jsou hůře skladovatelné a nejsou odolné vůči teplým nápojům. Na rozdíl od těstových kelímků ale nejsou savé. Kelímky z těsta mohou být při použití správné receptury (otrubové těsto) odolné i vůči teplým nápojům, ale mají stejné problémy se skladováním jako kelímky z řas. Navíc je těsto často pórovité, což může způsobit zachytávání prachu a větší savost těsta. Z výše uvedených receptů bych za naše kelímky nevhodné receptury označil kelímky od ChocAmo z cookies těsta, jelikož rozpustnost čokolády v teplých nápojích může narušit chuť nápoje. Otrubové těsto působí jako vhodná alternativa pro kelímky, jelikož jsou odolné i proti teplým nápojům a mají nejdelší užitnou životnost (recept Cuppfee), stálo by ale za zvážení použití nějaké povrchové úpravy, která by zvýšila životnost nebo zmenšila pórovitost. Jako potenciálně vhodná se jeví vrstva z agaru, která by zmenšila pórovitost nebo vrstva jedlého přírodního vosku (viz hydrofobní jedlá vrstva), která by zmenšila pórovitost, ale také by usnadnila skladování a pravděpodobně zvýšila životnost pomocí svých konzervačních vlastností. Obě tyto vrstvy jsou ale rozpustné za vyšších teplot a tudíž nevhodné pro teplé nápoje. Kelímky vyrobené ze samotného agaru by dle mého názoru musely projít nějakou úpravou pro zvýšení tuhosti, aby nedošlo k polití uživatele. Problematická je také jejich malá odolnost vůči teplým nápojům, a proto myslím, že by se spíše měl agar použít jako povrchová úprava pro kelímky z těsta, kde by potenciálně mohl zvýšit užitnou životnost u kelímků pro studené nápoje.

Tabulka 2-porovnání těst

	otrubové těsto Biotrem	otrubové těsto Cupffee	jáhlové těsto	agar	škrobové těsto	pšeničné těsto
výrobky	misky,talíře	kelímky	lžíce, vidličky, jídelní hůlky	kelímky	misky	Misky
skaldovací životnost	Není udáno	Není udáno	2 roky, v hermeticky uzavřeném obalu	12 měsíců	6 měsíců	15 měsíců
deklarovaná voděodolnost	pro horké husté tekutiny 30 minut, pro horkou vodu 20 minut	vodu udrží 12 hodin křupavý po 40 minut	po 10 minutách navlhne	60 minut pro studené kapaliny	okolo 2 hodin pro studené kapaliny	30 minut teplé polévky
uhlíková stopa	1,3 až 1,6 g CO <sub>2</sub> na kg	Není udáno	Není udáno	Není udáno	Není udáno	Není udáno
možné nápoje	horké i studené nápoje	horké i studené nápoje	studené i horké nápoje	studené nápoje	horké i studené polévky, ne voda nebo alkohol	horké i studené nápoje
ohřívání v troubě	bezpečné	Není udáno	Není udáno	Není udáno	bezpečné	Není udáno



## 10 Používané materiály forem pro výrobu jedlých obalů

### 10.1 Silikon

Silikon by byl vhodným materiálem formy kvůli své snadné výrobě, nízké přilnavosti těsta k povrchu (formy není nutné vymazávat, ani vysypávat pro lehké vyjmutí, ale přesto je občasné vymaštění formy doporučeno) a jednoduchému vyndání upečených produktů. Vysoká tepelná vodivost silikonové formy také zkracuje pečení až o 30 % a navíc spoří energii (rychlejší ohřev). Odolnost vůči teplotě je nižší než u oceli, ale pro pečení dostatečná. Formy zvládnou teploty pod bodem mrazu i teploty minimálně do 230 °C. Navíc je silikon velice jednoduchý na údržbu a čištění. Problémem je nižší životnost oproti tvrdým formám a zničení formy při teplotách nad 300 °C. Při čištění se musí dávat pozor, aby nedošlo k poškození formy. Také je nutné mít formu zpevněnou nějakým držákem či mřížkou, jelikož silikon není dostatečně tuhý. Vyhřívání formy by mělo probíhat tak, aby se teplo co nejlépe rozložilo po celé formě a těsto se zapeklo rovnoměrně a výrobek se nezdeformoval [36].

### 10.2 Litina

Litina se obecně zahřívá pomaleji než oceli, ale udrží danou teplotu déle. Tepelná vodivost litiny souvisí z množství a tvarem vyloučeného grafitu (s větším množstvím grafitu získáme lepší tepelnou vodivost), ale obecně lze říci, že je podstatně vyšší než u ocelí. Díky vysoké tepelné vodivosti je tedy litina velice vhodná pro pečení, jelikož se forma rychleji a rovnoměrněji zahřívá. Tepelná vodivost litiny s lupínkovým grafitem se pohybuje v rozmezí 45 – 52  $Wm^{-1}K^{-1}$  a u kuličkového grafitu 32 – 38  $Wm^{-1}K^{-1}$ . Litinové formy jsou poměrně drahé na výrobu a pro dosažení dostatečně dobrého a nepřilnavého povrchu je nutno zvolit buď metodu lití s vyšší kvalitou povrchu (drahé), nebo povrch po odlití následně obrábět, což umožňují jen některé litiny [37], [38].

### 10.3 Ocel

Ocel patří mezi nejběžnější materiály na výrobu strojních forem. Ocelové formy se zahřívají velice rychle, ocel má ale menší tepelnou kapacitu a chladne tedy také rychleji. Cena materiálů i výroby je nicméně poměrně vysoká. Pro kusovou výrobu bude ale pravděpodobně vhodnější než litina. Pro snadnější vyjímání kelímků a menší přilnavost povrchu formy by bylo vhodné ocelovou formu kombinovat s nepřilnavou vrstvou (teflon, nebo jiné), nebo volit povrchovou úpravu, či tepelné zpracování pro zvýšení životnosti formy. Z důvodu použití této formy k výrobě jedlého produktu je nutné použít korozivzdornou ocel vhodnou pro práci v potravinářském průmyslu. Korozivzdornost je definovaná podílem chromu v oceli. Ocel se řadí mezi korozivzdorné, pokud

obsahují maximálně 1,2 % uhlíku a minimálně 10,5 % chromu, prvky jako nikl molybden dusík a měď se často také přidávají do oceli pro zvýšení odolnosti vůči konkrétním prostředím. Do ocelí často přidáváme legury zlepšující technologické vlastnosti jako svařitelnost nebo obrobiteľnosť, tyto legury ale někdy mohou snižovat korozivzdornost a chemickou odolnost. Je tedy nutné (i s ohledem na cenu) vybírat co nejvhodnější materiál na konkrétní aplikaci. Mezi běžně užívané korozivzdorné oceli pro užití v potravinářském průmyslu patří oceli železo-uhlík–chrom, které se dělí na martenzitické a feritické. Martenzitické korozivzdorné oceli obsahují okolo 13 % chromu, jsou levné a mívají až do 1 % uhlíku. Jsou špatně svařitelné i tvářitelné ale dosahují vysoké tvrdosti a pevnosti. Jejich tvrdost lze navíc zvyšovat pomocí kalení či dalších tepelných zpracování. Jejich užití je tedy vhodné pro namáhané konstrukce, kde je nutná vysoká odolnost vůči opotřebení, ale zároveň prostředí pro použití této oceli musí být méně agresivní. Do této třídy ocelí patří 1.4125 s 1% obsahem uhlíku, která je velice tvrdá a otěruvzdorná. 1.4021 která obsahuje 0,15 % uhlíku, se používá pro čepele nožů stejně jako 1.4116. Feritické korozivzdorné oceli obvykle obsahují okolo 17 % chromu a 0,05 % uhlíku. Tyto oceli jsou magnetické, s dobrou korozní odolností. Tyto oceli se ale hůře svařují, a proto pokud není možné v aplikaci použít austenitickou ocel, doporučuje se použití stabilizovaných feritických ocelí s přísadou titanu nebo niobu (např. 1.4509). Tyto stabilizované oceli jsou také vhodné pro součásti ohříváčů a hořáků. Mezi oceli feritické dále patří 1.4016 s velkou korozní odolností a odolností proti koroznímu praskání pod napětím, navíc je tato ocel poměrně levná. Přidáním niklu lze u korozivzdorných ocelí zvýšit korozní odolnost, obrobiteľnosť i svařitelnost. Austenitické oceli s obsahem 8-12 % niklu a 18% chromu jsou nejčastěji používané oceli v potravinářství kvůli své snadné tvařitelnosti, houževnatosti a vysoké tažnosti, přičemž mají vynikající korozní odolnost. Mezi tyto oceli patří 1.4301, která má 0,05 % uhlíku 18 % chromu a minimálně 8 % niklu. Tato ocel se používá pro nádoby vyráběné hlubokým tažením [39].

#### 10.4 Hliník

Formu můžeme také vyrobit z hliníku, jehož velikou výhodou je rychlý ohřev oproti formám z oceli a nízká hmotnost. Je ale nutné vybírat z hliníků vhodných pro styk s potravinami. Mezi takové patří slitiny hliníku s hořčíkem, které se vyznačují zvýšenou odolností proti korozi. Mezi vhodné hliníkové slitiny do potravinářství patří EN AW-1050A, který je dobře svařitelný, značně korozně odolný a tvárný. Je také dobře tepelně vodivý a je vhodný jen pro mechanicky málo namáhané konstrukce. Tento materiál je také špatně obrobiteľný řeznými nástroji kvůli vysoké houževnatosti. EN AW 5754 AlMg3 je také dobře svařitelný a svařené spoje dosahují vysoké korozní odolnosti. Materiál je středně pevný, a chemicky odolný i vůči prostředí s vysokou

salinitou. Lze dobře leštit a obrábět. EN AW 5005 AlMg1 je dobře odolný vůči slané vodě a středně pevný. Materiál má dobrou svažitelnost, tvárnost i obrobiteľnosť. EN AW 6060 AlMgSi je slitina vhodná pro korozní prostředí. Materiál je dobře tvářitelný za tepla, svažitelný metodami MIG a TIG, je dobře obrobiteľný a středně pevný. Lze precipitačně vytvrdit, kalit i žíhat. Tepelné zpracování se doporučuje po tváření za tepla nebo svařování, aby došlo k obnovení nebo úpravě původních mechanických vlastností. EN AW-6082 je středně pevná vytvrditelná slitina s dobrou svažitelností a velmi dobrou korozní odolností. Obrábět se doporučuje ve vytvrzeném stavu, kdy má materiál vyhovující obrobiteľnosť. Materiál je vhodný pro dlouhodobé pracovní teploty mezi 50 až -70 °C [40].

## 10.5 Teflon

Polytetrafluorethylen nazývaný také „Teflon“ je bílá, průhledná látka v tenké vrstvě, která svým vzhledem připomíná parafín nebo polyethylen. Má vysokou tepelnou odolnost a mrazuvzdornost, zůstává pružný a elastický při teplotách již od -70 °C. Teflon se používá v chemickém, elektrotechnickém i potravinářském průmyslu, jako vynikající izolační materiál do teploty +270 °C. ASTM D3418 udává bod tání pro různé typy teflonu od 260 °C do 327 °C. Teflon má velmi nízké povrchové napětí a přilnavost a není smáčen vodou, mastnotou ani většinou organických rozpouštědel a nátěrů. Pro svou nízkou přilnavost, nesmáčivost a tepelnou odolnost je teflon užíván často na kuchyňském vybavení. Teflonový povlak nemá velkou pevnost, proto by se při užití takového nádobí mělo vyvarovat poškrábání – na což se musí dát pozor při čištění (poškrábaný teflon může skýtat zdravotní rizika), mýt by se měl v teplé vodě, s přídavkem tekutého mycího prostředku, bez použití abrazivních houbiček nebo čisticích past a vyvarovat se přehřátí na 415 °C [41].

O možném negativním vlivu polytetrafluorethylenu na lidské zdraví se vedou spory již řadu let. Samotný polymer je za normálních podmínek velmi stabilní a inertní. PTFE nereaguje s potravinami, vodou ani domácími chemikáliemi. Při požití je polytetrafluorethylen neškodný. Světová zdravotnická organizace požádala Mezinárodní organizaci pro kontrolu rakoviny, aby provedla experiment na krysách. Provedené studie ukazují, že při užití s jídlem do 25 % polytetrafluorethylenu nemá žádný účinek [41]. PFOA je přesto zahraničními odborníky označována jako jedna z věčných chemikálií, protože ji nejde z těla nijak odbourat. Má za následek poruchy endokrinního systému a ledvin. Nicméně se do těla nedostává z poškozených pánví, ale jako vedlejší produkt při průmyslové výrobě teflonu [42]. Teflon je tedy biologicky

nebezpečný hlavně při výrobě a při přehřátí hotového polymeru (při teplotách nad 200 °C). Při přehřátí PTFE dochází k tepelnému rozkladu s uvolňováním toxických látek. Obecně jsou známky rozkladu (pyrolýzy) teflonu detekovány již při teplotě 200 °C. Tento proces ale probíhá poměrně pomalu až do teploty 420 °C. Při teplotách nad 380 °C se však objevuje perfluorisobutylen (extrémně jedovatý plyn, který je asi 10x jedovatější než fosgen) a další produkty pyrolýzy. Experimenty ukazují, že produkty tepelného rozkladu při zahřátí teflonu nad 350 °C způsobují otravu připomínající slévárenskou horečku – pozorují se příznaky, které se nazývají „teflonová horečka“. Vzhledem k tomu, že hromadné uvolňování toxických látek u teflonu začíná při teplotách nad 450 °C, je použití nepřilnavého povlaku pro pečení považováno za bezpečné, protože takové teploty nelze při běžném používání dosáhnout [41].

Teflon se běžně nanáší na kovovou odmaštěnou formu (nebo materiály které odolají teplotě 390°, výjimečně i na pryže s nižší odolností) stříkací pistolí ve formě vodní disperze a na povrch se přichytí elektrokineticky nebo elektrostatičticky ve dvou až třech vrstvách. Pro svou nízkou přilnavost je před nanesením nutné materiál zdrsnit na Ra 1,6 - 3,2, nebo nanést vrstvu primeru zvyšujícího přilnavost k samotné kovové formě. Každá vrstva se vysouší samostatně při teplotě 150 °C. Teflon se v peci po poslední vrstvě zpolymeruje při 400 °C (proces trvá asi 20 minut) [43].

## 11 Návrh parametrů lisování

Lisování je způsob tváření hmot, různého druhu na výlisek. Zpravidla se lisuje za tepla a tlaku ve formě. Lis vytváří tlak na hmotu ve formě a tím ji přetváří do výsledného tvaru, kterého se dosáhne úplným uzavřením formy. V průběhu tvarování je forma neustále ohřívána, a tím ohřívá i daný materiál. Materiál je za určenou tvrdící dobu vytvrzen a hotový výlisek je pak možné vyjmout a nechat vychladnout. Nakonec je nutné formu očistit a lisovací cyklus se může opakovat. Při vyplňování formy často vznikají různé plyny (v případě těsta se jedná o vodní páru), které se musí z formy vypustit, aby nedocházelo k tvorbě vad (děr a puchýřů). Plyny je možné odvádět mírným pootevřením formy v průběhu lisování (provádí se i několikrát za lisování), nebo netěsnostmi ve formě, případně i přímo určenými drážkami pro jejich odvod [44]. Lisování kelímku z těsta, kterým se budeme zabývat, je proces podobný procesu pro lisování termoplastů. Využijeme tedy této podobnosti a budeme parametry navrhovat podle parametrů pro lisování termoplastů. Při lisování těsta musíme uvažovat i s působením unikajících plynů (hlavně páry). Těsto totiž jejich vlivem expanduje a po vytvrzení vzniká pórovitá struktura ve střídce kelímku.

Zároveň je důležité, aby na rozdíl od střídky byl povrchová krusta kelímku bez děr a zajistila tak těsnost kelímku.

## 11.1 Technologické podmínky lisování

### 11.1.1 Lisovací tlaky

Tlak je důležitým faktorem, jelikož ovlivňuje jak požadovanou hustotu a tím i pevnost, tak i nasákavost a další vlastnosti. Potřebný tlak se zpravidla volí podle výšky výlisku, jelikož se s výškou zvyšuje i vnitřní odpor tekoucí hmoty i tření hmoty o stěny formy (čím vyšší je tedy výlisek tím větší je potřebný lisovací tlak), tekutosti hmoty a plochy průřezu tvárníku [44].

### 11.1.2 Plnicí doba dutiny formy

Plnicí doba závisí na reaktivnosti dané hmoty. Forma může být plněna jen v době plastikace hmoty, dokud je ještě hmota dostatečně tekutá a není tuhá vlivem působení teploty. Při překročení plnicí doby dané reaktivností hmoty dochází ke komplikacím. Mezi nejčastější problémy patří nutnost zvýšení tvářecích tlaků hlavně u konce plnění, navíc se často ve výlisku nedosáhne rovnoměrné hustoty ve všech místech výlisku a tím při chladnutí dochází ke vzniku pnutí a následně trhlin a deformací. Při zvýšení tlaku vlivem překročení plnicí doby také dochází k zatékání hmoty do dělicích rovin formy a vyhazovacích kolíků, což zhoršuje fungování formy. Velká rychlost plnění také škodí, jelikož pokud není hmota dostatečně předeřtá, není ani ideálně tekutá, a tudíž se také zvyšují lisovací tlaky, což způsobuje nerovnoměrnost hustoty a stejné důsledky s tím spojené, jak již bylo uvedeno. Proto je nutné zvolit správnou vůli v uložení tvárníku i v násypném prostoru tvárnice. Také je nutné správně zvolit teplotu a kontrolovat její rozložení po celé formě [44]. U těsta tedy nechceme, aby začalo tuhnout již při plnění formy, a tedy musíme formu plnit, dokud je těsto dostatečně tekuté. Vznik pnutí ve výlisku a zatékání těsta při zvýšeném tlaku je také pravděpodobný vzhledem k analogii lisování plastů. Předeřtání těsta při sériové výrobě pravděpodobně není nutné vzhledem k dostatečné tekutosti těsta již při pokojové teplotě. Vzhledem k vodní složce těsta si musíme dát pozor, aby voda v těstě nedosáhla bodu varu ještě před uzavřením formy, kvůli správné expanzi těsta.

### 11.1.3 Tvrdicí doba (doba pečení) a lisovací teplota:

Tvrzení hmoty začíná už od vyplňování formy (těsto ale tvrdne už na vzduchu při pokojové teplotě, a proto je nutné jej před zpracováním vhodně skladovat), ale v praxi se počítá od okamžiku úplného naplnění formy a končí otevřením formy. Optimální doba se zpravidla volí dle

nejtlustší stěny výlisku. Po vytvrzení výlisku je vhodné z každé série kontrolovat určitý počet výrobků na surovost jádra. Vyšší lisovací teplota zkracuje dobu vytvrzování, ale zároveň ovlivňuje i rychlost plastikace, je tedy nutné ji navrhnout tak, aby součet doby plnění s dobou tvrdnutí byl co nejkratší a zároveň nedocházelo ke vznikům problémů spojených s příliš rychlým plněním. Nesmí se též překročit teplota při které dochází k degradaci plnicího materiálu.

Při nedostatečném vytvrzení materiálu, dochází ke zhoršení mechanických vlastností výlisku, jmenovitě se zhoršuje pevnost, rozměrová stabilita a vznikají deformace. Překročení doby vytvrzování (krátkodobé) většinou nezpůsobuje problémy [44]. U těsta si musíme dát pozor, aby nedošlo ke spálení těsta na povrchu kelímku.

## 11.2 Stanovení lisovací síly

Metodika pro návrh forem pro lisování termoplastů [44] doporučuje následující vzorec (rovnice 1) pro určení lisovací síly:

$$F_{lis} = S * p * n * 1,2 \quad (1)$$

Kde:

$$F_{lis} = \text{lisovací síla [N]}$$

$$S = \text{průmětná plocha tvárníku v násypném prostoru tvárnice [mm}^2\text{]}$$

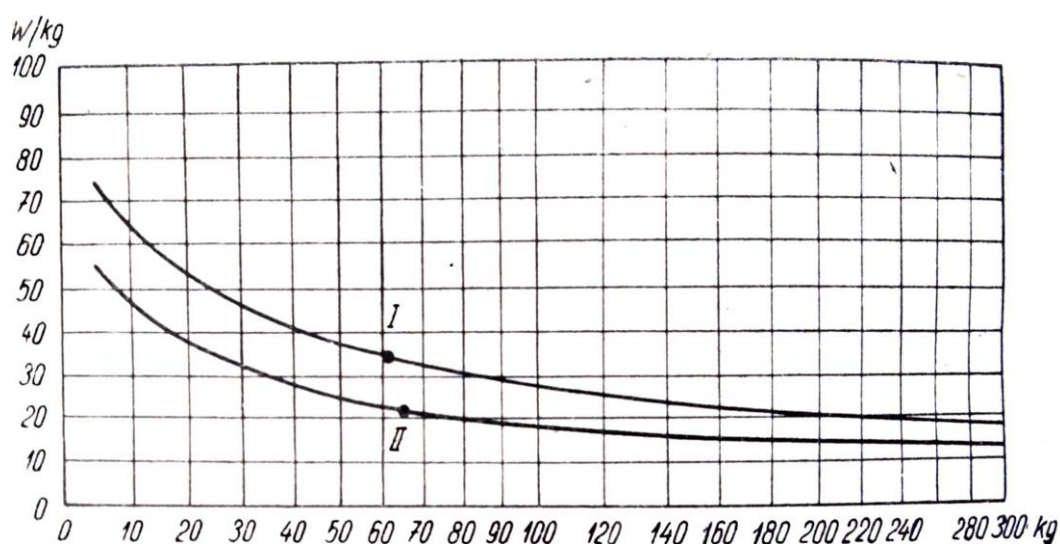
$$p = \text{lisovací tlak [MPa]}$$

$$n = \text{násobnost formy (počet tvarových dutin)[-]}$$

Součinitel 1,2 se k výpočtu přidává jako nastavení tlakové rezervy, provozní lisovací síla je ale většinou menší, při provozu se doporučuje nastavit lisovací sílu na nejnižší sílu při které dojde k dobrému dovržení formy, na formu totiž během lisovacího procesu působí mnoho dalších činitelů s vlivem na lisovací tlak, které nelze předem zjistit [44].

### 11.3 Elektrické vytápění forem

Ohřev elektrickými odporovými články poskytuje ideální vlastnosti pro ohřev potravinářských forem, jelikož oproti jiným druhům ohřevu (olejové, parní) je jednoduchý na konstrukci a prostorově není tak objemný jako vytápění olejové nebo parní, jednoduše se také reguluje (omezením příkonu). Nevýhodou je však nutnost rovnoměrného rozložení teploty po celé formě, čehož se často těžko dosahuje. Příkon topných těles ve W/kg hmoty formy lze přibližně odhadnout podle grafu na obrázku 4 [45], kde křivka I je pro vnější topná tělesa, tedy prstencová a plochá, křivka II platí pro vnitřní topná tělesa většinou válcová nebo plochá, která musí být na formě dobře izolovaná. Obě křivky platí pro teploty od 140 do 170 °C při době ohřevu od 30 min do 2 h [45]:



Obrázek 4-diagram pro stanovení příkonu topných těles ve W/kg na vytápěnou váhu forem [45]

Hlavní příčinou nerovnoměrného rozložení teploty ve formě je nízká tepelná vodivost ocelí a velký teplotní spád mezi teplotou topných těles (400-600 °C) a formy (130-180 °C). Topná tělesa se doporučuje umísťovat maximálně do 40 mm od tvarové dutiny, kterou vyhřívají. V případě, že nelze tuto vzdálenost dodržet, je doporučeno zvolit větší počet topných těles o nižším výkonu. Vyhřívané by měly být všechny díly formy kromě upínacích desek vyhazovacích mechanismů a vodících sloupků, které nejsou v bezprostředním kontaktu s vlastní vyhřívací hmotou formy [45]. Pro hranaté formy se používají plochá topná tělesa, která se vkládají mezi rám a plochu formy. Dále se používají výhřevná tělesa prstencová vhodná pro rotační formy. Výhřevná tělesa tyčová (topné patrony) se používají v případě, když není možnost užití jiného výhřevu, například kvůli malému montážnímu prostoru u tvárníků. Mají menší výhřevnou plochu než prstencová a plochá

tělesa a trpí přehříváním, což způsobuje menší životnost. Regulaci vyhřívání běžně zajišťujeme sledováním teploty pomocí termočlánků spojených s regulátorem teploty. Teplotu se doporučuje snímat v 1/3 vzdálenosti od vyhřevného tělesa k tvarové dutině. Doporučené je také vyvrtat více otvorů pro teplotní čidla a porovnat teploty za provozu ve formě. Dále je vhodné regulovat výhřev formy pomocí místa, kde čidlo měřilo minimální výkyvy. Výkyvy teploty na formě by neměly překročit výchylku  $\pm 7$  °C. V případě větších nebo složitějších forem se doporučuje teplotu regulovat více regulátory [44].

#### 11.4 Tepelná izolace formy

Tepelnou izolací, která má za úkol snížit tepelné ztráty formy do okolí, se nejen snižuje spotřeba elektrického proudu, ale zlepšuje se i tepelná rovnoměrnost. Forma musí být odizolovaná od rámu lisu a jiných částí, které nepotřebujeme ohřívat. Dále je vhodné odizolovat i zbytek povrchu formy, jenž přichází do kontaktu s okolím. Na lise se běžně podkládají formy izolačními destičkami, které musí být dostatečně tuhé a pevné, aby se při lisování forma neuvolnila a zároveň aby destičky vydržely lisovací sílu [45].



## 12 Měření lisovací síly

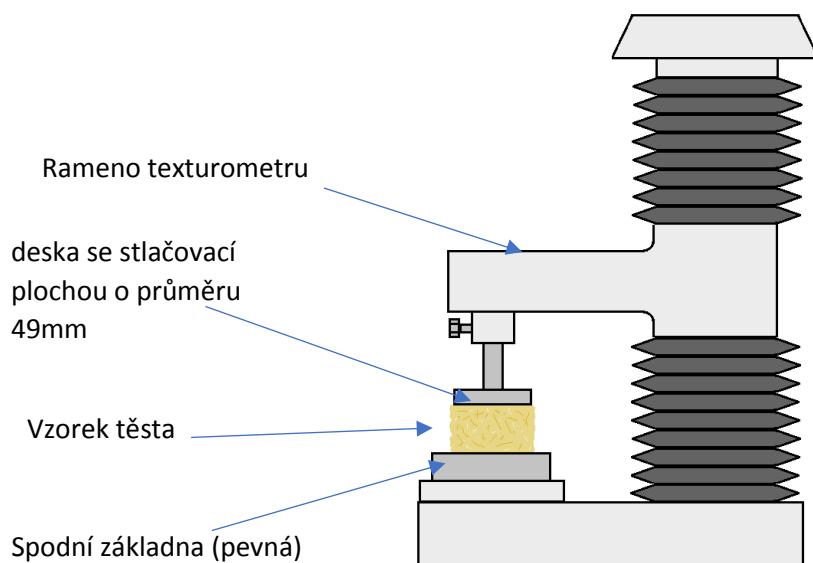
Pro určení potřebné výsledné lisovací síly v našem návrhu formy budeme muset znát tlak páry vzniklé při pečení v těstě, který bude při pečení působit na formu (tlak unikající páry má snahu otvírat formu). Ten musíme vyrušit silou lisu. Dále musíme zjistit mechanické vlastnosti těsta a jeho chování při stlačování. Odpor těsta vůči stlačování (způsobený hlavně tlakovými ztrátami třením) musí být výslednou závěrnou silou také překonán.

### 12.1 Použité přístroje

#### 12.1.1 Textuometr

Pro měření průběhu síly při stlačení vzorku těsta jsme použili textuometr TA-XT2i od výrobce Stable Micro Systems – toto zařízení vykonává vertikální jednoosý pohyb. Zařízení zaznamenává za zvolené rychlosti stlačování sílu v závislosti na poloze nebo času. Přesnost určování polohy je 0,1 mm a maximální měřená síla na textuometru je 350 N.

### 12.2 Schéma aparatury



Obrázek 5-schéma použité aparatury

### 12.3 Příprava vzorků těsta

Nejprve jsme připravily těsto na bázi ovesných otrub dle přibližné receptury cupfee [28]. V míse hnětače jsme smísili sypké ingredience (ovesné otruby, hladkou mouku, cukr, alginát sodný a xantanovou gumu) dle hmotností v tabulce 3. Následně jsme přidali rozpuštěný 100% rostlinný tuk během první minuty hnětení jsme přidali zvolené množství vody. Byly připraveny celkem 3 šarže těsta s rozdílným obsahem vody podle tabulky 3. Těsto jsme pak pomocí strojového hnětače (Eta Storio) 10 minut hnětli a následovně zabalili do potravinářské fólie, aby nevysychalo. Těsto jsme nechali 60 minut odstat v chladničce za účelem odpočinutí těsta a aktivace lepku. Následně jsme těsto rozdělili do jednotlivých vzorků, které jsme pomocí formičky vytvarovali do válcového tvaru s průměrem 49 mm a výškou 20 mm. Vzorky jsme následně zabalili do potravinářské fólie, aby nedocházelo k vysychání. Tyto vzorky jsme po kalibraci texturometru umístili na základnu přístroje, kde jsme je stlačovali zvolenou rychlostí stlačování (celkem 3 rychlosti: 0,3, 0,5 a 1 mm/s) a měřili jsme čas a polohu vertikálně pohybující se desky, která stlačovala vzorek těsta. Měření jsme prováděli pro všechny tři šarže těsta a měřili jsme pro tři různé rychlosti stlačování. Každé měření bylo opakováno 5-6krát. Hodnoty jsme dále zprůměrovali a vynesli do grafu (Obrázek 6).

Tabulka 3-složení těsta vzorků

označení	Hladká mouka [g]	Ovesné otruby [g]	Cukr krupice[g]	Alginát sodný [g]	Rostlinný tuk [g]	Xantanová guma [g]	Voda [g]
200GR	217	250	70	6,5	30	6,5	200
250GR							250
350GR							350

## 12.4 Měření

1. Příprava těsta.
2. Uložení těsta na 1 h v lednici.
3. Příprava vzorků daného rozměru (válec s průměrem 49 mm a výškou 20 mm).
4. Zapojení textuometru s montáží základen.
5. Kalibrace textuometru (nastavení nulové polohy).
6. Vložení vzorku těsta.
7. Nastavení vzdálenosti ramene na 20 mm od spodní základny.
8. Nastavení parametrů posuvu v ovládacím programu na ovládání textuometru (rychlost posuvu ramena a minimální vzdálenost ramene od spodní základny).
9. Stlačování těsta do dosažení zvolené minimální vzdálenosti a zaznamenávání dat v průběhu posuvu. Data jsou čas, poloha ramena od počáteční polohy, síla stlačování.
10. Vyjmutí vzorku a pokračování měření pro jiný vzorek od kroku 6.

## 12.5 Přehled měření

V tabulce 4 jsou uvedeny vstupní parametry měření. Je uveden počet měření na určených vzorcích těsta a rychlost stlačování daného vzorku. Teplota těsta během měření byla 18 °C. Maximální rychlost stlačování byla omezena maximálním rozsahem snímače síly, který byl 350 N. I při námi zvolených rychlostech v určitých případech nedocházelo k dosažení maximální nastavené deformace 95 % kvůli překročení rozsahu síly, a nebylo by tedy vhodné rychlosti ještě více zvyšovat.

Tabulka 4-přehled měření síly při stlačování vzorku těsta

vzorek	Rychlost stlačování [mm/s]		Počet měření
200G	R1	0,3	6
	R2	0,6	5
	R3	1	6
250G	R1	0,3	5
	R2	0,6	5
	R3	1	5
300G	R1	0,3	5
	R2	0,6	5
	R3	1	5

## 12.6 Výstup experimentu

Změřili jsme závislost síly na okamžité poloze desky, která stlačovala vzorek a vynesli je do grafu.

Výsledky jednotlivých měření jsou přiložené v přílohách (přílohy 1 až 9).

## 12.7 Vyhodnocení experimentu

Nejprve jsme zprůměrovali hodnoty naměřené síly pomocí vzorce:

$$\bar{F} = \frac{\sum_{1}^n F_n}{n} \quad (2)$$

Kde:

$$\bar{F} = \text{průměrná síla [N]}$$

$$F_n = \text{síla } n - \text{tého měření [N]}$$

$$n = \text{počet měření [-]}$$

Průměr naměřených hodnot síly jsme vynesli do grafu v závislosti na relativní deformaci vzorku těsta, která lze vypočítat pomocí vzorce 3:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (3)$$

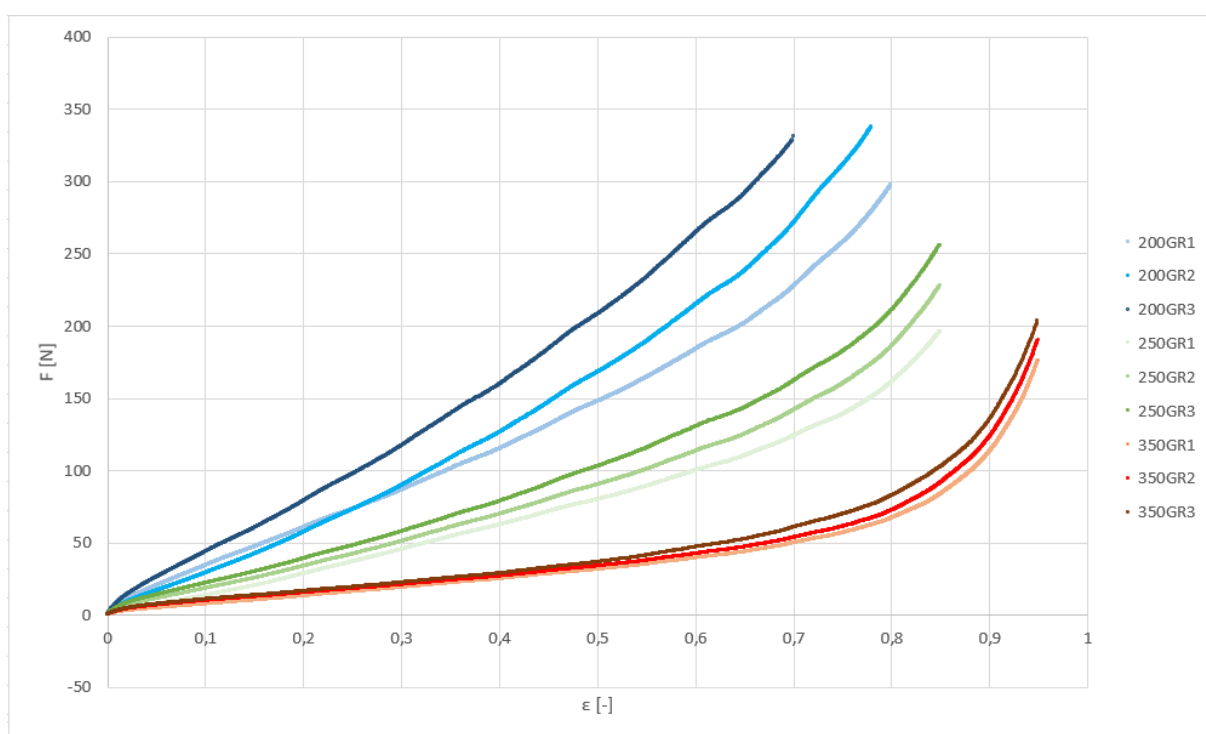
Kde:

$\varepsilon = \text{relativní deformace [-]}$

$\Delta h = \text{posuv ramene [mm]}$

$h_0 = \text{počáteční tloušťka vzorku [mm]}$

Následující graf (Obrázek 6) zobrazuje závislost zjištěné síly při stlačování vzorků těsta danou rychlostí stlačování na relativní deformaci vzorku (průměr z provedených experimentů).



Obrázek 6-graf závislosti lisovací síly na relativní deformaci vzorků (rychlosti stlačování R1: 0,3 mm/s; R2: 0,5 mm/s a R3: 1 mm/s. 200G, 250G a 350G pak označuje šarži těsta)

Z grafu na obrázku 6 je patrné, že vzorky s nižším obsahem vody jsou výrazně tužší a k jejich stlačení je vyžadována vyšší síla. Tato síla navíc roste s rostoucí rychlostí stlačování vzorku. S rostoucím obsahem vody v těstě vliv rychlosti stlačování klesá. U vzorků těsta s nejvyšším obsahem vody je vliv rychlosti stlačování prakticky zanedbatelný (na úrovni chyby měření). Dále je vidět, že při nízkých deformacích roste síla s deformací přibližně lineárně, teprve od deformace

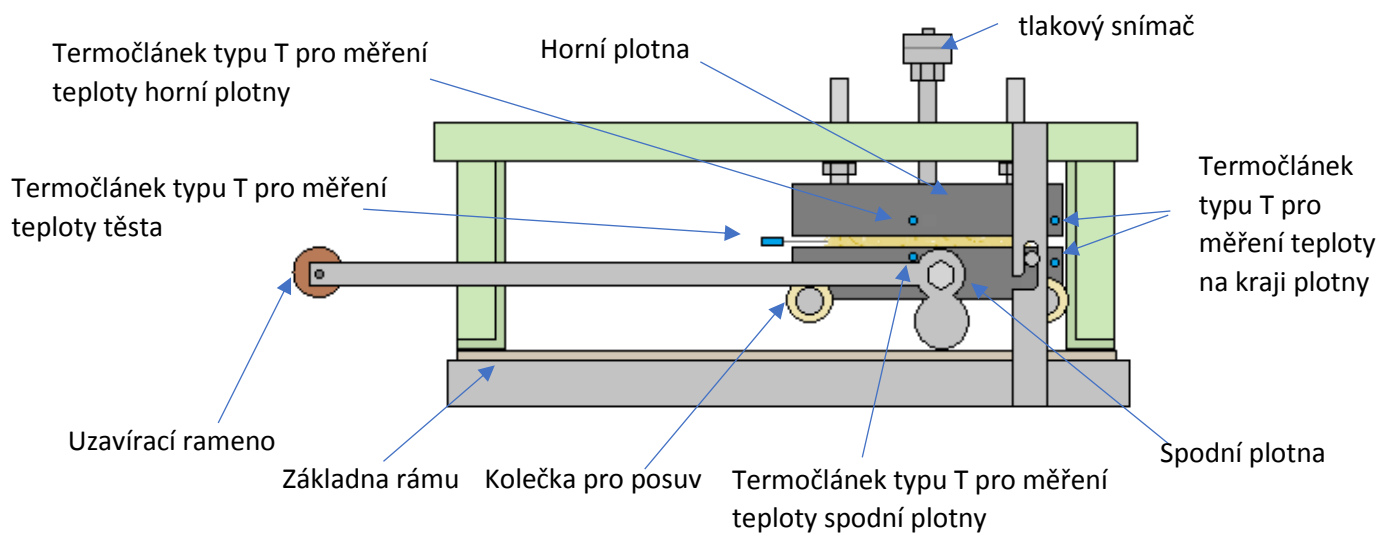
cca 50 % (u vzorku 350G, u tužších vzorků se tento limit posouvá k vyšším hodnotám deformace) naměřená síla během stlačování velmi rychle roste.

## 13 Měření tlaku páry a expanze těsta při pečení

### 13.1 Použité přístroje

#### 13.1.1 Pečící stroj

Schéma pečícího stroje zobrazuje obrázek 7. Pečící stroj se skládá z dvou rovinných obdélníkových ploten (horní a spodní) o rozměrech 200x270mm. Horní plotna je pevně uchycena k rámu, zatímco spodní plotna je vybavena posuvnými kolečky pro snadné vysunutí po rámu. Je dále vybavena uzavíracím pákovým mechanismem, který v koncové poloze zvedne a dotlačí spodní plotnu k horní plotně. Zařízení umožňuje pečení obdélníkových placek jejichž tloušťku určujeme vyměnitelnými distančními rámečky, které lze přišroubovat na okraje spodní i horní plotny a vymezit tak výšku dutiny formy. Pro námi provedený experiment byly užity rámečky s celkovou výškou dutiny 5,5 mm. Výchřev ploten byl zajišťován elektrickými topnými foliemi umístěnými v tělese horní i dolní plotny. Příkon ploten byl wattmetrem změřen následovně: horní forma měla měřený příkon 1230 W a dolní forma má příkon 2730 W (příkon obou forem by měl být shodný, nižší příkon horní formy ukazuje na pravděpodobné poškození topné fólie horní plotny). V horní i spodní plotně jsou vyvrtány otvory pro termočlánky typu T, které umožňují měření a záznam teploty obou forem. V každé plotně se nachází dva otvory pro termočlánky, jeden byl vyvrtán horizontálně v prostřední části strany ploten, další byl vyvrtán horizontálně na okraji strany plotny. Užití dvou termočlánků umožňuje sledování rozložení teploty pečících forem. Ve spodní desce ovšem nebylo možné umístit krajní termočlánek kvůli poškození plotny. Další termočlánek typu T umístěný v každé formě slouží k regulaci teploty formy. Dále byl na horní plotně umístěn ve vertikálním otvoru z horní strany desky tlakový snímač DYNISCO – TPT 432H-M18-17-15/46 s rozsahem 0-17 bar a s vestavěným termočlánkem typu J. Pro měření teploty ve vzorku těsta byl použit plášťovaný termočlánek typu T, který byl "zapíchnut" do vzorku těsta před vložením do formy. Schéma umístění termočlánků si lze prohlédnout na obrázku 7. Pečící stroj se otvírá pomocí zvednutí uzavíracího ramena do horní polohy, čímž se sníží spodní plotna tak, že se kolečka dotýkají základny rámu. Poté je možné zatlačením na uzavírací rameno stroj otevřít a umístit vzorek, pro uzavření provedeme kroky v opačném pořadí. Před zahájením experimentu byly obě formy předeřhřáty na požadovanou nastavenou teplotu pečení, tedy 160 a 185 °C.



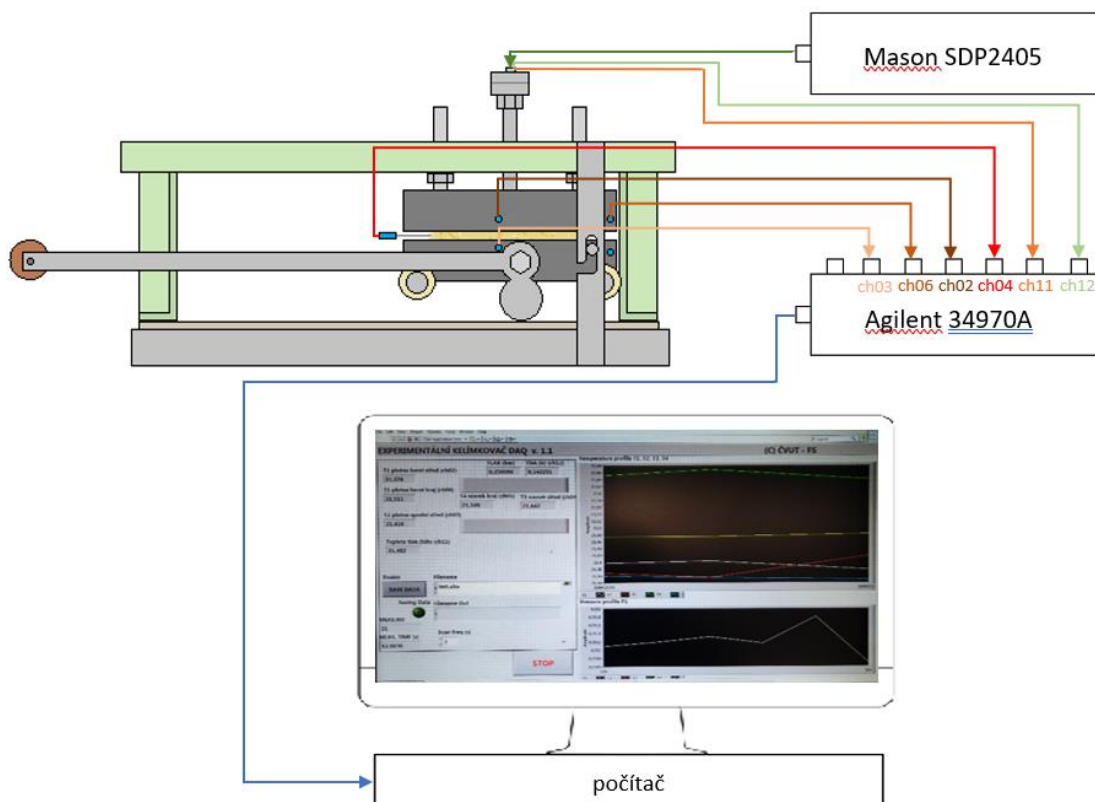
Obrázek 7-schéma pečícího stroje

### 13.1.2 PID Regulátor pečícího zařízení

Pro regulaci teploty obou ploten pečícího zařízení máme připojen regulátor teploty, který je osazen dvojicí regulátorů teploty SINOTIMER MC 401. Regulátor nastaví určenou teplotu na principu PID regulace. PID regulace udržuje teplotu ploten spínáním/vypínáním ohřevu ploten. Teplotu ploten snímáme termočlánek typu T, které jsou zapojeny do regulátoru a jimi udávaná teplota je porovnávána s požadovanou teplotou. Výstupem regulátoru je napěťový signál (0 nebo 10 V), který ovládá spínání a vypínání topných článků ploten pomocí polovodičového SSR relé (klasické relé by nezvládalo tak časté přepínání). Tím dosahujeme výkonové regulace ohřevu ploten s minimální odchylkou žádané a dosažené teploty plotny. Nevzniká tak teplotní hystereze jako v případě klasického termostatu. Změníme-li veličinu, musíme ale u regulátoru počkat, až se stav ustálí (vzhledem k dlouhému zahřívání pečících ploten nenastává v našem případě skoková ale pozvolná změna, a tudíž se regulátor ustálí v poměru s časem zahřívání plotny v přijatelném čase) [46].

## 13.2 Schéma zapojení aparatury

Schéma zapojení měřící aparatury zobrazuje obrázek 8.



Obrázek 8-schéma zapojení aparatury

### 13.2.1 Agilent 34970A

Pro měření a záznam měřených dat (teplot obou forem i vzorku těsta a tlaku měřeného tlakovým snímačem) byl použit 20 kanálový multiplexer AGILENT 34970A (Agilent, USA), který automaticky přepíná a měří nastavené osazené vstupy (signály z termočlánků a napěťový signál z tlakového snímače). Přístroj byl připojen pomocí převodníku GPIB-USB k počítači pro ukládání naměřených dat. Snímací frekvence měřených hodnot byla 3 s.

### 13.2.2 Laboratorní zdroj Mason SDP2405

Slouží k napájení tlakového snímače. Napájení ovlivňuje výstupní signál, je tedy nutné napájet snímač velice přesně.



### 13.3 Příprava

Nejprve jsme si připravili vzorky těsta dle shodného složení a shodným postupem, jako v předchozím experimentu měření lisovací síly (kapitola 12). Vzorky jsme zabalili do potravinářské folie a nechali na hodinu odstát v lednici. Poté jsme sestavili měřící aparaturu a sepnuli ohřev ploten na nastavenou teplotu. Po uplynutí doby nutné k odpočinutí těsta (60 minut) jsme jednotlivé vzorky rozdělili po 100 g a přesně zvážili. Poté následovalo tvarování jednotlivých vzorků pomocí formičky s danou geometrií pro určení objemu. Forma měla tvar válečku s průměrem 49 mm. Podstavy jsme stlačili tak, aby byly co nejvíce rovné, a pak jsme u vzorků měřili výšku, pomocí které jsme zjistili objem. Všechny vzorky byly pak zabaleny do potravinářské folie a v mezičase před pečením byly nepoužívané vzorky umístěny v lednici, aby se zamezilo schnutí těsta.

### 13.4 Měření

1. Příprava těsta (3 šarže s různým podílem přidané vody)
2. Uložení těsta na 1 h v lednici
3. Zapojení aparatury podle zobrazení a ohřev ploten na teplotu pečení (Obrázek 8)
4. Příprava vzorků daného rozměru (válec s průměrem 49mm)
5. Vložení termočlánku tak, aby byl přibližně v geometrickém středu vzorku
6. Spuštění měření v počítači
7. Vložení vzorku těsta na spodní pečící desku
8. Zasunutí spodní pečící desky a stlačení desek k sobě (uzavření formy)
9. Po zvoleném čase pečení otevření formy a vyjmutí vzorku z formy
10. Zvážení vzorku po pečení
11. Změření výšky pečeného vzorku
12. Vyfocení vzorku pro dodatečné změření plochy
13. Opakování měření pro další vzorky

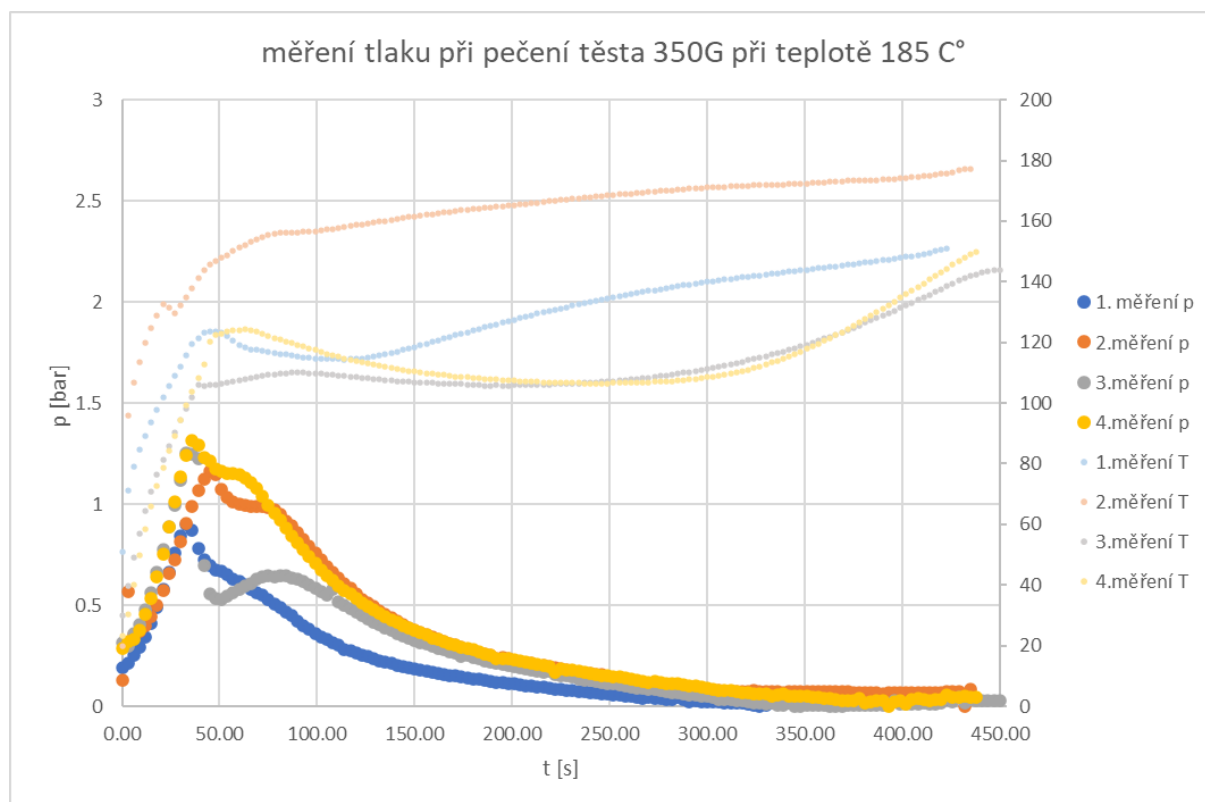
### 13.5 Přehled měření s naměřenými hmotnostmi a rozměry

Tabulka 5-tabulka přehledu měření

vzorek	Teplota pečení T [°C]	čas pečení t[min]	$m_{před}$ [g]	$m_{po}$ [g]	Průměr vzorku d [mm]	Výška vzorku h [mm]	Tloušťka upečené placky t [mm]
200G	160	10	100	70.1	49	41.5	5.7
				70.9		41.5	5.7
				69.9		41.5	5.8
				71.2		41.5	5.8
250G				67.5		44	5.8
				67.3		44	5.6
				67.3		44	5.5
				67.2		44	5.5
350G				58.9		46.5	5.6
				58.7		46.5	5.4
				60		46.5	5.5
				59.6		46.5	5.5
200G	185	7		69.8		41.5	5.9
				69.7		41.5	5.9
				70.1		41.5	5.9
250G				66.2		44	5.9
				66.7		44	5.8
				67.3		44	5.7
350G				59.7		46.5	5.6
				59.5		46.5	5.4
				58.1		46.5	5.5
				58.7		46.5	5.5

## 13.6 Výstup experimentu

Výstupem tohoto experimentu jsou grafy tlaků páry v závislosti na čase (přiložené v přílohách) a slisování, které zobrazuje tabulka 6. Pro popis výsledků jsme použili graf měření těsta 350G při teplotě 185 °C (Obrázek 9). Graf je ukázkou naměřeného průběhu tlaku ve formě měřeného tlakovým snímačem a teploty uvnitř vzorku v závislosti na čase pečení.



Obrázek 9-ukázka naměřených u šarže těsta 350G při rychlosti teplotě 185 °C

Z obrázku 9 je vidět, že po uzavření formy dochází k rychlému ohřevu těsta a již během první minuty se těsto dostatečně prohřeje na teploty přesahující 100 °C. Rychlý ohřev doprovází tvorba páry projevující se zvyšujícím se tlakem, který způsobuje expanzi těsta. Těsto expanduje během prvních 150 až 200 s (v závislosti na teplotě forem). Jakmile dojde k expanzi, již dochází pouze k zapečení a tmavnutí krusty a vysoušení vzorku. Teplota vzorku klesá s úniky páry, po kterých roste již jen velmi pozvolně (dochází k dosoušení těsta na finální vlhkost cca 5 %).

Pro zjištění expanze upečené placky jsme použili počítačový program ImageJ [47], kterým jsme z fotografií s vloženým referenčním měřítkem změřili plochy jednotlivých upečených vzorků. Po vynásobení plochy výškou, kterou jsme naměřili na upečených plackách posuvným měřítkem, získáme objem po pečení, který můžeme porovnat s objemem před pečením. Expanzi těsta

během pečení získáme z podílu objemu upečené placky a syrového těsta. Expanze a objemy jednotlivých vzorků zobrazuje tabulka 6.

Tabulka 6-výstupy experimentu

vzorek	T [°C]	S [mm <sup>2</sup> ]	V <sub>pečené</sub> [mm <sup>2</sup> ]	V <sub>syrové</sub> [mm <sup>2</sup> ]	expanze $\left(\frac{V_{peč}}{V_{syr}}\right)$	poznámka
200G	160	16472.0	93890.4	78258.3	1.200	
		17000.4	96902.3	78258.3	1.238	
		18950.8	109914.9	78258.3	1.405	vzorek v důsledku unikající páry roztrhal
		15916.5	92315.5	78258.3	1.180	
250G	160	16832.4	97627.8	82972.6	1.177	
		16890.6	94587.6	82972.6	1.140	
		19440.4	106922.1	82972.6	1.289	vzorek v důsledku unikající páry roztrhal
		16731.8	92025.0	82972.6	1.109	
350G	160	19360.4	108418.3	87687.0	1.236	
		19781.0	106817.3	87687.0	1.218	
		18697.5	102836.0	87687.0	1.173	
		19768.1	108724.8	87687.0	1.240	
200G	185	15587.2	91964.4	78258.3	1.175	
		15878.0	93680.2	78258.3	1.197	
		15862.2	93586.9	78258.3	1.196	
250G	185	16216.8	95679.2	82972.6	1.153	
		16119.5	93493.0	82972.6	1.127	
		16827.2	95915.2	82972.6	1.156	
350G	185	18480.9	103492.9	87687.0	1.180	
		19079.1	103027.0	87687.0	1.175	
		19449.0	106969.7	87687.0	1.220	
		19762.3	108692.7	87687.0	1.240	
průměrná expanze					1.201	

Z tabulky 6 a obrázku 9 vyplývá, že všechny šarže připraveného těsta při pečení expandovala, objem vzorků se průměrně zvětšil o 20 % vůči objemu syrového těsta. Z grafu na obrázku 9 plyne, že nepatrně lepší expanze bylo dosaženo při nižší teplotě pečení (160 °C), vliv množství přidané vody do těsta na jeho expanzi se statisticky neprojevil.

Tabulka 7-maximální dosažené tlaky jednotlivých měření

šarže	T [°C]	p_max [bar]	šarže	T [°C]	p_max [bar]
200G	160	2,368684	200G	185	2,052029
		1,188939			2,327934
		2,034942			1,112785
		1,749679			
250G		1,72599	250G		2,095626
		1,536706			1,93798
		1,445456			1,26083
		1,875812			
350G		1,341893	350G		0,897987
		1,225931			1,161378
		1,04568			1,255834
		1,136151			1,314873

Naměřené hodnoty (Tabulka 7) ukazují nejnižší naměřený tlak páry u těsta s nejvyšším podílem vody. Pro vysvětlení tohoto jevu máme dvě hypotézy. První hypotéza pracuje s lehčí průchodností páry skrz méně tuhé těsto s největším podílem vody. Pára pak z formy uniká netěsnostmi. U těsta se také projevuje lepší tekutost a rychlejší expanze. Druhé možné vysvětlení tohoto jevu je pomocí možného vzniku experimentální chyby, která by mohla být způsobena tím, že tužší těsta působila určitou silou na snímač tlaku při stlačování vzorku během zavírání formy. Tento tlak lze pozorovat nenulovým tlakem v čase 0, kdy došlo k uzavření formy u tuhého těsta 200G, nicméně se tlaky velmi rychle vyrovnávají a po několika sekundách jsou u všech šarží těst přibližně stejné.

Pro další výpočty jsme potřebovali určit obsah vody ve vzorcích těsta a upečených vzorcích. Obsah vody byl určen rozdílem hmotnosti před sušením a po vysušení syrového těsta. Vzorky syrového těsta jsme sušili v komorové sušárně BINDER při teplotě 105 °C po dobu 24 h. Výsledky stanoveného obsahu vody ve vzorcích těsta a upečených vzorcích shrnuje tabulka 8.

Tabulka 8-stanovení obsahu vody syrového těsta

těsto, šarže 1 - 200g záměsově vody							
vzorek	miska	před sušením		po vysušení		vlhkost	sušina
		miska + vzorek	vzorek	miska+vzorek	vzorek m1		
	m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> [g]	m <sub>1</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>1</sub> [g]	X [%]	S [%]
1	2,4905	12,1184	9,6279	9,0894	6,5989	31,5	68,5
2	2,519	10,0226	7,5036	7,6566	5,1376	31,5	68,5
3	2,5187	11,7366	9,2179	8,8318	6,3131	31,5	68,5
4	2,5128	11,5702	9,0574	8,7067	6,1939	31,6	68,4
5	2,4843	14,5267	12,0424	10,7279	8,2436	31,5	68,5
6	2,4746	15,3171	12,8425	11,2749	8,8003	31,5	68,5
<b>Datum</b>	04.05.2023				<b>průměr</b>	<b>31,5</b>	<b>68,5</b>
<b>Parametry</b>	105°C / 24 h				<b>sm. Odch.</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
těsto, šarže 2 - 250g záměsově vody							
vzorek	miska	před sušením		po vysušení		vlhkost	sušina
		miska + vzorek	vzorek	miska+vzorek	vzorek m1		
	m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> [g]	m <sub>1</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>1</sub> [g]	X [%]	S [%]
1	2,5319	8,4247	5,8928	6,3527	3,8208	35,2	64,8
2	2,4993	17,4194	14,9201	12,2172	9,7179	34,9	65,1
3	2,5213	13,048	10,5267	9,3451	6,8238	35,2	64,8
4	2,5245	12,3126	9,7881	8,8761	6,3516	35,1	64,9
5	2,5133	13,1666	10,6533	9,4307	6,9174	35,1	64,9
6	2,4889	16,0744	13,5855	11,3631	8,8742	34,7	65,3
<b>Datum</b>	04.05.2023				<b>průměr</b>	<b>35,0</b>	<b>65,0</b>
<b>Parametry</b>	105°C / 24 h				<b>sm. Odch.</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>
těsto, šarže 3 - 350g záměsově vody							
vzorek	miska	před sušením		po vysušení		vlhkost	sušina
		miska + vzorek	vzorek	miska+vzorek	vzorek m1		
	m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> [g]	m <sub>1</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>1</sub> [g]	X [%]	S [%]
1	2,4925	8,2572	5,7647	5,8243	3,3318	42,2	57,8
2	2,49	10,7411	8,2511	7,2623	4,7723	42,2	57,8
3	2,4921	9,7247	7,2326	6,6533	4,1612	42,5	57,5
4	2,4707	13,7009	11,2302	9,0245	6,5538	41,6	58,4
5	2,4785	15,2426	12,7641	9,8379	7,3594	42,3	57,7
6	2,4805	11,1042	8,6237	7,4342	4,9537	42,6	57,4
<b>Datum</b>	04.05.2023				<b>průměr</b>	<b>42,2</b>	<b>57,8</b>
<b>Parametry</b>	105°C / 24 h				<b>sm. Odch.</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>

Obsah vody u upečených placek jsme zjistili stejným způsobem jako u syrového těsta viz tabulka 9.

Tabulka 9-stanovení obsahu vody upečených placek

oplatka, šarže 1 - 200g záměsově vody / pečení 160°C							
vzorek	miska	před sušením		po vysušení		vlhkost	sušina
		miska + vzorek	vzorek	miska+vzorek	vzorek m1		
	m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> [g]	m <sub>1</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>1</sub> [g]	X [%]	S [%]
1	2,4907	7,8723	5,3816	7,5746	5,0839	5,5	94,5
2	2,52	9,4525	6,9325	9,1066	6,5866	5,0	95,0
3	2,5195	8,3114	5,7919	8,0013	5,4818	5,4	94,6
Datum	04.05.2023				průměr	5,3	94,7
Parametry	105°C / 24 h				sm. Odch.	0,3	0,3
oplatka, šarže 2 - 250g záměsově vody / pečení 160°C							
vzorek	miska	před sušením		po vysušení		vlhkost	sušina
		miska + vzorek	vzorek	miska+vzorek	vzorek m1		
	m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> [g]	m <sub>1</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>1</sub> [g]	X [%]	S [%]
1	2,5125	10,0726	7,5601	9,6724	7,1599	5,3	94,7
2	2,485	10,3829	7,8979	9,9633	7,4783	5,3	94,7
3	2,4756	15,0989	12,6233	14,482	12,0064	4,9	95,1
Datum	04.05.2023				průměr	5,2	94,8
Parametry	105°C / 24 h				sm. Odch.	0,2	0,2
oplatka, šarže 3 - 350g záměsově vody / pečení 160°C							
vzorek	miska	před sušením		po vysušení		vlhkost	sušina
		miska + vzorek	vzorek	miska+vzorek	vzorek m1		
	m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> [g]	m <sub>1</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>1</sub> [g]	X [%]	S [%]
1	2,5321	9,2169	6,6848	8,8424	6,3103	5,6	94,4
2	2,5003	9,2972	6,7969	8,9362	6,4359	5,3	94,7
3	2,5226	8,3136	5,791	8,0076	5,485	5,3	94,7
Datum	04.05.2023				průměr	5,4	94,6
Parametry	105°C / 24 h				sm. Odch.	0,2	0,2
oplatka, šarže 1 - 200g záměsově vody / pečení 185°C							
vzorek	miska	před sušením		po vysušení		vlhkost	sušina
		miska + vzorek	vzorek	miska+vzorek	vzorek m1		
	m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> [g]	m <sub>1</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>1</sub> [g]	X [%]	S [%]
1	2,5254	13,2686	10,7432	12,766	10,2406	4,7	95,3
2	2,5138	12,0874	9,5736	11,6808	9,167	4,2	95,8
3	2,4897	11,4157	8,926	10,9765	8,4868	4,9	95,1
Datum	04.05.2023				průměr	4,6	95,4
Parametry	105°C / 24 h				sm. Odch.	0,3	0,3

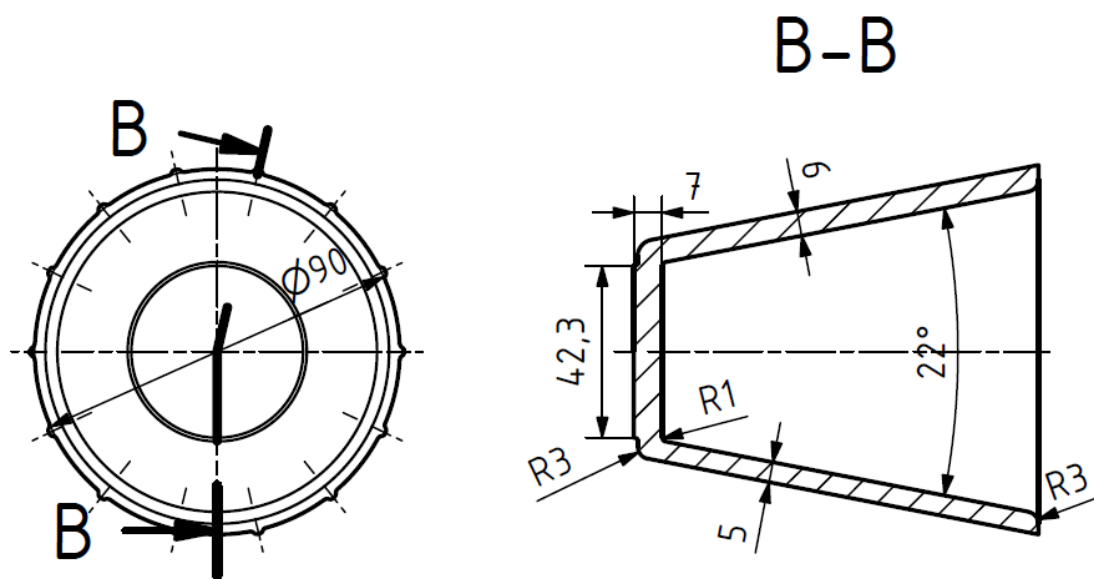
oplatka, šarže 2 - 250g záměsově vody / pečení 185°C							
vzorek	miska	před sušením		po vysušení		vlhkost	sušina
		miska + vzorek	vzorek	miska+vzorek	vzorek m1		
	m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> [g]	m <sub>1</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>1</sub> [g]	X [%]	S [%]
1	2,493	11,4679	8,9749	11,0641	8,5711	4,5	95,5
2	2,4924	14,9914	12,499	14,4049	11,9125	4,7	95,3
3	2,4919	16,4172	13,9253	15,7159	13,224	5,0	95,0
Datum	04.05.2023				průměr	4,7	95,3
Parametry	105°C / 24 h				sm. Odch.	0,3	0,3
oplatka, šarže 3 - 350g záměsově vody / pečení 185°C							
vzorek	miska	před sušením		po vysušení		vlhkost	sušina
		miska + vzorek	vzorek	miska+vzorek	vzorek m1		
	m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>0</sub> [g]	m <sub>1</sub> +m <sub>m</sub> [g]	m <sub>1</sub> [g]	X [%]	S [%]
1	2,4709	11,8766	9,4057	11,3627	8,8918	5,5	94,5
2	2,4784	10,7868	8,3084	10,3155	7,8371	5,7	94,3
3	2,4813	9,9399	7,4586	9,5621	7,0808	5,1	94,9
Datum	04.05.2023				průměr	5,4	94,6
Parametry	105°C / 24 h				sm. Odch.	0,3	0,3

## 14 Návrh pečicí formy

### 14.1 Popis finálního výrobku

#### 14.1.1 Tvar výrobku

Forma je navrhována pro výrobu pečeného konzumovatelného výrobku z těsta ve formě kelímku o rozměrech, které zobrazuje obrázek 10.



Obrázek 10-rozměry kelímku



### 14.1.2 Těsto

Pro výrobu konzumovatelného kelímku předpokládáme těsto dle receptury vzorku 350G. Těsto této receptury jsme zvolili na základě dříve popsanych experimentů, jelikož těsto není příliš tuhé čímž se snižují lisovací síly a bude také lépe zatékat do dutiny formy. Z hlediska expanze byla všechna zkoušená těsta v podstatě rovnocenná, nicméně těsto dle receptury 350G dosahovalo nižších tlaků páry během pečení proti ostatním těstům, a navíc u žádného vzorku během pečení nedošlo k "roztrhnutí" těsta vlivem unikající páry.

### 14.2 Určení množství těsta pro výrobu kelímku

Potřebný objem těsta zjistíme z objemu vyráběného kelímku, který snížíme o expanzi během pečení těsta. Objem kelímku jsme zjistili z programu Autodesk Inventor, kde jsme vytvořili model kelímku podle zadaných rozměrů. Potřebnou dávku těsta ještě zvýšíme odhadem o 5 % z důvodu pokrytí ztrát těsta jeho zatečením do dělicí roviny a jiných netěsností ve formě. Reálné ztráty by se musely vyzkoušet v provozu. Výpočet dávky těsta je tedy vzorcem ( 4):

$$V_t = \frac{V}{\text{expanze}} * 1,05 = \frac{117234,264 * 10^{-9}}{1,2} * 1,05 = 1,0258 * 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (4)$$

Kde:

$$V = \text{objem kelímku měřený v inventoru [m}^3\text{]}$$

Hustotu těsta 350G lze jednoduše určit z objemu válečku (D=49 mm, H=46,5 mm) a jeho hmotnosti (100g). Vzorce tedy vyjádříme rovnicí ( 5):

$$\rho_t = \frac{m_{\text{válečku}}}{\frac{D^2}{4} * \pi * H} = \frac{0,1}{\frac{0,049^2}{4} * \pi * 0,0465} = 1140,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (5)$$

### 14.3 Výpočet závěrné síly formy

Závěrnou sílu formy musíme dimenzovat tak, aby síla byla schopná stlačit těsto a přeformovat ho do tvaru kelímku a zároveň musí síla zabránit rozevření formy tlakem páry během pečení. Pro výpočet závěrné síly musíme tedy vypočítat sílu způsobenou tlakem páry v těstě působící na uzavírací člen formy a sílu nutnou na stlačení vložené dávky těsta na tloušťku stěny kelímku. Větší ze sil pak vezmeme jako minimální potřebnou lisovací sílu.

#### 14.3.1 Určení závěrné síly formy z tlaku páry

Výpočet síly způsobené tlakem páry v těstě provedeme pro těsto 350G a pečící teplotu 185 °C. Sílu, která je způsobena tlakem uvolněné páry z těsta (má snahu otevírat formu), stanovíme z maximálního naměřeného tlaku při pokusech na pokusném pečícím zařízení a promítnutou plochu tvárníku (naměřenou na modelu v inventuru), na kterou tlak působí.

$$p_{max} = 1,31 \text{ bar} = 0,131 \text{ MPa}$$

$$S_{promítnutá} = 2\,799,6 \text{ mm}^2$$

Z těchto parametrů dále vypočítáme sílu způsobenou tlakem páry:

$$F_{tlak} = p_{max} * S_{promítnutá} = 0,131 * 2\,799,6 = 368,112 \text{ N} \quad (6)$$

Shodným postupem můžeme zjistit potřebné síly působící páry na vrchní část formy i pro ostatní zkoušená těsta. Po aplikaci tohoto postupu nám vyjdou výsledky, které zobrazuje tabulka 10:

Tabulka 10-tabulka sil v těstech způsobených tlakem uvolněné páry při pečení

těsto	200G		250G		350G	
T [°C]	160	185	160	185	160	185
$p_{max}$ [bar]	2,368684	2,327934	1,875812	2,095626	1,341893	1,314873
$F_{tlak}$ [N]	663,136773	651,728403	525,1523	586,6915	375,6764	368,1118

#### 14.3.2 Síla nutná na stlačení těsta

Sílu způsobenou stlačením těsta 350G vloženého do formy zjistíme pomocí odečtení z grafu naměřené síly v závislosti na deformaci při rychlosti stlačování R3 (1 mm/s) zjištěné při měření na texturometru. Nižší rychlosti stlačování (než rychlost R3) nemá pro reálnou aplikaci smysl uvažovat z důvodu příliš pomalého uzavírání pro reálné užití. Z vypočteného objemu těsta jsme určili rozměry válcové dávky těsta, kde průměr válečku je 46 mm (průměr dna kelímku) a výška

61,7 mm. U tohoto válcového vzorku budeme počítat relativní deformaci při stlačení na 6 mm (tloušťka dna kelímku). Relativní deformace při stlačení na 6 mm získáme tedy vzorcem:

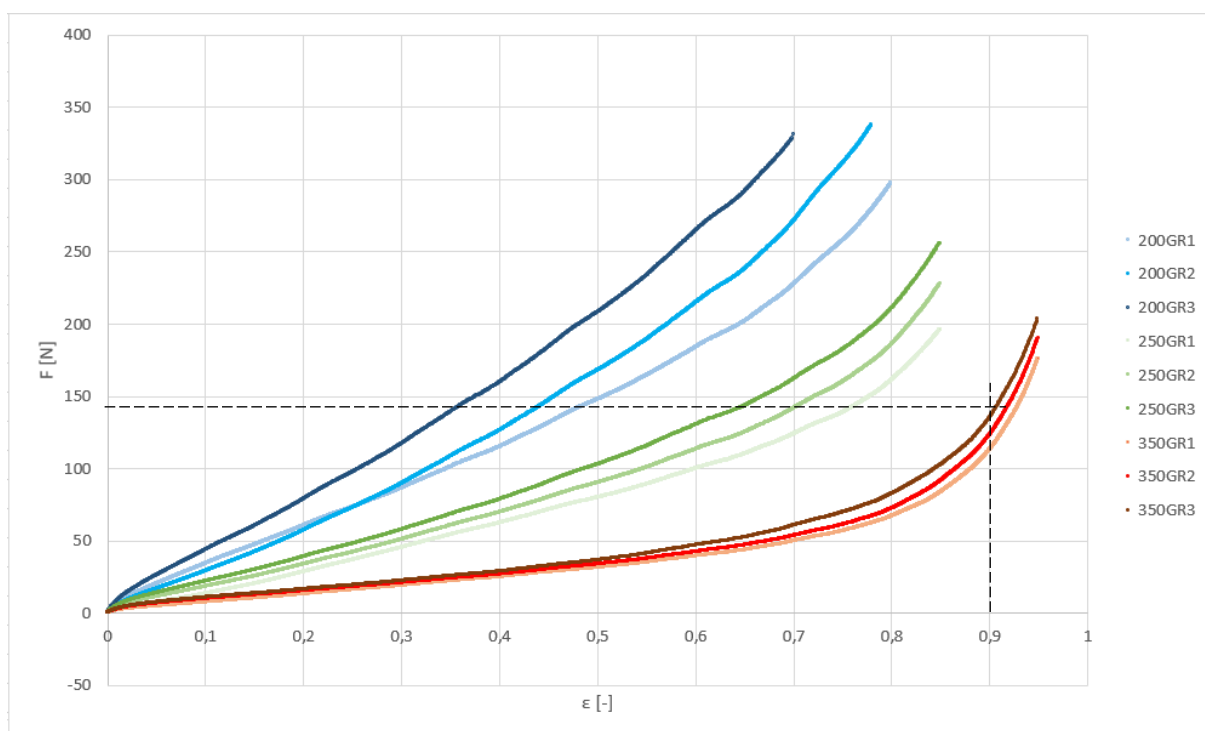
$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} = \frac{61,72 - 6}{\frac{61,72}{1,2}} = 0,9028 \quad (7)$$

kde:

$h$  = výška válcového vzorku [mm]

$h_0$  = výška dna kelímku [mm]

Pro rychlost R3 a těsto 350G můžeme tedy odečíst sílu z grafu který zobrazuje obrázek 11:



Obrázek 11-odečtení z grafu

Potřebná síla na stlačení dávky těsta ve formě vychází 137,327 N, jak je vidět z grafu. Je však nutné brát v úvahu, že síla zjištěná pomocí měření na texturometru byla zjišťována při teplotě těsta přibližně 18 °C a také při volném "odtoku" těsta z prostoru. Ve skutečnosti však bude těsto zatékat do dutiny formy, což se projeví zvýšením odporu těsta vlivem tlakových ztrát při zatékání, bude tedy nutná poněkud vyšší síla na stlačení. Na druhou stranu však forma bude horká a těsto se bude ve formě při uzavírání zahřívat, tuk obsažený v těstě se začne tavit a těsto bude mnohem tekutější, což zcela jistě vykompenzuje požadavek na vyšší sílu způsobenou odporem při zatékání těsta do dutiny formy. Chceme-li vypočítat sílu stlačování u ostatních těst, musíme vycházet

z dopočtu těchto křivek pomocí matematického Launova modelu pro čistě elongační tok [48].

Křivky budeme prokládat matematickým modelem který lze vyjádřit vzorcem:

$$F_e = \pi K_e R^2 \cdot \left[ \frac{3 \cdot v}{2 \left( \frac{H_0 - (H_0 * \varepsilon)}{2} \right)} \right]^n \cdot \left[ 2 \left( \frac{4\delta}{3} \right)^n + \left( \frac{1}{2^{n-1}} \right) \left( \frac{2(2n+1) - 4n\delta}{3(n+1)} \right)^n \right] \quad (8)$$

kde:

$F_E [N]$  = síla při stlačování vzorku mezi dvěma deskami (čistě elongační tok)

$R$  = poloměr stlačovací desky[m]

$v$  = rychlost pohybu desek (rychlost stlačování)  $\left[ \frac{m}{s} \right]$

$H_0$  = počáteční tloušťka vzorku (počáteční vzdálenost mezi deskami)[m]

$\varepsilon$  = je relativní deformace vzorku [-]

Parametry modelu, které je nutné nalézt:

$K_e$  = elongační koeficient konzistence [Pa. sn]

$n$  = je index toku[-]

$\delta$  = koeficient zohledňující skluz látky na stěně (pohybuje se v intervalu 0 = žádný skluz až 0,5 = ideálně mazané plochy)[-]

Launův model [48] předpokládá mocninové chování látky ve tvaru

$$\tau_{z,z} = -2K_e \dot{\varepsilon}_{z,z}^n$$

kde:

$K_e$  = elongační koeficient konzistence a  $n$  pak index toku

$\dot{\varepsilon}_{z,z}$  = rychlost elongační deformace v osovém směru

Pro nalezení potřebných parametrů byl použit nástroj curve fitting v Matlabu, který funguje na základě minimalizace sumy čtverců odchylek mezi naměřenými hodnotami a hodnotami vypočtenými. Vzorcem tedy lze model vyjádřit podle rovnice:

$$SSE = \sum_{\varepsilon=1}^n \left( F_{E,měř}(\varepsilon) - F_{E,model}(\varepsilon) \right)^2 = \min. \quad (9)$$

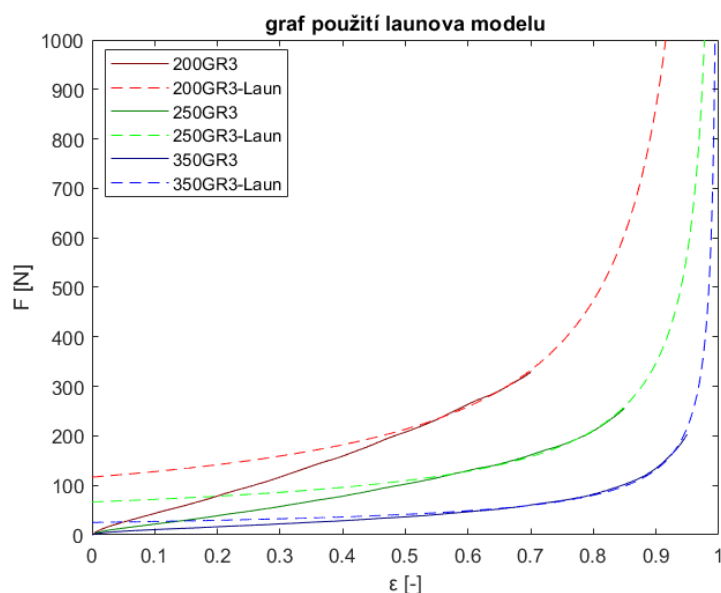
Křivky prokládáme až od relativní deformace 0,5 z důvodu jiného vzorce chování pro hodnoty do 0,5. Konstanta  $\delta$  dosahuje hodnot od 0 do 0,5, konstanta  $K_e$  se pohybuje v rozmezí od 0 do  $\infty$  a  $n$  od  $-\infty$  do  $\infty$ .

Nalezené parametry modelu pro dané průběhy sil na relativní deformaci zobrazuje tabulka 11 (hodnoty byly počítány pro rychlost stlačování  $R_3=1$  mm/s):

Tabulka 11-výsledné parametry Launova modelu

	200GR3	250GR3	300GR3
Teplota vzorku [°C]	18	18	18
$\delta$ [-]	0,3516	0,3994	0,3083
$K_e$ [Pa * s <sup>n</sup> ]	170 500	61 700	25 380
$n$ [-]	0,8709	0,7185	0,7219
$R^2$	0,99	0,99	0,99

Dále vykreslíme grafy závislostí Launových průběhů a porovnáme je s naměřenými hodnotami na následujícím obrázku 12:



Obrázek 12-vykreslení závislosti  $F$  na  $\epsilon$  podle Launova průběhu

Graf (Obrázek 12) ukazuje, že použitý model pro popis naměřených dat velice dobře popisuje naměřené křivky při deformaci nad 50 %, při nižších hodnotách deformace má však model velkou chybu, jelikož se těsto chová spíše jako elastické tuhé těleso. Při vysokých deformacích nad 95 % model neúměrně roste. V našem případě kdy se zabýváme chováním těsta při deformaci okolo 90 % lze Launův model pro určení síly při stlačování vzorku těsta danou rychlostí použít.

Z proložení naměřených hodnot jsme pro rychlost R3 odečetli lisovací síly zobrazené v tabulce 12 (síly 250GR1, 350GR2 a 350GR3 jsme odečetli z naměřených hodnot):

Tabulka 12-odečtené hodnoty sil pro relativní deformaci 0,9028

těsto	200GR3	250GR3	350GR1	350GR2	350GR3
F [N]	888,485	355,056	114,634	125,031	137,327

Výsledná závěrná síla formy je větší z hodnot síly vyvolané působením tlaku páry vzniklé během pečení a síly potřebné ke stlačení těsta receptury 350G ve formě. Síla způsobená tlakem páry nám vyšla 376 N a síla potřebná ke stlačení těsta byla jen 138 N. Minimální navržená síla je tedy 376 N vzata z tlaku páry při pečení těsta 350G při teplotě 160 °C, která po zvětšení bezpečností 1,2 dosahuje 452 N. Z výsledků si můžeme povšimnout, že zmenšením rychlosti stlačování těsta 350G zmenšíme sílu odporu těsta jen velice málo, a menší rychlosti stlačování tedy z tohoto pohledu nepřináší velké výhody.

## 14.4 Návrh topného tělesa pro ohřev formy

### 14.4.1 Energetická bilance pečení

Pro výpočet topného tělesa nejprve musíme vypočítat energetickou bilanci daného procesu. Prvním krokem výpočtu je zjištění hmotnosti jednotlivých složek:

$$\text{Hmotnost těsta: } m_t = V_t * \rho_t = 1,0258 * 10^{-4} * 1\,140,4 = 0,1170 \text{ kg}$$

$$\text{hmotnostní koncentrace vody měřená v sušárně: } w_v = 42,2\%$$

$$\text{Hmotnost vody v těstě: } m_v = w_v * m_t = 0,422 * 0,1170 = 0,0494 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Hmotnost páry vypařené při pečení: } m_p &= \frac{m_{\text{vzorek peč}} - m_{\text{vzorek po peč}}}{m_{\text{vzorek peč}}} * m_t \\ &= \frac{0,1 - 0,059}{0,1} * 0,1170 = 0,0480 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Hmotnost sušiny: } m_s = m_t - m_v = 0,1170 - 0,04937 = 0,0676 \text{ kg}$$

$$\text{Hmotnost formy měřená v inventuru: } m_f = 4,212 \text{ kg}$$

Dále zjistíme teploty jednotlivých složek a jejich změnu:

$$\text{Teplota těsta na konci pečení: } T_{t_{\text{konec}}} = 150^\circ\text{C}$$

$$\text{Teplota syté páry při 0,13 MPa : } T_{p_{0,13\text{MPa}}} = 107,12^\circ\text{C}$$

$$\text{Počáteční teplota těsta po odležení: } T_{\text{lednice}} = 10^\circ\text{C}$$

$$\text{Teplota pečení: } T_{peč} = 185^{\circ}\text{C}$$

Předpokládané ochlazení otevřením formy, čištěním a vyjmutím výrobku:  $\Delta T_f = 15^{\circ}\text{C}$

$$\text{Změna teploty sušiny těsta: } \Delta T_s = T_{t_{konec}} - T_{lednice} = 150 - 10 = 140^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Změna teploty vody: } \Delta T_v = T_{p_{0,13\text{MPa}}} - T_{lednice} = 107,12 - 10 = 97,12^{\circ}\text{C}$$

Dále si v tabulkách vyhledáme měrné tepelné kapacity složek:

$$\text{Měrná tepelná kapacita sušiny: } C_{p_s} = 1,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\text{Měrná tepelná kapacita vody: } C_{p_v} = 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\text{Měrná tepelná kapacita formy (hliník): } C_{p_f} = 0,896 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Výpočet energie potřebné na tvorbu páry je vyjádřen rovnicí:

$$Q_v = C_{p_v} * m_v * (\Delta T_v) + \Delta h_{0,13\text{MPa}} * m_p \quad (10)$$

$$= 4,186 * 0,0494 * 97,12 + 2231,7 * 0,0480 = 127,1103\text{kJ}$$

Kde:

$$\text{výparné teplo vody při } 0,13 \text{ MPa: } \Delta h_{0,13\text{MPa}} = 2231,7 \text{ kJ/kg}$$

Výpočet energie potřebné na ohřev sušiny o  $\Delta T_s$  je vyjádřen rovnicí:

$$Q_s = C_{p_s} * m_s * \Delta T_s = 1,5 * 0,0676 * 140 = 14,1996 \text{ kJ} \quad (11)$$

Výpočet energie potřebné na ohřev formy o  $\Delta T_f$  je vyjádřen rovnicí:

$$Q_f = C_{p_f} * m_f * \Delta T_f = 0,896 * 4,212 * 15 = 75,479 \text{ kJ} \quad (12)$$

Celkovou energii získáme z rovnice:

$$Q_{celk} = Q_v + Q_s + Q_f = 127,11 + 14,2 + 75,479 = 216,7889 \text{ kJ} \quad (13)$$

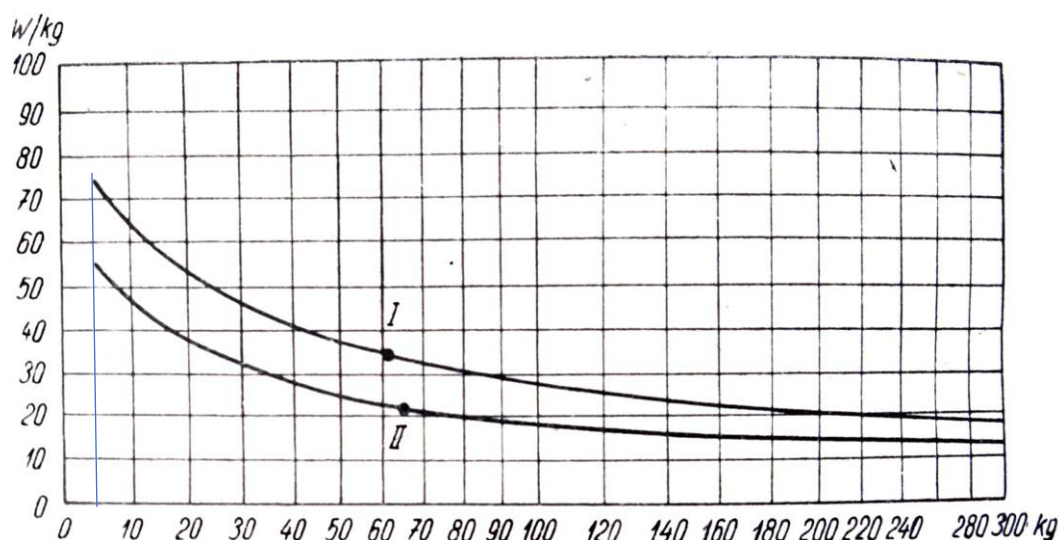
Výkon pro čas pečení  $t = 7 \text{ min}$  je vyjádřen rovnicí:

$$P = \frac{Q_{celk}}{60 * t} = \frac{216,7889}{60 * 7} = 0,5162 \text{ kW} \quad (14)$$

Potřebný výkon na ohřev daného vzorku těsta v navržené formě je tedy 0,5162 kW

#### 14.4.2 Návrh příkonu topného tělesa

Odhad příkonu topných těles navrhujeme podle grafu, který zobrazuje obrázek 13, kde odečteme pro danou hmotnost formy potřebné příkony topných těles.



Obrázek 13-odečtení z grafu [45]

Z grafu jsme tedy odečetli, že na kilogram hmotnosti formy potřebujeme příkon 75 W. Celkový odhad příkonu tedy bude vyjádřen rovnicí:

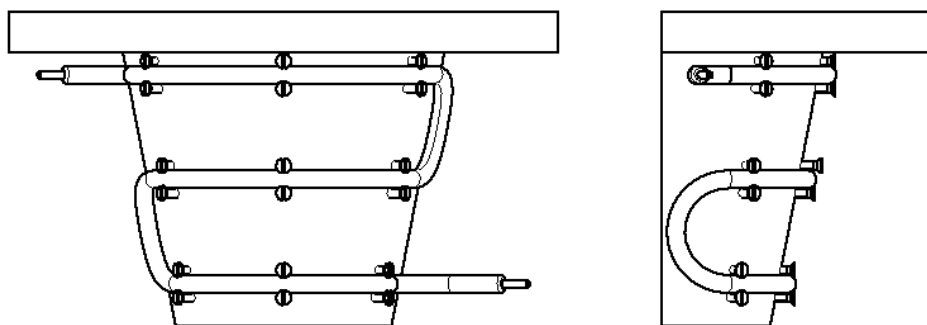
$$P_{p_{graf}} = m_f * 75 = 4,212 * 75 = 316 W \quad (15)$$

Tento způsob výpočtu příkonu se ale nedává moc přesvědčivé výsledky vzhledem k tomu, že výsledný příkon těles je nižší než výkon z energetické bilance. Chyba je pravděpodobně způsobena tím, že graf byl počítán pro ocelovou formu pro tvarování termoplastů. My užíváme hliníkovou formu s jinými vlastnostmi pro pečení těsta, které na rozdíl od termoplastů obsahuje daleko více vody, jež se během pečení odpařuje. S tímto návrhem příkonu tedy nebudeme počítat a příkon topných těles jednotlivých částí formy navrhujeme dle energetické bilance a konstrukčních možností zvolených topných těles.

Pro výhřev obou stran tvárnice jsme vybrali tvarově přizpůsobitelné trubkové topné těleso od výrobce ETTO, které má měrné zatížení  $\alpha_m = 6 \text{ W/cm}^2$  při vnějším zapojení tělesa (při zapuštění topného tělesa do stěny tvárnice je měrné zatížení vyšší). Topná tyč má průměr 6,5 mm a



minimální doporučený poloměr ohybu je 19 mm. Jednou tvarovaná tyč nesmí již být ohýbána a po tvarování je nutné odzkoušet správné fungování topné tyče [49]. Topná tyč byla naohýbána dle obrázku 14 tak, aby bylo dosaženo největšího ohřevu plochy při dodržení minimálního ohybového poloměru.

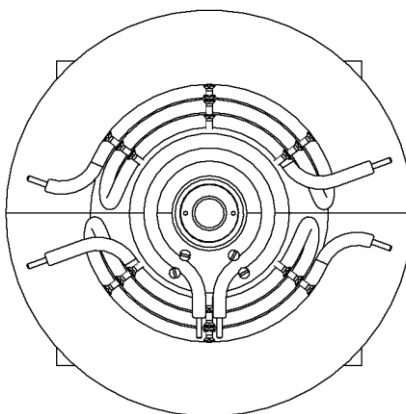


Obrázek 14-umístění topného tělesa na tvárnici

V inventuru změřená délka tyče byla 47,34 cm, výpočtový příkon lze tedy stanovit výpočtem:

$$P_{p_1} = \alpha_m * l * \pi * d = 6 * 47,34 * \pi * 0,65 = 579,977 \text{ W} \quad (16)$$

Z důvodu rovnoměrného rozložení ohřevu jsme dodali těleso i na dno (Obrázek 15).

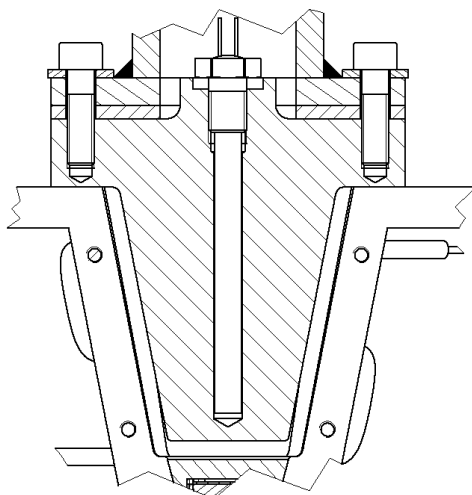


Obrázek 15-umístění topného tělesa na dně tvárnice

Dodané topné těleso je stejného typu jako předchozí, je přichycené jen na jednu polovinu tvárnice z důvodu nutného rychlého otevření formy a má vytápěnou délku 18,2 cm. Přidaný příkon tedy vypočítáme pomocí vzorce (17):

$$P_{p_2} = \alpha_m * l * \pi * d = 6 * 18,2 * \pi * 0,65 = 222,99 \text{ W} \quad (17)$$

Pro výhřev tvárníku jsme zvolili topnou patronu od výrobce BACKER s průměrem 10 mm závitem M 14x1,5 dělky 130 mm a přikonu 300 W. Dělku jsme zvolili tak, aby vyhřeváná čast topněho tělesa zasahovala do maximální výšky požadované vyhřeváné časti tvárníku. Umístění topně patrony zobrazuje obrázek 16.



Obrázek 16-umístění topněho tělesa na tvárníku

Celkový přikon všech topněch těles vychází 1103 W. Za předpokladu úchinnosti topněch těles 80% nám vychází rovnice ( 18):

$$P = P_{p_{celk}} * \eta = 1103 * 0,8 = 882,37W > 516,2 W$$

( 18)

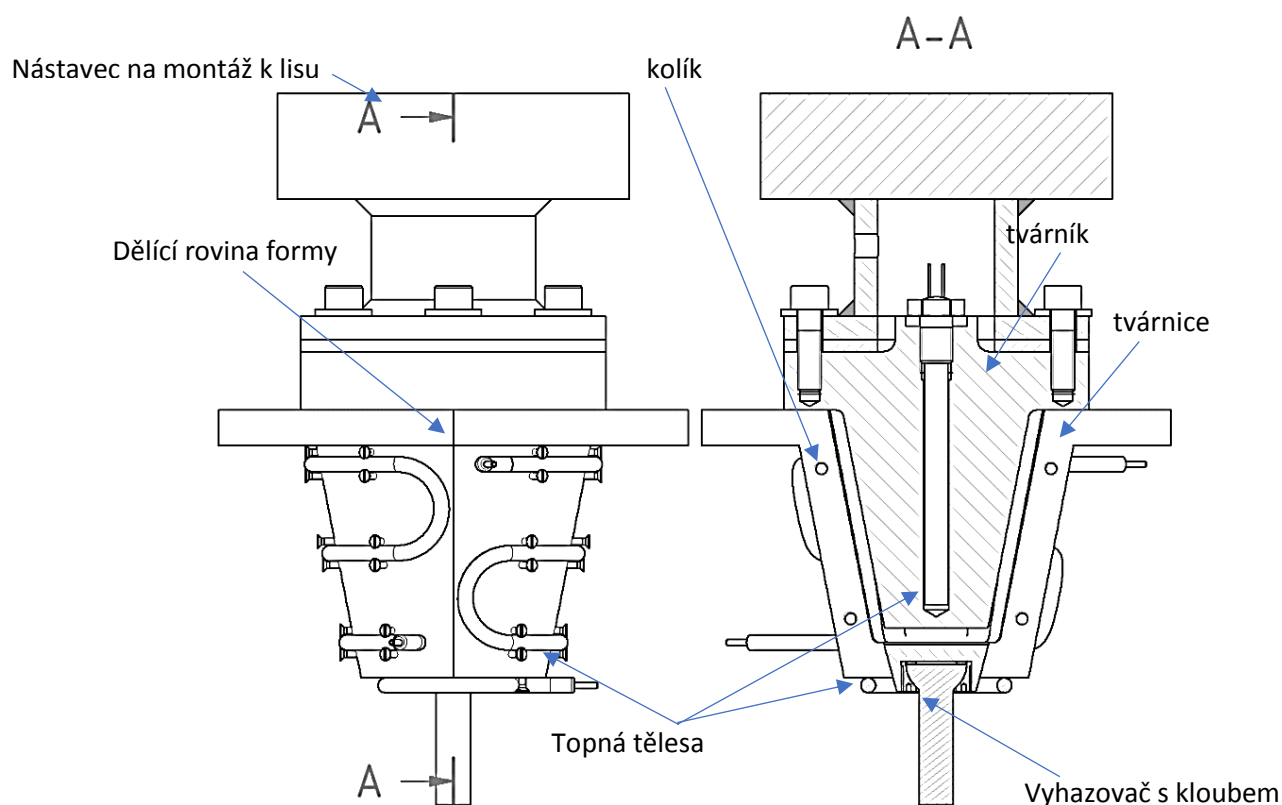
Vypočtený maximální výkon s dostatečnou bezpečností převýšuje minimální výkon vypočitáný z energetické bilance. Doba ohřevu formy z teploty okolí na provozní teplotu se vypočitá dle následující rovnice:

$$t = \frac{m_f * C_{p_f} * \Delta T_{f0}}{P} = \frac{4,212 * 0,896 * (185 - 15)}{882,3} = 727,16 s = 12,12 min \quad ( 19)$$

Za předpokladu maximálního výkonu topněho tělesa se studená forma ohřeje na provozní teplotu za 12,12 minut, což je dostatečně rychlý ohřev po spuštění vytápění pro skutečný provoz.

## 14.5 Konstrukční řešení formy

Konstrukční řešení navržené formy pro pečení kelímku z těsta se skládá z tvárnice (spodní část formy), tvárníku a vyhazovače. Tvárník je horní vertikálně pohyblivá část formy, která slouží k rozlisování těsta do tvaru tvárnice. Vnitřní povrch kelímku kopíruje povrch tvárníku. Tvárnice je dvoudílná část formy, která vytváří vnější povrch kelímku. Jedna z polovin tvárnice je horizontálně pohyblivá a umožňuje tak pootevření formy k zjednodušení vyjmutí kelímku. Na tvárnici se také nachází drážkování pro odvod páry (aby nedocházelo k trhání stěn kelímku). Drážkování je umístěno na tvárnici z důvodu jednoduššího vyjímání hotového výrobku, jelikož v případě umístění drážkování na tvárník by hrozilo uchycení dopečeného kelímku na tvárníku. Tím by se ztížilo vyjímání kelímku. Z důvodu jednoduššího vyjímání je také ve dně tvárnice otvor s úkosem 15°, do kterého zapadá vyhazovač, jenž po otevření formy zesponu vysune upečený kelímek. Na vyhazovači se nachází kloubový mechanismus, který má umožnit dostatečné těsnění dosedajících kuželových ploch vyhazovače na tvárnici. Celé schéma sestavy s popisem jednotlivých částí je vyznačeno na obrázku 17.



Obrázek 17-schéma celé formy

## 15 Závěr

V teoretické části jsem se zabýval možnostmi materiálů pro výrobu ekologických kelímků. Porovnával jsem více druhů bioplastů a voděodolných těst. Dále jsem se zabýval návrhem materiálu formy, parametry lisování a postupem návrhu topných těles. V praktické části bylo provedeno měření lisovací síly, při kterém jsme zjišťovali sílu vzniklou v různých koncentracích těst při lisování za různých rychlostí. Dále jsme provedli měření tlaku páry při pečení různých koncentrací těst při 185 °C po dobu 7 minut a 160 °C při době pečení 10 min. V rámci provedených experimentů jsme také zjišťovali, jaký vliv má obsah vody v těstě na objemovou expanzi těsta. Různý vliv vody se však na objemové expanzi těsta prakticky neprojevil a objemová expanze těsta dosahovala průměrně 20 %. Na základě experimentálně zjištěné objemové expanze těsta jsme navrhli potřebnou dávku těsta k výrobě kelímku požadovaného tvaru. Z měření tlaku páry a lisování jsme určili nutnou závěrnou sílu lisu pro zvolenou koncentraci těsta pro použití v procesu s 350 g vody. Tato koncentrace těsta měla nejpříznivější chování při pečení, jelikož se zde dosahovalo nejmenších tlaků. Výsledky pečení byly nejvíce konzistentní, upečené vzorky nebyly na rozdíl od hustších těst při žádné teplotě popraskané a těsto mělo také nejmenší odpor vůči lisování. Nakonec jsme pomocí energetické bilance vypočítali nutný výkon topných těles. Pomocí doporučeného postupu pro návrh příkonu topných těles jsme zjistili příkon a zkontrolovali, zda je dostatečný s ohledem na potřebný výkon. Nakonec byl vytvořen konstrukční návrh možné podoby formy, který byl zpracován jako model v prostředí Autodesk Inventor.

## 16 Bibliografie

- [1] „Alenčiny záliby,“ 5 21 2017. [Online]. Available: <http://dortiky.happz.cz/index.php/2017/05/strava-v-historii-stredovek-chleb-a-kase/>. [Přístup získán 15 5 2023].
- [2] „eko-plasty.cz,“ 29 10 2022. [Online]. Available: <https://www.eko-plasty.cz/bioplasty-pla/>.
- [3] S. L. S. E. D. M. Iannace, Biomedical Foams for Tissue Engineering Applications, str.163-187, Woodhead Publishing, 2014.
- [4] „twi-global.com,“ TWI Ltd, 2022. [Online]. Available: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-pla>. [Přístup získán 30 10 2022].
- [5] X. Chen a N. Kroell, „Influences of bioplastic polylactic acid on near-infrared-based sorting of conventional plastic,“ SAGE journals, 2021.
- [6] R.Iovinoa, R.Zulloa, M.A.Raob, L.Cassara a L.Gianfredab, „Biodegradation of poly(lactic acid)/starch/coir biocomposites under controlled composting conditions,“ ScienceDirect, 2008.
- [7] W. Harris, „howstuffworks.com,“ 15 4 2021. [Online]. Available: <https://science.howstuffworks.com/science-vs-myth/everyday-myths/how-long-does-it-take-for-plastics-to-biodegrade.htm>. [Přístup získán 30 10 2022].
- [8] S. W. H. T. Y. H. Y. Z. Ce Sun, „Progress in upcycling polylactic acid waste as an alternative carbon source,“ Chemical Engineering Journal, 2022.
- [9] Pavelsik, „www.bio-plasty.cz,“ 14 11 2018. [Online]. Available: <http://www.bio-plasty.cz/bioplasty-pha-polyhydroxyalkanoaty/>. [Přístup získán 5 11 2022].
- [10] „GO!PHA,“ [Online]. Available: <https://www.gopha.org/what-is-pha>. [Přístup získán 5 11 2022].
- [11] L. Šatura, „www.vscht.cz,“ 22 3 2021. [Online]. Available: <https://www.vscht.cz/popularizace/doktorandi-pisou/2020/bioplast-na-ktery-jsme-cekali?jazyk=cs>. [Přístup získán 5 11 2022].
- [12] C. Kamminga, „Making plastic cups with PHA,“ chemport EUROPE, [Online]. Available: <https://www.chemport.eu/discover/success-stories/pha-biobased-polymer/>. [Přístup získán 5 11 2022].
- [13] Y. Zhu, M. Zhong a F. Chen, „Preparation and properties of biocompatible,“ v *AIP Conference Proceedings*, Hangzhou, 2019.
- [14] „wikipedia.org,“ 21 5 2022 . [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polykaprolakton>. [Přístup získán 6 11 2022].
- [15] „polymerdatabase.com,“ crow, [Online]. Available: <https://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/PBS.html>. [Přístup získán 5 11 2022].

- [16] „www.roquette.com,“ roquette, [Online]. Available: <https://www.roquette.com/industries/performance-materials/polyesters-pbs>. [Přístup získán 5 11 2022].
- [17] „polymerdatabase.com,“ crow, [Online]. Available: <https://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/PBAT.html>. [Přístup získán 5 11 2022].
- [18] A. Reunis, „HEAPSGOOD,“ 4 5 2021. [Online]. Available: <https://heapsgoodpackaging.com.au/blogs/news/what-is-pbat-compostable-packaging>. [Přístup získán 5 11 2022].
- [19] ekoba, „BIODEGRADABILNÍ,“ ekoba.cz.
- [20] „www.trideniodpadu.cz,“ [Online]. Available: <https://www.trideniodpadu.cz/post/fanklub-jednor%C3%A1zov%C3%BDch-kel%C3%ADmk%C5%AF>. [Přístup získán 6 11 2022].
- [21] Y. & S. C. & P. L. C. & L. T. K. & C. E. & F. M. & J. M. H. & B. A. & S. Abdul Khalil & Tye, „Biodegradable polymer films from seaweed polysaccharides: A review on cellulose as a reinforcement material,“ RG, 2017.
- [22] „www.newfoodmagazine.com,“ New Food, 23 3 2021. [Online]. Available: <https://www.newfoodmagazine.com/news/141983/edible-films/>. [Přístup získán 17 11 2022].
- [23] „Going Green,“ youtube, 1 25 2022. [Online]. Available: <https://youtu.be/2bhWOHFeyEo>. [Přístup získán 18 11 2022].
- [24] „Skipping Rocks Lab: edible, biodegradable food packaging,“ youtube, 5 7 2019. [Online]. Available: <https://youtu.be/24ktEYDQ4nM>. [Přístup získán 18 11 2022].
- [25] „mtpak.coffee,“ mtpak, 17 6 2022. [Online]. Available: <https://mtpak.coffee/2022/06/edible-coffee-cups-practical-solution-plastic-waste/>. [Přístup získán 19 11 2022].
- [26] V. & N. N. Velusamy, „Eco-Friendly and Edible Waste Cutlery for %0D Sustainable Environment,“ ResearchGate, 2021.
- [27] S. Meenal, „Aura Of Thoughts,“ [Online]. Available: <https://www.aurofthoughts.com/2022/10/how-edible-cutlery-help-to-save.html>. [Přístup získán 15 5 2023].
- [28] Z. M. Atanasov, „MIXTURE FOR PRODUCTION OF EDIBLE CONTAINERS FOR HOT AND COLD BEVERAGES AND FOOD“. Patent WO/2020/061653, 27 9 2018.
- [29] „cupffee.me,“ cupffee, [Online]. Available: <https://cupffee.me/>. [Přístup získán 27 11 2022].
- [30] E. Rose, de zeen, [Online]. Available: <https://www.dezeen.com/2008/03/26/edible-tableware-by-rice-design/>. [Přístup získán 15 5 2023].
- [31] „specialtyfood,“ 9 12 2014. [Online]. Available: <https://www.specialtyfood.com/news/article/edible-tableware-becomes-popular-japan/>. [Přístup získán 27 11 2022].

- [32] „www.scmp.com,“ south chona morning post, 7 6 2014. [Online]. Available: <https://www.scmp.com/news/asia/article/1586734/dont-want-wash-your-plates-after-meals-now-you-can-eat-them-instead>. [Přístup získán 9 12 2022].
- [33] „www.linkedin.com,“ linkedin, 4 2013. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/in/do-eat-102877a5/?originalSubdomain=be>. [Přístup získán 9 12 2022].
- [34] „biotrem.pl,“ [Online]. Available: <http://biotrem.pl/en/>. [Přístup získán 9 12 2022].
- [35] D. Wang, J. Huang a Z. Guo, „Tomato-lotus inspired edible superhydrophobic artificial lotus leaf,“ ELSEVIER, Lanzhou.
- [36] M. Drahá, „bydleni.magazinplus.cz,“ 19 12 2017. [Online]. Available: <https://bydleni.magazinplus.cz/223-silikonove-formy-maji-sve-vyhody-ceho-bychom-se-ale-meli-drzet-pri-jejich-pouziti.html>. [Přístup získán 18 12 2022].
- [37] „homewar.cz,“ homewar, [Online]. Available: <https://www.homeware.cz/clanky/vyhody-a-nevyhody-litinoveho-nadobi>. [Přístup získán 2023 5 13].
- [38] C. Doc.Ing. Jaromír ROUČKA, „METALURGIE LITIN,“ FSI FÓRUM, Brno.
- [39] A. S. Eric Partington, „Korozivzdorné oceli,“ euro inox, Lucemburk, 2008.
- [40] „<https://www.primapol.cz/produkty/hlinik/>,“ primapol, [Online]. Available: <https://www.primapol.cz/produkty/hlinik/>. [Přístup získán 5 7 2023].
- [41] „factum-info,“ [Online]. Available: <https://factum-info.net/cs/zabluzhdeniya/raznoe/1256-zabluzhdeniya-i-interesnye-fakty-o-teflone>. [Přístup získán 18 12 2022].
- [42] „www.kulina.cz,“ [Online]. Available: <https://www.kulina.cz/blog/pravda-o-teflonovem-nadobi/>. [Přístup získán 18 12 2022].
- [43] „www.tefpo.cz,“ hynek-němec teflonování, [Online]. Available: <http://www.tefpo.cz/index.php?text=technologie>. [Přístup získán 18 12 2022].
- [44] K. Jan, Formy pro tváření plastických hmot, Praha: SNTL, Řada strojírenské literatury, 1966.
- [45] B. Bedřich, Tváření plastických hmot: formy pro lisování - lisostřík - vstřikován, Praha: St. nakl. techn. lit, 1961.
- [46] „automa.cz,“ AUTOMA časopis pro automatizační techniku, [Online]. Available: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/co-znamená-pid-2003\\_03\\_28768\\_3811/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/co-znamená-pid-2003_03_28768_3811/). [Přístup získán 5 5 2023].
- [47] „ImageJ,“ [Online]. Available: <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>. [Přístup získán 25 7 2023].
- [48] M. R. a. O. H. H. M. Laun, Analytical solutions for squeezing flow with partial wall slip, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 1999.
- [49] „www.etto.cz,“ ETTO, [Online]. Available: <https://www.etto.cz/elektricka-topna-telesa/topna-telesa-trubkova/>. [Přístup získán 26 7 2023].

- [50] „www.gastromania.cz,“ [Online]. Available: <https://https://www.gastromania.cz/blog/druhy-cukrarskych-forem-v-profesionalni-i-domaci-kuchyni//blog/druhy-cukrarskych-forem-v-profesionalni-i-domaci-kuchyni/>. [Přístup získán 19 12 2022].
- [51] T. Asako, „japantimes,“ [Online]. Available: <https://www.japantimes.co.jp/news/2014/09/11/national/edible-tableware-served-waste-reduction-bid/>. [Přístup získán 15 5 2023].



## 17 Seznam symbolů

$F_{lis}$	[N]	lisovací síla
$S$	[mm <sup>2</sup> ]	průmětná plocha tvárníku v násypném prostoru tvárnice
$p$	[MPa]	lisovací tlak
$n$	[–]	násobnost formy (počet tvarových dutin)
$\bar{F}$	[N]	průměrná síla měření z měření lisovací síly
$F_n$	[N]	síla n-tého měření lisovací síly
$\varepsilon$	[–]	je relativní deformace vzorku
$n$	[–]	počet měření lisovací síly
$\Delta h$	[mm]	posuv ramene texturometru
$h_0$	[mm]	počáteční tloušťka vzorku při měření lisovací síly
$V$	[m <sup>3</sup> ]	objem kelímku měřený v inventoru
$V_t$	[m <sup>3</sup> ]	objem dávky těsta pro výrobu kelímku
<i>expanze</i>	[–]	expanze těsta při pečení
$\rho_t$	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	hustota těsta
$p_{max}$	[MPa]	maximální tlak páry při pečení těsta
$S_{promítnutá}$	[mm <sup>2</sup> ]	promítnutá plocha tvárníku
$F_{tlak}$	[N]	síla způsobená tlakem páry
$h$	[mm]	výška válcového vzorku
$h_0$	[mm]	výška dna kelímku
$F_E$	[N]	síla při stlačování vzorku mezi dvěma deskami (čistě elongační tok)
$R$	[m]	poloměr stlačovací desky
$v$	$\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$	rychlost pohybu desek (rychlost stlačování)
$H_0$	[m]	počáteční tloušťka vzorku (počáteční vzdálenost mezi deskami)
$K_e$	[Pa. s <sup>n</sup> ]	elongační koeficient konzistence
$n$	[–]	index toku
$\delta$	[–]	koeficient zohledňující skluz látky na stěně
$\dot{\varepsilon}_{z,z}$	[–]	rychlost elongační deformace v osovém směru
$m_t$	[kg]	hmotnost dávky těsta
$w_v$	[–]	hmotnostní koncentrace vody měřená v sušárně
$m_v$	[kg]	hmotnost vody v dávce těsta

$m_p$	[kg]	hmotnost páry vypařené při pečení dávky těsta
$m_s$	[kg]	hmotnost sušiny dávky těsta
$m_f$	[kg]	hmotnost formy měřená v inventuru
$T_{t_{konec}}$	[°C]	teplota těsta na konci pečení
$T_{p_{0,13MPa}}$	[°C]	teplota syté páry při 0,13 MPa
$T_{lednice}$	[°C]	počáteční teplota těsta po odležení
$T_{peč}$	[°C]	teplota pečen
$\Delta T_f$	[°C]	předpokládané ochlazení otevřením formy, čištěním a vyjmutím výrobku
$\Delta T_s$	[°C]	změna teploty sušiny těsta při pečení těsta ve formě
$\Delta T_v$	[°C]	změna teploty vody při pečení těsta ve formě
$C_{p_s}$	$\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$	měrná tepelná kapacita sušiny těsta
$C_{p_v}$	$\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$	měrná tepelná kapacita vody
$C_{p_f}$	$\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$	měrná tepelná kapacita formy (hliník)
$Q_v$	[kJ]	energie potřebná na tvorbu páry
$\Delta h_{0,13MPa}$	$\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$	výparné teplo vody při 0,13 MPa
$Q_v$	[kJ]	energie potřebná na tvorbu páry
$Q_s$	[kJ]	energie potřebná na ohřev sušiny o $\Delta T_s$
$Q_f$	[kJ]	energie potřebná na ohřev formy o $\Delta T_f$
$Q_{celk}$	[kJ]	celková energie při pečení kelímku
$t$	[min]	čas pečení kelímku
$P$	[kW]	výkon pro upečení kelímku
$\alpha_m$	$\left[ \frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \right]$	měrné zatížení při vnějším zapojení topného tělesa
$l$	[cm]	délka trubkového topného tělesa
$d$	[cm]	průměr trubkového topného tělesa
$P_{p_1}$	[W]	příkon trubkového topného tělesa na stěně tvárnice
$P_{p_2}$	[W]	příkon trubkového topného tělesa na dně tvárnice
$t_{ohřevu\ formy}$	[min]	doba ohřevu formy z teploty okolí na provozní teplotu

## 18 Seznam zkratek

PLA	Kyselina polymléčná
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
PHA	Polyhydroxyalkanoát
PCL	Polykaprolakton
PEG	Polyethylenglykol
PBS	Poly(1,4-butylensukcinát)
H <sub>2</sub> O	Voda
PBAT	Polybutyrát
PE	Polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
PTFE	Polytetrafluorethylen

## 19 Seznam příloh

**Příloha 1:** měření stlačovací síly v závislosti na poloze ramene při rychlosti  $R1=0,3\text{mm/s}$

**Příloha 2:** měření stlačovací síly v závislosti na poloze ramene při rychlosti  $R2=0,6\text{mm/s}$

**Příloha 3:** měření stlačovací síly v závislosti na poloze ramene při rychlosti  $R3=1\text{mm/s}$

**Příloha 4:** měření stlačovací síly v závislosti na poloze ramene při rychlosti  $R1=0,3\text{mm/s}$

**Příloha 5:** měření stlačovací síly v závislosti na poloze ramene při rychlosti  $R2=0,6\text{mm/s}$

**Příloha 6:** měření stlačovací síly v závislosti na poloze ramene při rychlosti  $R3=1\text{mm/s}$

**Příloha 7:** měření stlačovací síly v závislosti na poloze ramene při rychlosti  $R1=0,3\text{mm/s}$

**Příloha 8:** měření stlačovací síly v závislosti na poloze ramene při rychlosti  $R2=0,6\text{mm/s}$

**Příloha 9:** měření stlačovací síly v závislosti na poloze ramene při rychlosti  $R3=1\text{mm/s}$

**Příloha 10:** měření tlaku při pečení těsta 200G pro teplotě  $160\text{ }^\circ\text{C}$

**Příloha 11:** měření tlaku při pečení těsta 200G pro teplotě  $185\text{ }^\circ\text{C}$

**Příloha 12:** měření tlaku při pečení těsta 250G pro teplotě  $160\text{ }^\circ\text{C}$

**Příloha 13:** měření tlaku při pečení těsta 250G pro teplotě  $185\text{ }^\circ\text{C}$

**Příloha 14:** měření tlaku při pečení těsta 350G pro teplotě  $160\text{ }^\circ\text{C}$

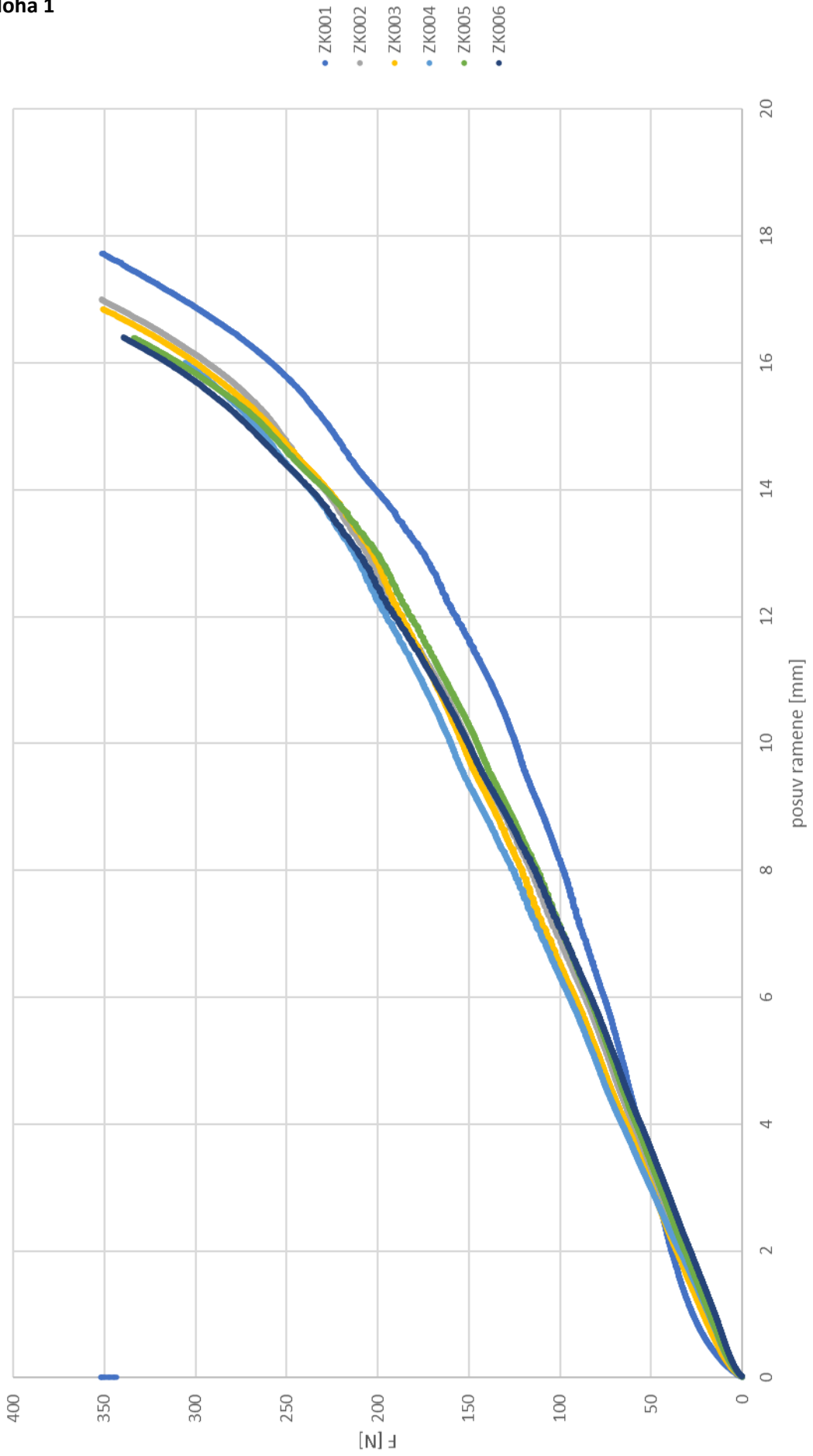
**Příloha 15:** měření tlaku při pečení těsta 350G pro teplotě  $185\text{ }^\circ\text{C}$

**Přílohy 16-37:** fotky upečených vzorků těst

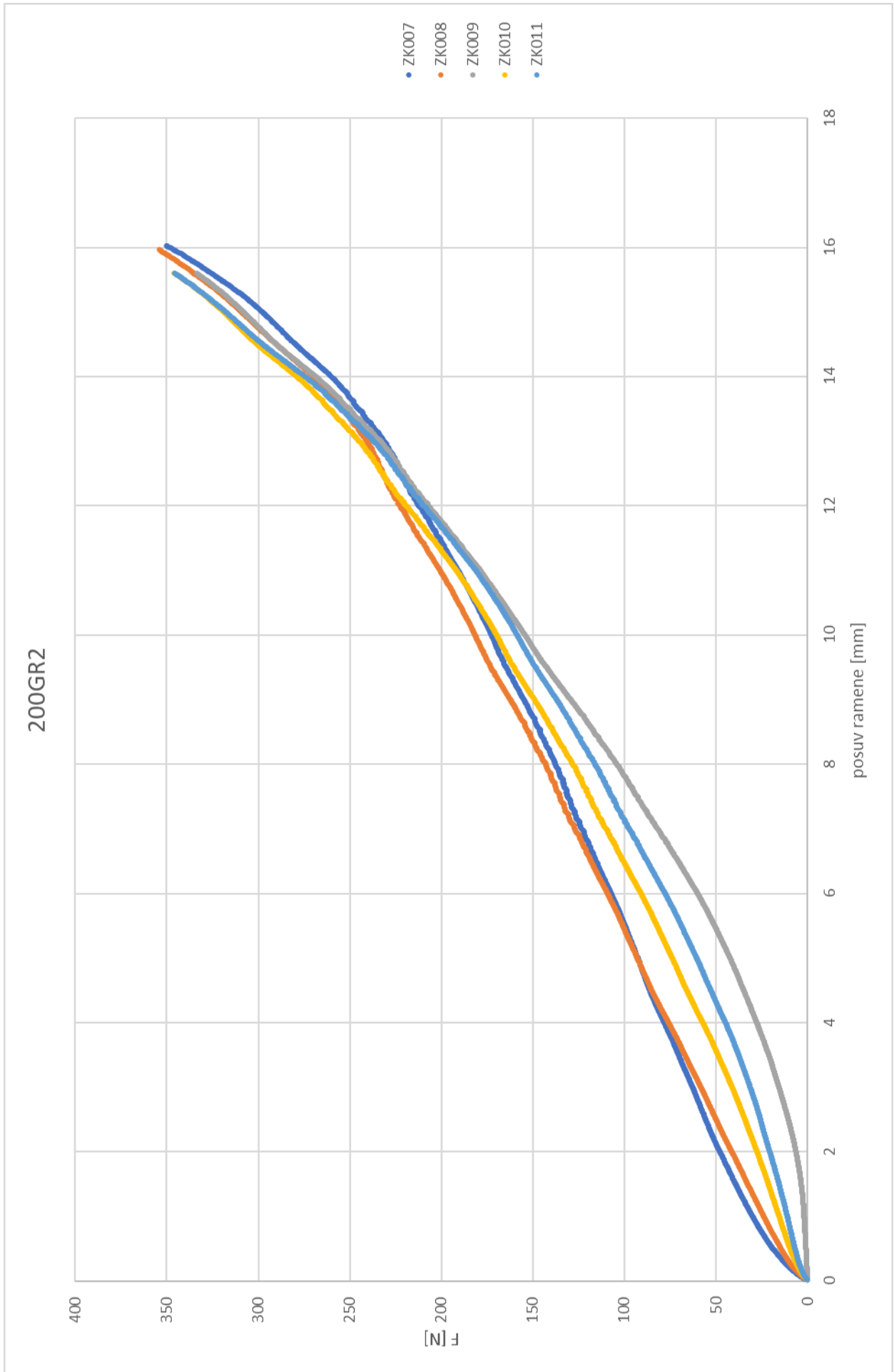
**Příloha 38:** návrhový výkres

Příloha 1

200GR1

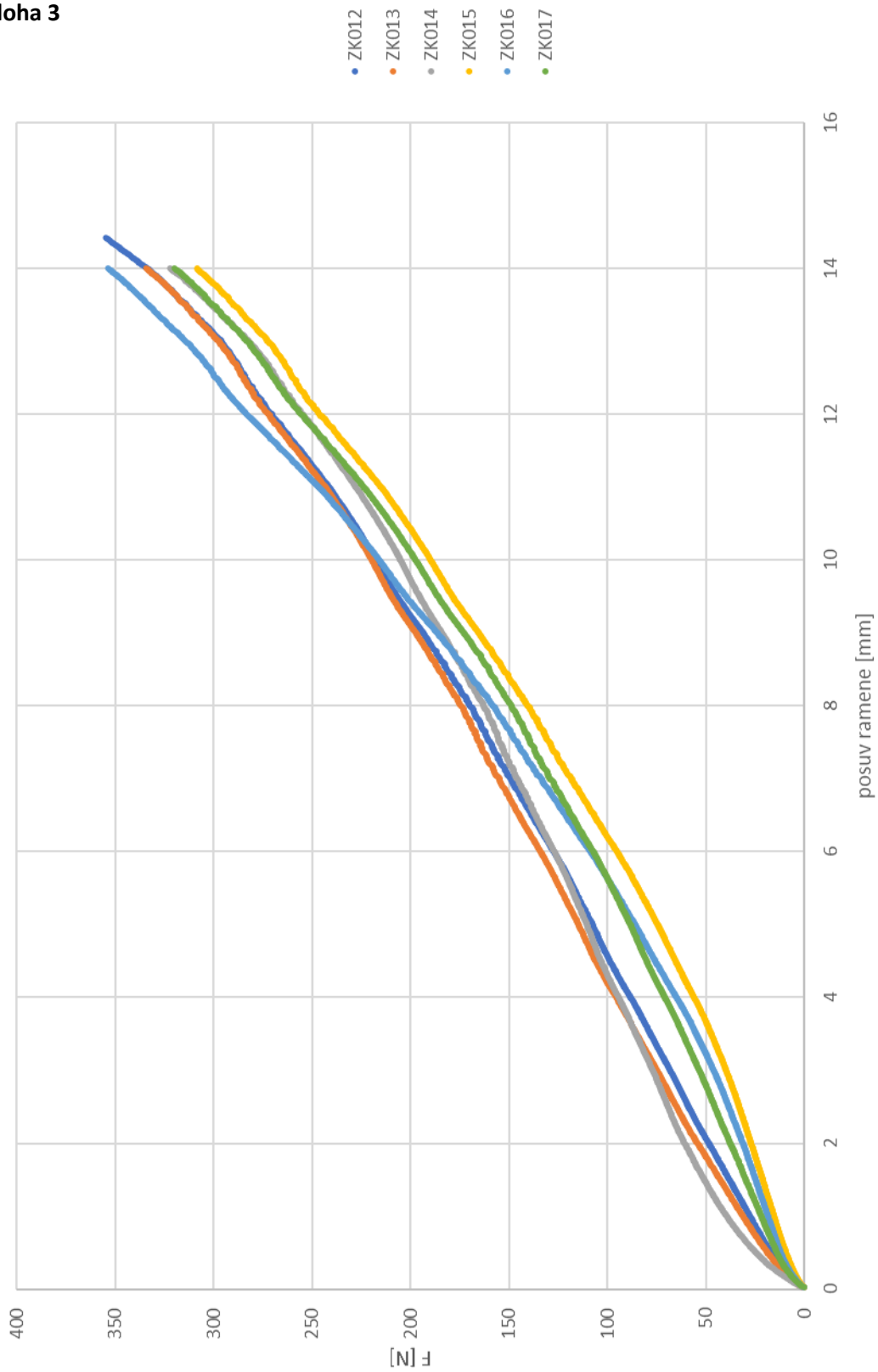


Příloha 2



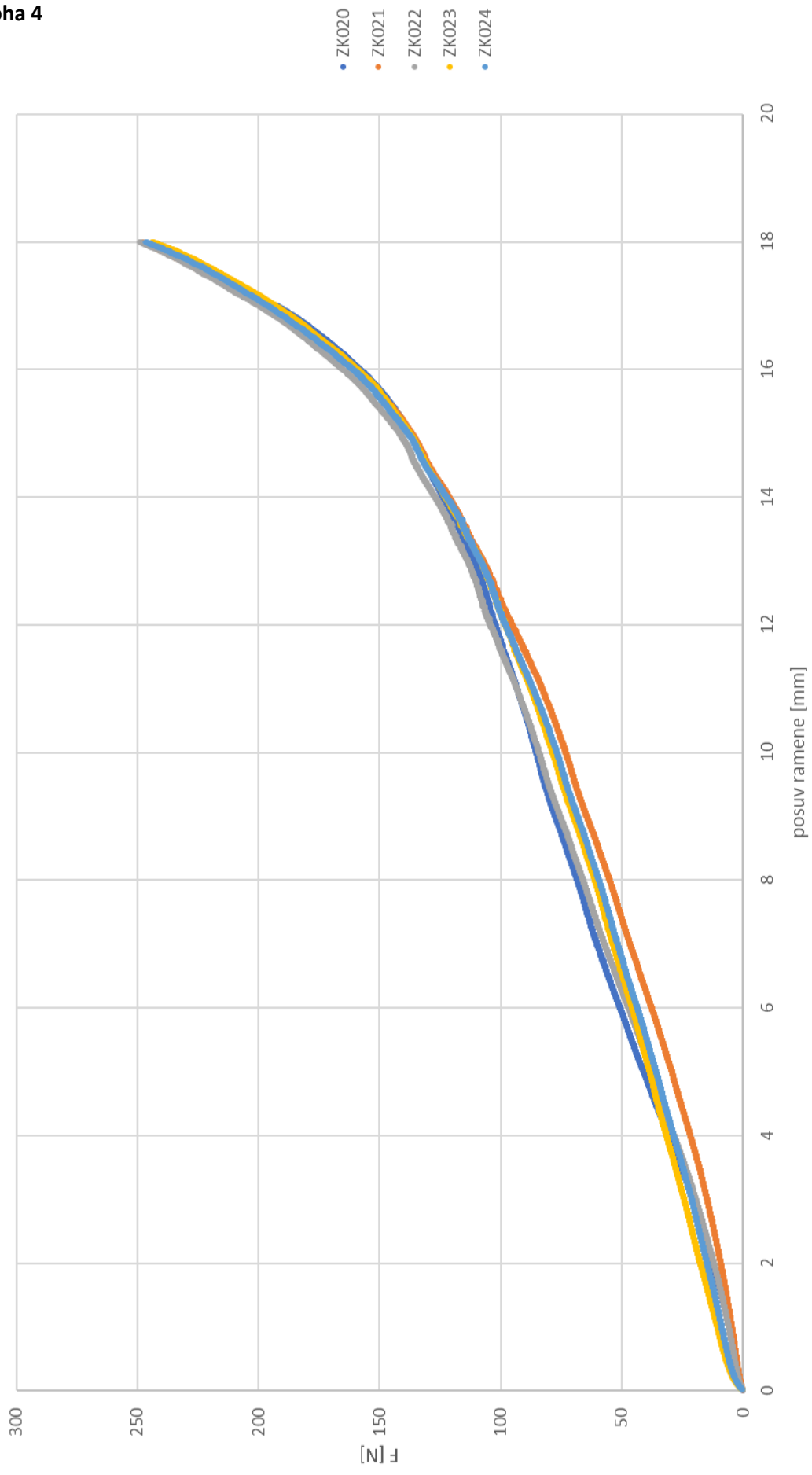
Příloha 3

200GR3



Příloha 4

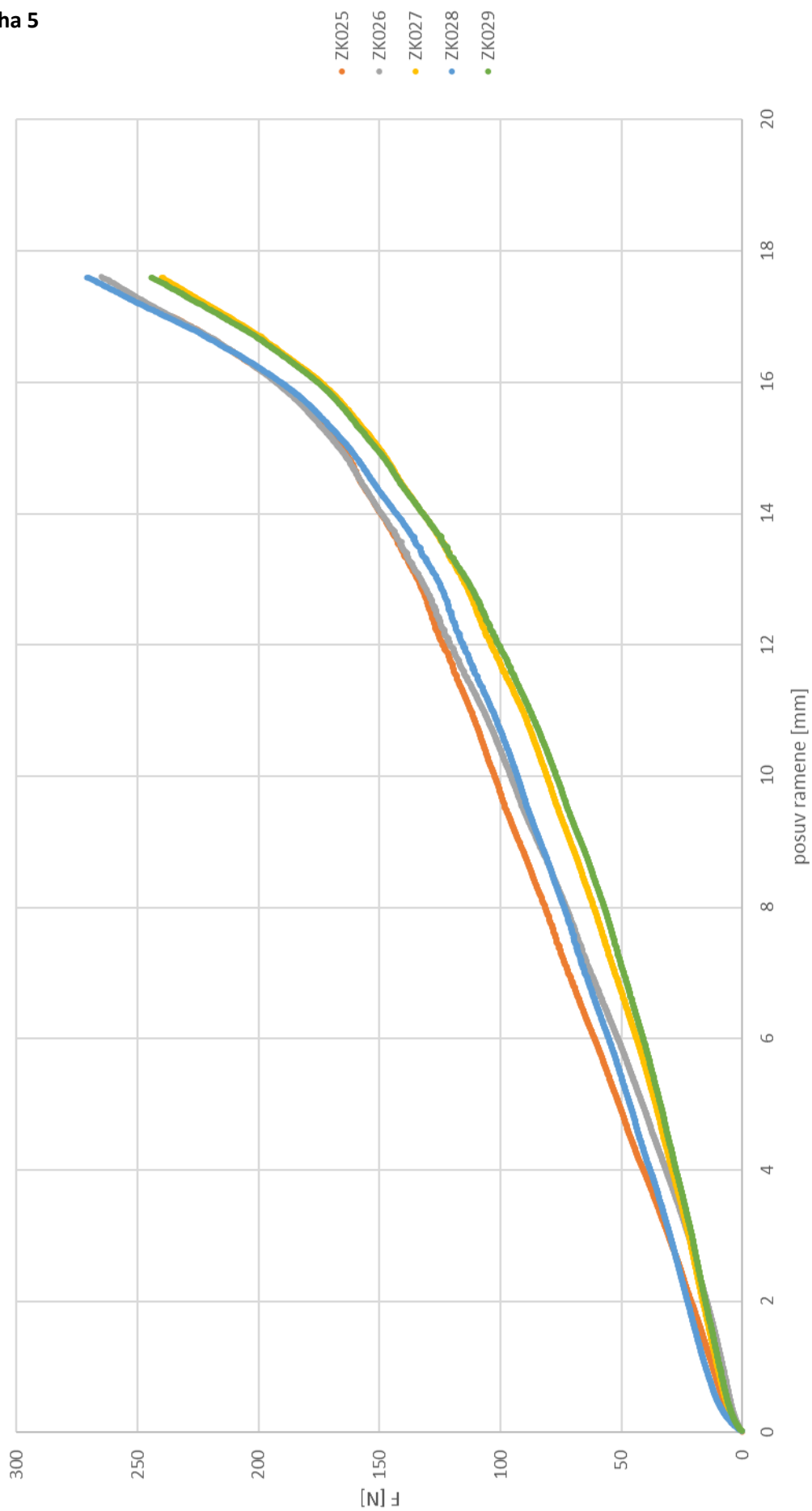
250GR1





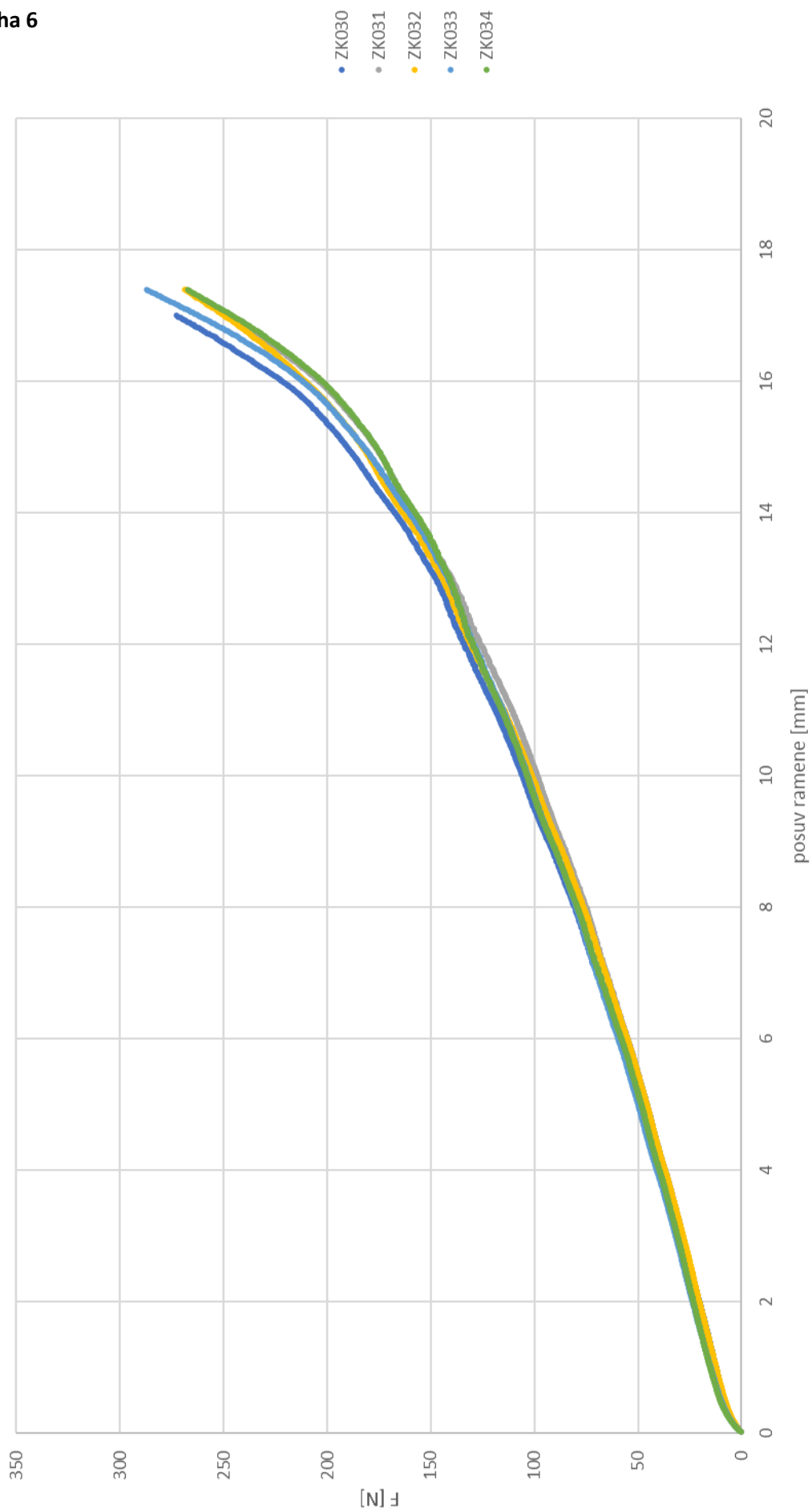
Příloha 5

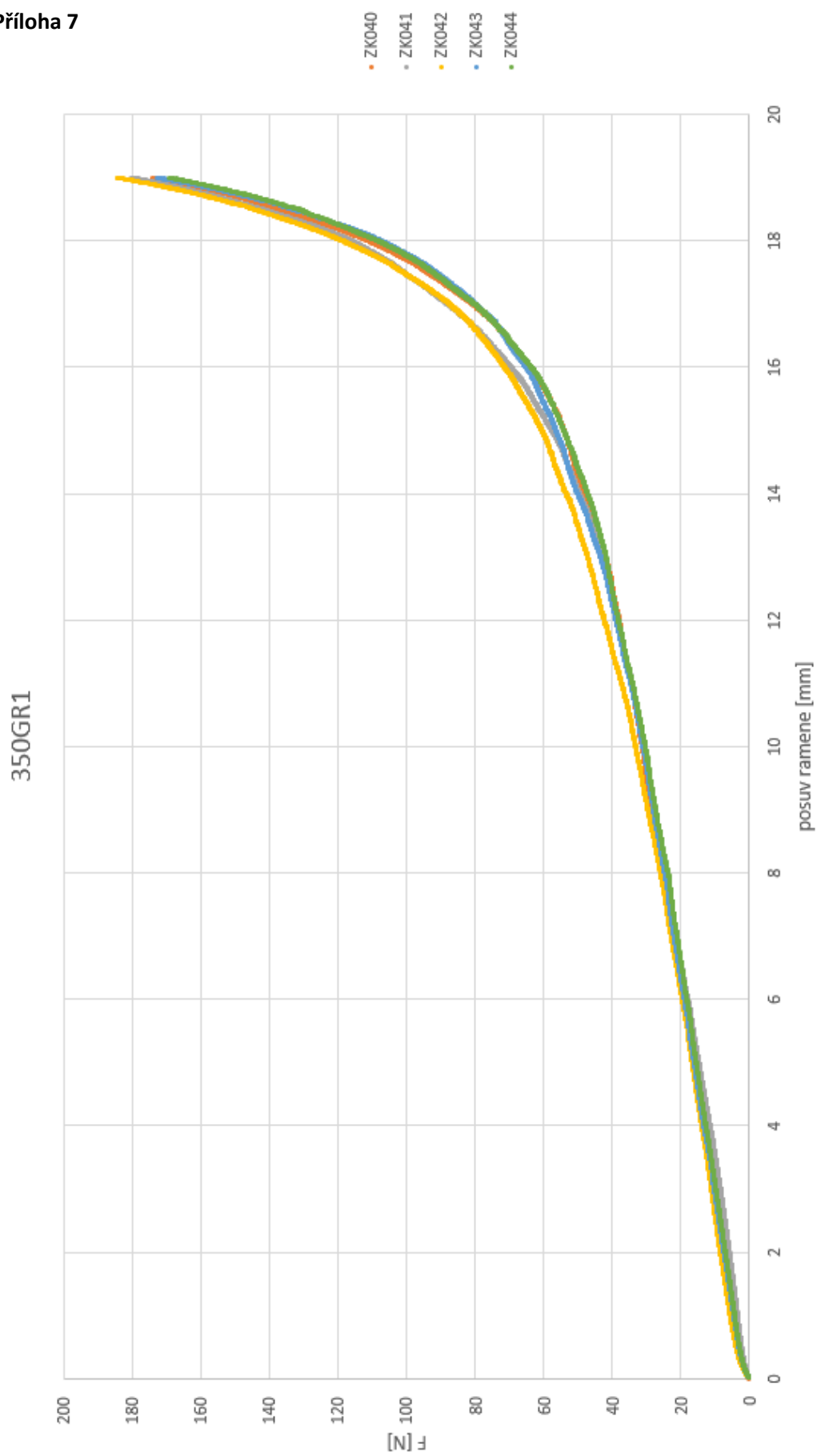
250GR2



Příloha 6

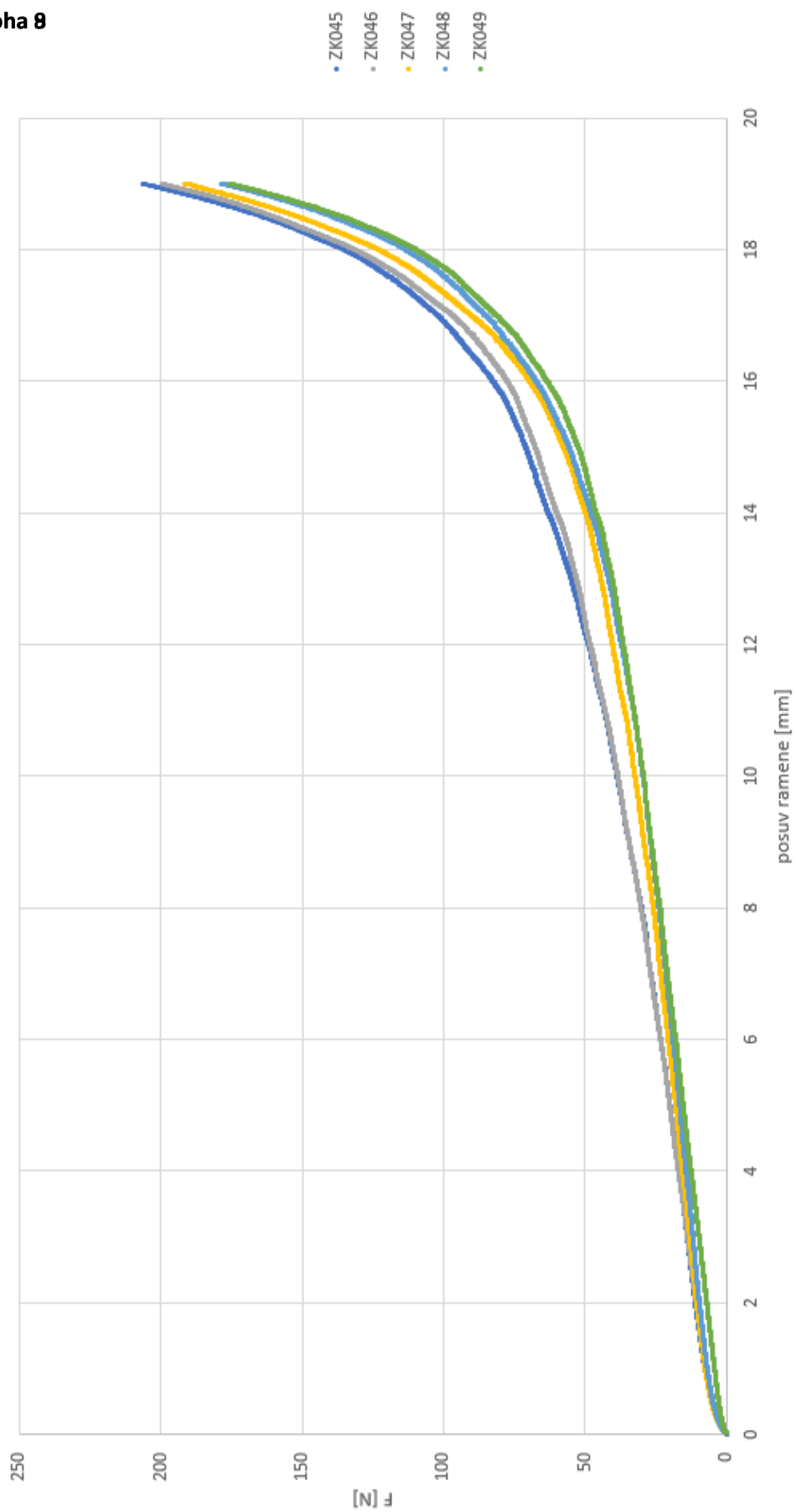
250GR3





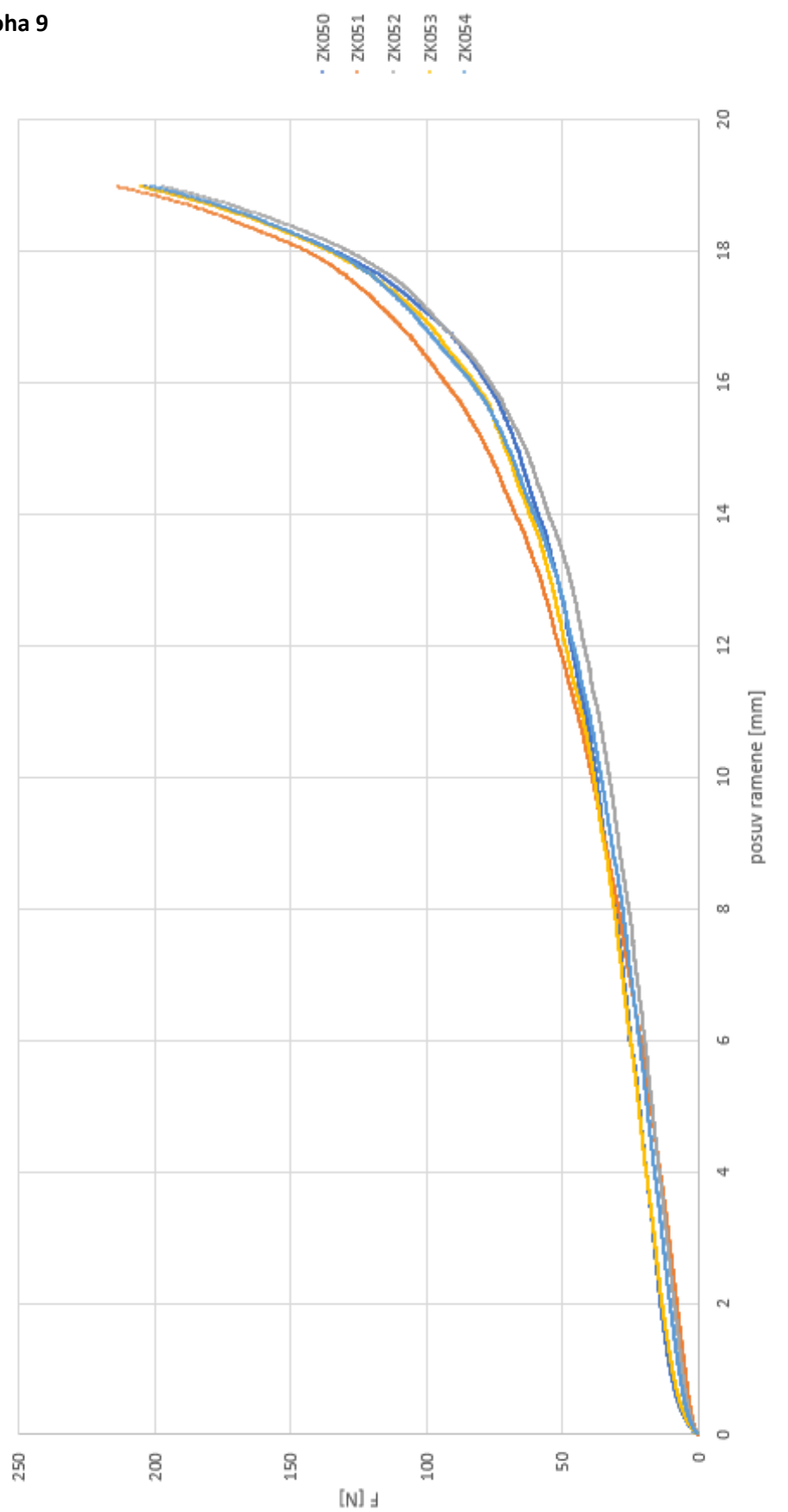
Příloha 8

350GR2

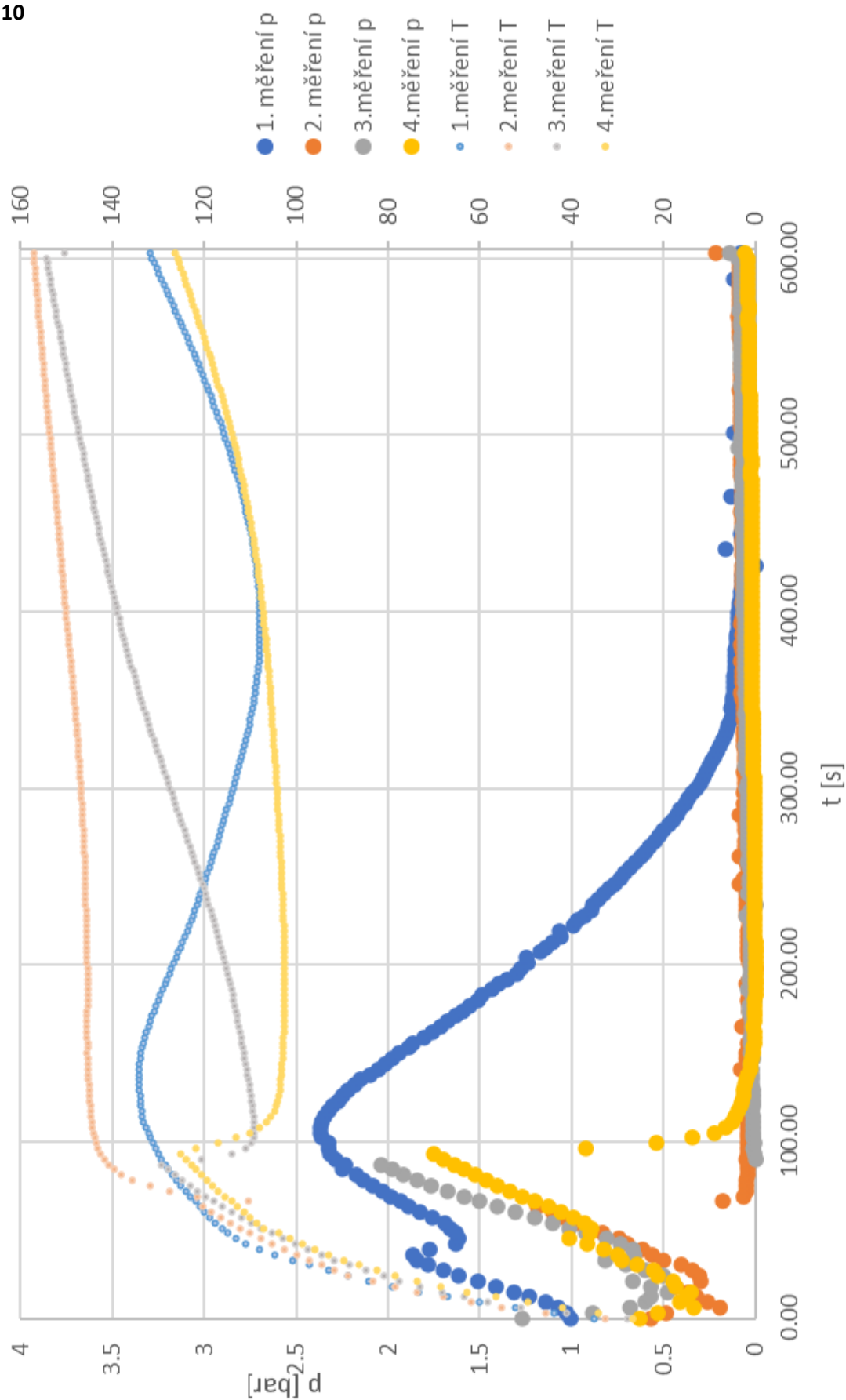


# Příloha 9

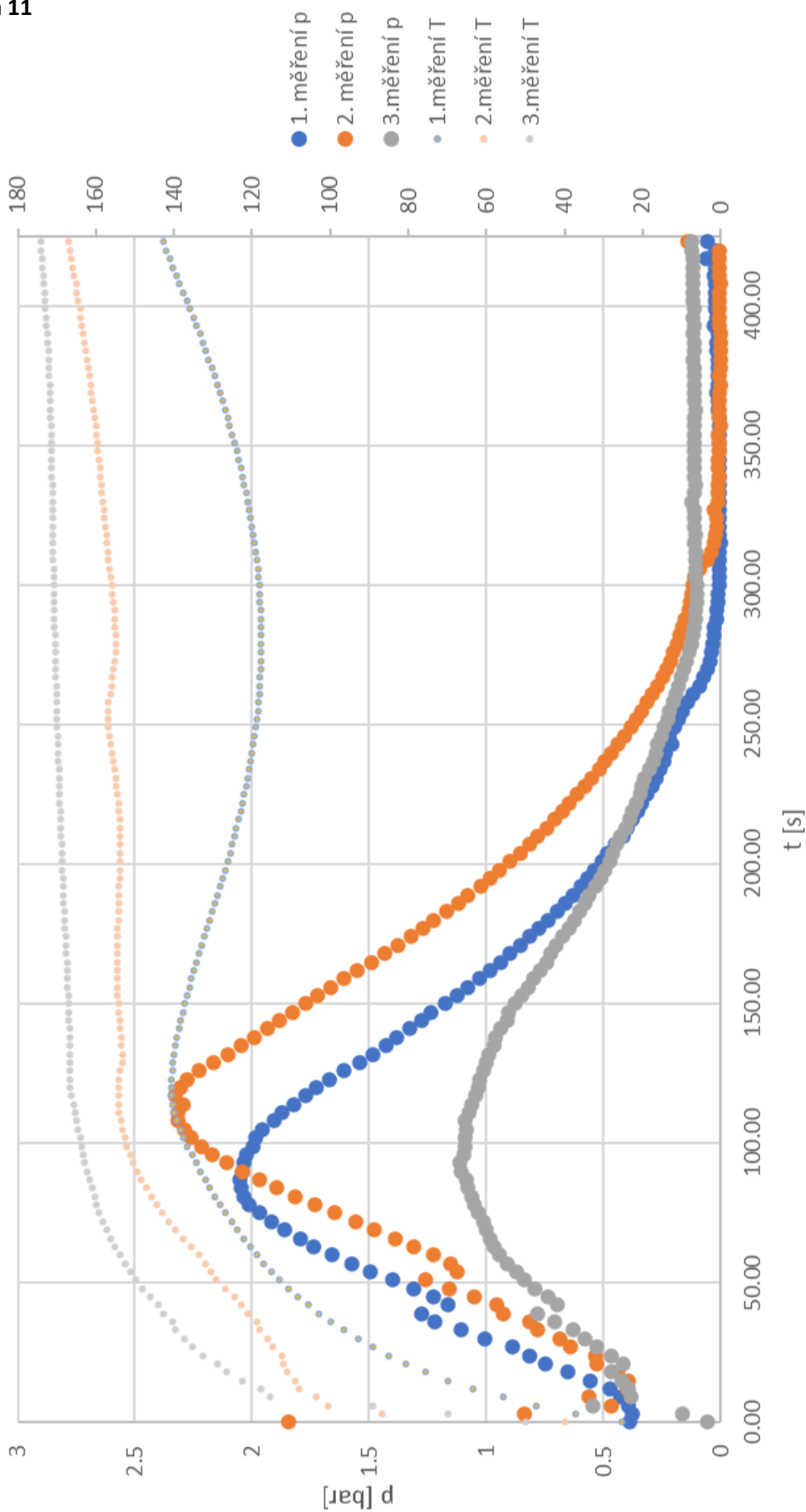
350GR3



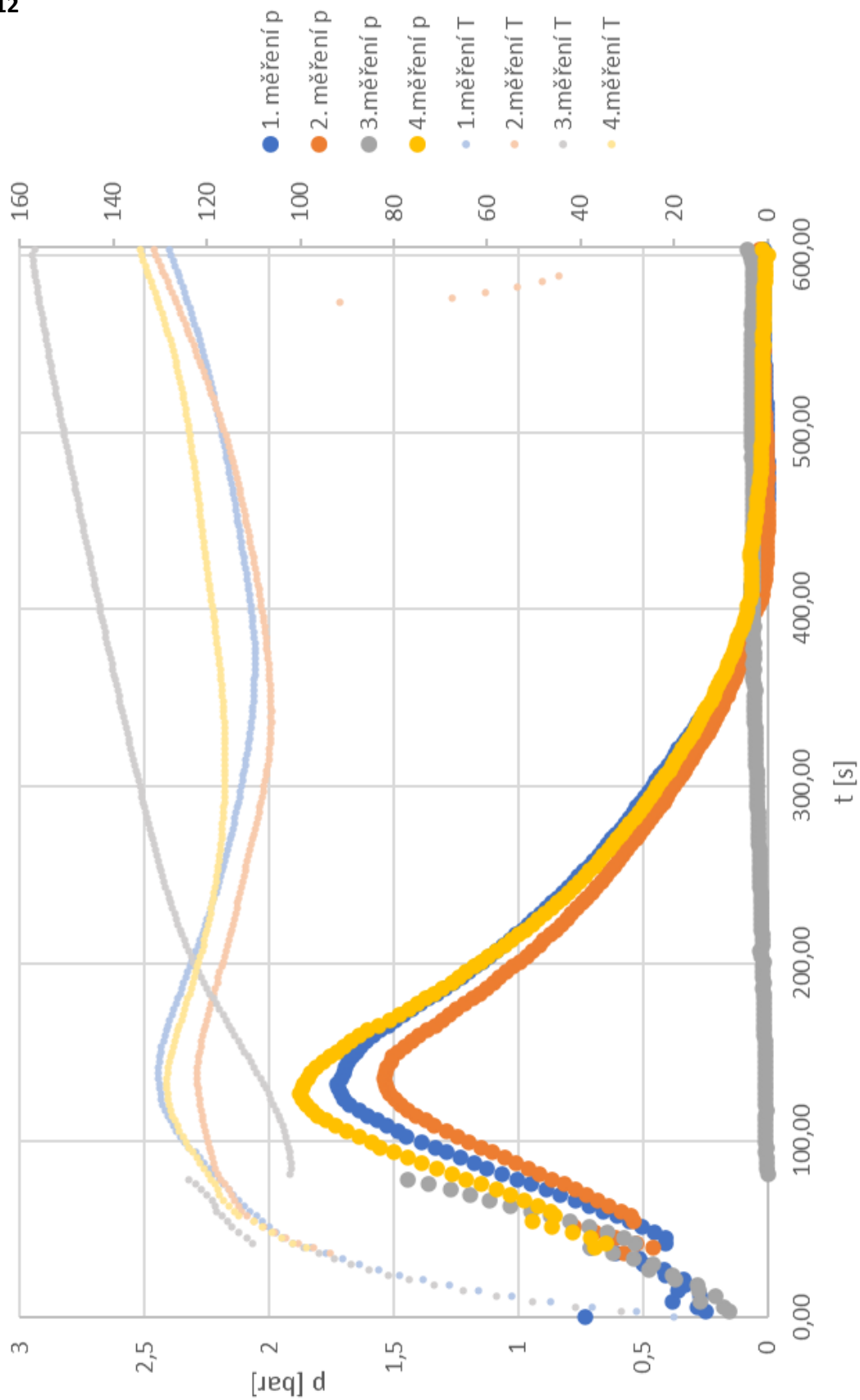
měření tlaku při pečení těsta 200G při teplotě 160 C°



měření tlaku při pečení těsta 200G při teplotě 185 °C

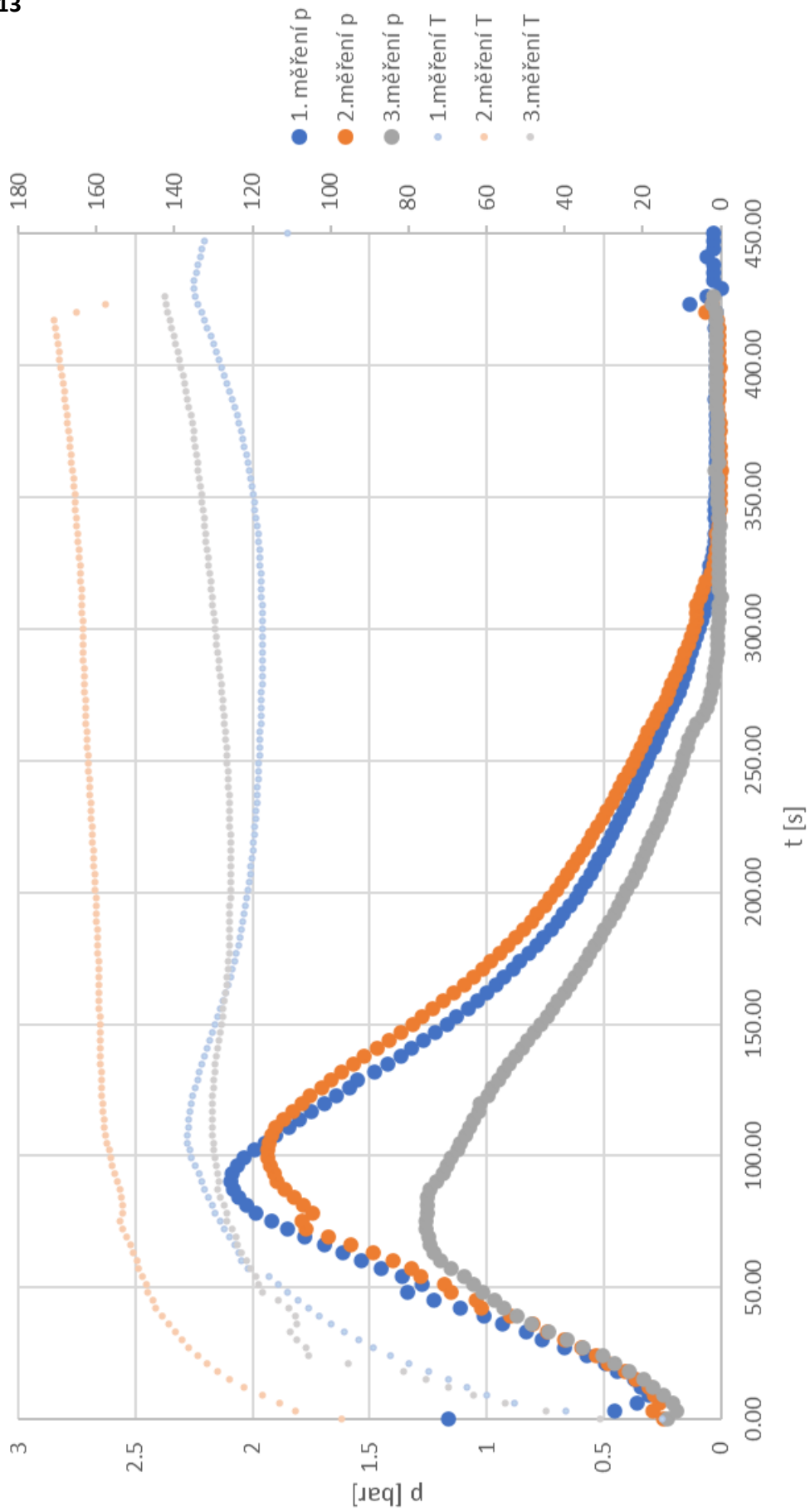


měření tlaku při pečení těsta 250G při teplotě 160 C°

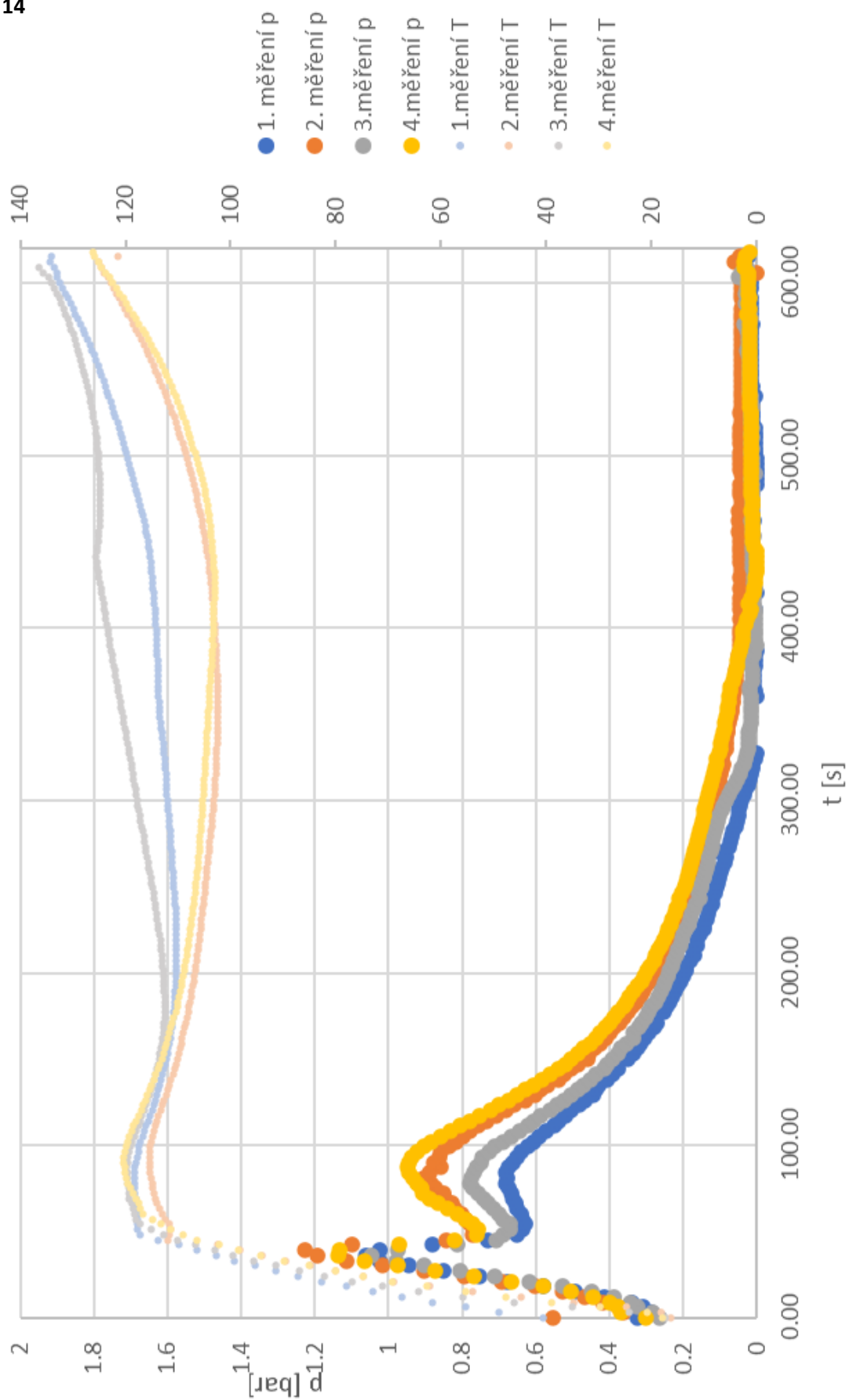




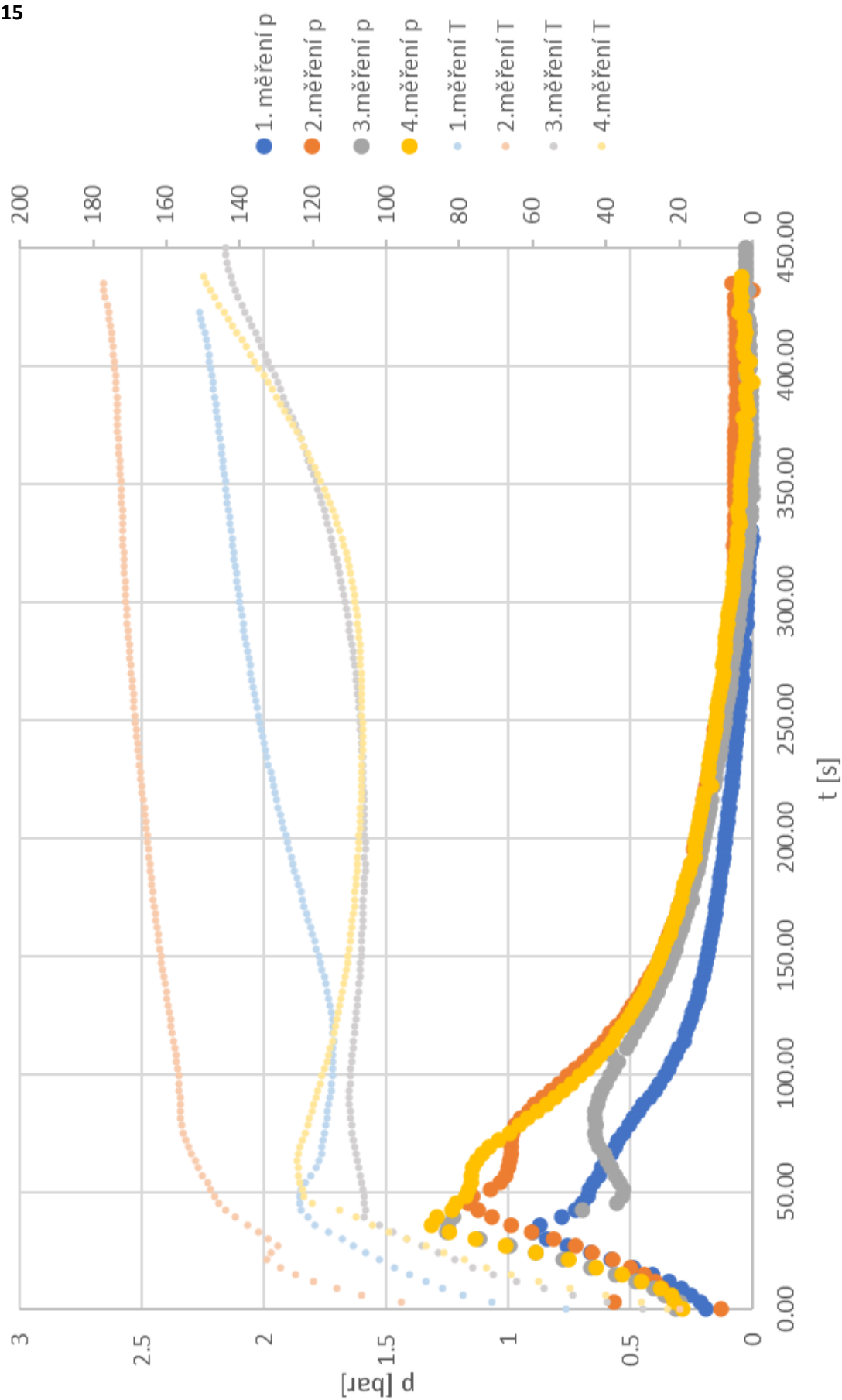
měření tlaku při pečení těsta 250G při teplotě 185 °C



měření tlaku při pečení těsta 350G při teplotě 160 C°



měření tlaku při pečení těsta 350G při teplotě 185 C°



Příloha 16



Příloha 17



Příloha 18



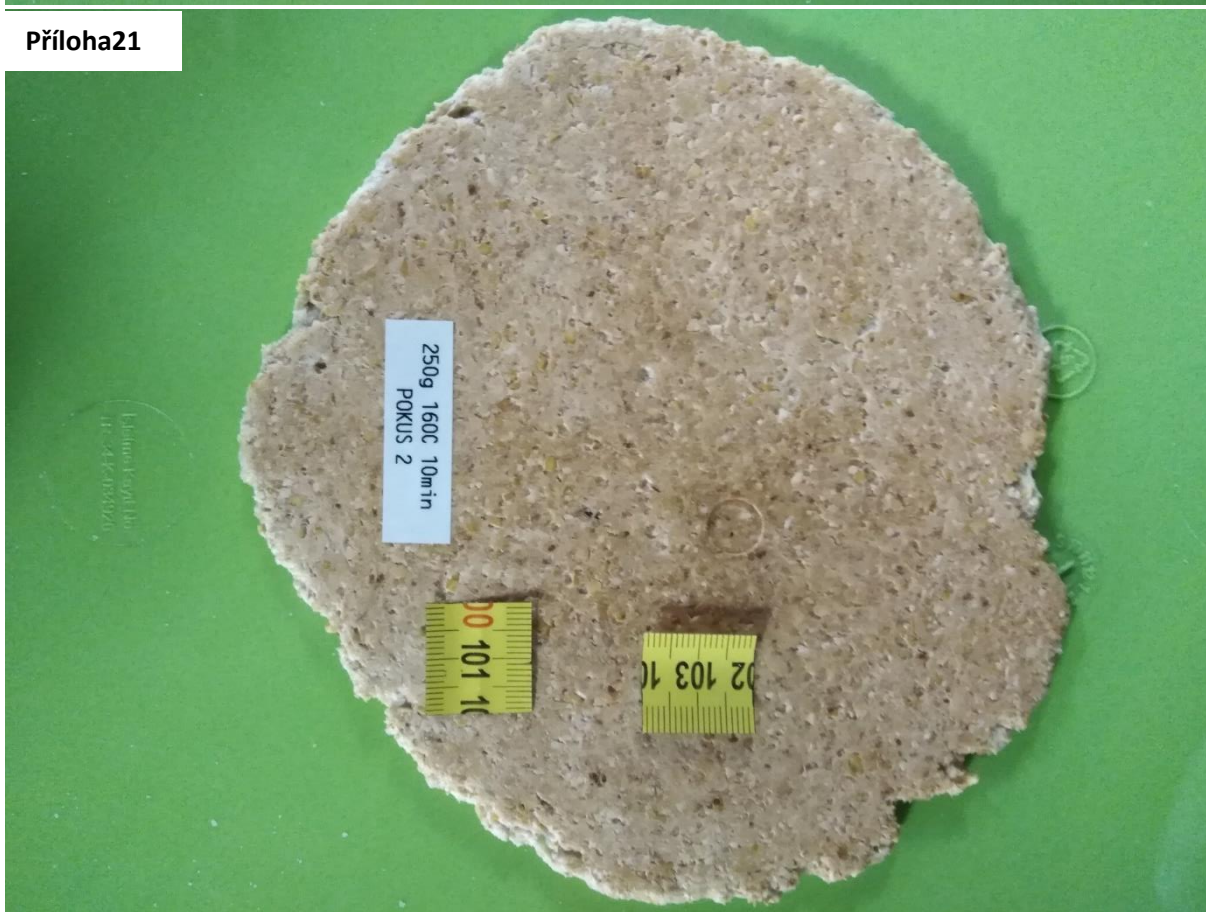
Příloha 19



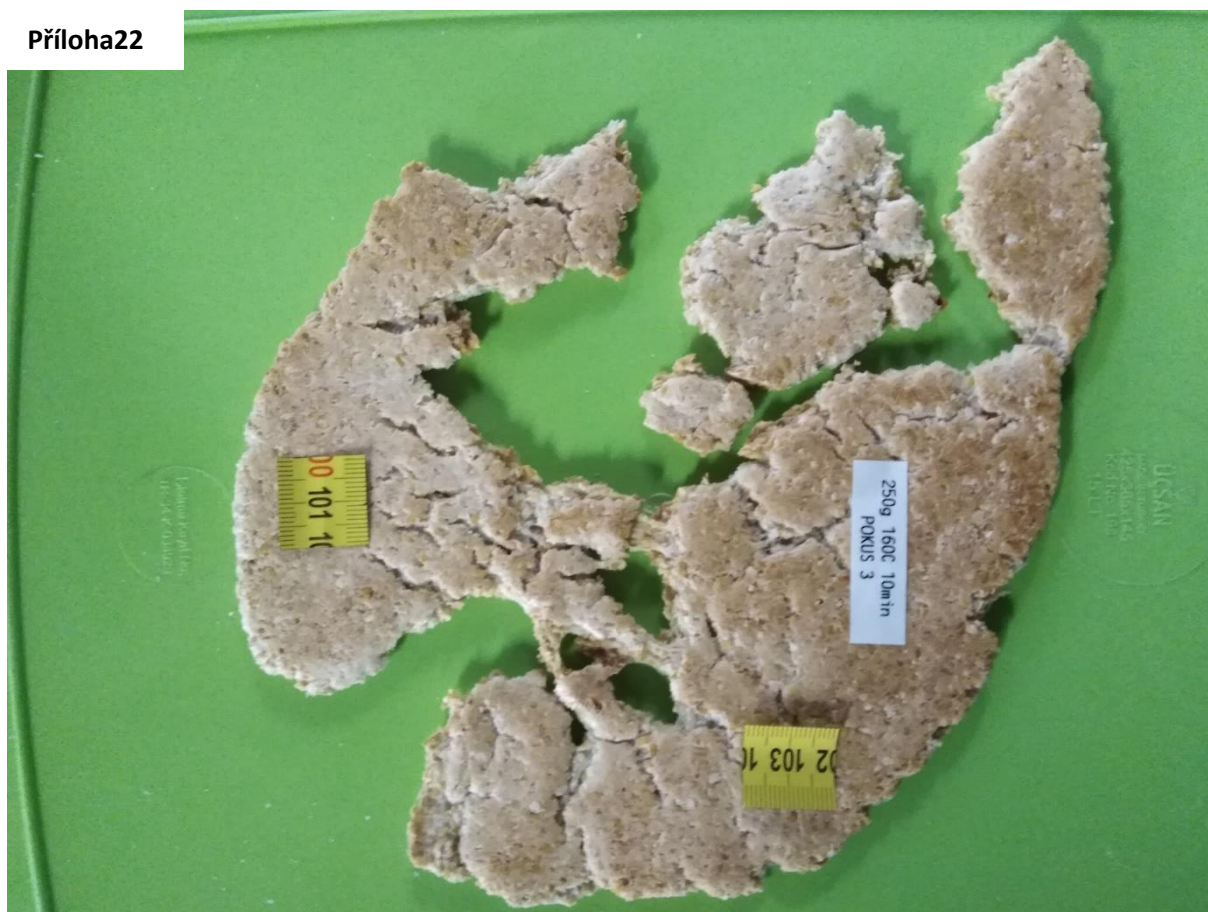
Příloha20



Příloha21



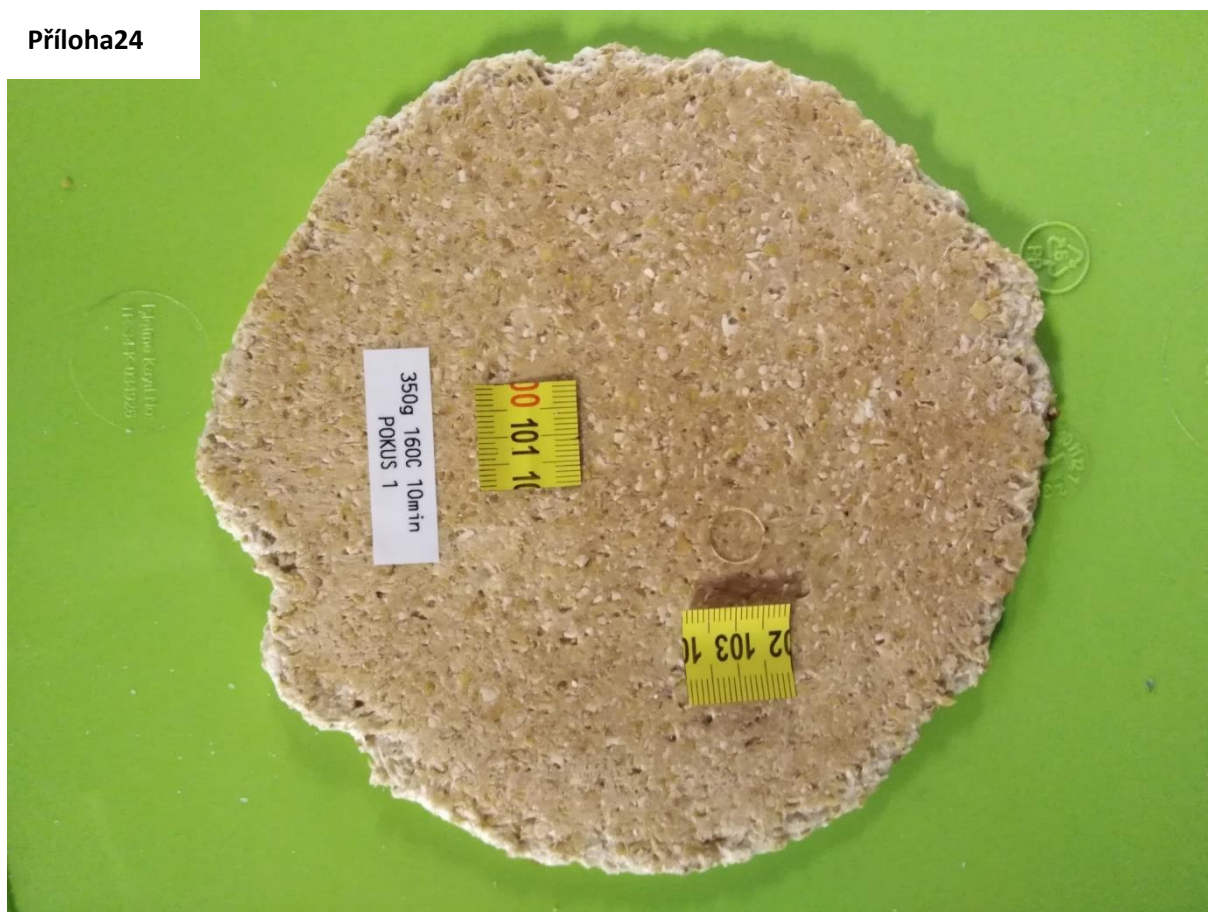
Příloha22



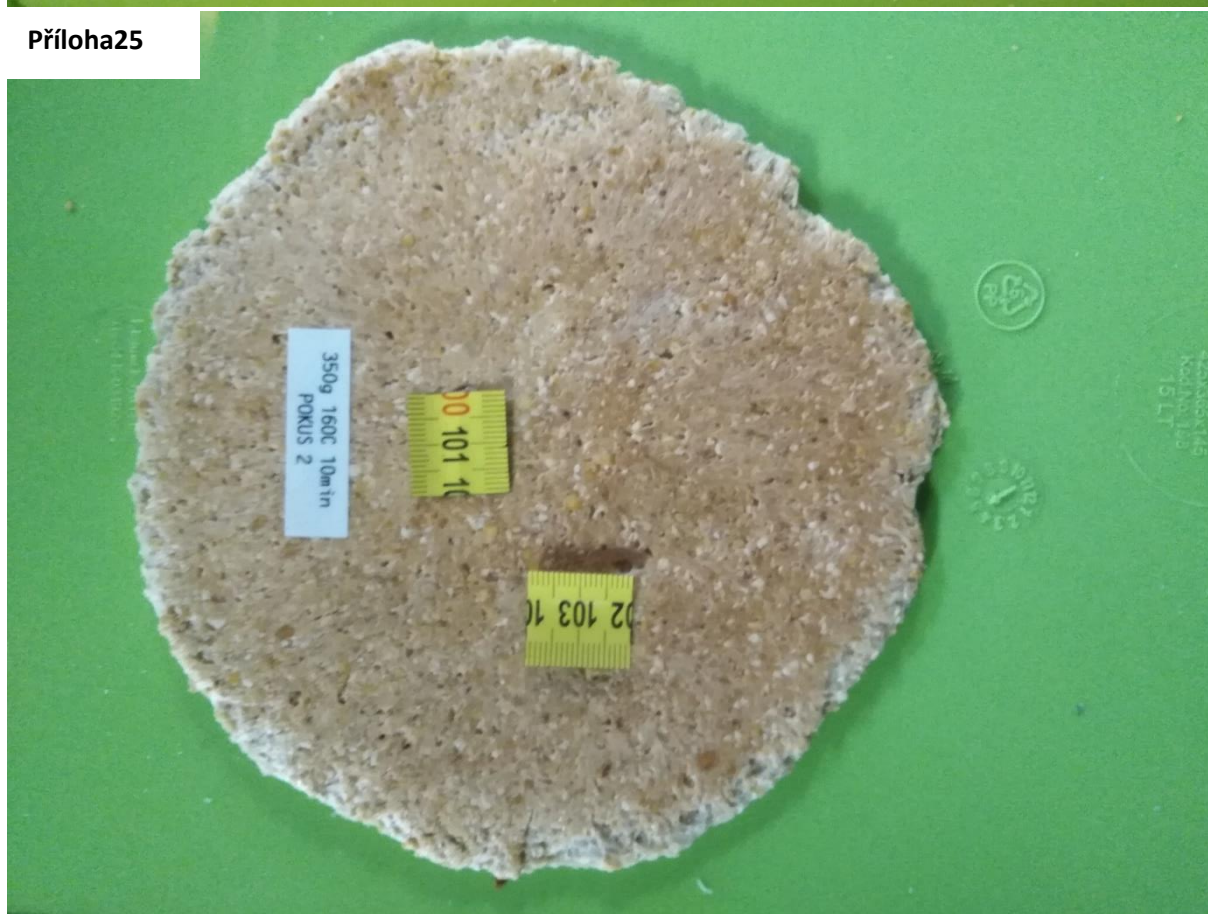
Příloha23



Příloha24

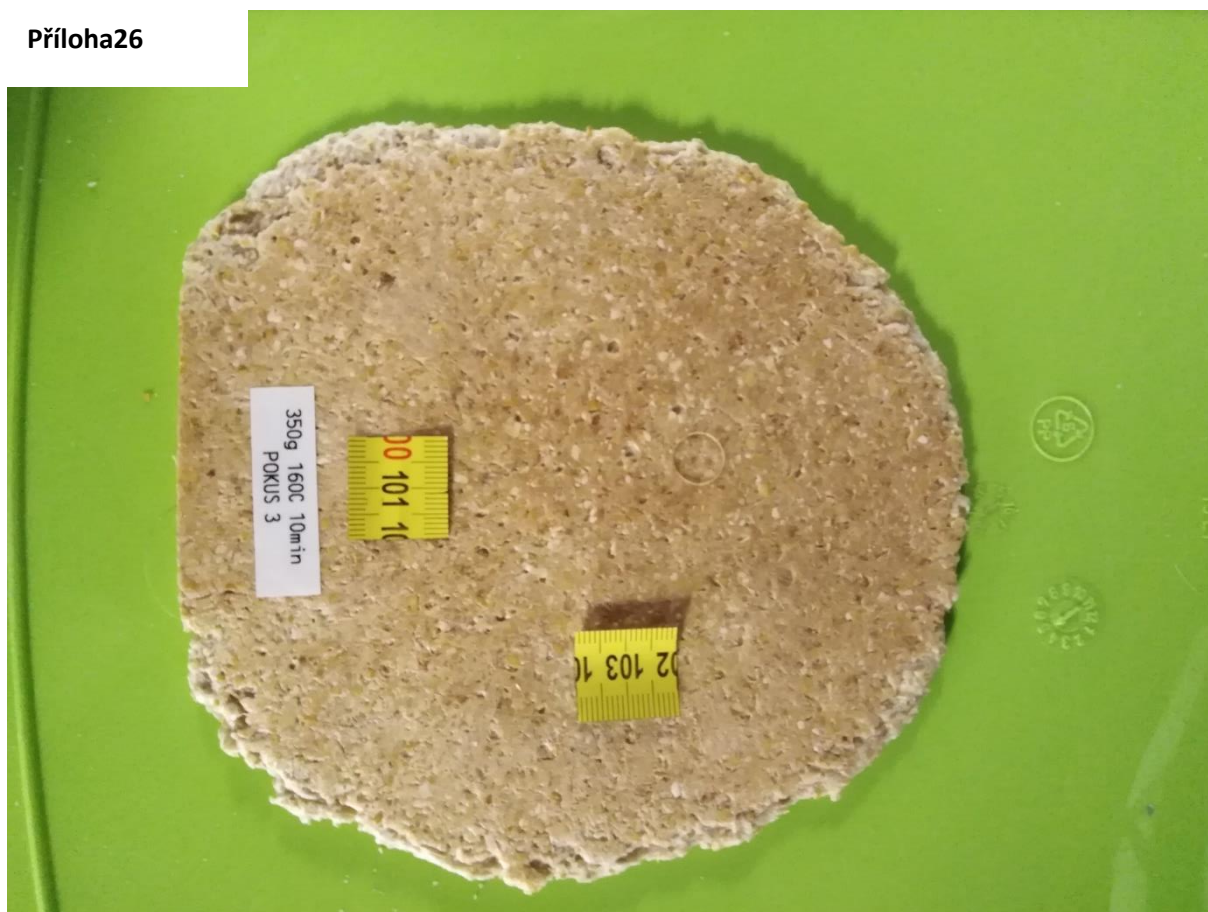


Příloha25





Příloha26



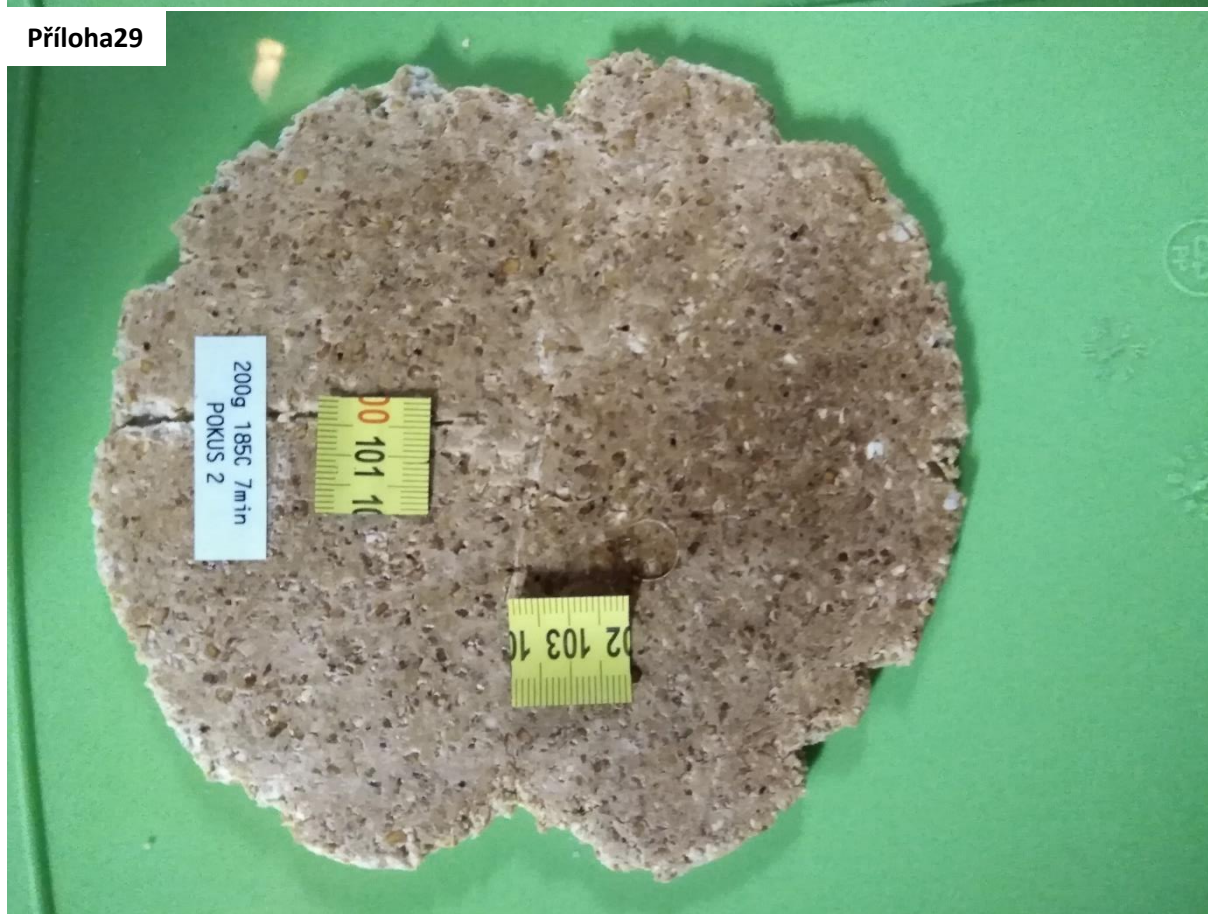
Příloha27



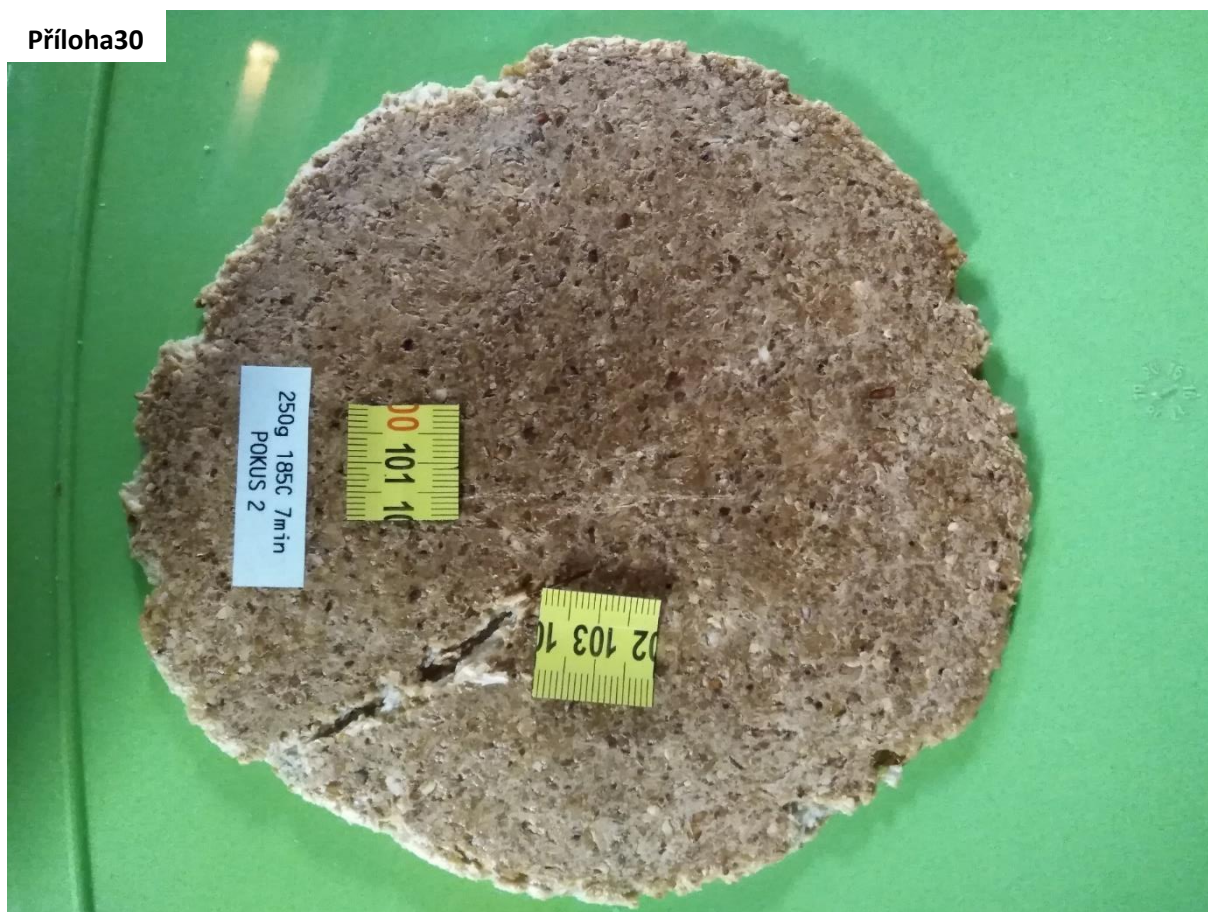
Příloha28



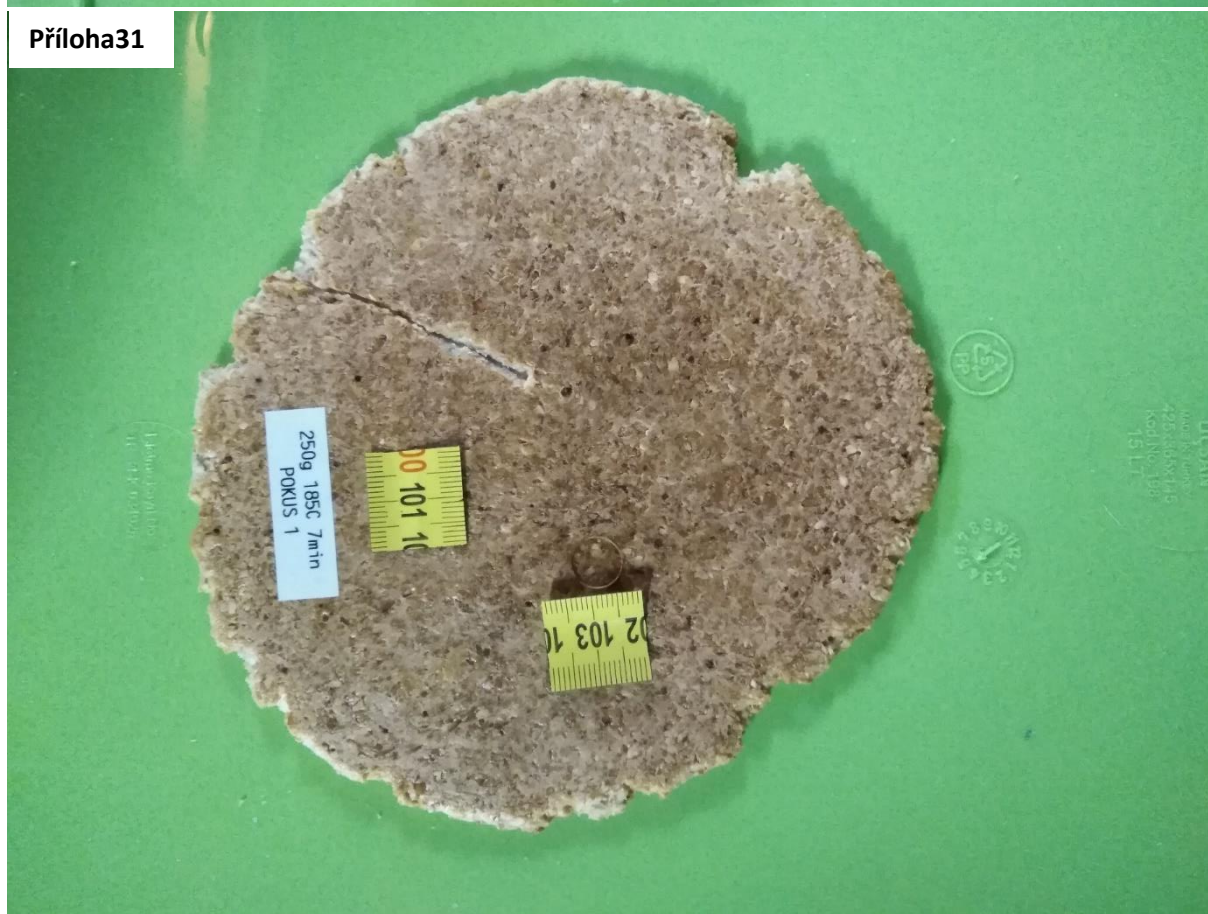
Příloha29



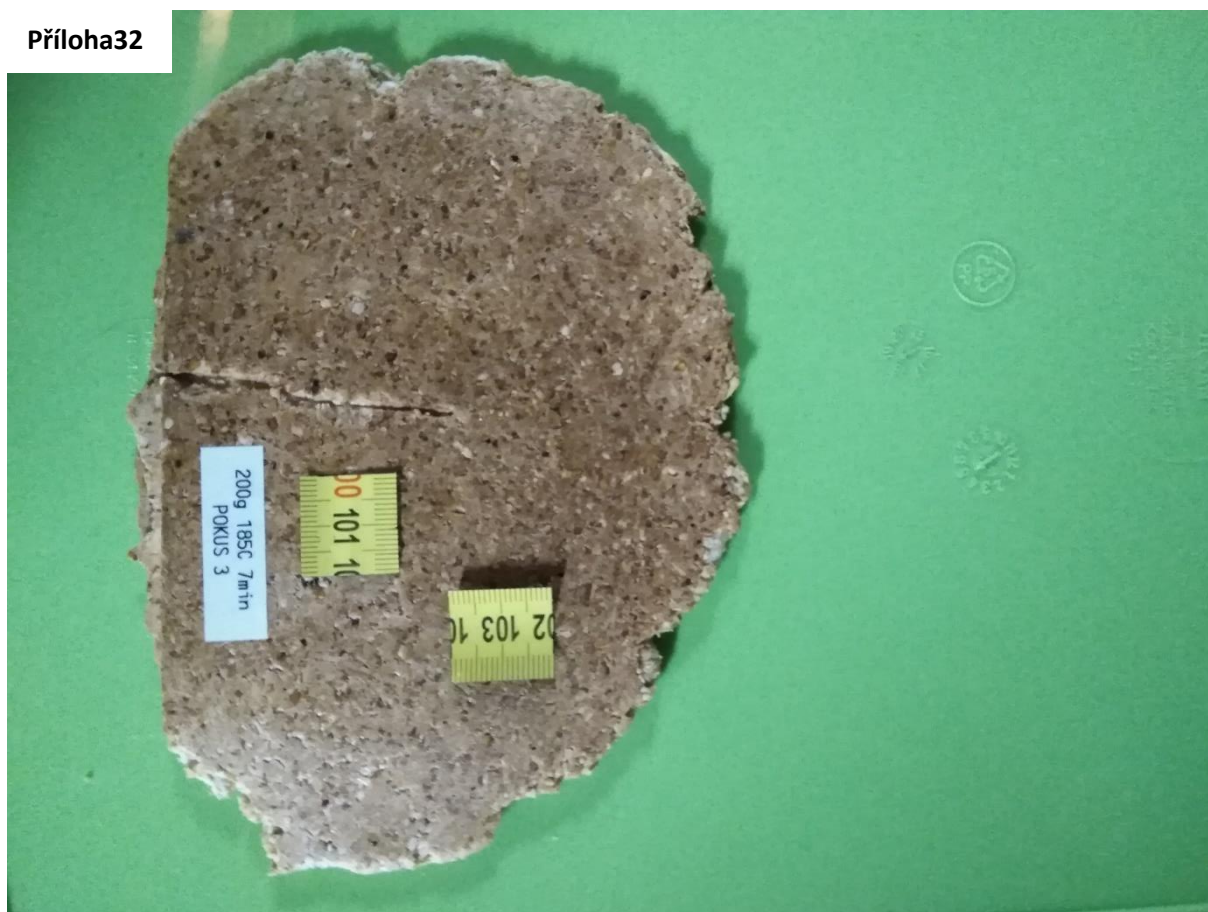
Příloha30



Příloha31



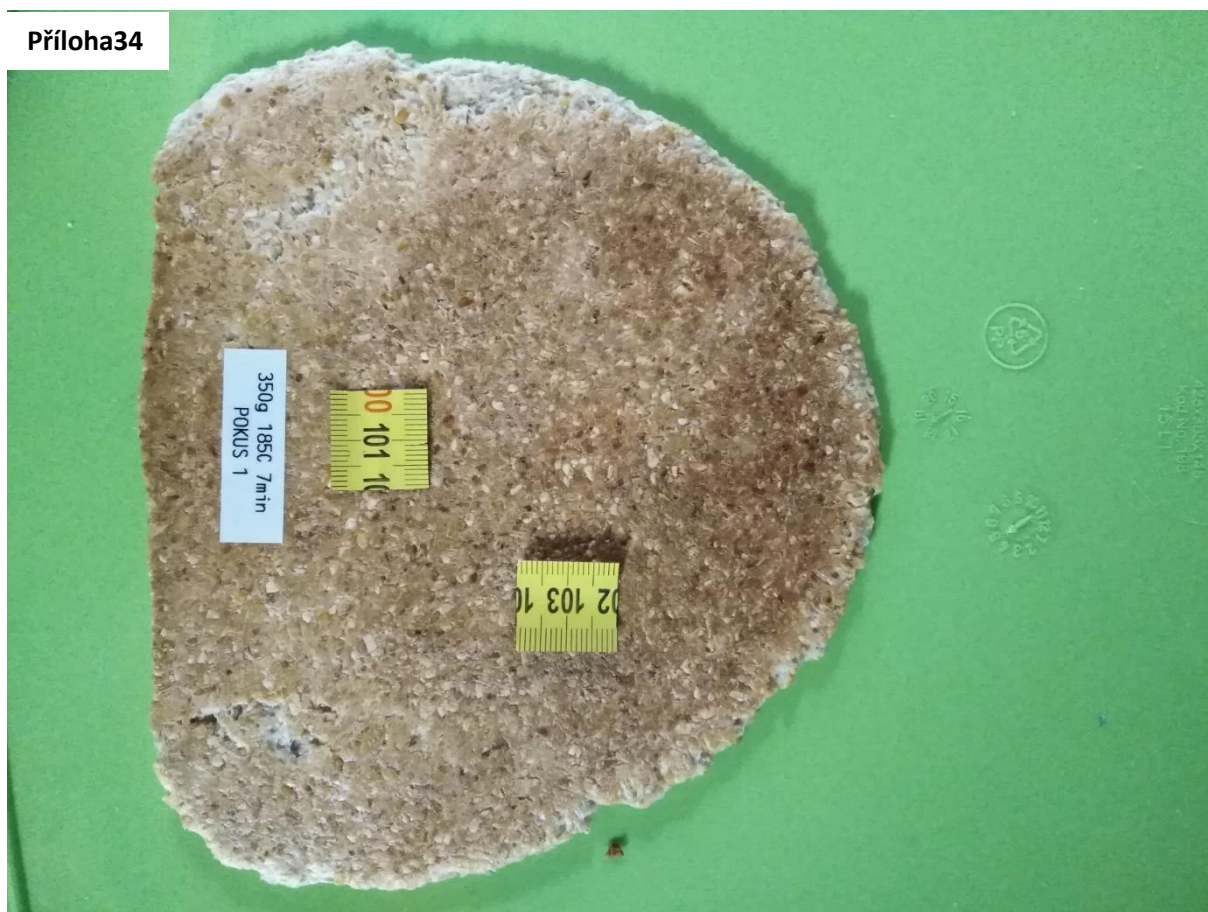
Příloha32



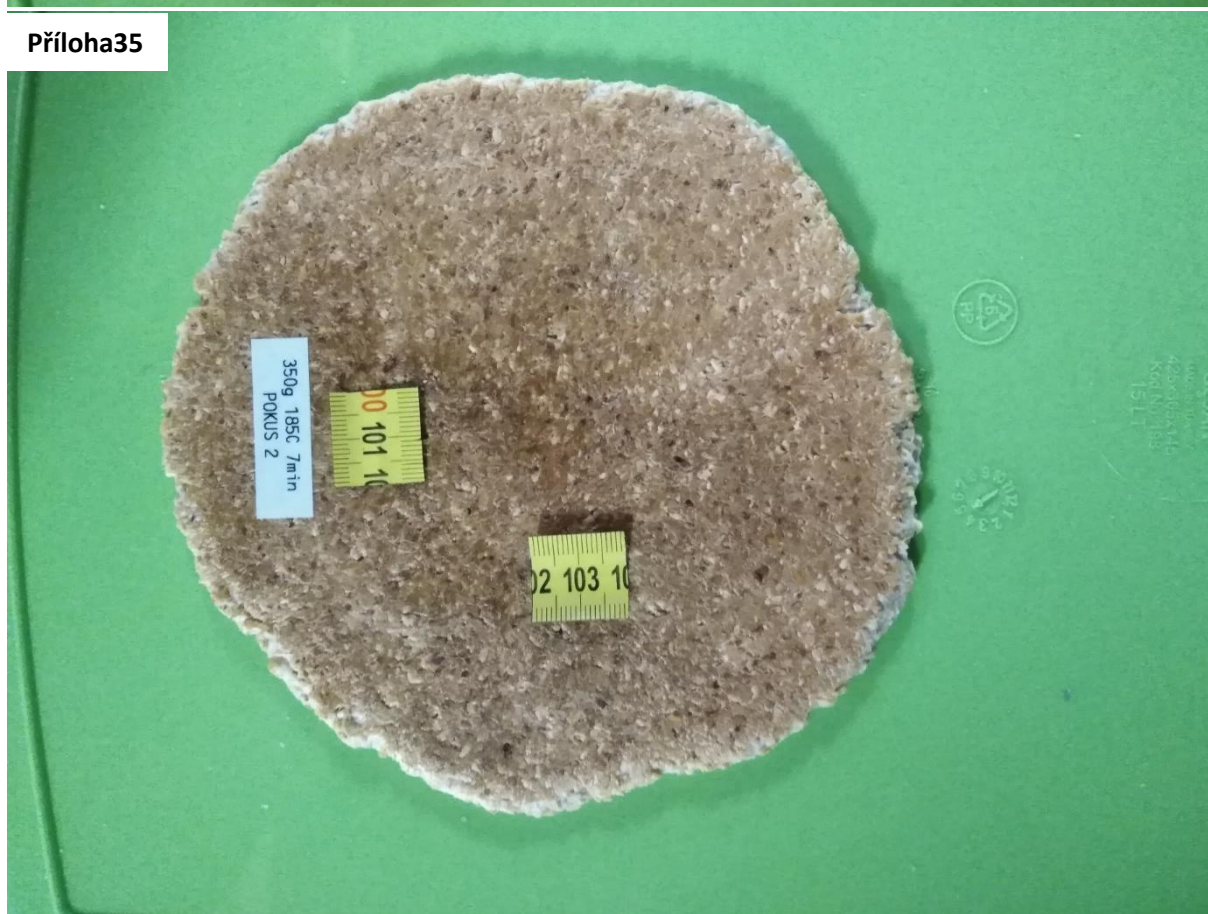
Příloha33



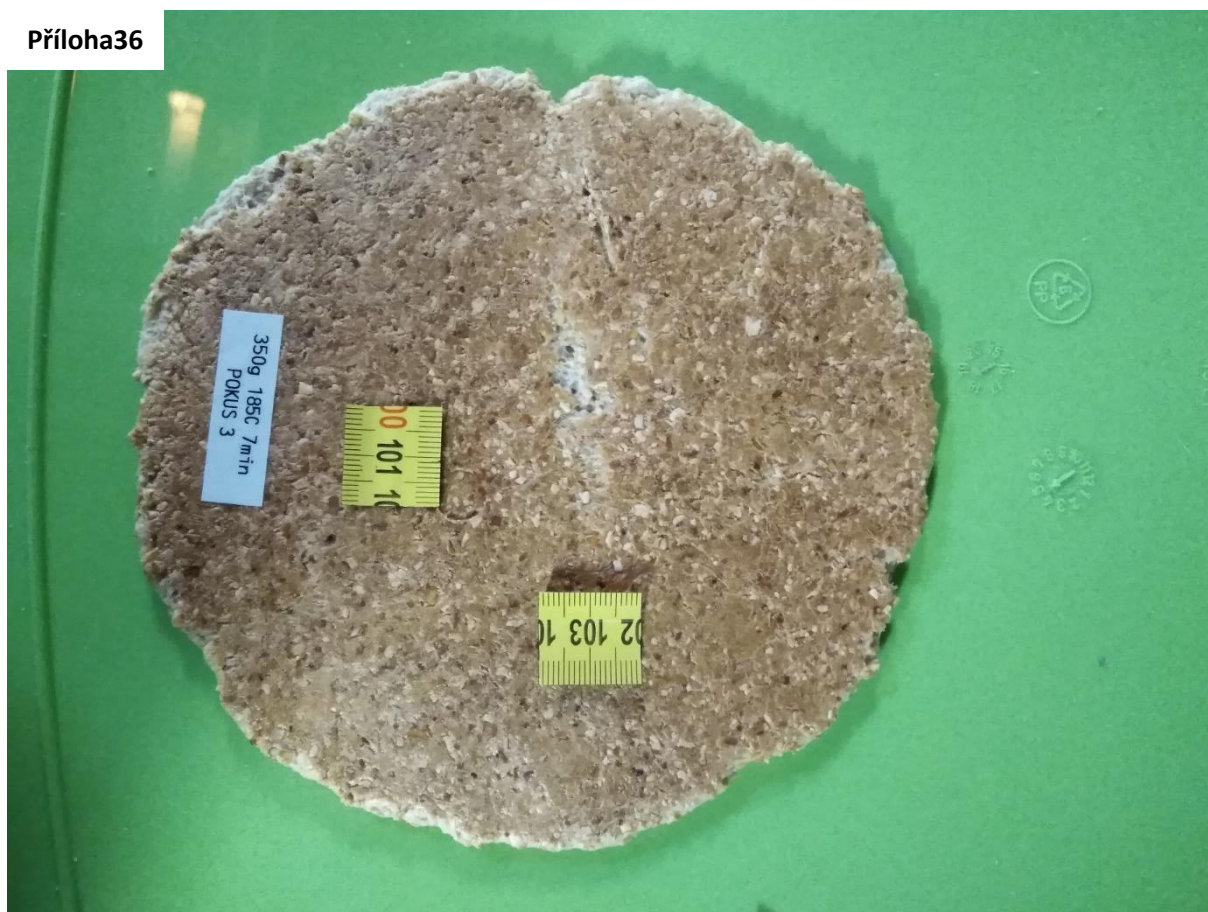
Příloha34



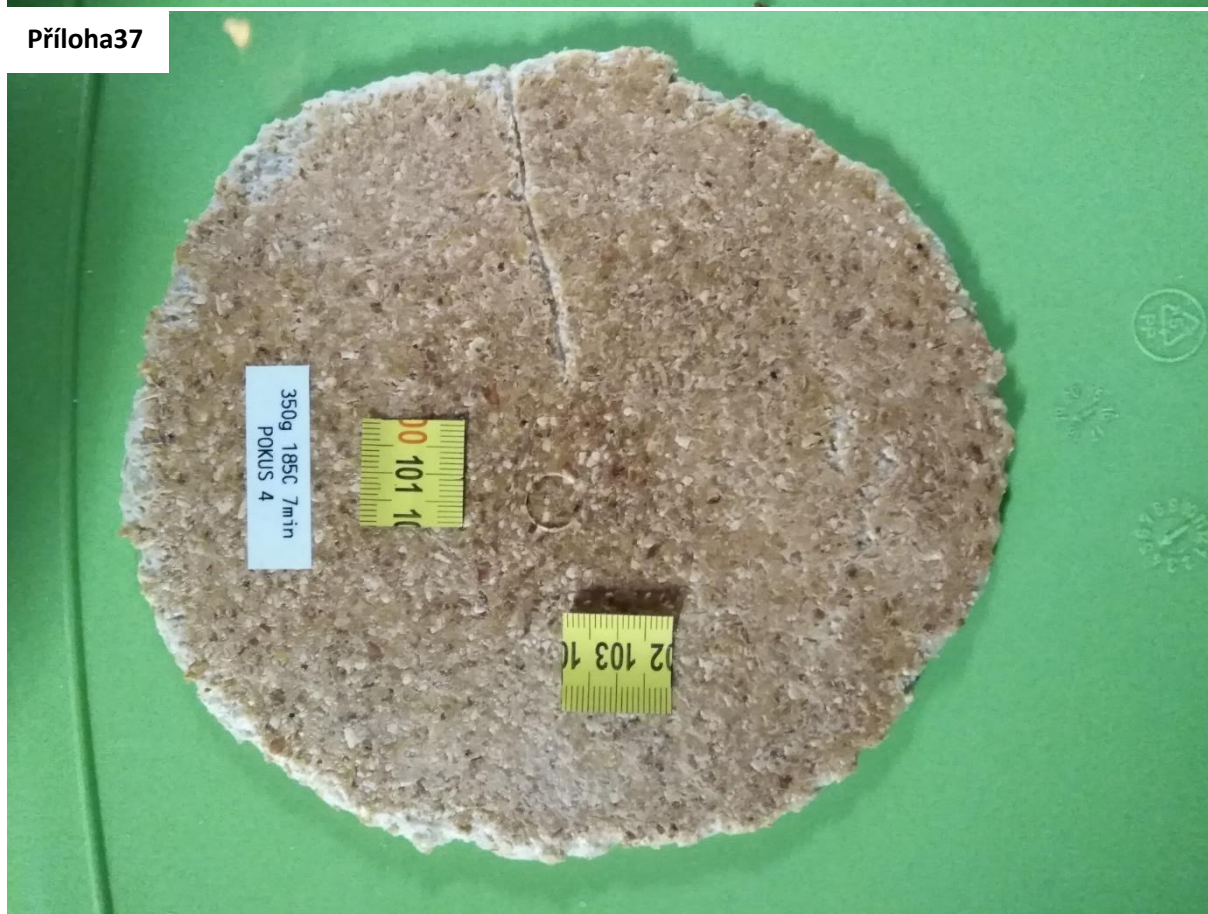
Příloha35

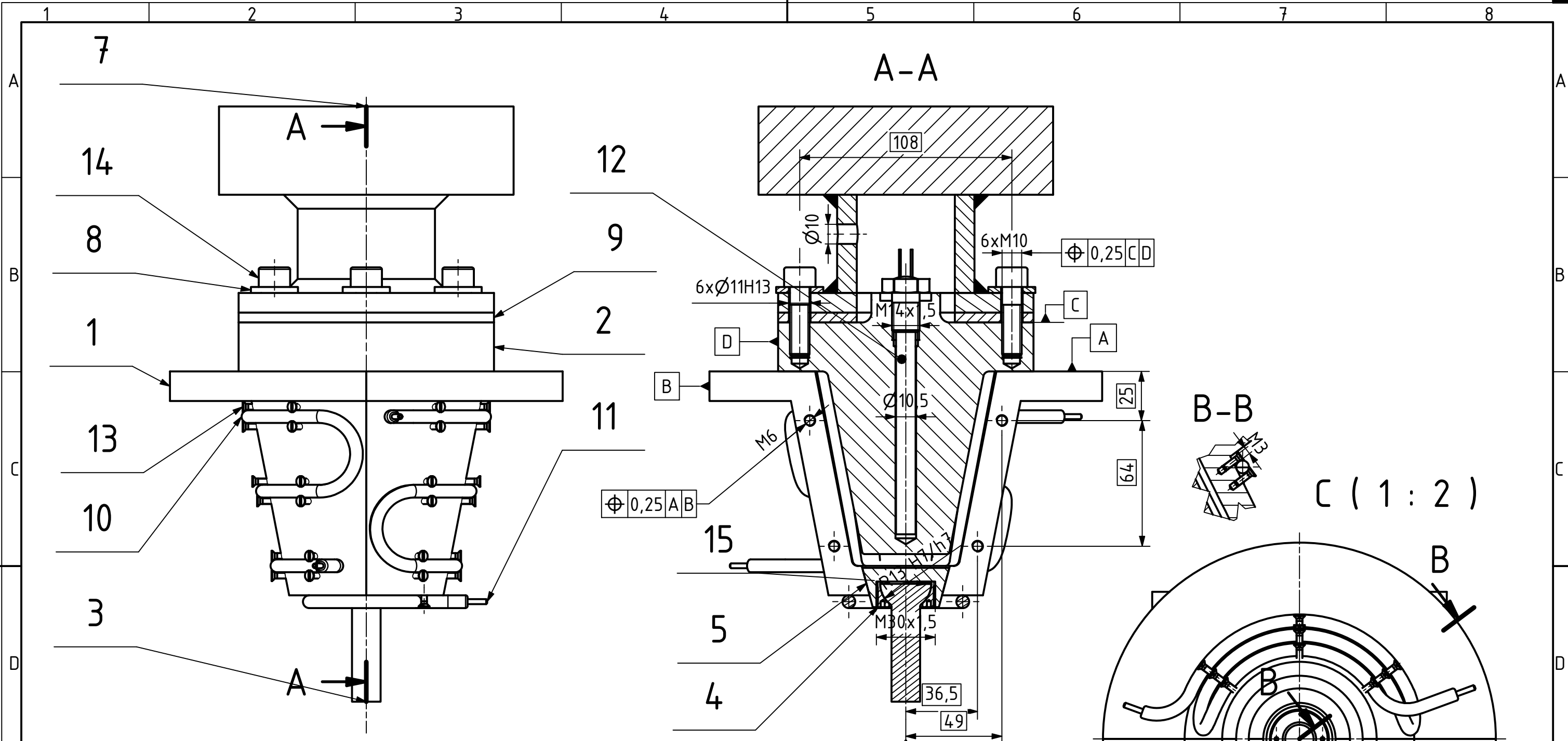


Příloha36



Příloha37





1	TVÁRNICE	TYČ ČTVERCOVÁ ČSN EN 755-4	120x120x210	F-02-01	EN AW-6082	1,045 kg	2
2	TVÁRNÍK	TYČ KRUHOVÁ ČSN EN 754-3	140x120	F-02-02	EN AW-6082	1,680 kg	1
3	TYČKA VYHAZOVÁK	TYČ KRUHOVÁ ČSN EN 10060	30x60	F-02-03	1.4301	0,098 kg	1
4	VYHAZOVÁK ZÁVITOVÝ KROUŽEK	TYČ KRUHOVÁ ČSN EN 754-3	35x20	F-02-04	EN AW-6082	0,010 kg	1
5	HLAVA VYHAZOVÁKU	TYČ KRUHOVÁ ČSN EN 754-3	50x25	F-02-05	EN AW-6082	0,042 kg	1
6	KOLÍK SE ZÁVITEM	TYČ KRUHOVÁ ČSN EN 10060	10x30	F-02-06	1.4301	0,005 kg	4
7	UCHYCENÍ K LISU		SVÁRENEC	F-02-07	1.4301	7,948 kg	1
8	IZOLACEPOD HLAVY ŠROUBŮ					0,008 kg	6
9	IZOLACE DRŽÁKU					0,444 kg	1
10	TRUBKOVÉ TOPNÉ TĚLESO 1	ETTO Ø6,5x47				0,143 kg	2
11	TRUBKOVÉ TOPNÉ TĚLESO 1	ETTO Ø6,5x18				0,056 kg	1
12	TOPNÁ PATRONA	BACKER Ø10x130 300W				0,109 kg	1
13	ŠROUB SE ZÁPUSTNOU HLAVOU M3	závitem M 14x1,5 délky 130 mm a příkonu 300 W				0,001 kg	40
14	ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU A VNITŘNÍM ŠESTIHRANEM M10	ČSN 02 1143 - M10 x 35				0,034 kg	6
15	TĚSNÍCÍ KROUŽEK					0,000 kg	1
ODKAZ	NÁZEV	NORMA	ROZMĚR	Č. VÝKRESU	MATERIÁL	HMOTNOST	KS

NAVRL	MELICHAR Mikuláš	Datum	07.05.2023	PŘEZK.		Podpis		Datum		HMOTNOST N/A		MĚŘÍTKO	1:2
KRESLIL	MELICHAR Mikuláš		09.05.2023	SCHVÁLIL						SESTAVA		PROMĚTÁNÍ:	ISO E
											TYP: SV		
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE <b>FAKULTA STROJNÍ</b> v21.1											NÁVRHOVÝ VÝKRES FORMY F-01-01		
NAZEV											CÍSLO VÝKRESU		
											LIST: 1/1		