

Stanovení délky výrobního cyklu licích forem před údržbou

Bc. Tomáš Hanuška

Diplomová práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Hanuška**
Osobní číslo: **T20574**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Stanovení délky výrobního cyklu licích forem před údržbou**

Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii na dané téma
2. Navrhnout metody délky výrobního cyklu formy před údržbou
3. Ověřit navržené metody
4. Vyhodnotit navržené metody

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

Seznam doporučené literatury:

1. PASCAULT, Jean-Pierre a R. J. J. WILLIAMS, ed. Epoxy polymers: new materials and innovations. Weinheim: Wiley-VCH, 2010. ISBN 9783527324804
2. HAN, Chang Dae. Polymer processing. Oxford: Oxford University Press, 2007. Rheology and processing of polymeric materials. ISBN 9781613445433
3. GUO, Qipeng, ed. Thermosets: structure, properties, and applications. Amsterdam: Elsevier, 2018. ISBN 978-0-08-101021-1.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vojtěch Šenkeřík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

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

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ÚSTAVU

Ve Zlíně dne 18. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce pojednává o stanovení délky výrobního cyklu licích forem před údržbou během odlévání a to díky měření napálení povrchu formy. Toto měření probíhalo za plného provozu a odlitky, které se ve zkoumaných formách odlily, jsou plně funkční.

V teoretické části diplomové práce jsou popsány odlévací procesy epoxidové pryskyřice ve společnosti ABB s. r. o., možné povrchové vady těchto odlitků a jakým způsobem lze tyto vady kontrolovat. Praktická část je zaměřena na měření povrchové kvality formy a následné vyhodnocení výsledků. Toto měření a výsledky pomohou k nastavení cyklického měření napalování separátoru na povrch formy, zároveň i k údržbě forem během odlévání, jejich odstavení a vložení do čistícího procesu. Tímto způsobem se zamezí výrobě neshodných odlitků a prodlouží se životnost formy. Všechny naměřené výsledky společně se snímky jsou rozděleny přehledně do jednotlivých tabulek podle druhu formy.

Klíčová slova: forma, odlitek, epoxid, čistota povrchu, měřicí přístroj

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the maintenance of moulds during casting by measuring the burn of the mould surface. This measurement was carried out under full operation and the castings that were cast in the moulds under investigation are fully functional.

The theoretical part of the thesis describes the epoxy resin casting processes at ABB s.r.o., possible surface defects of these castings and the methods used for inspection of defects. The practical part focuses on the measurement of the surface quality of the mould and the subsequent evaluation of the results. This measurement and the results will help to set up the cyclic measurement of the firing of the separator on the mould surface, as well as the maintenance of the moulds during casting, their shutdown and insertion into the cleaning process. This will prevent the production of non-conforming castings and extend the life of the mould. All the measured results together with the images are clearly divided into separate tables according to the type of mould.

Keywords: mould, casting, epoxy, surface cleanliness, gauge

Zde je místo pro případné poděkování, popř. motto, úryvky knih atp.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY	12
1.1 OBECNÉ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	12
1.2 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ Z HLEDISKA MOLEKULOVÉ STRUKTURY	14
1.3 TECHNOLOGIE ODLÉVÁNÍ PLASTOVÝCH ODLITKŮ	15
1.3.1 Polyamid.....	15
1.3.2 Polystyren.....	16
1.3.3 Polyuretan.....	16
1.3.4 Polyuretanová pěna	16
1.4 EPOXIDOVÁ PRYSKYŘICE	16
1.4.1 Vytvrzování.....	17
1.4.2 Teplota skelného přechodu.....	17
1.5 VLASTNOSTI EPOXIDOVÝCH MATERIÁLŮ	18
1.5.1 Složky epoxidové pryskyřice	19
2 MÍCHÁNÍ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE	20
3 ODLÉVÁNÍ DO KOVOVÝCH FOREM	21
3.1 VAKUOVÉ ODLÉVÁNÍ.....	21
3.2 TLAKOVÉ ODLÉVÁNÍ	22
4 ODLÉVACÍ FORMY	23
5 ABB S.R.O.	24
5.1 PŘÍSTROJOVÉ TRANSFORMÁTORY	25
5.2 PŘEHLED VÝROBKŮ	25
5.3 ODLÉVACÍ PROCESY VE FIRMĚ ABB S. R. O.	26
5.3.1 Tlakové lití	27
5.3.2 Vakuové lití	28
5.3.3 Popis odlévacího cyklu.....	29
5.4 PŘÍPRAVA KOVOVÝCH FOREM	30
5.4.1 Separace forem.....	30
5.4.2 Předehřev forem	30
5.5 KONTROLA POVRCHU HOTOVÝCH ODLITKŮ.....	30
5.6 OBECNÝ POPIS ÚDRŽBY LICÍCH FOREM	30
6 ODLITEK	32
6.1 KVALITA ODLITKU	32
6.2 VADY ODLITKŮ	32
6.3 VADY POVRCHU ODLITKŮ	33

6.3.1	Nárůstky	33
6.3.2	Drsný povrch	34
6.3.3	Vtaženiny	35
6.3.4	Potečeniny	36
6.3.5	Zatekliny.....	37
6.3.6	Netěsnost formy, zatekliny do dělicí roviny	37
6.3.7	Nedolitky	37
6.3.8	Bubliny	38
7	METODY KONTROLY POVRCHŮ	40
7.1	VIZUÁLNÍ KONTROLA	40
7.2	METODA FLUORESCENČNÍ	41
7.2.1	UV záření	41
7.2.2	Fluorescence.....	41
7.3	MĚŘENÍ TLOUŠTKY POVLAKŮ.....	42
7.3.1	Metoda magnetoinдукtivní	42
7.3.2	Metoda vířivých proudů	42
7.4	MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU	42
8	CÍLE PRÁCE	44
II	PRAKTICKÁ ČÁST	45
9	NÁVRH EXPERIMENTU	46
10	ANALÝZA EPOXIDOVÉ HMOTY	47
10.1	PRYSKYŘICE A TVRDIDLO	47
10.2	ZMĚKČOVADLO A URYCHLOVAČ	47
10.3	PLNIVO ST6	48
10.4	BARVIVO BAYFERROX A PASTA.....	48
10.5	KONTROLA LICÍ HMOTY.....	48
10.6	VÝBĚR FOREM.....	48
10.6.1	Forma TJC a TPU	49
10.6.2	Forma KOKM	49
10.6.3	Forma KEVCY 24 RE1.....	49
11	VYHODNOCOVÁNÍ ČISTOTY POVRCHU ODLÉVACÍCH FOREM	50
11.1	RUČNÍ PŘÍSTROJ RECOGNOIL 2W	50
11.2	TECHNICKÁ SPECIFIKACE	51
11.3	VYHODNOCOVÁNÍ POVRCHU PŘÍSTROJEM RECOGNOIL 2W	52
11.3.1	Příprava před měřením	52
11.4	PŘÍPRAVEK K MĚŘENÍ.....	53
11.5	PROFILOVÝ SKENER SCANCONTROL2910-25	54
11.6	TECHNICKÁ SPECIFIKACE	55

11.7	VYHODNOCOVÁNÍ POVRCHU PROFILOVÝM SKENEREM.....	55
11.7.1	Příprava před měřením.....	56
11.8	DIGITÁLNÍ TLOUŠŤKOMĚR ELCOMETER 456 S.....	57
11.9	VYHODNOCOVÁNÍ POVRCHU PŘÍSTROJEM ELCOMETER 456 S.....	57
11.9.1	Příprava před měřením.....	58
11.10	MĚŘENÍ NAPÁLENÍ NA JEDNOTLIVÝCH FORMÁCH.....	59
11.10.1	Naměřené hodnoty na formě TPU 4.....	59
11.10.2	Interpretace dosažených výsledků na formě TPU 4.....	64
11.10.3	Diskuze k dalšímu postupu kontroly.....	64
11.10.4	Naměřené hodnoty na formě TJC 4.....	65
11.10.5	Interpretace dosažených výsledků na formě TJC 4.....	70
11.10.6	Diskuze k dalšímu postupu kontroly.....	71
11.10.7	Naměřené hodnoty na formě KEVCY.....	72
11.10.8	Interpretace dosažených výsledků na formě KEVCY.....	75
11.10.9	Diskuze k dalšímu postupu kontroly.....	76
11.10.10	Naměřené hodnoty na formě KOKM.....	77
11.10.11	Interpretace dosažených výsledků na formě KOKM.....	82
11.10.12	Diskuze k dalšímu postupu kontroly.....	82
11.11	ÚDRŽBA A ČIŠTĚNÍ FOREM.....	83
11.12	KATALOG FOREM.....	84
	ZÁVĚR.....	85
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	86
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	91
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	93
	SEZNAM TABULEK.....	94
	SEZNAM GRAFŮ.....	96
	SEZNAM PŘÍLOH.....	97

ÚVOD

Náklady na údržbu výrobního vybavení jako jsou přípravky, formy a v neposlední řadě samotné výrobní zařízení, jsou významnou položkou v rozpočtech výrobních firem. Tendence k šetření těchto nákladů mohou lehce vést ke zvýšené nekvalitě výroby nebo k častějším výpadkům kapacity. Proto je nutné procesy údržby důsledně nastavovat a optimalizovat.

Pro mnoho firem jsou jedny s klíčových výrobních zdrojů formy, ve kterých jsou výrobky odlévány. Kvalita výrobků, zejména povrchová, je do velké míry dána právě stavem povrchů forem. Ty můžou cyklickým používáním degradovat působením mechanických a chemických vlivů. Jejich správná údržba má proto významný vliv na náklady nekvality.

Motivace pro výběr této diplomové práce byla pomoci firmě s problémem povrchové kvality epoxidových odlitků přístrojových transformátorů a zároveň si zkusit práci se třemi kvalitními přístroji. První byl klasický ruční přístroj Elcometer 456, dále jsem si mohl vyzkoušet přístroj scan CONTROL 2910-25. Třetí přístroj byl opět ruční, a to Recognoil 2W.

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část je zaměřena na popis polymerů, jejich zpracování a následné použití v elektroprůmyslu, a to konkrétně ve firmě ABB s.r.o., která je též v této části představena. V dalších kapitolách je popsána výroba odlitků, povrchové vady odlitků a metody kontroly jejich povrchu odlitků.

V praktické části je popsána analýza epoxidové hmoty. Jsou zde popsány jednotlivé měřicí přístroje, které fungují každý na jiném principu kontroly znečištěného povrchu. Dále jaké formy jsou vybrány pro měřicí účely a poté jak se postupovalo při vyhodnocování povrchu formy s jednotlivými měřicími zařízeními. Naměřené data jsou přehledně uspořádány do tabulek a grafů. Následně se z těchto výsledků bude realizovat metodický postup údržby během odlévání a kontrola stavu povrchu formy pro zamezení odlévání neshodných odlitků. V rámci diplomové práce vznikne seznam forem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Jedná se o přírodní nebo syntetické makromolekulární látky, které jsou složené z molekul s vysokou molekulovou hmotností. Sestávají z mnoha strukturních jednotek a jsou spojeny kovalentními vazbami. Získávají se chemickou reakcí malých molekulových sloučenin – monomerů. Při vzniku polymerů, mají monomery reaktivní funkční skupiny, nebo dvojně až trojně vazby. Tyto reakce mezi sebou zajišťují vazby mezi opakujícími se jednotkami. Polymerní materiál vykazuje vysokou pevnost a odolnost proti opotřebení, gumovou elasticitu a má teplotu skelného přechodu.

Díky všem těmto vlastnostem, jsou polymery hojně využívány. Používají se v obalovém průmyslu, v domácnostech, v dopravních prostředcích, v lékařských přístrojích, v informačních technologiích a jinde. Mezi přírodní polymery můžeme zařadit přírodní vlákna (hedvábí, vlna, bavlna) a tyto polymery používáme mnoho stovek let. Syntetické polymery (polyestery, akryláty, nylony, epoxidové pryskyřice) jsou velmi využívány jako plasty, filmy, lepidla a ochranné nátěry. Pro správné vlastnosti polymerů se přidávají různé druhy aditivních chemikálií. Používají se jako změkčovadla, zpomalovače hoření, tepelné stabilizátory, maziva, antioxidanty, stabilizátory UV záření. [1, 2]

1.1 Obecné rozdělení polymerů

- Termoplasty: při zahřívání “tají” a při ochlazování tuhnou. Vyrábějí se přidáním (“polymerací”) jednotlivých jednotek (“monomerů”) za vzniku dlouhých řetězců. Tyto procesy lze u těchto polymerů opakovat několikrát, aniž by se změnila jejich vlastnosti. Mezi termoplasty patří například polyethylen (PE) – fólie, láhve, elektroinstalační materiál, obaly; polypropylen (PP) – použití stejné jako u PE, pouze je lehčí, tužší a odolnější vůči slunečnímu záření; polystyren (PS) – levné vstříkované předměty; polyvinylchlorid (PVC) – okenní rámy, umělá kůže, hadice, oděvy; polyamid (PA) – textilie, lana, lišty. Díky rozsahu molekulových hmotností a uspořádání geometrie nemají termoplasty ostrý bod tání. Zato klesá jejich viskozita v rozsahu teplot. [1, 3]

Tab. 1 Základní rozdělení termoplastů [4]

TERMOPLASTY			
<i>Polyolefiny</i>		<i>Akryláty</i>	
PE	polyetylén	PMMA	polymetylmetakrylát
HDPE	lineární polyetylén	MBS	metylmetakrylát – butadien - styrén
LDPE	rozvětvený polyetylén	Polyamidy	
UHMWPE	ultravysokomolekulární polyetylén	PA	polyamid
PP	polypropylen	<i>Polyétery</i>	
<i>Chlorované plasty</i>		POM	polyoxymetylén
PVC	polyvinylchlorid	PFO	polyfenylénoxid
<i>Styrénové plasty</i>		<i>Polyestery</i>	
PS	polystyrén	PET	polyetyléntereftalát
PS-GP	standardní polystyrén	PBT	polybutyléntereftalát
PS-HI	houževnatý polystyrén	PC	polykarbonát
PS-E	pěnový polystyrén	<i>Vinylové plasty</i>	
SB	styrén – butadien	PVAC	polyvinylacetát
ABS	akrylonitril – butadien – styrén	<i>Ketony, sulfidy, sulfony a amidy</i>	
SAN	styrén – akrylonitril	PEEK	polyéteretherketon
ASA	akrylonitril – styrén – akrylát	PPS	polyfenylénsulfid
<i>Fluoroplasty</i>		PSU	polysulfon
PTFE	polytetrafluóretylen	PES	polyéthersulfon
ETFE	etylén – tetrafluóretylen	PI	polyimid

- Reaktoplasty: oproti termoplastům, “tají” reaktoplasty, dříve termosety, pouze při prvním zahřátí a zároveň se polymer i “vytvrzuje”. Vyrábějí se smícháním pryskyřice a tvrdidla, tyto složky spolu reagují a tvrdnou při pokojové teplotě, nebo při zahřátí. Tento polymer je poté silně zesíťovaný, a proto označení síťové polymery. Struktura polymeru je téměř amorfni, protože příčné vazby vznikají během polymerace kapalně pryskyřice a tvrdidla. Při následném dalším zahřátí termosetického polymeru už dochází k degradaci. Do reaktoplastů patří polyesterové hmoty. Důležité jsou epoxidové pryskyřice, které mají velké uplatnění v elektrotechnickém průmyslu. [1, 3, 5]

Tab. 2 Základní rozdělení reaktoplastů [4]

REAKTOPLASTY			
<i>Fenoplasty</i>		<i>Epoxidy</i>	
PF	fenolformaldehydová pryskyřice	EP	epoxidová pryskyřice
<i>Aminoplasty</i>		<i>Polyesterové pryskyřice</i>	
UF	močovinoformaldehydová pryskyřice	PESL	polyesterové skelné lamináty
MF	melaminové pryskyřice		

- Elastomery: všechny gumové materiály, které lze bez porušení deformovat, takže jsou schopny obnovit svůj původní tvar i po velkém namáhání. Je to zajištěné příčnými vazbami. Nejdéle používaným elastomerem je polyisopren.

Jedná se o polymerní složku přírodního kaučuku. Získává se z mléčného latexu různých stromů, ale nejčastěji z kaučukovníku Hevea. Díky své molekulové struktuře dodává elastomeru pružnost a houževnatost. Významným přírodním polymerem je přírodní kaučuk. V dnešní době jsou ve stále větší oblibě syntetické polymery, které se získávají jako vedlejší produkt při zpracování ropy a zemního plynu. Mezi tyto materiály patří styren-butadienový kaučuk a butadienový kaučuk. [3, 6]

- Přírodní polymery: jedná se o polyizoprenovou pryž, jejímiž hlavními složkami jsou celulóza, lignin a bílkoviny. Celulóza a lignin jsou hlavní složkou dřeva a slámy. Bílkoviny tvoří mechanický základ většiny rostlin a živočichů. Celulóza se zpracovává jako papír. Po úpravě s kyselinou dusičnou vznikne celuloid a celofán. Při zpracování dřeva vzniká velké množství ligninu. Tento přírodní polymer není možné dál zpracovávat. Pokud by se tak stalo, vznikl by úplně nový rozvinutý průmyslu. [3]

1.2 Rozdělení polymerů z hlediska molekulové struktury

- Polymery s lineárním řetězcem: opakující se jednotky, které jsou drženy silnými kovalentními vazbami. Naopak molekuly jsou drženy pohromadě slabší sekundární silou, díky tomu tento druh polymeru při zahřátí měkne, protože sekundární vazby, které k sobě vážou molekuly, se roztaví. Poté teče jako viskózní kapalina a dobře se formuje.
- Polymery s rozvětveným řetězcem: už z názvu je patrné, že se jedná o polymer, který obsahuje molekuly s lineární páteří, z níž vycházejí větve. Pro vytvoření takového monomeru, je zapotřebí schopnost růstu v minimálně dvou směrech, takže musí mít funkčnost větší než dvě.
- Síťové nebo gelové polymery: vznikají přes sbírku lineárních řetězců ke sbírce rozvětvených řetězců a tohle všechno nakonec vytvoří síť (gel) polymeru (obr. 1). Tento druh polymeru se nerozpouští v žádném prostředí. [1]



1. lineární, 2. rozvětvená, 3. síťová

Obr. 1 Molekulární struktura polymerů [7]

1.3 Technologie odlévání plastových odlitků

Při výrobě plastových odlitků je zapotřebí mít zkapalněný plastový materiál, který následně po nalití do formy ztuhne. Při tomto procesu výroby dochází ke sčítání monomerů, které kondenzují se zbytkem H_2O a výsledkem je vysoký polymer.

Jedná se o jednoduchý proces tváření plastů, protože není zapotřebí řada prvků a postupu, jako tomu je při jiných zpracovatelských postupech (kov, sklo, dřevo).

Výhody procesu lití plastů:

Odlitky z plastů vykazují malé nebo žádné vnitřní pnutí, takže vykazují kvalitní povrchovou úpravu ihned po vytažení z formy. Dají se odlévat rovnou celé montážní sestavy, takže není potřeba cokoliv v pozdější fázi složitě sestavovat dohromady. Prvotní náklady na zařízení, formy a nástroje jsou při procesu odlévání plastů relativně nízké. Vyrábí se vcelku hmotnostně lehké a i tvarově složité odlitky, takže jsou hojně využívány. Při navrhování formy můžeme ovlivnit i povrchovou kvalitu odlitků.

Nevýhody procesu lití plastů:

Výrobní cykly jsou poměrně dlouhé. Rozměrová tolerance není vždy v odpovídající kvalitě. Odlitky mohou obsahovat velké množství bublin a vlhkosti, tyto vady se mohou projevit na kvalitě odlitku. [8]

1.3.1 Polyamid

Alkalický polyamid, známý pod obchodním názvem nylon. Jedná se o lineární polymer, je částečně krystalický a vyrábí se kondenzační reakcí. Je velmi ohebný a čím větší číslo nylonu, tím více se snižuje jeho bod tání, měrná hmotnost a obsah vlhkosti. Tato poslední vlastnost, může mít negativní vliv na rozměrovou stabilitu, protože dokud nedosáhne

rovnováhy, neustále se snaží absorbovat do sebe vlhkost. Často jsou využívány v prostředí, kde je vysoká teplota. Je stabilně funkční i při 185 °C. [9, 10]

1.3.2 Polystyren

Jedná se o amorfní polymer, který je tvrdý, tuhý, zářivě průhledný a vyráběn polymerací styrenu. Styren je stavební chemikálie, která se používá při výrobě mnoha plastových výrobků. Po přidání polystyrenu do jiného polymeru, dodá polymeru větší tvrdost a tuhost důležitým plastovým a pryžovým výrobkům. Na vlastnosti polystyrenu má klíčový vliv přítomnost pendantních fenylových skupin (C_6H_5). Díky těmto velkým molekulovým skupinám ve tvaru prstence, které brání polymerním řetězcům v těsném krystalickém uspořádání, je pevný polystyren průhledný. Polystyrenová pěna se vypěňuje pentanem, nebo oxidem uhličitým a vyrábí se z něj nejčastěji izolační a obalové materiály. Pokud je tvrzen Butadien, tak je z něj vysoce odolný polystyren. [11]

1.3.3 Polyuretan

Patří do skupiny organických polymerů. Díky své struktuře má polyuretan velké množství významných mechanických, fyzikálních, biologických a chemických vlastností. Polyuretany jsou zvláštní skupina plastů, která se od mnohých výrazně liší. Polyuretany mají schopnost pěnit, zachovávat si vysokou pevnost při nižších teplotách. Dále odolnost proti oděru, ozónu, oxidaci a vlhkosti. [12]

1.3.4 Polyuretanová pěna

Vzniká spojením reaktantů v dutině formy. Obvykle to jsou polyestery, které obsahují karboxylové skupiny. Při této reakci se uvolňují bublinky oxidu uhličitého a ty jsou rozptýleny po celém výrobku. Polyuretanová pěna má velké množství vlastností, mezi ně patří: vysoká nosnost, pružnost, odolnost proti oděru. Tyto vlastnosti se dají ovlivňovat úpravou typu a obsahem nadouvaděl, vyfukovacích činidel a aditiv. [13]

1.4 Epoxidová pryskyřice

Jedná se o reaktoplast, který má v molekule minimálně jednu epoxidovou skupinu. Označuje se i jako oxiranová nebo ethoxylinová skupina. Většina komerčně dostupných epoxidových pryskyřic se označuje jako oligomery a ty se po reakci s tvrdidlem vytvrzují a stanou se z nich termosetické polymery. Epoxidové pryskyřice většinou vyžadují vyšší množství vytvrzovacích činidel. Poměr pryskyřice a tvrdidla je 1:1 nebo 2:1. Po vytvrzení epoxidové

pryskyřice vykazují nízkou lomovou houževnatost, nízkou odolnost proti nárazu, sníženou odolnost proti šíření trhlin. Chemická struktura pryskyřice, tvrdidla a také síť dosažená po vytvrzení určuje výhody a omezení epoxidových pryskyřic. [11]

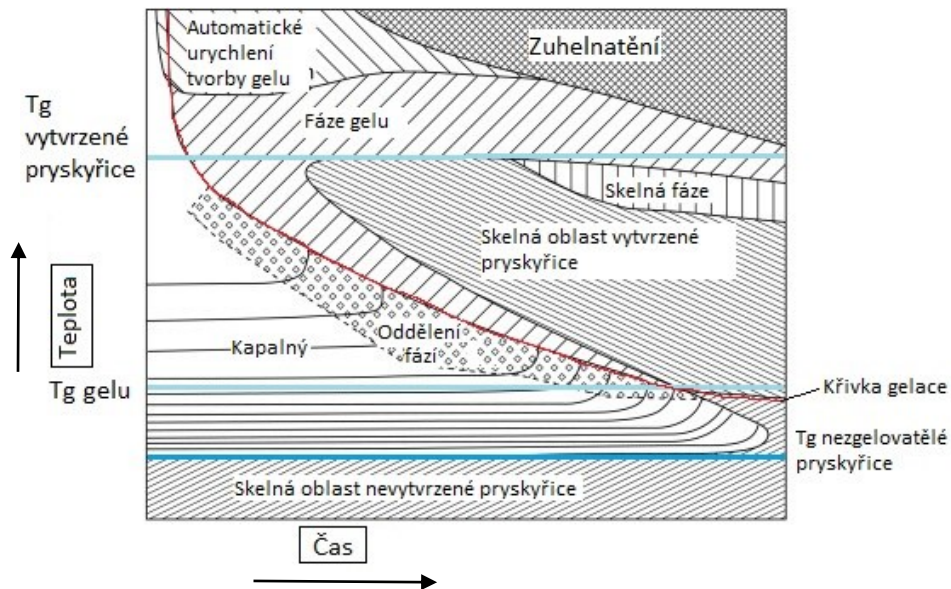
Hlavní znak epoxidového monomeru je oxiranová funkční skupina (tj. tříčlenný kruh tvořený dvěma atomy uhlíku a kyslíku). Tyto oxiranové skupiny mohou vznikat peroxidací dvojných vazeb uhlík-uhlík. Pro rozdílnou elektronegativitu uhlíku a kyslíku jsou atomy uhlíku v kruhu elektrofilní. Při takovém uspořádání atomů je zvýšená reaktivita. Při srovnání s klasickými ethery má tato zvýšená reaktivita vysoké napětí. [14, 15]

1.4.1 Vytvrzování

V tomto procesu dochází k chemické reakci, při které se mění polymer z lineárního na síťový. K takové reakci dochází, pokud je v termosetu přítomen určitý iniciátor nebo katalyzátor. Dochází k tomu při teplotě od 100 °C do 200 °C po dobu několika hodin. “Želatinace” je kritický přechod, který se vyskytne při tvorbě polymerní sítě. Jedná se o změnu epoxidové pryskyřice z kapalné na pevnou látku. Pokud nastane tento jev, už nelze polymer rozpustit v rozpouštědlech. Po této fázi dochází k nárůstu hustoty příčných vazeb a zároveň s odpovídajícím nárůstem modulu pružnosti pevné látky. Pokud je zapotřebí mít určitou přeměnu gelového polymeru, lze ji určit kombinací různých kinetických a statistických metod. Chování pryskyřice během vytvrzování popisuje TTT diagram. Pomáhá pochopit proces vytvrzování a vlastností po vytvrzení. Diagram shrnuje teplotu vytvrzování v závislosti na časech gelace, vitrifikace, separace fází, úplného vytvrzení a tepelné degradace. Výběr tvrdidla má vliv na proces vytvrzování. Pokud je pryskyřice vytvrzena anhydridy dikarboxelových kyselin, tak pryskyřice nebude mít velkou vlhkost z důvodu nižší koncentrace hydroxelových skupin. Částečné výboje jsou nežádoucí jev, takže je zapotřebí mít vnitřní vlhkost odlitků co nejmenší. [15, 16, 17]

1.4.2 Teplota skelného přechodu

Pro dokonalé využití polymerních materiálů, je důležité dodržet správnou teplotu skelného přechodu (T_g) epoxidové matrice (obr. 2). Při klasické modifikaci epoxidových termosetů pomocí kapalného kaučuku, je obvykle nutné epoxidovou pryskyřici zpevnit, ale nesmí dojít k tepelné nestabilitě epoxidových termosetů. [15]



Obr. 2 Diagram TTT [18]

Jedná se tedy o složitý parametr, který je závislý na mnoha vnitřních i vnějších faktorech. Mezi ty vnitřní faktory patří krystalinita, taktičnost, molekulová hmotnost a hustota. Naopak metody syntézy a charakterizace jsou příklady vnějších faktorů. Všechny vyjmenované faktory určují teplotu přechodu amorfnní fáze mezi sklovitým a pryžovým stavem. Až poté je jasná charakterizace a vhodné použití polymeru. Při změně T_g se mění i fyzikální vlastnosti, včetně modulu, tepelné kapacity, koeficientu tepelné roztažnosti a viskozity. Pokud je stanovena teplota skelného přechodu, je možné několika experimentálními metodami jako např.: DSC (diferenciální skenovací kalorimetrie) a DMTA (dynamická mechanická termická analýza) stanovit mísitelnost v polymerních směsích. Pokud je v polymerní směsi prokázána alespoň jedna hodnota T_g , lze říci, že směs je mísitelná. [17, 19]

1.5 Vlastnosti epoxidových materiálů

Zasíťované epoxidy vykazují vynikající vlastnosti, díky kterým se staly standardní volbou pro řadu aplikací. Mezi ty nejvíce používané patří lepidla, nátěry, kompozity pro konstrukční aplikace. Některé z důvodů častého použití jsou následující: [15]

1. Flexibilita při volbě monomerů a ko-monomerů, která umožňuje získat různé produkty od kaučuků s nízkou teplotou až po materiály s vysokou teplotou.
2. Možnost použití a kombinace různých polymeračních chemikálií vhodných pro konkrétní potřeby zpracování.
3. Velmi vysoká přilnavost k různým povrchům díky přítomnosti polárních skupin ve struktuře.

V různých aplikacích se dodržují zavedené a osvědčené postupy a technika zpracování od jejich zavedení. V posledních letech díky průmyslovému rozvoji dochází ke vzniku nových materiálů. Řadí se mezi ně termoplastické epoxidové polymery a epoxyakryláty pro vysoce účinné nátěry. Dále je v posledních letech tlak i na ekonomický a ekologický faktor. Proto se firmy zaměřily i na vývoj epoxidových materiálů z obnovitelných zdrojů.

1.5.1 Složky epoxidové pryskyřice

Pro výrobu epoxidové pryskyřice, která slouží jako elektroizolační hmota, je zapotřebí v přesně daném poměru zamíchat epoxid, plnivo, tvrdidlo a urychlovač. Většinou je do hmoty přidávané ještě barvivo a změkčovadlo. [20]

Epoxidová pryskyřice – základní složka epoxidu, která je nejprve smíchána s plnivem, barvivem a změkčovadlem. Tato směs je nazývána Pryskyřičná předsměs. Kvůli vysoké viskozitě je nutné pryskyřici předeheat před smícháním s dalšími složkami.

Plnivo – aditivum, které se přidává do epoxidové pryskyřice jako pevný nerozpustný materiál, přidávaný do epoxidové pryskyřice za účelem dosažení požadovaných vlastností. Jako plnivo se většinou používá velmi jemný prášek křemičitého písku.

Tvrdidlo – látka, která je nezbytnou součástí polymerní reakce a je určena k zasíťování epoxidové pryskyřice. Tvrdidlo je mícháno společně s plnivem a urychlovačem. Po smíchání jednotlivých složek je směs nazývána Tvrdilová předsměs.

Urychlovač – látka, která způsobí ve směsi epoxidové licí hmoty reakci, při které se zkrátí doba zpracovatelnosti a vytvrzení.

Barvivo – anorganická i organická látka ve formě prášku v pryskyřici i tvrdidle rozpustná, má pouze estetickou funkci, používá se za účelem kompaktního vzhledu odlitků.

Změkčovadlo (flexibilizátor) – organická látka, která dává vytvrzené licí hmotě vyšší tvárnost, ohebnost, rázovou houževnatost a nižší vnitřní pnutí při nízkých teplotách okolního prostředí.

2 MÍCHÁNÍ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE

Epoxidová pryskyřice se skládá z jednotlivých komponent, jak již bylo popsáno v kapitole 1.5.1. Komponenty pryskyřice, změkčovadlo a barva jsou míchány v prvním mísiči míchacího zařízení (obr. 3), jako tzv. předsměs pryskyřice. Komponenty tvrdidlo a urychlovač jsou míchány v druhém mísiči míchacího zařízení (obr. 3). Všechny tyto komponenty, je nutné dávkovat v přesném množství dle receptury. Předsměsi jsou dávkovány z mísičů pomocí dávkovacích pístových čerpadel do statických směšovačů, jenž jsou umístěny co nejbližší lícimu stroji, kde dochází ke smíchání obou předsměsí až před vlitím do formy. Celá soustava, jež tvoří mísiče, potrubí, pístová čerpadla, statický směšovač jsou vyhřívána. Vyhřívání je kvůli snížení viskozity směsí. Bez výhřevu by bylo velmi obtížné dopravit materiál z míchacího zařízení do lící formy.



Obr. 3 Míchací zařízení [21]

3 ODLÉVÁNÍ DO KOVOVÝCH FOREM

3.1 Vakuové odlévání

Výrobní metoda vakuového odlévání využívá vakuové komory, která je napojena na statický směšovač a vakuové vývěvy (obr. 4). Po zaformování funkčních částí transformátoru do kovové formy, která je uzavřena ze všech stran, je nutné přesunout formu do předehřívacího tunelu, kde se forma nahřeje na stanovou teplotu. Po nahřátí formy se forma přesune do vakuové komory, komora se uzavře a spustí se automatický proces lití. Proces lití se skládá z části vakuování před odlitím (sušení), lití, a vakuování po odlití. Všechny tyto části jsou důležité pro výslednou kvalitu transformátoru. Konstrukce formy je navržena tak, aby po odlití transformátoru došlo i k naplnění zásobníku epoxidu na formě.

Po skončení procesu lití se vakuová komora zavzdušní zpět na atmosférický tlak, komora se otevře a kus se převezde do předtvrzovacího (gelovacího) tunelu. V tunelu se spustí exotermická reakce, která by měla ideálně nastartovat ve spodní části formy a postupovat do horní části formy. Smrštění epoxidu kompenzuje zásobník umístěný na formě. Bez dodatečného zásobníku by vznikaly na povrchu či uvnitř transformátoru vtaženiny.

Po zgelování je forma přesunuta na vyformovací pracoviště, kde je transformátor vyjmut z formy a přesunut do dotvrzovacího tunelu, kde epoxid získá svoje finální vlastnosti.



Obr. 4 Vakuová komora [22]

3.2 Tlakové odlévání

Tlakové lití využívá automatických tlakových zařízení (obr. 5), která jsou napojena na statický směšovač. Automatický licí stroj disponuje hydraulickými posuvy, nahřívacími deskami a kompenzátorem smrštění.

Po zaformování funkčních částí do formy, která má otevřené boční strany, je forma přesunuta do předehřívací pece. Po nahřátí je forma přesunuta do automatického tlakového stroje. Forma se sevře topnými deskami stroje a poté je spuštěn automatický proces lití. Po naplnění formy je naplněn i kompenzátor smrštění, jež dodává epoxid po celou dobu gelace do formy – kompenzátor smrštění udržuje konstantní tlak ve formě po celou dobu gelace. Gelace tedy probíhá pouze v tlakovém stroji. Čas tlakového lití je přibližně poloviční oproti vakuovému lití a využívá se pro vyšší produkci transformátů.



Obr. 5 Automatické tlakové zařízení [23]

4 ODLÉVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je upnuta v odlévacím stroji a má hned několik funkcí (tab. 3), které jsou zapotřebí pro správné zpracování odlévaného materiálu. Hlavní úlohou formy, je po zaplnění dutiny formy, dát dílu přesný tvar. Dále forma pohlcuje teplo, které se společně s taveninou do formy přivádí. Velkou výhodou při vstřikování taveniny polymeru do formy je, že vše je velmi rychlé, bezpečné a téměř okamžitě po vyjmutí dílce z formy, se může celý vstřikovací proces opakovat. Vysoká efektivnost, která se vyznačuje tímto způsobem výroby dílů, je v konečném důsledku zhodnocena lepší ekonomickou a kvalitativní stránkou takto vyrobených dílů. Při ideálním dopravení taveniny polymeru do dutiny formy se vytvoří vysoký tlak a teplota v dutině formy, které při následném otevření formy mohou vést k její deformaci, takže při konstruování formy je zapotřebí klást důraz i na další důležité funkce formy. [24]

Forma je složena z funkčních částí, které jsou v kontaktu se vstřikovacím materiálem, a je zcela jasné, že je potřeba mít tyto části v co nejlepší povrchové kvalitě, protože udávají kvalitu odlitku. Formu tvoří i konstrukční části, které zajišťují správnou činnost nástroje. [25]

Všechny už uvedené a některé další funkce a požadavky, které jsou zapotřebí ke správnému a bezproblémovému vstřikovacímu procesu, jsou zobrazeny v následující tabulce:

Tab. 3 Požadavky a funkce vstřikovací formy [25]

VSTŘIKOVACÍ FORMA		
Doprava taveniny	Přenos tepla	Odformování dílu
<i>Odolnost proti deformacím</i>	<i>Odvod tepla z dílu</i>	<i>Otevření formy</i>
Podpěrné válce	Počet temperačních kanálů	Dělicí rovina
Tloušťka desek	Rozměry chladících kanálů	Vytažení jader
Vícenásobná propojení	Tepelně vodivé vložky	<i>Odformování dílů</i>
<i>Vedení taveniny</i>	<i>Odvod tepla z formy</i>	Vyhazovače
Vtokový systém	Rychlost toku temperační kapaliny	Robotické vyjímání
Ústí vtoku	Průřez vedení temperační kapaliny	Tahače jader

5 ABB S.R.O.

Společnost ABB je významná švédsko-švýcarská společnost, působící v oblasti energetiky a automatizace. Historie firmy se začala psát před více než 120 lety. V roce 1883 byla ve Stockholmu založena společnost Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget (ASEA). Druhý významný rok je 1891, kdy dva společníci založili švýcarskou firmu Brown, Boveri & Cie (BBC). O téměř sto let později, se tyto dvě firmy spojily a vznikla společnost ABB, se sídlem ve švýcarském Curychu. V současnosti patří ABB k lídrům v oblasti inovativních technologií a spolupracuje se zákazníky z oblasti energetiky, průmyslu, dopravy a infrastruktury. Mezi její nejvýznamnější činnost patří silné zaměření na výzkum a vývoj, které hojně podporuje sedmi výzkumnými centry po celém světě. Firma nyní působí ve více jak 100 zemích světa a zaměstnává více než 136.000 lidí, z toho přibližně 3.500 v České republice. [26]

Organizačně je rozdělena celkem do čtyř hlavních divizí:

- Elektrotechnika: V inovativní době je zapotřebí neustále zvyšovat efektivitu, bezpečnost a jistotu všech elektrických zařízení, do kterých patří solární střídače, modulové rozvodny a mnoho dalších speciálních zařízení, které napomáhají bezpečnému propojení se světem. [27]
- Procesní automatizace: Toto odvětví má na starosti optimalizaci a automatizaci v průmyslových procesech. Zaměřuje se hlavně na oblasti těžby a zpracování zemního plynu, ropy a dalšího nerostného bohatství. Dále chemického a farmaceutického průmyslu, námořní dopravy a vývoj turbodmychadel. Při vývoji našich výrobků se zaměřujeme na potřeby zákazníků, kteří oceňují u výrobků spolehlivost a úsporu energie. ABB poskytuje nejen výrobu, dodání a instalaci řídicích systémů, ale také servisní služby.

Díky tomu, že je vše uceleno v jedné službě si ABB nejen v České republice, ale i po celém světě udržuje již 20 let kvalitního a úspěšného projektování. [28]

- Pohony: V této oblasti patří ABB mezi světové lídry, protože v širokém portfoliu pohonů, u kterých kromě samotné výroby a dalších služeb, které jsou při zavádění pohonů do provozu zapotřebí. Mezi další výrobky tohoto oddělení patří elektromotory a frekvenční měniče, které se vyrábějí od nejnižších až po velmi vysoké výkony. [29]

- Robotika a automatizace: ABB se řadí mezi globální lídry na trhu ve vývoji, výrobě a dodávkách robotů do celého světa, kde je v provozu už více jak půl milionu robotů. K tomu patří i další související služby a to automatizovaný výrobní systém, který pomáhá společně s roboty k vyšší bezpečnosti pracovníků, produktivitě a kvalitě výrobků. [30]

5.1 Přístrojové transformátory

Společnost ABB s.r.o. se v brněnské pobočce zabývá výrobou přístrojových transformátorů proudu a napětí s izolací z epoxidové pryskyřice od roku 1952. Nabízí široký sortiment klasických přístrojových transformátorů, ale také elektronické přístrojové transformátory (senzory) pro vnitřní i venkovní použití. Výrobky slouží pro přeměnu hodnot velkých střídavých napětí a proudů na hodnoty, které budou vhodné pro zařízení, které se běžně používají. Společnost má nejmodernější výrobní a testovací systém. Má svoje vlastní vývojové centrum, které vyhledává nejlepší řešení pro své výrobky. Všechny vyrobené přístroje jsou kusově otestovány dle požadovaných norem, např. IEC, ČSN, GOST, BS, AS, ANSI ve vlastní testovací laboratoři, která zároveň může vydávat vlastní certifikáty metrologického ověření, pokud je takový požadavek od zákazníka. [31]

Klasické výrobní portfolio zahrnuje více jak 100 typů výrobků pro instalaci do vnitřního prostředí. Napěťové rozmezí výrobku se pohybuje od 0,72 kV do 40,5 kV. Základní část transformátoru tvoří jádro, vinutí a izolační systém. Přístrojový transformátor je tvořen primární a sekundární cívkou na společném ocelovém jádře. Celé toto společně funguje na principu elektromagnetické indukce. Základní funkcí transformátoru je snižování napětí a proudu střídavého systému. Dále slouží k měření elektrických veličin, jako např. proudu a napětí, výkonu, energie, účinku a frekvence. Pokud není zapojen v elektrizační soustavě transformátor, je proudová a napěťová hodnota pro měřicí zařízení velmi vysoká. Měřicí přístroje jsou většinou konstruovány na hodnoty proudu 5 A, a napětí 110 V. Je tedy zapotřebí mít v takové soustavě přístrojové transformátory, které dokáží právě tyto vysoké hodnoty přetransformovat na požadované hodnoty proudu a napětí měřících zařízení. [31, 32, 33]

5.2 Přehled výrobků

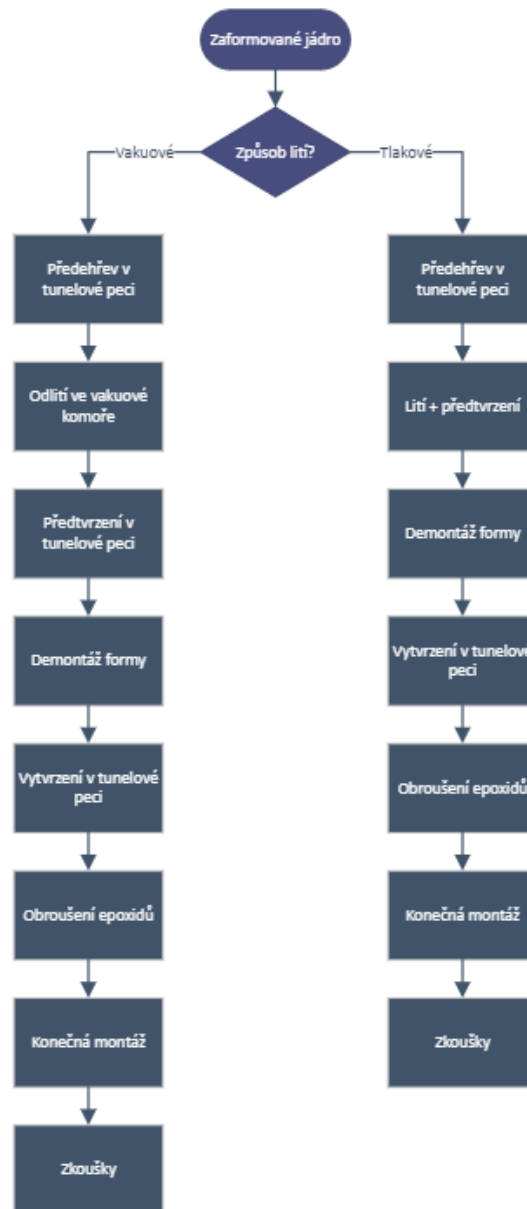
- Proudové transformátory pro vnitřní prostředí
- Napěťové transformátory pro vnitřní použití

- Vnitřní senzory
- Přístrojové transformátory pro vnitřní/ venkovní sítě
- Zařízení na ochranu ferorezonance

5.3 Odlévací procesy ve firmě ABB s. r. o.

Firma ABB s. r. o. odlévá své proudové a napěťové přístrojové transformátory z epoxidové pryskyřice technologiemi tlakového a vakuového lití do kovových forem.

Každý odlévaný transformátor má svůj jedinečný identifikační štítek, který je načten v systému MES, který je na každém pracovišti. Tímto způsobem má mistr, vedoucí směny a každý pracovník na daném pracovišti dokonalý přehled co se s daným odlitkem dělo a je pod uvedený úkon podepsán. Schéma odlévacího procesu je zobrazen na obr. 6.[20]



Obr. 6 Schéma odlévacího procesu proudového transformátoru

5.3.1 Tlakové lití

Při tomto moderním a efektivní procesu tlakového odlévání (metoda APG – Automatic pressure gelation) přístrojových transformátorů se nevyužívá kompletní forma, ale pouze její funkční část (rám), která se vkládá na x hodin na požadovanou teplotu do předehřívací pece. Proces probíhá v tlakovém licím stroji (obr. 7) v šikmé (pro zamezení vzniku bublin) a zároveň obrácené poloze transformátoru, do kterého je tlačěn pod tlakem, definovaný licím programem, smíchaný epoxid z míchacího stroje, kde jsou předsměsi epoxidu připravovány a míchány separátně. Po procesu lití do formy se ponechá pod tlakem přibližně hodinu ve formě, poté se z licího stroje odebere a přikryje termoizolačním krytem, který zabrání popraskání odlitku. [26]



Obr. 7 Lící stroj VOGEL – tlakové lití transformátorů [20]

5.3.2 Vakuové lití

U této technologie se využívá celá forma, ve které je upevněno primární i sekundární vinutí. Kompletní forma a připevněné vinutí je vloženo do předehřívacího tunelu na určitou teplotu a čas, které jsou definované technologickým postupem. Poté proces lití probíhá ve vakuové komoře (obr. 8) po dobu 10 minut a proces předtvrzování 2 hodiny. Po předtvrzení se odlitek vyjme z formy a vloží se do dotvrzovacího tunelu, který je rozdělen na 6 sekcí s teplotami definovanými technologickým procesem, závěrečná sekce je vypnutá. Epoxid je dotvrzován, aby získal své finální vlastnosti. [26]



Obr. 8 Vakuová komora (Autokláv) - vakuové lití transformátorů [20]

5.3.3 Popis odlévacího cyklu

Před každým licím cyklem musí operátor nejdříve vybrat požadovaný licí program dle typu transformátoru, poté zadá výrobní číslo a údaje o vinutí transformátoru. V licím stroji jsou už předem naprogramované parametry lití podle získaných zkušeností, takže dle toho, jaký program operátor vybral, si licí stroj nastaví parametry. Obecné parametry licího procesu jsou následující:

- teplota přehřevu,
- teplota na licím stroji (topné desky),
- tlaky na licím stroji (tlaky válců topných desek),
- náklon,
- množství licí hmoty,

- rychlost plnění,
- tlaky licí hmoty, včetně dotlačecích tlaků (v čase T1, T2, T3),
- čas cyklu,
- teplota licí hmoty.

5.4 Příprava kovových forem

5.4.1 Separace forem

Všechny formy se separující silikonovou vazelínou, olejem Silkal, separátorem QZ66. Pečlivě se nanáší měkkým štětcem nebo antistatickou utěrkou tenká rovnoměrná vrstva před každým licím cyklem. [26]

5.4.2 Předehřev forem

Formy pro vakuové lití se vkládají do předehřívacího tunelu na teplotu a čas určeným technologickým postupem. U tlakového lití se vkládají formy do předehřívací pece na požadovanou teplotu, která je určena technologickým postupem.

Teplota i doba předehřevu se může měnit po dohodě výroba-technologie v závislosti na výchozí teplotě, velikosti a tvaru formy. [20]

5.5 Kontrola povrchu hotových odlitků

U každého vyrobeného odlitku transformátoru se provádí kontrola provedení a vzhledu. Je zapotřebí vizuálně zkontrolovat kritická místa odlitku po stránce přilnavosti k materiálu odlitku transformátoru. Dále se kontrolují zvláštní požadavky, které určuje příslušný technický výkres konečného odlitku nebo údaje na technologickém postupu. [20]

5.6 Obecný popis údržby licích forem

Pracovník z výroby dodá formu určenou na opravu na údržbu forem společně s průvodním listem, který obsahuje informace o průběhu opravy/údržby licí formy. Pracovník údržby formu převezme. Po prvotním hrubém mechanickém očištění venkovní části formy rozmontuje formu na jednotlivé díly. Při zvýšeném zanesení šroubů, či závitových tyčí se spoje nerozebírají a vkládají se do čistící lázně společně. Všechny komponenty/části formy se vloží do nerezového koše a následně se vloží do předem

připravené lázně ultrazvukové čističky. Podle druhu znečištění se volí předem nastavený program. Doba čištění se většinou pohybuje od 50 minut do 1,5 hodiny. Po očištění následuje proplach, který trvá 5 minut. Poté následuje separace proti nerezavění po dobu 30 minut. Pro odstranění zbylých nečistot je zapotřebí díly řádně očistit stlačeným vzduchem. Vyfoukání pomáhá i důkladnějšímu osušení všech míst. Poté si pracovník bere jednotlivé dílce na pracovní stůl a jemně přebrousí a rozleští všechny plochy jemným rounem. Je to z důvodu toho, že v pórech mohou zůstat zbytky lázně z ultrazvukové čističky, které poté mohou ovlivnit chování separátoru při odlévání odlitku. Následuje operace protažení závitů a ostatní opravné práce, které jsou zadány pracovníky lití. Poté se na všechny dílce nanese vazelína a takto ošetřené dílce, se vloží do pece na vypalovací program dle druhu a velikosti formy. Po vyjmutí z pece se oře zbytek vazelíny a forma se složí. Po tomto kroku je forma určena k dalšímu použití a buď se vrací zpět do odlévacího procesu nebo do skladu forem. [20]

6 ODLITEK

Výroba odlitku je složitý technologický proces, který se využívá ve strojírenství a metalurgii při výrobě tvarově složitých součástí. Odlévá se do kovových, nebo do epoxidových forem. Po odlití vznikne polotovar, který se zhotovuje ze smíchaných směsí epoxidu, které následně ve formě ztuhnou. Kvalita povrchu formy je důležitá pro výsledný tvar odlitku z hlediska povrchové kvality. Je tedy důležité povrch formy kontrolovat a případné nedostatky neprodleně řešit. Po vyjmutí z formy je zapotřebí z odlitku odstranit nálitky, přelitky a vtok. Odlitek je také nutné obřítovat (srazit všechny hrany odlitku) pomocí bezpečnostního nože. [20]

6.1 Kvalita odlitku

Po odlití odlitků se mohou na hotových kusech objevit povrchové i vnitřní vady. Vadou nazýváme vše, co je mimo tvarovou, rozměrovou, hmotnostní, strukturní i vzhledovou toleranci. Dále tam je odchylka makrostruktury, chemického složení, celistvosti nebo odchylky mechanických a fyzikálních vlastností odlitku, které se posuzují dle norem, kterým dané vlastnosti podléhají. [34]

6.2 Vady odlitků

Kontrola odlitků probíhá po jejich očištění a to vizuálně, měřením, laboratorními zkouškami a nedestructivními metodami.

Vady odlitků mohou být:

- a) Zjevné – vada odlitku, která je patrná prostým okem, nebo jednoduchými pomocnými měrkami ještě před očištěním a opracováním odlitku.
- b) Skryté – taková vada je viditelná až po očištění a opracování odlitku nebo při použití vhodného kontrolního zařízení, které dokáže rozpoznat vnitřní vady.

Hodnocení vady odlitku je závislé na příslušné normě nebo technických dodacích podmínkách (TDP), které určují přípustnou nebo nepřípustnou, ale i opravitelnou nebo odstranitelnou vadu. [35]

Z tohoto hlediska vady odlitků jsou:

1. Přípustná vada – odchylka, která je dle příslušných norem nebo podle domluvených technických podmínek přípustná a nemusí být ani provedena

oprava, pokud není uvedeno v dokumentech, že i taková vada musí být odstraněna.

2. Nepřípustná vada – zpravidla jsou všechny tyto vady přesně určeny v dokumentech a jakmile se vyskytne na odlitku je zapotřebí takový výrobek řádně označit jako neshodný a dát do neshodné zóny.
3. Opravitelná vada – tato vada je opravitelná vhodným postupem, který je uvedený v TDP nebo příslušné normě.
4. Odstranitelná vada – jedná se o odchylku, která se liší od příslušné normy nebo TDP a je možné ji schváleným postupem ze strany zákazníka na vlastní náklady odstranit.

Pokud je vada neopravitelná jedná se o tzv. neshodný kus a je zapotřebí takový výrobek vyřadit. [34].

6.3 Vady povrchu odlitků

Jedná se o vady, které, co se týče výroby neopravitelných neshodných kusů, nejsou tak časté (udává se 1 až 5 % vad). Většina povrchových vad je opravitelných, ale veškeré opravy jsou časově a finančně velmi nákladné, a proto je potřeba je co nejvíce omezit. Je důležité sledovat všechny typy vad a podle toho s oddělením technologie a managementu jakosti zavádět nápravná opatření. [20, 34]

6.3.1 Nárůstky

Tento typ vady vzniká díky nesprávnému očištění a následné úpravě povrchu (naseparování), takže na povrchu formy mohou zůstat nečistoty a poté se zhoršuje kvalita povrchu odlitku (obr. 9), který při zhoršující se kvalitě je nutné opravit předepsanými postupy.



Obr. 9 Nárůstek na okraji odlitku

6.3.2 Drsný povrch

Pokud je v dutině formy nerovnost nebo je její povrch znečištěný, tak všechny tyto nepřesnosti se po odlití zkopírují na povrch odlitku (obr. 10).



Obr. 10 Drsný povrch odlitku

Důvod vzniku:

Pro obecné odlévání všech materiálů lze říci, že příčinou může být nedostatečné nahřátí formy před začátkem procesu lití, vyskytující se nerovnosti a nečistoty na povrchu formy. Postupem času při čím dál větším zatěžování formy její povrch oxiduje. Dalším důvodem vzniku může být například nedostatečné nebo i naopak velké nanesení separačního prostředku. Pokud je separačního prostředku na povrchu formy dostatek a nanese se další vrstvu, tak tyto vrstvy se do sebe zapečou a vzniká tzv. "napálení" formy (obr. 11).



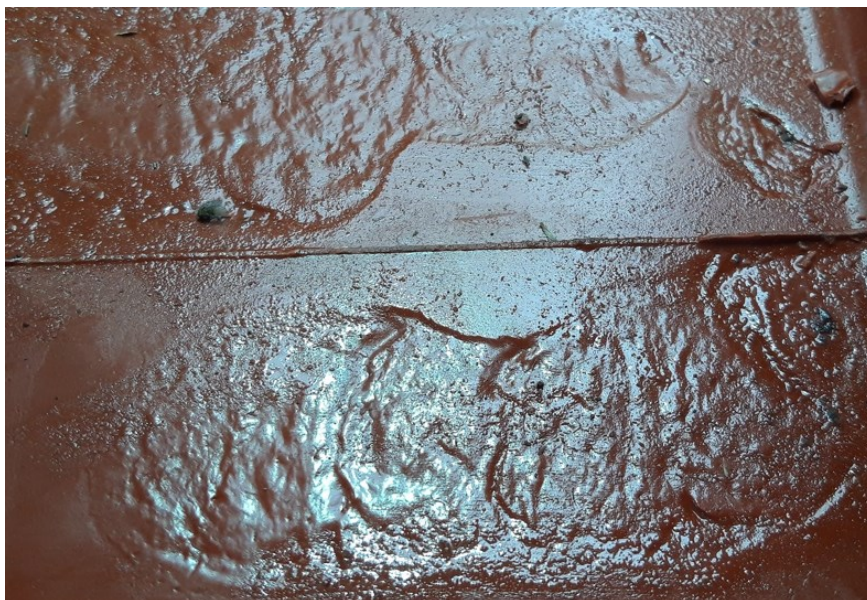
Obr. 11 Obtisknutý napálený povrch formy na odlitku

Opatření proti vzniku vady:

Pokud je vada většího rozsahu, je potřeba pro následující odlévání pracovat s novou nebo opravenou formou s naneseným separačním prostředkem.

6.3.3 Vtaženiny

Vada (obr. 12) je způsobena malou rychlostí lití, nevhodnou polohou formy při lití, přeléváním odlévaného materiálu po ploše formy nebo nesprávným nastavením teplot. Vtaženiny jsou také zapříčiněny nesprávným směrem reakce epoxidu ve formě. Po odlití mohou být na povrchu odlitku mělké, úzké prohlubně zakryté tenkou vrstvou materiálu. Prohlubně na povrchu odlitku nejsou zpravidla ničím vyplněné.



Obr. 12 Vtaženiny – nekvalitní povrch odlitku

6.3.4 Potečeniny

Jedná se o vadu (obr. 13), která může vzniknout špatným smícháním předsměsi epoxidu ve statickém směšovači licího stroje. K tomuto jevu dochází při netěsnosti pístových dávkovacích pump, které dávkují předsměsi epoxidu z dávkovacích mísičů, anebo hydraulických (popř. otočných pneumatických) ventilů.



Obr. 13 Potečeniny

Na povrchu odlitku poté vzniknou výstupky, hrbolky různých velikostí a tvarů. Povrchové výstupky nebo hrbolky jsou zpravidla nevytvrzené. Všechny tyto vady jsou ve větší míře složitě opravitelné.

6.3.5 Zatekliny

Tyto vady jsou lehce identifikovatelné, mají mnoho společných znaků, takže je možné rychle určit důvod vzniku vady a poté přijmout nápravné opatření. Vada (obr. 14) se vyskytuje tam, kde dokonale netěsní forma, nebo je prasklá forma. V těchto místech zateče odlévaný materiál a je zapotřebí všechny tyto místa opravit broušením a poté místo zalepit opravnou sadou a opět vybrousit. Oprava je většinou možná, takže není důvod odlitek určit jako neshodný kus.



Obr. 14 Zateklina

6.3.6 Netěsnost formy, zatekliny do dělicí roviny

Jedná se o častou vadu, kdy zateče materiál u dělicí roviny. Poté vznikají na odlitku žebra, výčnělky a výronky různého tvaru, tloušťky a velikosti s hladkým povrchem. Je nutná přesná práce formíře, při zakládání formy nebo co nejméně dělicích ploch. Před každým procesem odlévání je zapotřebí dokonale vyčistit dělicí rovinu formy, zkontrolovat nastavení stroje a lící teplotu.

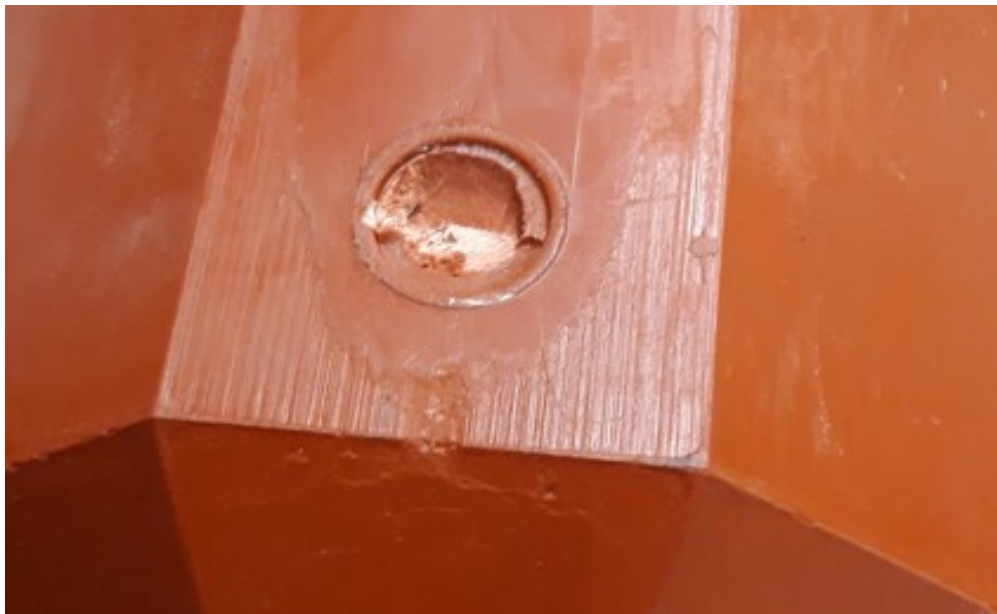
6.3.7 Nedolitky

Tento druh vady, se dá rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou nedolité hrany a plochy odlitků a druhou skupinou je nedolítý vtok.

Nedolité hrany jsou zapříčiněné uzavřeným vzduchem ve formě, okolo kterého se následně oblije epoxid. Uzavřený vzduch je ve formě díky špatně zvolenému licímu nebo pohybovému programu u tlakového lití – vysoká rychlost, nenahnutá forma, nebo

nesprávným licím programem u vakuového lití – vysoká rychlost, nízké vakuum v komoře. Po vyformování je takováto vada velmi rychle rozpoznatelná, avšak nemůže být hned odstraněna. Pracovník musí odlitek převést do dotvrzovacího tunelu a až poté je odlitek opravován.

Nedolitý vtok (obr. 15) se vyskytuje převážně u tlakového lití (APG) transformátorů. Vada je způsobena díky nízké teplotě předehřevu, nízké teplotě na desce licího stroje, nebo nesprávně zvolným licím programem – nízký čas gelace. V zásadě se jedná o vytvrzený kus epoxidu, který vyteče z odlitku při vyformování. Tato vada je také velice rychle rozpoznatelná a pokud se jedná o vtok na horní straně odlitku, je možné opravu provést ihned, a to nalitím malého množství epoxidu do prohlubně ve vtoku a po převozu do dotvrzovacího tunelu epoxid ztuhne a není nutná další oprava. V opačném případě, kdy se vtok vyskytuje na boční straně odlitku, není možná okamžitá oprava a je nutná oprava až po dotvrzovacím tunelu.



Obr. 15 Nedolitý vtok

6.3.8 Bubliny

Bubliny (obr. 16) se vyskytují u obou typů technologií – vakuově litých transformátorů i tlakově litých transformátorů. Samotné bubliny se vytvářejí až v průběhu lití transformátorů a to díky špatnému ustavení licí hlavy na formu, nesprávně zvolným licím programem, zvolená vysoká rychlost lití, použitím vysokého vakua při zalévání zaneseným odvzdušněním z formy a nebo pouhým překrytím epoxidu ve formě při oblití

funkčních částí. Tato vada je velmi nahodilým jevem a nelze jasně definovat, jak tuto chybu odstranit.



Obr. 16 Vlevo: bublinky na povrchu odlitku, vpravo: opravený povrch odlitku

7 METODY KONTROLY POVRCHŮ

Kontrola povrchu v různých částech technologického procesu výroby je důležitá pro odhalení vad nebo povrchových defektů způsobené nedostatečným nebo nadměrným nánosem maziva. Při vstřikování epoxidu do ocelových forem je nezbytné mít povrch formy řádně naseparovaný pro kvalitní vyjmutí odlitku z formy. Je tedy zapotřebí zvolit možnosti kontroly povrchu kovových forem. Tento proces je časově náročný a není možné ho vždy 100 % aplikovat na každý typ formy. Je žádoucí stanovit stupně čistoty povrchu. Ke stanovení těchto stupňů lze použít několik metod, které se dělí na přímé a nepřímé. Ne každá metoda se dá aplikovat na všechny typy analýzy povrchu.

Nepřímá metoda je založena na použití kontrolního rozpouštědla při detekci nečistot na povrchu materiálu. Probíhá extrakce nečistot na povrchu a následně se posuzuje podíl nečistot v rozpouštědle. Metoda přímá je naopak určena k okamžitému posouzení mastnoty na povrchu součásti. Je tedy pro výrobu a všeobecně pro průmyslové odvětví vhodnější a praktičtější, protože není časově náročná a nepotřebuje ke svému hodnocení různé převodníky, další látky, činidla a rozpouštědla, která jsou zapotřebí při nepřímé metodě.

Mezi přímé kontrolní metody patří: metoda vizuální, metoda fluorescenční, měření tloušťky povlaků, měření drsnosti povrchu.

7.1 Vizuální kontrola

Vizuální kontrola (VK) odlitku patří k nejjednodušším a nejrozšířenějším přímým kontrolním postupům, lze identifikovat až 78 % všech vad. Metoda je zaměřena na kontrolu a hodnocení kvality povrchu součásti. Stav povrchu odlitku je nejzákladnější NDT metoda, která se provádí před každou další NDT metodou. [36]

Pro kvalitně provedenou vizuální kontrolu je zapotřebí mít dobrou zrakovou způsobilost, vhodné osvětlení a kvalitně očištěný zkoumaný povrch. Kontrolu lze rozdělit na přímou a nepřímou kontrolu dle použitých pomůcek: [34]

- Přímá kontrola je prováděna zrakem nebo s pomocí lupy.
- Nepřímá kontrola je založena na použití dokonalejších optických a optoelektronických přístrojů a zařízení jako jsou endoskopy (obr. 17), periskopy a televizní kamery. Tyto přístroje se převážně používají pro kontrolu dutin, které nemohou být klasickou VK kontrolovány.



Obr. 17 Endoskopická kamera [37]

7.2 Metoda fluorescenční

Při této kontrolní metodě je zkoumaný povrch ozařován výkonným UV světlem. Zkoumaná mastná látka, obsahuje látky jejich složení napomáhá fluorescenci pod UV světlem fluoreskovat. Proto je možné touto metodou kontrolovat rozsah znečištění.

7.2.1 UV záření

Ultrafialové (zkratka UV, pochází z anglické slova ultraviolet) záření je forma elektromagnetického záření a pro lidské oko je neviditelné. Pochází ze slunce a z dalších umělých zdrojů. Je mnoho druhů UV záření. Od toho, které vyzařuje velmi vysokou energii – mezi tyto patří rentgenové a gama záření, až po velmi nízkou energii – sem patří rádiové vlny. [38, 39, 40]

UV záření dělíme do 3 hlavních skupin:

- UVA – vlnová délka: 319 – 399 nm, dlouhovlnné záření,
- UVB – vlnová délka: 280 – 314 nm, středněvlnné záření,
- UVC – vlnová délka: 100 – 279 nm, krátkovlnné záření.

7.2.2 Fluorescence

Obvykle viditelné světlo elektromagnetického záření, které dokáže pohltit atomy v materiálu a následně za několik málo sekund (přibližně do 10 – 8 s) při návratu těchto

elektronů světlo vyzáří. Tento jev se nazývá „fluorescence“. Toto záření je natolik rychlé, že pokud se vypne zdroj UV záření zaniká i fluorescence látky (materiálu). [41]

7.3 Měření tloušťky povlaků

Pro tento typ měření je na výběr z několika metod měření, záleží na typu vrstvy a složení základního materiálu, které jsou potřeba kontrolovat. [42]

7.3.1 Metoda magnetoinduktivní

Kontrola tloušťky laku, plastových a gumových podkladů, galvanicky nanášených vrstev probíhá na nemagnetické vrstvě, která leží na feromagnetickém podkladu. Sonda dokáže změřit tloušťku v rozmezí 0 – 5 mm, podklad musí mít minimální tloušťku 0,3 mm. [42]

7.3.2 Metoda vířivých proudů

Jedná se o kontrolu vrstev, které jsou elektricky nevodivé na nemagnetických, elektricky vodivých podkladech. Jako jsou nevodivé nátěry na odlitcích z hliníku a mědi. Přístroj má měřicí rozsah tloušťky vrstvy 0 – 2 mm, na podkladu o minimální tloušťce 0,2 mm. [42]

7.4 Měření drsnosti povrchu

Tuto metodu měření povrchů lze rozdělit na: [43]

- metoda kvalitativní – kontrola, u které kontrolor porovnává skutečný povrch se vzorkovnicí povrchů. Jedná se o metodu, která je založena na schopnosti kontrolora posoudit daný povrch.
- metoda kvantitativní – kontrola, která je prováděna pracovníkem se specifickým měřícím zařízením tzv. profilometrem. Dle druhu rozsahu měření dokáží tyto přístroje měřit kromě drsnosti i vlnitost a tvar povrchu.

K měření drsnosti povrchu používáme přístroje kontaktní, mezi které patří drsnoměr (obr. 18). U přístrojů bezkontaktních to jsou laserové snímače.



Obr. 18 Přenosný drsnoměr [44]

8 CÍLE PRÁCE

- Vypracovat rešerše na zadané téma
- Navrhnout katalogování forem
- Navrhnout údržbu forem
- Navrhnout čištění forem

II. PRAKTICKÁ ČÁST

9 NÁVRH EXPERIMENTU

Na začátku experimentu byly stanoveny 3 metody, jak měřit kvalitu povrchu ocelové formy a k tomu vybrány i odpovídající měřidla. První návrh je měření kontaminace povrchu fluorescenční metodou. Druhý návrh je porovnání profilu znečištění povrchu formy laserem. Třetí a poslední návrh je měření tloušťky znečištění s pomocí elektromagnetické indukce.

První část praktické části je zaměřen na kontrolu epoxidové hmoty, která se skládá ze sedmi základních materiálů. Dále jsou uvedeny jednotlivé metody vyhodnocování čistoty povrchu dle vybraných metod. Těmito metodami se poté bude vyhodnocovat povrch 4 vybraných forem.

Druhá část bude obsahovat všechny vyhodnocená data, které se poté přehledně zpracují do tabulek po jednotlivých cyklech. Na konci každého měření budou i grafy pro porovnání čistoty povrchu po určitých cyklech lití.

10 ANALÝZA EPOXIDOVÉ HMOTY

Zvolení a následné zavádění vhodných kontrolních a zkušebních metod, rozbor a následné zhodnocení výsledků zkoušek vychází ze znalostí a předešlých zkušeností. V tabulce 1 je uvedeno, ze kterých látek se skládá epoxidová hmota a její následné použití v epoxidové licí hmotě. K jednotlivým dodávkám uvedených materiálů jsou dodávány i certifikáty analýzy. Tyto certifikáty zaručují kvalitu podle TDP a jsou kontrolovány v rámci vstupní kontroly. Všechny provedené analýzy a dodané certifikáty jsou důkladně zapisovány a uchovávány. [20, 34]

Tab. 4 Seznam chemických látek používaných k výrobě epoxidové licí hmoty

	Materiál	Použití
1	Pryskyřice složka A	Licí hmota trafa
2	Tvrdidlo složka B	Licí hmota trafa
3	Změkčovač složka D	Licí hmota trafa
4	Urychlovač složka C	Licí hmota trafa
5	Plnivo ST 6	Plnivo do licí hm. trafa
6	Barva Bayferrox	Barvivo – licí hmota
7	Barva pasta	Barvivo licí hmota – trafa

10.1 Pryskyřice a tvrdidlo

Tyto složky jsou dopravovány v cisternách a při přejímce materiálu se od každé složky odebere vzorek, u kterého se provádí vstupní kontrola v podobě čistoty vzorku a změří se doba želatiny - GT. Pokud vzorek vyhovuje předepsaným normám a TDP, dochází k přečerpávání do zásobníku. Ze zásobníků jsou přímo dávkovány do předmísiců zařízení. [20]

10.2 Změkčovač a urychlovač

Suroviny jsou dodávány v IBC kontejnerech a vstupní kontrola spočívá ve vizuální kontrole čistoty a krystalizace. Pro zjištění reaktivity urychlovače vstupní kontrola změří

dobu želatinace GT. Vzhledem k tomu, že se jedná se o čisté látky, které nejsou složeny z více komponentů, nejsou vyžadovány další metody kontroly. [20]

10.3 Plnivo ST6

Plnivo ST6 je dodáváno v cisterně. Z odebraného vzorku se provede síťová analýza. Je-li vzorek v pořádku, stočí se do sila, ze kterého je pak přímo dávkován do zařízení pro přípravu hmoty. [20]

10.4 Barvivo Bayferrox a pasta

Suroviny se dodávají v balení po 50 kg. Barvivo ani pasta nepodléhá vstupní kontrole, pouze se zkontrolují dodané certifikáty o kvalitě. [20]

10.5 Kontrola licí hmoty

Každý den provádí pracovník výzkumné laboratoře mezioperační kontrolu licí hmoty. Odebírá určité množství vzorku namíchané licí hmoty ze všech míchacích zařízení. Kontroluje se:

1. Tekutá licí hmota:
 - měří se doba želatinace (gell time) GT
 - stanovuje se obsah plniva v licí hmotě
2. Vytvrzená licí hmota:
 - měří se bod skelného přechodu Tg

Výsledky jsou předmětem porady, kde pracovníci laboratoře, managementu jakosti a technologie řeší výsledné hodnoty. Na základě toho může dojít k úpravě dávkování jednotlivých surovin dle platné receptury nebo i ukázat na opotřebování součástí míchací soustavy. [20]

10.6 Výběr forem

Na základě počtu cyklů jsou vybrány 4 formy u kterých proběhne analýza povrchu. Jsou to formy typových přístrojových transformátorů: TJC, TPU, KOKM, KEVCY 24 RE1.

10.6.1 Forma TJC a TPU

Formy, využívány pro výrobu transformátorů TJC a TPU, jsou vyrobeny z konstrukční oceli, jež je dobře tvářitelná za tepla, dobře obrobitelná i svařitelná. Jelikož je povrch velmi namáhaný je použita povrchová úprava nitridováním. Rozměry formy musí být velmi přesné kvůli vysokým nárokům na rozměry transformátu i fixování funkčních částí uvnitř formy před odlitím. Tvarové nároky jsou také velmi vysoké. Pokud by došlo např k nadlimitní rovnoběžnosti bočních stěn, vznikla by mezera mezi formou a bočními nahřívacími deskami stroje. Poté by epoxid vytekl z formy anebo stroj neudržel tlak uvnitř formy. V obou případech by byl odlitý transformátor s vnitřními vadami a následně označen jako zmetek.

10.6.2 Forma KOKM

Forma pro výrobu proudových transformátorů KOKM je vyrobena z neušlechtilé konstrukční oceli obvyklé jakosti, která je vhodná ke svařování. Forma je svařena z několika částí, jež jsou tvarovány dle výkresové dokumentace. Transformátor KOKM nemá vysoké požadavky na výsledný povrch transformátu, takže není nutná dodatečná povrchová úprava formy.

10.6.3 Forma KEVCY 24 RE1

Forma pro výrobu senzorů KEVCY 24 RE1 je tříkavitní. Jedná se tedy o formu, ve které lze odlévat 3 senzory zároveň. Forma je vyrobena z konstrukční oceli, jež je dobře obrobitelná i svařitelná. Forma se skládá z levé a pravé části, které jsou upnuty na deskách licího stroje a také 9 kusů vložek formy. Do vložek formy jsou upnuty funkční části senzoru. Nároky na přesnost odlitku jsou stejné jako u forem TPU nebo TJC, takže je nutné formu vyrobít velmi přesně a také povrch formy nitridovat.

11 VYHODNOCOVÁNÍ ČISTOTY POVRCHU ODLÉVACÍCH FOREM

Na základě vybraných metod měření napálení ocelových forem se ke každé metodě v konečné fázi vybralo jedno měřidlo. Od firmy Tech Test byl zapůjčen ruční přístroj Recognoil 2W. Od firmy Micro-Epsilon byl zapůjčen kompaktní laserový profilový skener scanCONTROL 2910-25. Jako třetí přístroj je použit Elcometer 456 model S s oddělenou sondou.

11.1 Ruční přístroj Recognoil 2W

Tento ruční přístroj (obr. 19) vyrábí společnost TechTest s.r.o. Je vhodný pro detekci kontaminace povrchu různými nečistotami jako např. mastnota, konzervační a lubrikační látky, prach a mnoho dalších, které mohou znehodnotit výrobek pro jeho další použití. Průběh testu je založen na principu fluorescenční analýzy UV zářením o vlnové délce 365 nm kontaminovaného povrchu, které zachytí vysoce citlivý detektor. Nevýhodou tohoto přístroje je, že všechny výsledné hodnoty znečištění jsou bezrozměrové, takže není nikde napsáno kolik jednotek představuje nevhodná oblast znečištění. Takže je zapotřebí výsledné hodnoty porovnávat mezi sebou a u každého měření je důležité mít co nejvíce totožné podmínky.

Veškeré výsledky z měření jsou velmi rychle přenášeny do PC nebo tabletu, které jsou bezdrátově k přístroji připojeny přes WIFI rozhraní a dodávaný software. V softwaru lze pracovat např. s výběrem oblastí měřených ploch, podrobnějším popisem snímků (vzorků), nastavováním tolerancí (limitů) znečištění povrchu, takže se dá během několika málo sekund určit, zda je povrch vhodný pro další použití. Přístroj lze využívat ke kontrole jakosti povrchu před lakováním, galvanickým pokovením, ale i pájených, lepených a svařovaných spojů. [45]



Obr. 19 Ruční bezdrátový přístroj Recognoil2W [45]

11.2 Technická specifikace

Tab. 5 Technická specifikace ručního přístroje Recognoil 2W [45]

Metoda detekce	nedestruktivní, optická – bezkontaktní
Princip funkce	excitace nečistot pomocí UV záření a vyhodnocení obrazu intenzit jejich fluorescence
Velikost vyhodnocené plochy	20 x 13,8 mm
Rozlišení snímacího čipu	1536 x 1056 px / 1 px odpovídá přibližně 13 μm
Doba měření a vyhodnocení	1 až 10 vteřin, dle typu mastné nečistoty a světelných podmínek
UV vlnová délka/ výkon	365 nm / 1 000 mW
Elektrické napětí maximální	9V DC
Výdrž baterie	500 snímků bez dobití
Nabíjení baterie	USB mini
Dodávaný software	desktop aplikace pro MS Windows pro provoz, nastavení, vyhodnocení a správu dat
Rozhraní pro přenos dat	bezdrátové, WiFi – ruční přístroj Recognoil® 2W tvoří přístupový (AP) bod, ke kterému se připojí tablet / notebook / PC
Hmotnost přístroje	356 g
Rozměry přístroje	130 x 212 x 33,5 mm

11.3 Vyhodnocování povrchu přístrojem Recognoil 2W

Pro tento způsob analýzy povrchu, byly použity čtyři typy forem. Tři formy jsou měřeny na k tomu určeném pracovišti. Povrch čtvrté formy se analyzoval ve výrobě, protože je neustále upnuta v odlévacím zařízení.

11.3.1 Příprava před měřením

Před každým měřením proběhla následující příprava:

a. Příprava formy

První měření proběhlo na naseparovaných formách, které byly opraveny a dány do procesu odlévání z pracoviště údržby licích forem. Následující měření proběhlo po prvním odlití. Poté už byl povrch formy měřen po určitých odlévacích cyklech.

b. Příprava přístroje

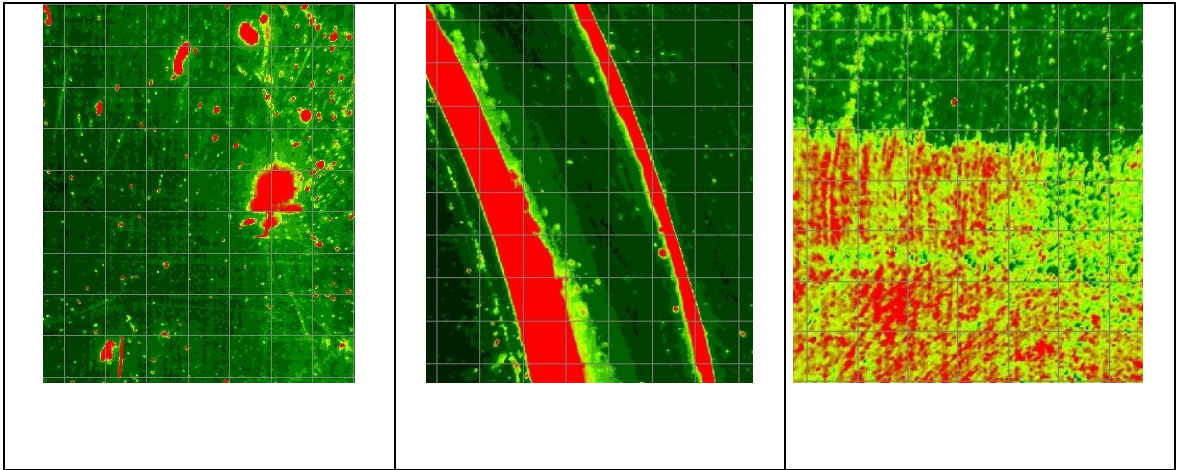
Před samotným měřením bylo nutné připravit pracoviště, kde bude moci probíhat měření. Byl zvolen prostor tak, aby bylo možné přístroj bezpečně odložit a zároveň okamžitě pracovat na notebooku s analyzovanými daty.

Přístroj se vyjme z ochranného kufříku, odejme se kryt z čočky a nasadí měřicí násadku. Zapne se přístroj. Po 30 s se zapne i software Recognoil 2W na notebooku. Poté dojde ke spojení ručního přístroje a softwaru přes wifi rozhraní a vše je připraveno k analýze povrchu.

c. Měření povrchu formy

Jakmile již není povrch formy horký, položí se na měřicí desku. Na povrch formy se přiloží přístroj Recognoil 2W a proběhne fluorescenční analýza povrchu. Vyhodnocuje se plocha o rozměru 20 x 13,8 mm. Snímky (obr. 20) z analýzy se nahrávají do softwaru. Povrch se měří na předem vybraných kritických místech formy, kde dochází k povrchovým vadám na odlitku.

Měřicí kryt je pogumovaný, takže při měření rovinné plochy nebyl problém, protože dokonale přilne k povrchu formy a měření nám nezkrasí okolní světlo. Jakmile se analyzovala hrana formy, bylo zapotřebí si pomoci přípravkem (kap. 11.4).



Obr. 20 Příklad snímků vyhodnocení nečistot na povrchu formy

11.4 Přípravek k měření

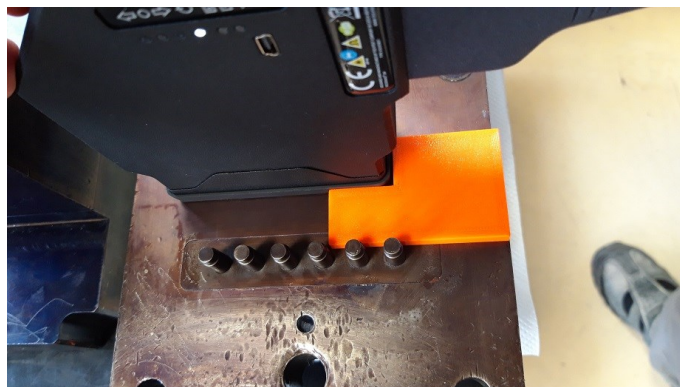
Na 3D tiskárně byly vytisknuty dva typy přípravků a každý měl jinou funkci:

- Zabraňování (obr. 21) propustnosti světla na analyzovaný povrch



Obr. 21 Pomocný přípravek k zabránění propustnosti světla

- Centrování (obr. 22) ručního přístroje na rovinném povrchu formy.



Obr. 22 Pomocný přípravek k měření na rovném povrchu

11.5 Profilový skener scanCONTROL2910-25

Laserový kompaktní skener scanCONTROL 2910-25 (obr. 23) je vyráběn společností Micro-Epsilon. Tento typ zařízení je díky své kompaktní konstrukci určen do průmyslové výroby, kde jsou vyžadovány měřicí úlohy. Pro své vynikající vysoké rozlišení, univerzálnost a výkon jsou využívány při dynamických a statických aplikacích např. na robotech. Skener dokáže měřit a vyhodnocovat například úhly, rovinnost, zaoblenost, hloubku, profil nebo i vzdálenosti. Tento skener má dvě řady COMPACT a SMART, právě tento skener byl pro naše účely zapůjčen. Pro naše účely byl zapůjčen skener z řady SMART.

Celé nastavení snímače a požadované měřicí parametry se řídí v softwaru scanCONTROL Configuration Tools (sCCT), kde se ukládají i samotné výsledky všech provedených měření. Tento typ skeneru nabízí díky své laserové linii, která má 10 mm, rozpoznání i velmi malých nerovností na ocelové ploše. [47]



Obr. 23 ScanCONTROL 29x0[48]

11.6 Technická specifikace

Tab. 6 Technická specifikace scanCONTROL LLT2910-25 [49]

	Metoda detekce	nedestruktivní, laserová – bezkontaktní	
	Dostupný typ laseru	červený	modrý
Osa Z	Rozsah měření	Začátek měřicího rozsahu	53,5 mm
		Střed měřicího rozsahu	66 mm
		Konec měřicího rozsahu	78,5 mm
		Výška měřicího rozsahu	25 mm
	Maximální odchylka jednoho bodu	± 0,10 %	
Osa X	Rozsah měření	Začátek měřicího rozsahu	23,4 mm
		Střed měřicího rozsahu	25 mm
		Konec měřicího rozsahu	29,1 mm
	Rozlišení	1280 bodů/ profil	
Frekvence profilu	Standardní	do 300 Hz	
	Vysokorychlostní	Do 2000 Hz	
Rozhraní	Ethernet GigE Vison	Výstup naměřených hodnot, řízení senzoru, přenos dat profilu	
	Digitální vstupy	Přepínání režimů, enkodér, spouštěč	
	RS422 (poloduplexní)	Výstup naměřených hodnot, řízení senzoru, spouštěč, synchronizace	
Výstup naměřených hodnot		Ethernet, RS422, analog, spínací signál	
Zdroj světla	Červený laser	≤ 8 mW	
		Standard: laser třídy 2M, polovodičový laser 658 nm	
		≤ 20 mW	
	Modrý laser	Volba: laser třídy 3B, polovodičový laser 658 nm	
		≤ 8 mW	
Vypnutí laseru	Standard: laser třídy 2M, polovodičový laser 405 nm Softwarově, hardwarové vypnutí pomocí volby/ SI		
Přípustné okolní světlo		10000 lx	
Teplotní rozsah	Úložiště	-20 až + 70 °C	
	Pracovní prostředí	0 až + 45 °C	
Hmotnost		380 g (bez kabelu)	

11.7 Vyhodnocování povrchu profilovým skenerem

Tímto typem měření se analyzovaly odchylky hran a rovinného povrchu po odlévacích cyklech. Analýza probíhala pouze na jednom typu formy z důvodu absence robota, který by zajišťoval správné nastavení měřicí polohy u každého typu formy. Tato absence je z důvodu malého časového rozvrhu, kdy bylo možné s profilovým skenerem pracovat

na analýze povrchu formy. Profilový skener byl po určitých odlévacích cyklech upevněn do stanové pozice na formě TJC.

11.7.1 Příprava před měřením

Před každým měřením formy TJC proběhla následující příprava:

1. Příprava formy

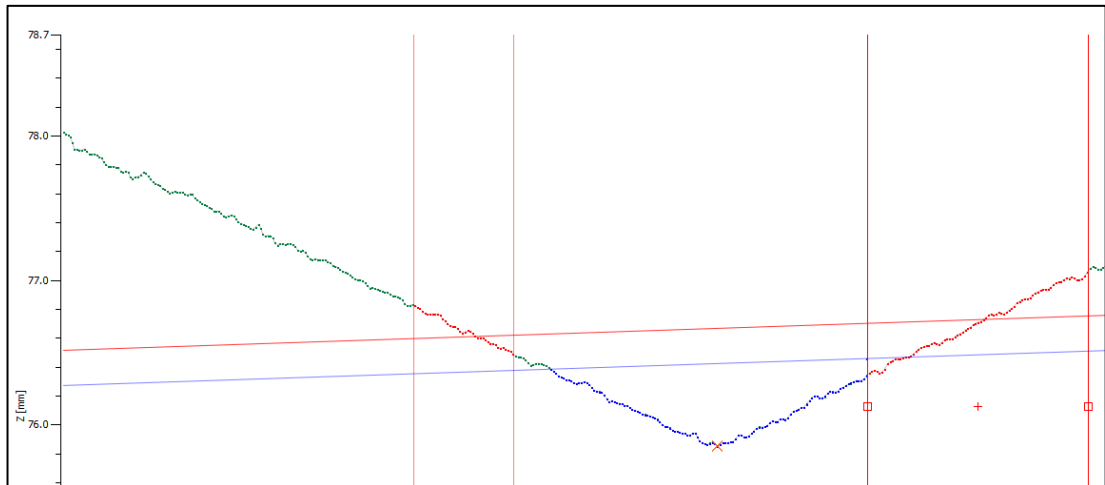
První měření proběhlo na naseparované formě, která byla opravena a dána do procesu odlévání z pracoviště údržby licích forem. Následující měření proběhlo po prvním odlití. Poté už je povrch formy měřen po určitých odlévacích cyklech.

2. Příprava přístroje

Na připraveném pracovišti kontroly povrchu forem se provedlo prvotní zapojení kabelů a adaptérů k profilovému skeneru, které jsou zapotřebí pro správné fungování, dále nastavení softwaru sCCT, který vyhodnocoval dle nastavených parametrů povrch formy. Před každým měřením se očistilo jemnou utěrkou a stlačeným vzduchem ochranné sklíčko laseru, aby nedocházelo k chybám při měření. Takto je zařízení připravené ke správné analýze povrchu formy.

3. Měření povrchu formy

Po upnutí přípravku a zapnutí profilového skeneru začal laserový snímač zaznamenávat hodnoty kritického místa na hraně a rovném povrchu formy. Tyto hodnoty jsou zobrazeny (obr. 24) a uloženy v softwaru sCCT v notebooku. Vyhodnocovací délka laserového paprsku je 29,3 mm. Tato délka byla dostačující pro porovnání hodnot znečištění hrany a rovné plochy na odlévací formě. Celé měření probíhalo za konstantní teploty a světelného záření, takže nedocházelo k žádným výkyvům v naměřených hodnotách.



Obr. 24 Příklad zobrazení naměřené hodnoty

11.8 Digitální tloušťkoměr Elcometer 456 S

Tloušťkoměr Elcometer 456 model S vyrábí společnost Elcometer a funguje na principu elektromagnetické indukce. Používá se pro měření tloušťky suchých vrstev v rozsahu 0-1500 μm . S oddělenou zakřivenou feromagnetickou sondou je možné měřit i hůře dostupná místa. Sondu je potřeba umístit kolmo k povrchu, který chceme měřit. Dokáže měřit hladký, drsný a tenký povrch. Pro opakovatelnost měření je potřeba u tohoto typu vždy sondu zvednout a zase přiložit na měřený povrch. Přístroj zvládá vyhodnocovat i více než 70 měření za minutu s přesností $\pm 2,5 \mu\text{m}$. Díky své vícenásobné kalibrační paměti není potřeba vždy před každým měřením znovu jednotlivé povrchy kalibrovat, ale v paměti přístroje už stačí zvolit předem nastavený/ zkalibrovaný povrch. Ke kalibraci jsou zapotřebí kalibrační fólie s různou tloušťkou vrstvy. Paměť přístroje si pamatuje až 1500 naměřených hodnot.

Přístroj je zcela utěsněný a jeho tělo je pogumované, takže je vůči nárazům, vodě a prachu zcela odolný. Také displej je odolný vůči poškrábání a rozpouštědlům (dle IP65). Přístroj má datový výstup přes USB a Bluetooth, takže je snadné se propojit se softwarem ElcoMaster. [50]

11.9 Vyhodnocování povrchu přístrojem Elcometer 456 S

Tento přístroj dovolil analyzovat tloušťku znečištění pouze rovinné plochy, protože se sondou není možné kontrolovat hranu formy. Měření probíhalo na všech čtyřech typech forem. Vzhledem k tomu, že se jedná o ruční přístroj, tak práce s ním byla velmi jednoduchá a dalo se s ním pracovat okamžitě bez použití jakýkoliv dalších pomocných přípravků.

11.9.1 Příprava před měřením

Před každým měřením proběhla následující příprava:

1. Příprava formy

Stejně jako v předchozích dvou případech i tady proběhlo první měření na naseparovaných formách, které byly připraveny do odlévacího procesu. Následovalo měření po prvním odlití a dále se měřil povrch formy po určitých odlévacích cyklech.

2. Příprava přístroje

Vzhledem k tomu, že přístroj je používán v běžném pracovním procesu vstupní kontroly při měření tloušťky suchého nátěru na hliníkových odlitcích, nebylo nutné přístroj speciálně nastavovat. Pouze pro 100 % jistotu správného měření přístroje před tímto způsobem měření proběhla kalibrace přístroje od firmy MB Calibr. Dále byla provedena interní kalibrace na přesně daný typ analyzovaného povrchu a druhu materiálu, ze kterého je forma složena.

3. Měření povrchu formy

Na povrch formy se položila feromagnetická sonda, která je připojena k přístroji Elcometer 456 S. Okamžitě po přiložení, je na displeji přístroje vidět naměřená hodnota (obr. 25) vrstvy znečištění. Tato hodnota je udávána v mikrometrech. Díky rychlé odezvě sondy, která pracuje na principu elektromagnetické indukce proběhlo měření kritických míst povrchu formy velmi rychle.



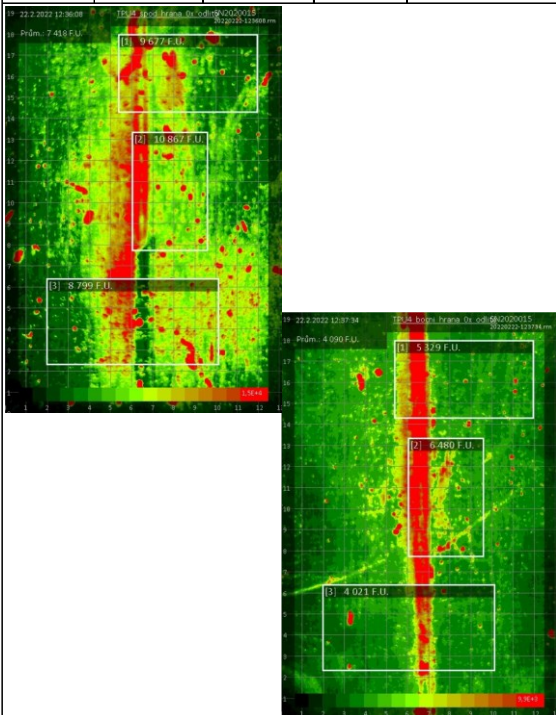

Obr. 25 Příklad zobrazení naměřené hodnoty

11.10 Měření napálení na jednotlivých formách

Výsledky měření jsou uvedeny v tab. 4 až 35. V každé tabulce je uveden typ formy, počet cyklů, typ měřidla, dále dle typu měřidla i naměřená průměrná nebo výsledná hodnota a na závěr komentář s vizualizací znečištěné plochy.

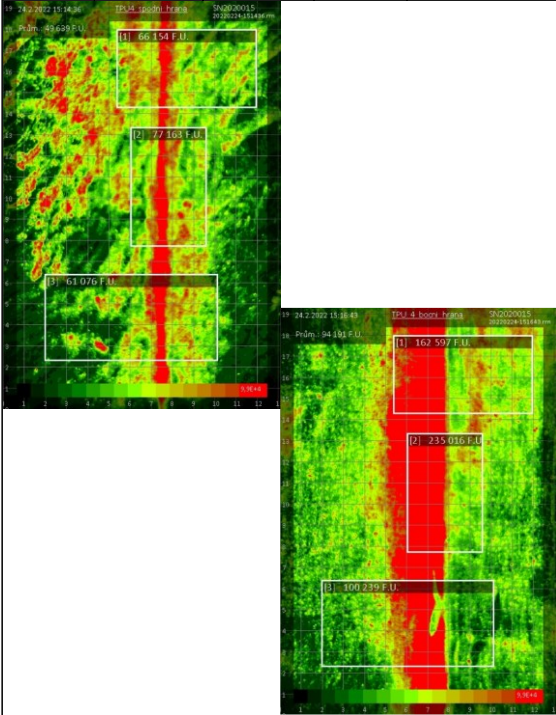

11.10.1 Naměřené hodnoty na formě TPU 4

Tab. 7 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 0 cyklů – naseparová forma

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TPU	0	Recognoil 2W	Spodní	7418	Elcometer 456 S	0,5	
			Boční	4090		0,8	
					Vizuální kontrola	Na povrchu formy je rovnoměrně nanesený separátor.	
							

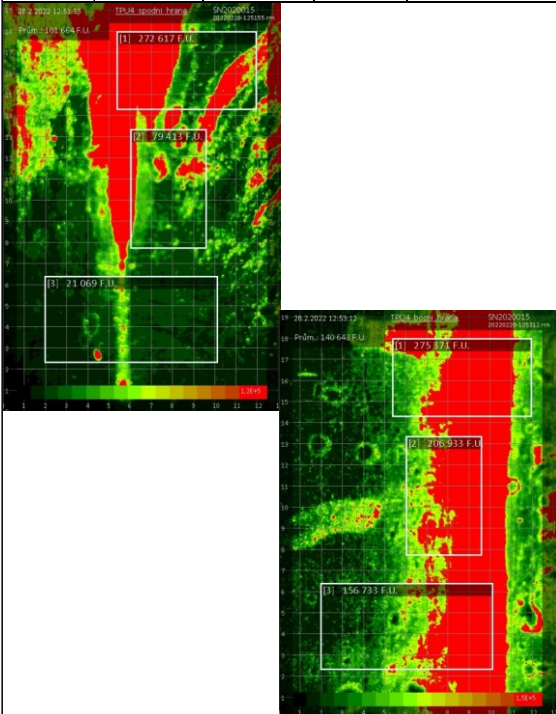

Tab. 8 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 2 cykly

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TPU	2	Recognoil 2W	Spodní	49639	Elcometer 456 S	0,6	
			Boční	94191		0,9	
					Vizuální kontrola	Povrch formy je bez napáleného separátoru.	

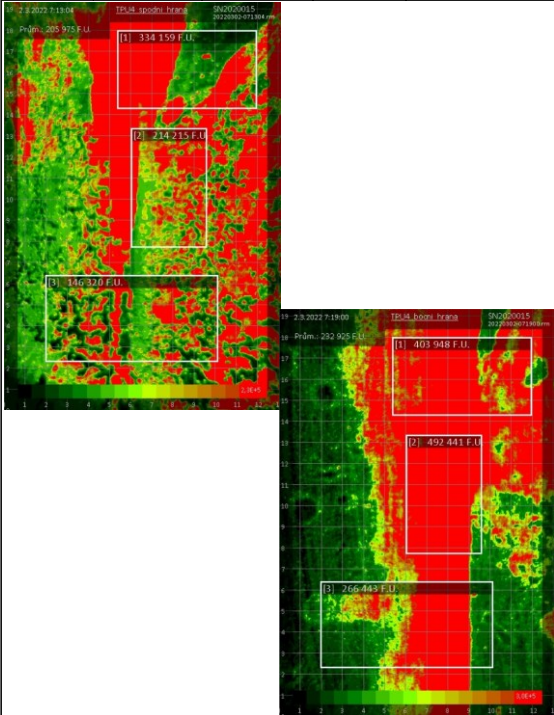




Tab. 9 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 5 cyklů

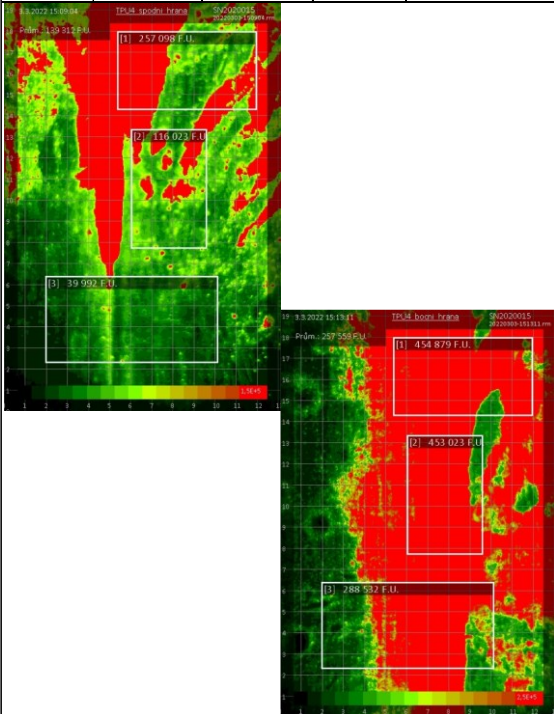

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TPU	5	Recognoil 2W	Spodní	101664	Elcometer 456 S	0,8	
			Boční	140643		1	
					Vizuální kontrola	Napálený separátor je v hranách formy.	

Tab. 10 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 6 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TPU	6	Recognoil 2W	Spodní	205975	Elcometer 456 S	6	
			Boční	232925		7,5	
					Vizuální kontrola	Napálený separátor je v hranách formy.	
							

Tab. 11 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 8 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TPU	8	Recognoil 2W	Spodní	139312	Elcometer 456 S	1,2	
			Boční	257559		6,4	
					Vizuální kontrola	Napálený separátor je v hranách i na ploše formy.	
							

Tab. 12 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 68 cyklů

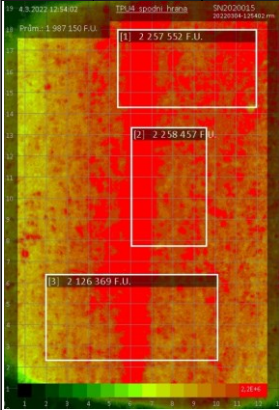
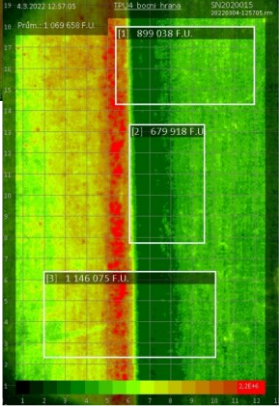

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TPU	68	Recognoil 2W	Spodní	325873	Elcometer 456 S	7,8	
			Boční	292520		6,3	
					Vizuální kontrola	Napálený separátor je v hranách a přibližně 10 mm od hrany formy.	

Tab. 13 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 137 cyklů

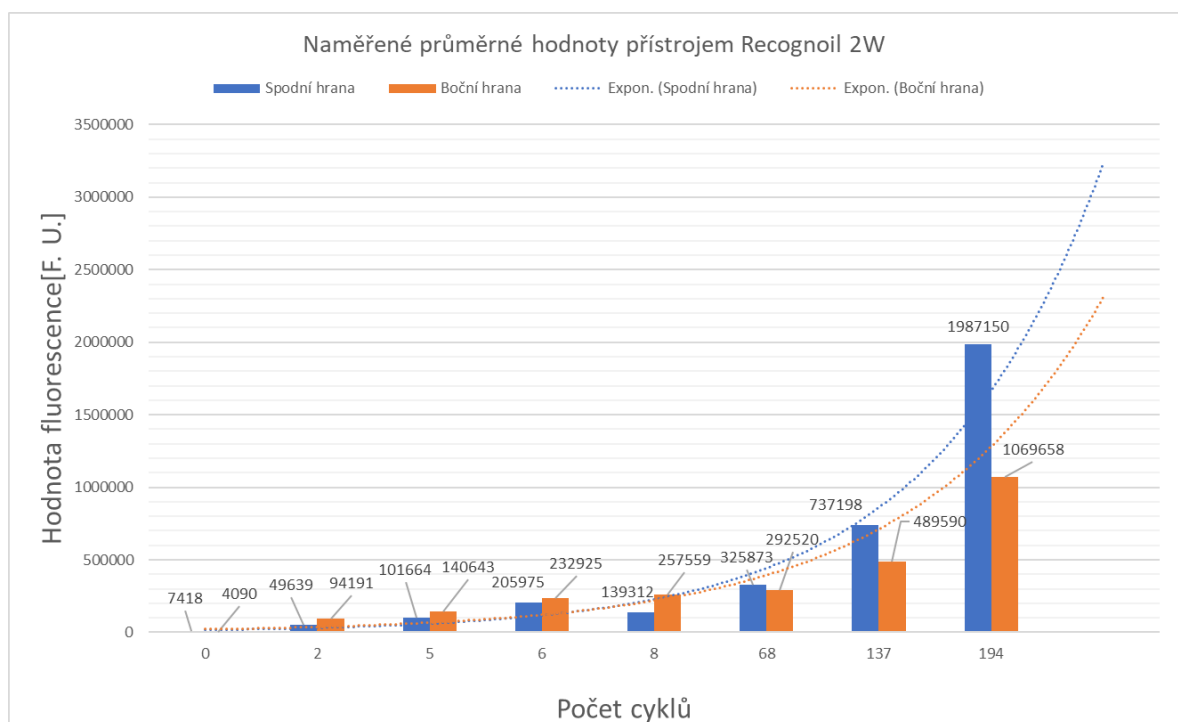
Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TPU	137	Recognoil 2W	Spodní	737198	Elcometer 456 S	44	
			Boční	489590		20	
					Vizuální kontrola	V hranách i na povrchu formy je silný nános separátoru.	

Tab. 14 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 194 cyklů

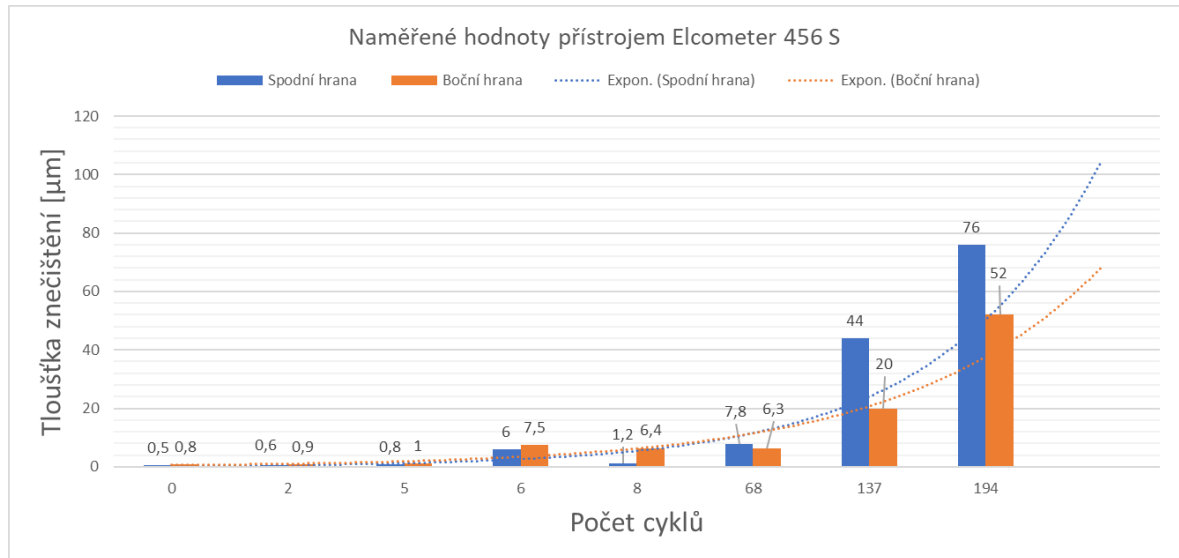
Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TPU	194	Recognoil 2W	Spodní	1987150	Elcometer 456 S	76	Vizuální kontrola
			Boční	1069658		52	
					V hranách i na povrchu formy je silný nános separátoru.		

V grafech 1 až 2 jsou znázorněny souhrnně k jednotlivým cyklům výsledné hodnoty fluorescence a tloušťky znečištění na povrchu formy.



Graf 1 Naměřené průměrné hodnoty přístrojem Recognoil 2W na formě TPU 4



Graf 2 Naměřené hodnoty přístrojem Elcometer 456 S na formě TPU 4

11.10.2 Interpretace dosažených výsledků na formě TPU 4

První měření na formě TPU proběhlo ještě před samotným litím, tzn. pouze na naseparované formě. Naměřené hodnoty, které se pohybovaly od 4090 do 7420 F. U., tak i samotné snímky ukazují, že data odpovídají intenzitě fluorescence separačního oleje. Z hlediska tloušťky znečištění se dají považovat hodnoty od 0,5 do 0,8 μm za základní hodnotu naneseného povlaku separačního oleje na tomto typu formy. Vizuální kontrolou se zkontrolovalo, že je nanášeno správné množství separačního prostředku.

Následná měření probíhali po 2., 5., 6., 8., poté se zkontrolovala forma při 68., 137. a 194. cyklu. Dle naměřených hodnot je patrné, že intenzita fluorescence i tloušťka znečištění stoupá. Mezi 6. a 8. cyklem došlo při údržbě formy, které se provádí po každém procesu lití k důkladnějšímu očištění spodní části formy a proto je tam mírný pokles znečištění. Poté už jsou hodnoty stejnoměrné v závislosti na počtech cyklů.

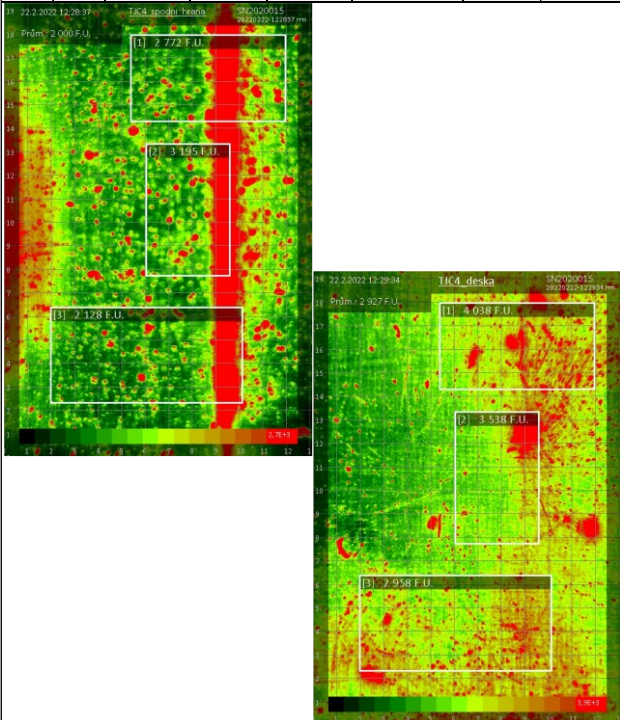

11.10.3 Diskuze k dalšímu postupu kontroly

Z obou dvou grafů lze vyčíst, že míra znečištění formy se po určitých cyklech exponenciálně zvyšuje s počtem cyklů. Proto je zapotřebí zkontrolovat formu jakmile dosáhne 80. cyklu. Je důležité přeměřit kritická místa formy měřicími přístroji, a společně s vizuální zkouškou zhodnotit povrch formy. Pokud se ukáže, že míra fluorescence bude do hodnoty 500 000 F. U. a zároveň tloušťka znečištění nepřesáhne hodnotu 8,5 μm , musí k dalšímu měření dojít při 100. cyklu formy. Od 100. cyklu, je důležité kontrolovat formu každých 10 cyklů. Kritická hodnota pro životnost formy je 500 000 F. U. a zároveň tloušťka

znečištění 8,5 μm. Jakmile, je naměřená hodnota nad hranicí jedné z nich, je zapotřebí přestat odlévat a dát formu na očištění.

11.10.4 Naměřené hodnoty na formě TJC 4

Tab. 15 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 0 cyklů – naseparová forma

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená hodnota [mm]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]
TJC	0	Recognoil 2W	Spodní hr. Deska	2000 2927	ScanCONTROL 2910-25	Spodní hr. Deska	76,000 0,000	Elcometer 456 S	0,4 0,5
								Vizuální kontrola	Povrch formy je bez nečistot a je na něm rovnoměrně
									

Tab. 16 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 2 cykly

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená hodnota [mm]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TJC	2	Recognoil 2W	Spodní hr. Deska	42605 7778	ScanCONTROL 2910-25	Spodní hr. Deska	75,991 0,049	Elcometer 456 S	0,5 0,5	Vizuální kontrola V hranách i na povrchu je viditelně napálený separátor.

Tab. 17 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 3 cykly

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená hodnota [mm]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TJC	3	Recognoil 2W	Spodní hr. Deska	49866 7319	ScanCONTROL 2910-25	Spodní hr. Deska	75,986 0,050	Elcometer 456 S	0,7 0,6	Vizuální kontrola V hranách i na povrchu je viditelně napálený separátor.

Tab. 18 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 6 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená hodnota [mm]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TJC	6	Recognoil 2W	Spodní hr. Deska	57272 7340	ScanCONTROL 2910-25	Spodní hr. Deska	75,980 0,068	Elcometer 456 S	1,2 0,8	Vizuální kontrola V hranách i na povrchu je větší vrstva napáleného separátoru.

Tab. 19 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 7 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená hodnota [mm]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TJC	7	Recognoil 2W	Spodní hr. Deska	19517 9276	ScanCONTROL 2910-25	Spodní hr. Deska	75,974 0,074	Elcometer 456 S	1,5 0,8	Vizuální kontrola V hranách i na povrchu je viditelně napálený separátor.

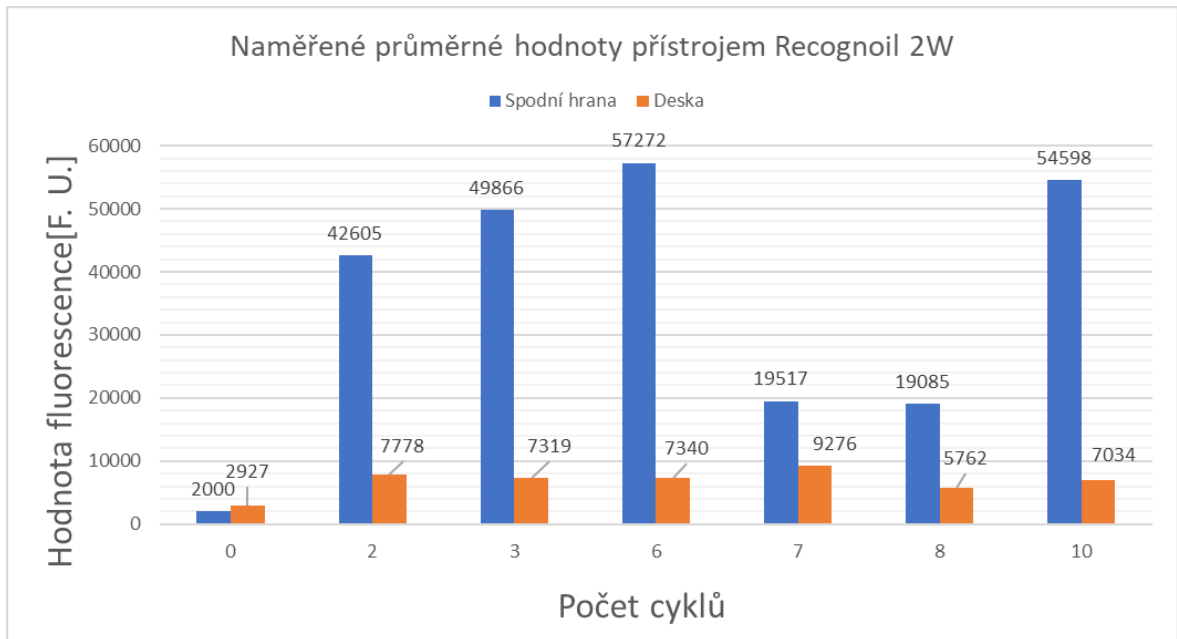
Tab. 20 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 8 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená hodnota [mm]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TJC	8	Recognoil 2W	Spodní hr. Deska	19085 5762	ScanCONTROL 2910-25	Spodní hr. Deska	75,970 0,080	Elcometer 456 S	1,9 1,1	Vizuální kontrola V hranách i na povrchu je viditelně napálený separátor.

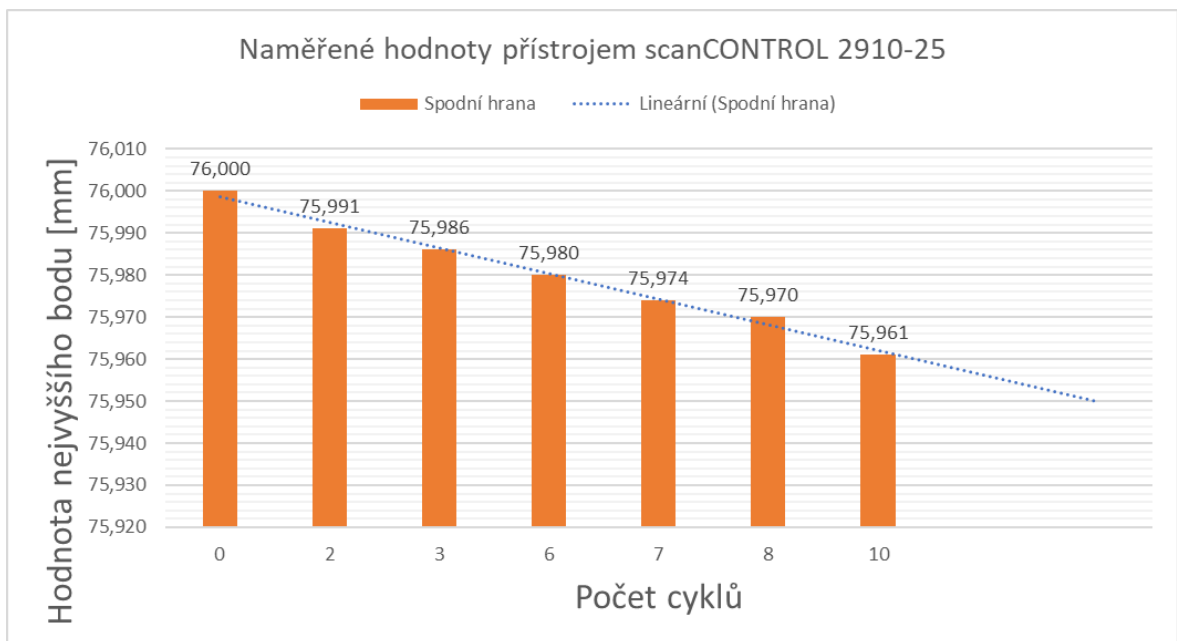
Tab. 21 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 10 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Měřené místo	Naměřená hodnota [mm]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
TJC	10	Recognoil 2W	Spodní hr. Deska	54598 7034	ScanCONTROL 2910-25	Spodní hr. Deska	75,961 0,092	Elcometer 456 S	2,5 1,1	Vizuální kontrola V hranách i na povrchu je větší vrstva napáleného separátoru.

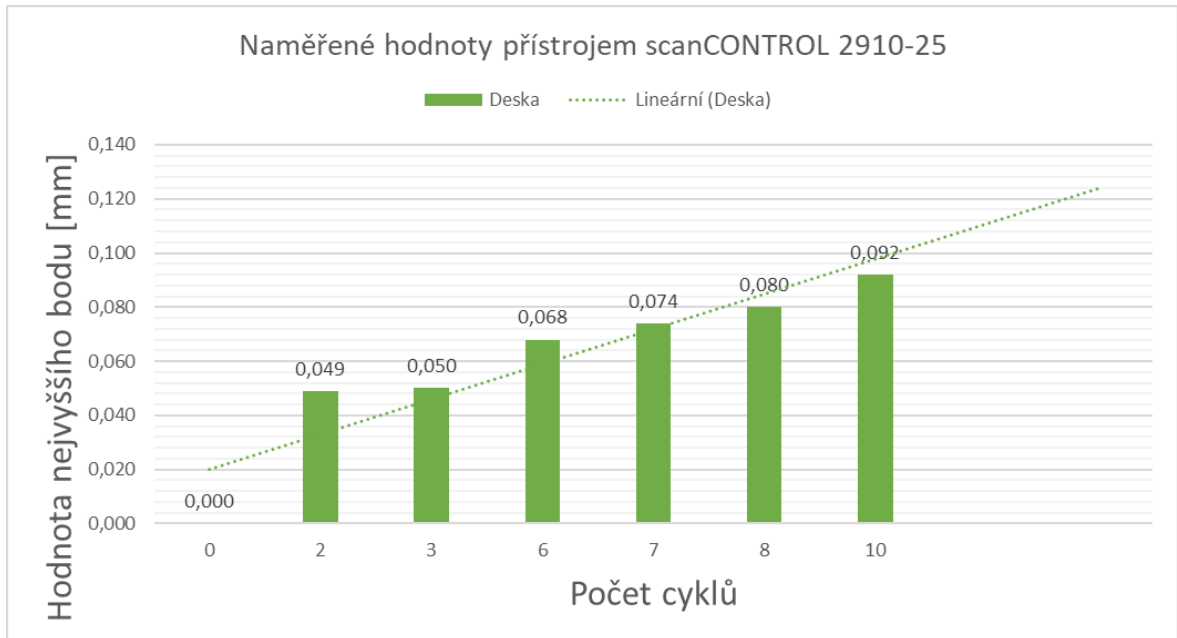
V grafech 3 až 6 jsou znázorněny souhrnně k jednotlivým cyklům výsledné hodnoty fluorescence a tloušťky znečištění na povrchu formy. U grafu číslo 3 jsou hodnoty vzestupně dolů, protože přístroj pracuje na základě rozdílů hodnot. Čím menší je vzdálenost čočky od měřeného povrchu, tak se naměřená hodnota bude zmenšovat.



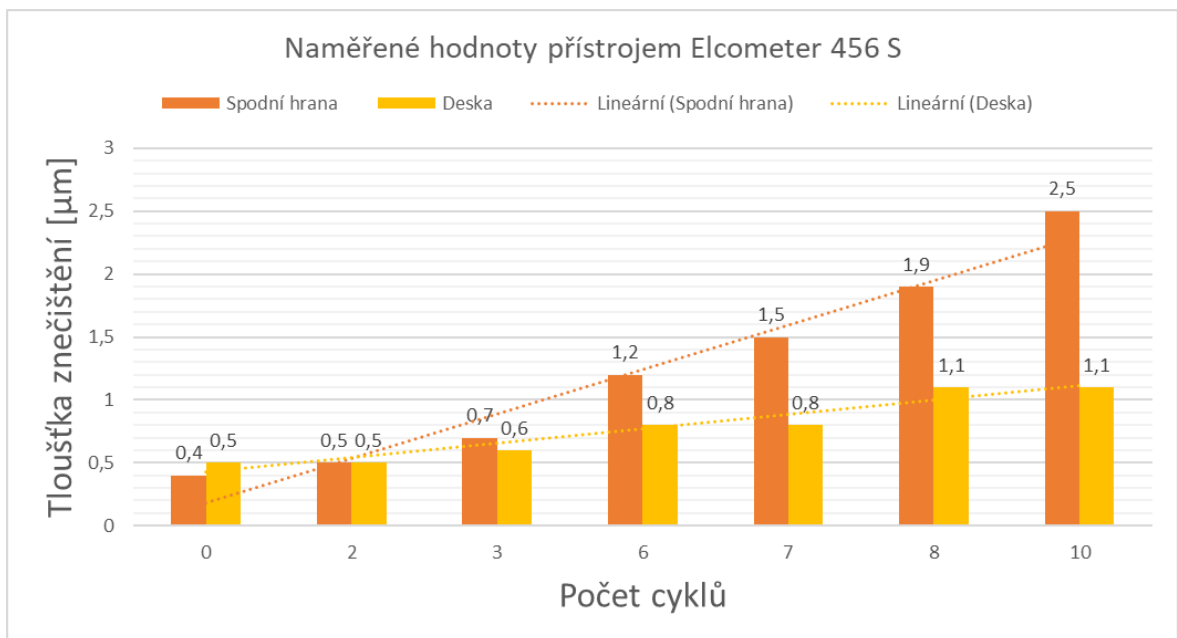
Graf 3 Naměřené průměrné hodnoty přístrojem Recognoil 2W na formě TJC 4



Graf 4 Naměřené hodnoty přístrojem scanCONTROL 2910-25 na formě TJC 4



Graf 5 Naměřené hodnoty přístrojem scanCONTROL 2910-25 na formě TJC 4



Graf 6 Naměřené hodnoty přístrojem Elcometer 456 S na formě TJC 4

11.10.5 Interpretace dosažených výsledků na formě TJC 4

První měření na formě TJC 4 proběhlo ještě před samotným litím, tzn. pouze na naseparované formě. Průměrná naměřená hodnota spodní hran byla 2000 a desky formy 2927 F. U. Snímky ukazují, že data odpovídají intenzitě fluorescence separačního oleje. Z hlediska tloušťky znečištění se můžou považovat hodnoty 0,4 a 0,5 μm za základní hodnotu naneseného povlaku separačního oleje na tomto typu formy. Vizualní kontrolou se zkontrolovalo, že je nanášeno správné množství separačního prostředku.

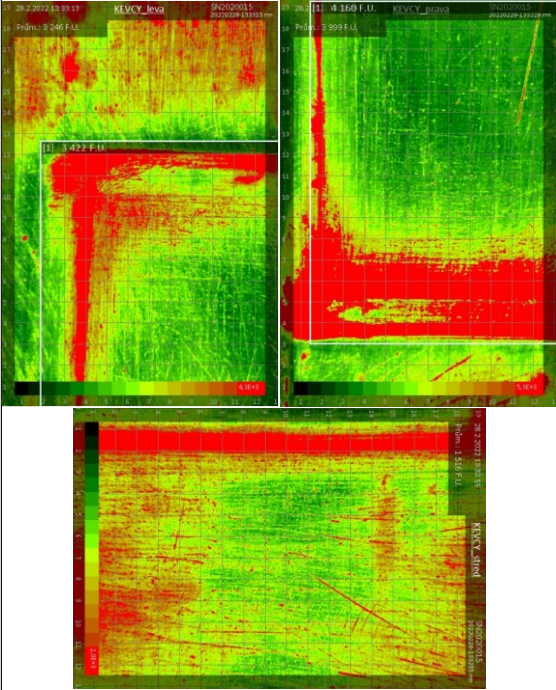

Následná měření probíhali po 2., 3., 6., 7., 8. a 10. cyklu. Mezi jednotlivými procesy lití probíhalo jemné čištění formy. Takové čištění proběhlo do 6. cyklus. Pro 7. cyklus se hrana i deska očistila důkladněji a hned se tento proces projevil na hodnotách fluorescence. Už méně na tloušťce samotného znečištění, protože hodnoty, které nám ukázaly přístroje Elcometer 456 S a profilový skener jsou v podstatě neměnná. Mezi 8. až 10. cyklech muselo dojít ke špatnému čištění povrchu, protože tady se hodnoty výrazně zvýšily.

11.10.6 Diskuze k dalšímu postupu kontroly

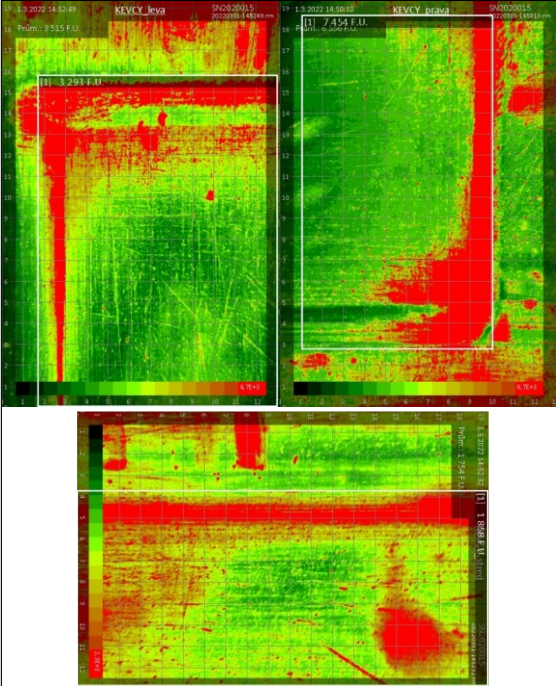
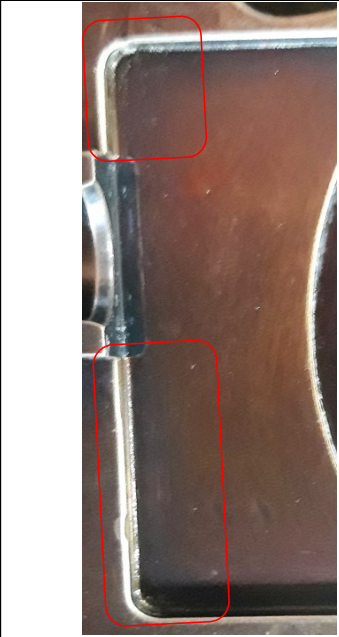
Z grafů, které ukazují přístroje Elcometer a profilový skener lze říci, že míra znečištění formy se lineárně zvyšuje s počtem cyklů. Z průměrných hodnot fluorescence lze říci, že je zapotřebí více dbát na čistotu forem, přesně jak se to projevilo mezi 6. a 7. cyklem, kde se ukázal rapidní pokles znečištěné hrany formy. Pro další kontrolu je zapotřebí zkontrolovat formu při 50. cyklu. Je důležité přeměřit kritická místa formy měřícími přístroji, a společně s vizuální zkouškou zhodnotit povrch formy. Pokud se ukáže, že míra fluorescence bude do hodnoty 500 000 F. U. a zároveň tloušťka znečištění nepřesáhne hodnotu 8,5 μm , musí k dalšímu měření dojít při 70. cyklu formy. Od 70. cyklu, je důležité kontrolovat formu každých 10 cyklů. Kritická hodnota pro životnost formy je 500 000 F. U. a zároveň tloušťka znečištění 8,5 μm . Jakmile, je naměřená hodnota nad hranicí jedné z nich, je zapotřebí přestat odlévat a dát formu na očištění.

11.10.7 Naměřené hodnoty na formě KEVCY

Tab. 22 Výsledné měření čistoty povrchu formy KEVCY, 0 cyklů – naseparová forma

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
KEVCY	0	Recognoil 2W	Pravá	4160	Elcometer 456 S	1,1	
			Střed	1516		1,0	
			Levá	3422		1,2	
						Vizuální kontrola	Na povrchu formy není viditelné napálení.
							

Tab. 23 Výsledné měření čistoty povrchu formy KEVCY, 12 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
KEVCY	12	Recognoil 2W	Pravá	7454	Elcometer 456 S	1,9	
			Střed	1858		1	
			Levá	3293		1,2	
						Vizuální kontrola	Na povrchu formy není viditelné napálení.
							

Tab. 24 Výsledné měření čistoty povrchu formy KEVCY, 21 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
KEVCY	21	Recognoil 2W	Pravá	15430	Elcometer 456 S	2,4	Vizuální kontrola
			Střed	8256		1,7	
			Levá	10606		2,0	
						Na povrchu formy je slabá vrstva napálení	

Tab. 25 Výsledné měření čistoty povrchu formy KEVCY, 31 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
KEVCY	31	Recognoil 2W	Pravá	131365	Elcometer 456 S	3,3	Vizuální kontrola
			Střed	67130		2,5	
			Levá	111251		2,9	
						Na povrchu formy je viditelné napálení formy.	

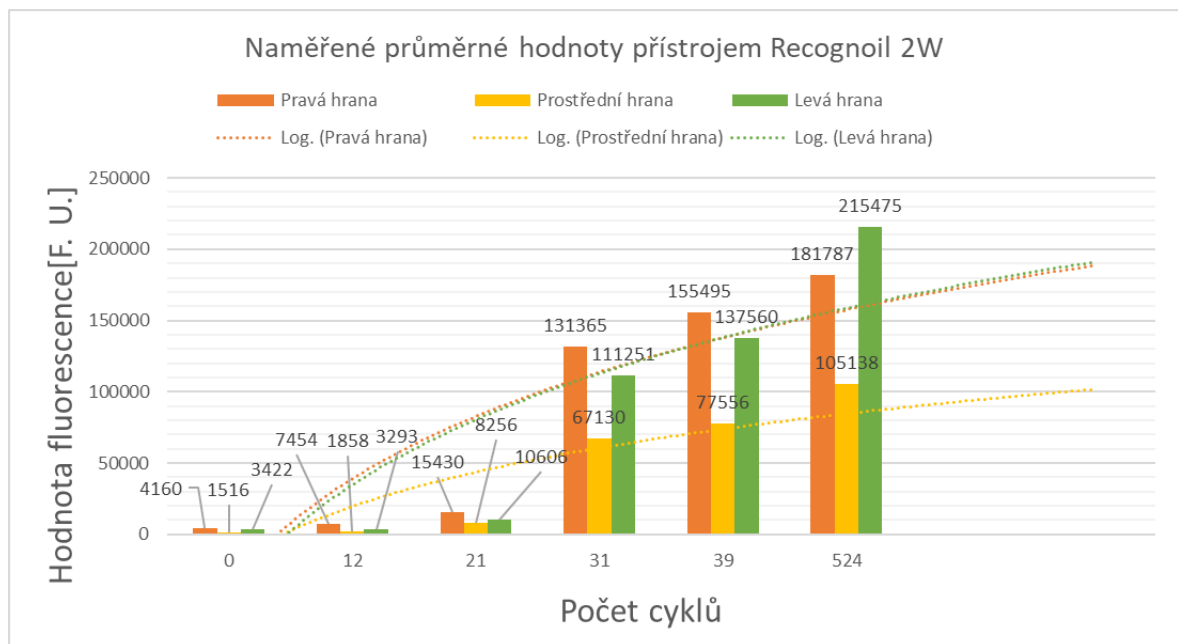
Tab. 26 Výsledné měření čistoty povrchu formy KEVCY, 39 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
KEVCY	39	Recognoil 2W	Pravá	155495	Elcometer 456 S	4,1	
			Střed	77556		2,6	
			Levá	137560		3,1	
					Vizuální kontrola	Na povrchu formy je viditelné silné napálení formy.	

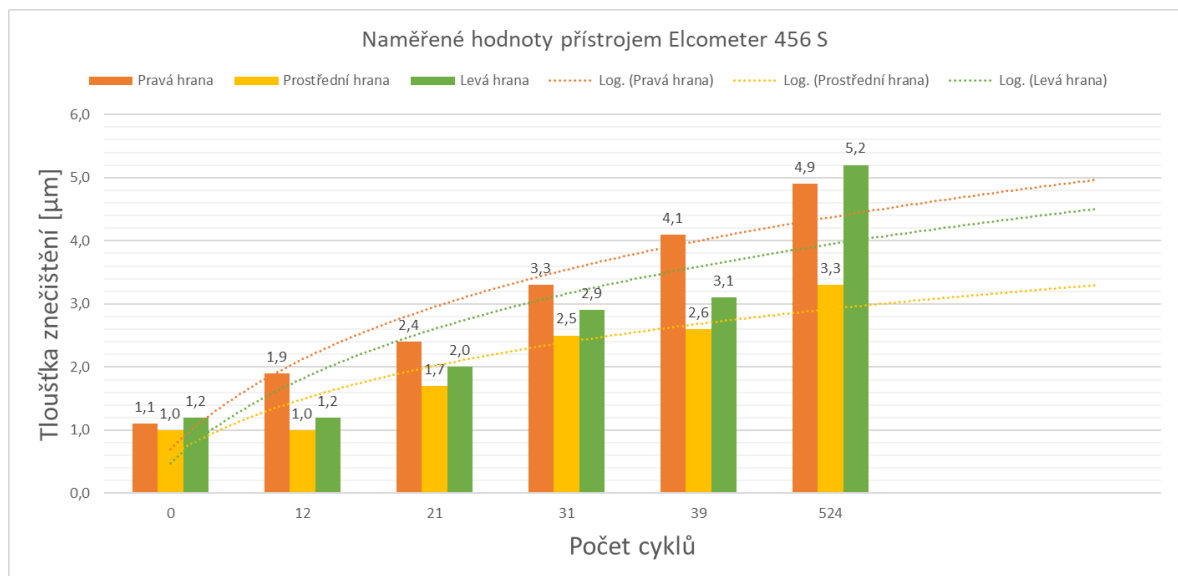
Tab. 27 Výsledné měření čistoty povrchu formy KEVCY, 524 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Typ hrany	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]	
KEVCY	524	Recognoil 2W	Pravá	181787	Elcometer 456 S	4,9	
			Střed	105138		3,3	
			Levá	215475		5,2	
					Vizuální kontrola	Na povrchu formy je viditelné napálení formy.	

V grafech 7 až 8 jsou znázorněny souhrnně k jednotlivým cyklům výsledné hodnoty fluorescence a tloušťky znečištění na povrchu formy.



Graf 7 Naměřené průměrné hodnoty přístrojem Recognoil 2W na formě KEVCY



Graf 8 Naměřené hodnoty přístrojem Elcometer 456 S na formě KEVCY

11.10.8 Interpretace dosažených výsledků na formě KEVCY

První měření na formě KEVCY proběhlo ještě před samotným litím, pouze na naseparované formě. Naměřené hodnoty, které se pohybovaly od 1500 do 4200 F. U., tak i samotné snímky ukazují, že data odpovídají intenzitě fluorescence separačního oleje. Z hlediska tloušťky znečištění se dají považovat hodnoty od 1,0 do 1,2 μm za základní

hodnotu naneseného povlaku separačního oleje na tomto typu formy. Vizuální kontrolou se zkontrolovalo, že je nanášeno správné množství separačního prostředku.

Následná měření probíhala po 12., 21., 31., 39. a 524. cyklu. Dle naměřených hodnot, je patrné, že intenzita fluorescence i tloušťka znečištění stoupá. Naměřené hodnoty při 39. cyklu byly od 78 tis. až do hodnoty 156 tis. F. U., ale nemají vliv na povrchovou kvalitu odlitku. Další měření proběhlo při 524. cyklu. Hodnoty se oproti předchozím měření nezvýšily natolik, a podle toho lze předpokládat, že hodnoty dalšího znečištění, porostou nahoru podle dané logaritmické křivky, v závislosti na počtu cyklů formy.

11.10.9 Diskuze k dalšímu postupu kontroly

Z obou dvou grafů lze vyčíst, že míra znečištění formy se lineárně zvyšuje s počtem cyklů. Proto je vhodné zkontrolovat formu jakmile dosáhne 600. cyklu. Je zapotřebí přeměřit kritická místa formy měřicími přístroji, a společně s vizuální zkouškou zhodnotit povrch formy. Pokud se ukáže, že míra fluorescence bude do hodnoty 300 000 F. U. a zároveň tloušťka znečištění nepřesáhne hodnotu 6 μm , musí k dalšímu měření dojít při 50. cyklu formy. Od 800. cyklu, je důležité kontrolovat formu každých 50 cyklů. Kritická hodnota pro životnost formy je 500 000 F. U. a zároveň tloušťka znečištění 8 μm . Jakmile, je naměřená hodnota nad hranicí jedné z nich, je zapotřebí přestat odlévat a dát formu na očištění.

11.10.10 Naměřené hodnoty na formě KOKM

Tab. 28 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 0 cyklů – naseparová forma

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]
KOKM	0	Recognoil 2W	1065	Elcometer 456 S	0,5
				Vizuální kontrola	Povrch formy je bez nečistot a je na něm rovnoměrně nanesený separátor.

Tab. 29 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 2 cykly

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]
KOKM	2	Recognoil 2W	4306	Elcometer 456 S	0,7
				Vizuální kontrola	Na povrchu formy je rovnoměrná vrstva separátoru a drobné nečistoty, které jdou lehce setřít.

Tab. 30 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 5 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]
KOKM	5	Recognoil 2W	16226	Elcometer 456 S	1
				Vizuální kontrola	Na povrchu formy je vrstva separátoru a nečistoty, které jdou lehce setřít.

Tab. 31 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 12 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]
KOKM	12	Recognoil 2W	24484	Elcometer 456 S	1,4
			Vizuální kontrola	Na povrchu formy jsou místa s napáleným separátorem.	

Tab. 32 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 14 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]
KOKM	14	Recognoil 2W	29019	Elcometer 456 S	1,7
			Vizuální kontrola	Povrch formy je matný od napáleného separátoru.	

Tab. 33 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 17 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]
KOKM	17	Recognoil 2W	74523	Elcometer 456 S	2
				Vizuální kontrola	Povrch formy je matný od napáleného separátoru. Místa, která se nečistí je zhoršená kvalita povrchu.

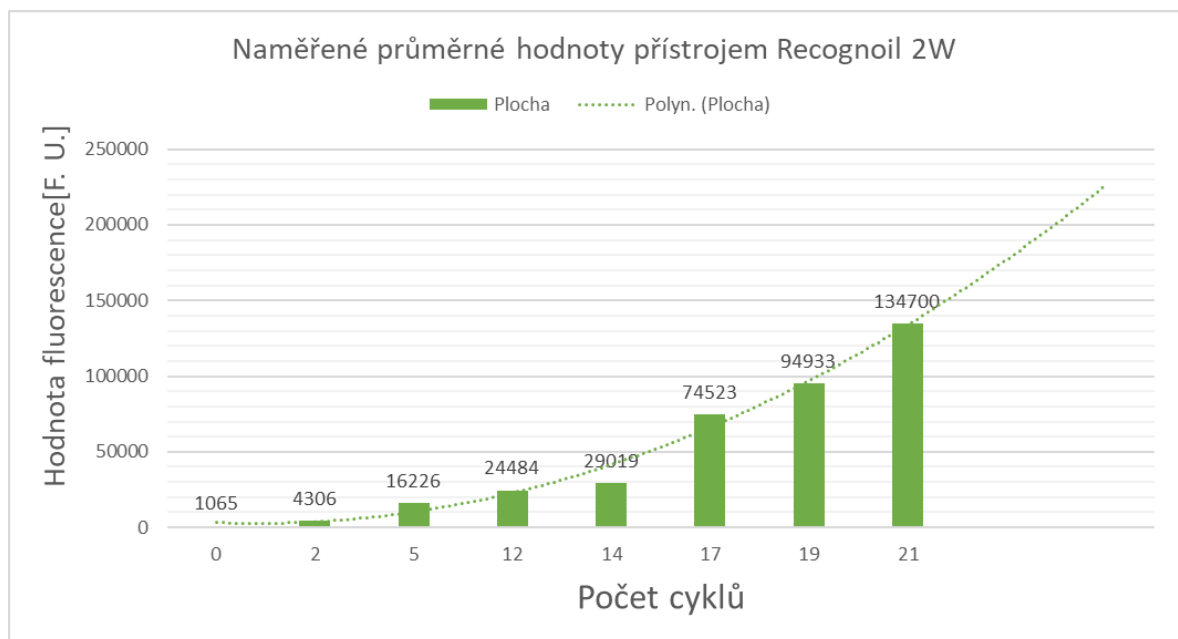
Tab. 34 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 19 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]
KOKM	19	Recognoil 2W	94933	Elcometer 456 S	3,2
				Vizuální kontrola	Na většině místech formy, jsou místa se silně napáleným separátorem.

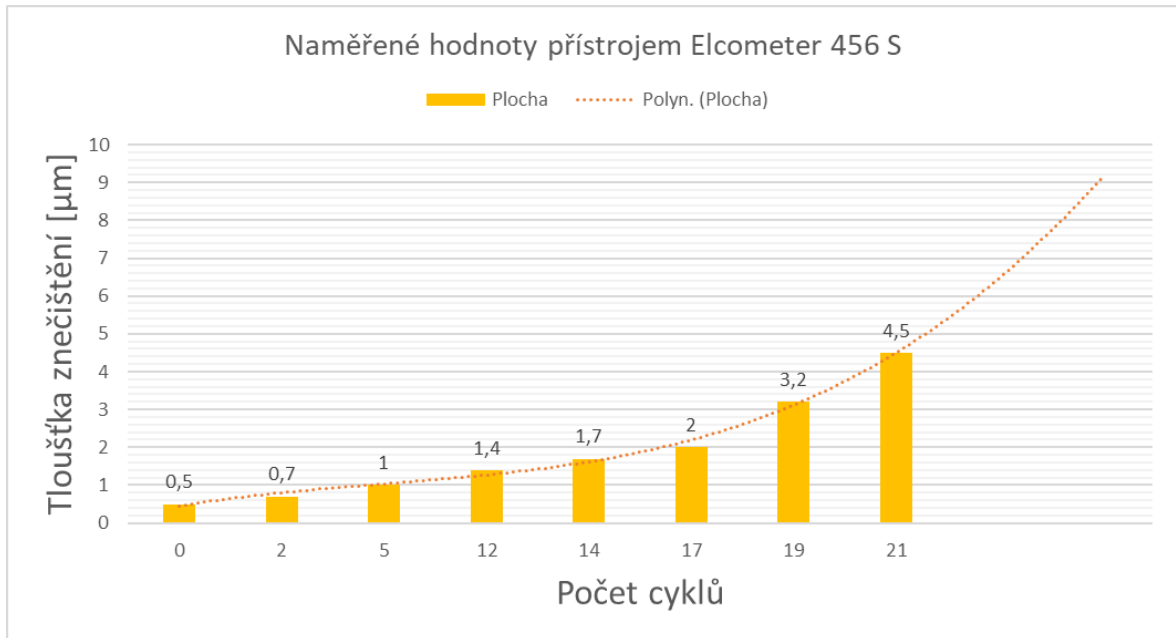
Tab. 35 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 21 cyklů

Typ formy	Počet cyklů	Typ měřidla	Naměřená prům. hodnota [F. U.]	Typ měřidla	Naměřená hodnota [μm]
KOKM	21	Recognoil 2W	134700	Elcometer 456 S	4,5
				Vizuální kontrola	Na většině místech formy, jsou místa se silně napáleným separátorem.

V grafech 9 až 10 jsou znázorněny souhrnně k jednotlivým cyklům výsledné hodnoty fluorescence a tloušťky znečištění na povrchu formy.



Graf 9 Naměřené průměrné hodnoty přístrojem Recognoil 2W na formě KOKM



Graf 10 Naměřené hodnoty přístrojem Elcometer 456 S na formě KOKM

11.10.11 Interpretace dosažených výsledků na formě KOKM

První měření na formě KOKM proběhlo ještě před samotným litím, tzn. pouze na naseparované formě. Naměřená průměrná hodnota na formě je 1065 F. U., i samotný snímek ukazuje, že data odpovídají intenzitě fluorescence separačního oleje. Z hlediska tloušťky znečištění se dá považovat hodnota 0,5 µm za základní hodnotu naneseného povlaku separačního oleje na tomto typu formy. Vizuelní kontrolou se zkontrolovalo, že je nanášeno správné množství separačního prostředku.

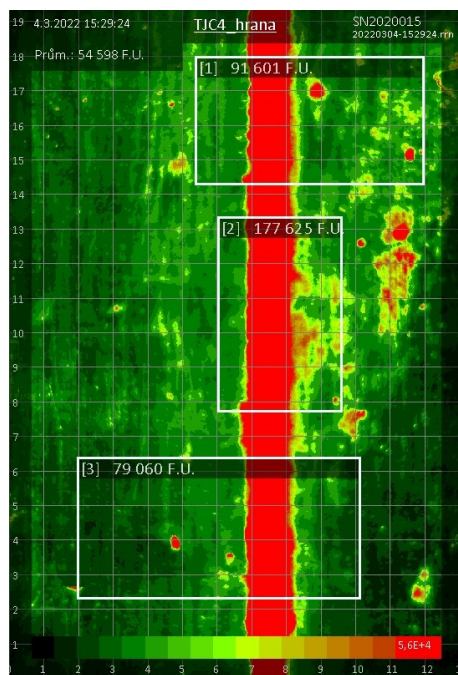
Následná měření probíhala po 2., 5., 12., 14., 17., 19. a 21. cyklu. Dle naměřených hodnot je patrné, že intenzita fluorescence i tloušťka znečištění stoupá.

11.10.12 Diskuze k dalšímu postupu kontroly

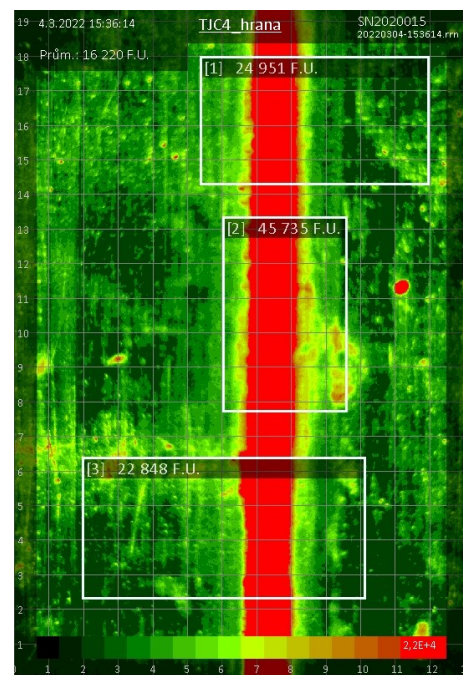
Z obou dvou grafů lze vyčíst, že míra znečištění formy se po určitých cyklech exponenciálně zvyšuje s počtem cyklů. Proto je zapotřebí zkontrolovat formu jakmile dosáhne 50. cyklu. Je důležité přeměřit kritická místa formy měřicími přístroji, a společně s vizuelní zkouškou zhodnotit povrch formy. Pokud se ukáže, že míra fluorescence bude do hodnoty 500 000 F. U. a zároveň tloušťka znečištění nepřesáhne hodnotu 7 µm, musí k dalšímu měření dojít při 70. cyklu formy. Od 70. cyklu, je důležité kontrolovat formu každých 10 cyklů. Kritická hodnota pro životnost formy je 500 000 F. U. a zároveň tloušťka znečištění 7 µm. Jakmile, je naměřená hodnota nad hranicí jedné z nich, je zapotřebí přestat odlévat a dát formu na očištění.

11.11 Údržba a čištění forem

Ze všech naměřených dat vyplynulo, že je zapotřebí mít kvalitně podchycenou údržbu forem během odlévacích cyklů. Není dostatečné čistit stlačeným vzduchem pouze na první pohled viditelné nečistoty jako např. zbytky epoxidové pryskyřice a prach z povrchu formy, ale i v prvních fázích cyklů neviditelné nečistoty a to je napálený separátor. Tato špatná údržba povrchu se projeví po několika desítkách cyklů na povrchové kvalitě formy a odlitků. Pro tento účel čištění je dostačující prachová utěrka a stlačený vzduch. Rozdíl hodnot “znečištěné” a “očištěné” formy je přibližně v průměru 38 000 F. U.. V označeném místě 2 lze vidět, že v neočištěné hraně na obr. 26 se naměřila průměrná hodnota 177 625 F. U. a poté na stejném místě v očištěné hraně na obr. 27 se naměřila průměrná hodnota 45 735 F. U..



Obr. 26 Znečištěný povrch (hrana) formy



Obr. 27 Očištěný povrch (hrana) formy

Z naměřených hodnot a vizuální kontroly před prvním odléváním je čištění forem, které probíhá po uplynutí cyklické doby odlévání formy v pořádku. Čistota ultrazvukové lázně, časový rozvrh čistícího procesu a další operace, které jsou před i po tomto procesu čištění jsou dělány s dostatečnou pečlivostí.

11.12 Katalog forem

Seznam všech forem je nyní řešen přehledně v tabulce, která obsahuje všechny důležitá data jako jsou: typ formy, úplné označení formy, materiál ze kterého se forma skládá, název přípravku a mnoho dalších informací.

Tab. 36 Seznam vakuových forem

Outdoor VAC Formy			
Typ	Úplné označení formy	Materiál	Poznámka
TDO 6	X	x	x
TJO 6	X	x	x
TJO 6	X	x	x
VOG 24	X	x	x
VOG 24	X	x	x

Je zde nyní i přehledně zpracovaný seznam forem pod kterým tagem ji ve výrobě lze nalézt. Dále pro jaký transformátor se forma používá, výrobce země a jeho původ.

Tab. 37 Ukázka seznamu forem s přiděleným tagem a popisem výrobce

Název SAP	Číslo na tagu	Označení ABB	Úplné označení formy	Forma	Výrobce	Země původu	Typ transformátoru	Uvedení do provozu	Dodání do ABB
FORMA APG VER TJC 4 (xxxxx)	1	xxx	X	x	x	x	TJC 4 (5)	x	x
	2	xxx	X	x	x	x	TJC 4 (5)	x	
	3	xxx	X	x	x	x	TJC 4 (5)	x	
	4	xxx	X	x	x	x	TJC 4 (5)	x	
	5	xxx	X	x	x	x	TJC 4 (5)	x	
	6	xxx	X	x	x	x	TJC 4 (5)	x	
	7	xxx	X	x	x	x	TJC 4 (5)	x	

ZÁVĚR

Tato diplomová práce byla zaměřena na čistotu a údržbu licích forem během cyklického odlévání odlitků. Pro kontrolu byly použity tři přístroje, každý z nich pracoval na jiném principu vyhodnocování povrchu. Měření se provádělo laserovým profilovým skenerem. Tento přístroj měřil např. vzdálenost mezi čočkou laseru a povrchem formy. Tady se ukázalo, že pro svoje plné využití je zapotřebí spolupráce s autonomním robotem, který by byl přesně naprogramovaný na kontrolu dané formy a vzhledem k tomu, že se nejedná o ruční přístroj, musí mít své stálé místo. Druhý přístroj byl ruční a jednalo se o Elcometer 456 S. Vyhodnocování povrchu tímto zařízením probíhalo rychle a bez komplikací. Bohužel nebylo možné se měřící sondou dostat až k hraně formy. V praxi se nejvíce osvědčil ruční přístroj Recognoil 2W. Snímkování a zobrazení povrchu formy probíhalo velmi rychle a díky tomu, že se jedná o ruční aparát není problém využití během velmi krátké doby přímo ve výrobě. Na základě všech sesbíraných dat se určil začátek cyklické kontroly (tab. 36) a hraniční hodnoty napáleného separátoru (tab. 37) na jednotlivých formách.

Tab. 38 Začátek cyklické kontroly forem

Začátek cyklické kontroly [počet cyklů]			
TPU 4	TJC 4	KEVCY	KOKM
80	50	600	50

Tab. 39 Hraniční hodnoty znečištění

Hraniční hodnoty [F. U./ μm]			
TPU 4	TJC 4	KEVCY	KOKM
500 000/ 8,5	500 000/ 8,5	300 000/ 6	500 000/ 7

Vzhledem k tomu, že naměřená data ukázaly rozdílnou údržbu během odlévání na jednotlivých formách, je zapotřebí sbírat další data na základě stanovených parametrů podle tab. 36 a 37. Následně se tyto data vyhodnotí a určí se finální technologický postup údržby, cyklické kontroly forem a hraniční hodnoty napálení. V rámci diplomové práce byl zhotoven katalog forem, který bude obsahovat všechny potřebné informace, které povedou ke zdokonalení skladového hospodářství s formami

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. *Fundamentals of Polymer Engineering*. 3rd ed. Boca Raton: Taylor & Francis, 2018. ISBN 9781498759502.
2. Plastic. *Britannica* [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/plastic>
3. ASHBY, M. F. a David R. H. JONES. *Engineering materials*. 4th ed. Oxford: Butterworth Heinemann, c2013. International series on materials science and technology (Butterworth Heinemann). ISBN 978-0-08-096668-7.
4. Technologie 2. *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01-plasty%20uvod/00-rozdeleni%20plastu.jpg
5. GUO, Qipeng. *Ed. Thermosets: structure, properties, and applications*. 2. dopl. vyd. Amsterdam: Elsevier, 2018. ISBN 978-0-08-101021-1.
6. Elastomer. *Britannica* [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/elastomer>
7. Struktura polymerů a její vliv na vlastnosti. *Polymery* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/03.html>
8. Plastic Casting Process: The Ultimate FAQ Guide. WeProFab [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.weprofab.com/plastic-casting-process/>
9. *Engineering materials 2: an introduction to microstructures, processing and design*. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2006. International series on materials science and technology. ISBN 07-506-6381-2.
10. Nylons (Polyamide). British Plastics Federation [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/Polyamides.aspx>
11. Polystyrene. *Britannica* [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/polystyrene>
12. Polyurethane. *Britannica* [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/polyurethane>

13. GAMA, Nuno, Artur FERREIRA a Ana BARROS-TIMMONS. Polyurethane Foams: Past, Present, and Future. *Materials*. 2018, 11(10). ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma11101841
14. Recent advances in epoxy resin, natural fiber-reinforced epoxy composites and their applications. *SAGE Journals* [online]. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0731684415618459>
15. PASCAULT, Jean-Pierre, WILLIAMS, Roberto JJ, ed. *Epoxy Polymers: New Materials and Innovations*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2010. ISBN 978-3527324804.
16. HUANG, Shidi, Guiming ZHANG, Weiping DU a Huifang CHEN. Construction of a TTT- η Diagram of High-Refractive Polyurethane Based on Curing Kinetics. *Polymers* [online]. 2021 [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/20/3474>
17. HAN, Chang Dae. *Polymer processing: Rheology and processing of polymeric materials*. Oxford: Oxford University Press, 2007. ISBN 9781613445433.
18. PETHRICK, Richard A. *Welding and Joining of Aerospace Materials*. 2. dopl. vyd. Woodhead Publishing, 2020. ISBN 978-0-12-819140-8.
19. ZHANG, Yun a Xiaojie XU. Machine learning glass transition temperature of polymers. *Heliyon*. 2020, 1. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05055>
20. ABB. Interní materiály firmy ABB
21. *Process technology for the processing of casting and impregnating materials* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://webedragons.com/wp-content/uploads/2018/03/impregnating-and-casting-.pdf>
22. *Vacuum Shot Dosing Equipment* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.hedrich.com/en/products/technologies/equipment-for-cast-resin-insulation/vacuum-shot-dosing-equipment>
23. *HÜBERS Verfahrenstechnik - APG Clamping Machines* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: https://www.huebers.de/gb/apgc_gb.html

24. *Vstřikovací forma a její funkce: Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/02.html>
25. *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta: Technologie 2* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm#044
26. Who we are – ABB in brief. *ABB Middle East* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: <https://new.abb.com/middle-east/about/in-brief>
27. Elektrotechnika. *ABB divize Elektrotechnicka* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: <https://new.abb.com/cz/divize-elektrotechnika>
28. Procesní automatizace. *ABB divize Průmyslov&* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: <https://new.abb.com/cz/o-nas/divize/procesni-automatizace>
29. Pohony. *Robotika a pohony* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: <https://new.abb.com/cz/o-nas/divize/robotika-a-pohony>
30. Robotika a Automatizace. *ABB Robotika a Automatizace* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: <https://new.abb.com/cz/o-nas/divize/robotika-a-automatizace>
31. Přístrojové transformátory a senzory pro vnitřní použití: Přehled výroby. ABB [online]. 2018 [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1VLC000574&LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>
32. Parts Of a Transformer. Miracle Electronic Devices Pvt. Ltd. [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: <https://www.miracle.net.in/blog/parts-of-a-transformer/>
33. Instrument Transformers: What is it? (and their Advantages). Electrical4U [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: <https://www.electrical4u.com/instrument-transformers/>
34. ELBEL, Tomáš. *Diagnostika a řízení kvality odlitků* [online]. Ostrava: FMMI VŠB - TU Ostrava, 2013 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: http://katedry.fmfi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/08_Diagnostika_a_rizeni_kvality_odlitku/Elbel_Diagnostika_a_rizeni_kvality.pdf
35. *Vady odlitků. Názvosloví a třídění vad.* 1965.

36. *ATG - NDT defektoskopie a personální kvalifikace* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.atg.cz/ndt-161&display=VT>
37. *Endoskop s kamerou flexibilní BS-100 | GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/endoskop-s-kamerou-flexibilni-cem-bs-100>
38. *Ultraviolet (UV) Radiation* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/uv-radiation.html>
39. *UV Radiation | NCEH | CDC* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/nceh/features/uv-radiation-safety/index.html>
40. *Ultraviolet radiation | Definition, Examples, Effects, Wavelengths, Types, & Facts | Britannica* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/ultraviolet-radiation>
41. *Fluorescence | physics | Britannica* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/fluorescence>
42. *Měření tloušťky povlaků TECHNOTEST* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: http://www.technotest.cz/mereni_tloustky_povlaku
43. *Měření drsnosti - M&B Calibr, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.mbcaltibr.cz/mereni-drsnosti.html>
44. *Přenosný drsnoměr MarSurf M 310 SET, 2 μm, Mahr | TM Technik* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://eshop.tm-technik.cz/1811-prenosny-drsnomer-marsurf-m-310-set-2-m-mahr>
45. *Recognoil 2W: Technická specifikace* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.techtest.eu/download/Recognoil2W%20-%20Technick%C3%A1%20specifikace.pdf>
46. *ScanCONTROL // 2D/3D Laser profile sensors* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.micro-epsilon.cz/download/products/cat-scancontrol/dax--scanCONTROL-29x0--en.html#page=2&zoom=Fit>
47. *Laser line profile sensors: scanCONTROL 29x0 | Contact MICRO-EPSILON*

48. *Laser line profile sensors: scanCONTROL 29x0 | Contact MICRO-EPSILON* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.industry-plaza.com/laser-line-profile-sensors-scancontrol-p291980.html>
49. *Operating Instructions scanCONTROL 29xx* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.micro-epsilon.cz/download/manuals/man--scanCONTROL-29xx--en.pdf>
50. *GAMIN | Tloušťkoměr Elcometer 456: Technický list* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: https://www.gamin.cz/fileadmin/user_upload/Digitalni_tloustkomer_Elcometer_456_se_sondami_03.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

°C	stupeň Celsia
A	ampér
ABB	Asea Brown Boveri
ANSI	American National Standards Institute
APG	automatic pressure gelation
ČSN	Česká technická norma
F. U.	fluorescence
g	gram
GOST	soubor norem obhospodařovaných nadnárodní Euroasijskou radou pro normalizaci, metrologii a certifikaci
GT	gell-time
H ₂ O	voda
Hz	hertz
IBC	intermediate bulk container
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
kg	kilogram
kV	kilovolt
mm	milimetr
mW	miliwatt
NDT	nedestruktivní testování
Px	pixel
TDP	technické dodací podmínky
TTT	Time–Temperature–Transformation
UTB	Univerzita Tomáš Bati ve Zlíně

UV	ultravioleence
V	volt
VK	vstupní kontrola
μm	mikrometr

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Molekulární struktura polymerů [7]</i>	15
<i>Obr. 2 Diagram TTT [18]</i>	18
<i>Obr. 3 Míchací zařízení [21]</i>	20
<i>Obr. 4 Vakuová komora [22]</i>	21
<i>Obr. 5 Automatické tlakové zařízení [23]</i>	22
<i>Obr. 6 Schéma odlévacího procesu proudového transformátoru</i>	27
<i>Obr. 7 Licí stroj VOGEL – tlakové lití transformátorů [20]</i>	28
<i>Obr. 8 Vakuová komora (Autokláv) - vakuové lití transformátorů [20]</i>	29
<i>Obr. 9 Nárůstek na okraji odlitku</i>	34
<i>Obr. 10 Drsný povrch odlitku</i>	34
<i>Obr. 11 Obtisknutý napálený povrch formy na odlitku</i>	35
<i>Obr. 12 Vtaženiny – nekvalitní povrch odlitku</i>	36
<i>Obr. 13 Potečeniny</i>	36
<i>Obr. 14 Zateklina</i>	37
<i>Obr. 15 Nedolítý vtok</i>	38
<i>Obr. 16 Vlevo: bublinky na povrchu odlitku, vpravo: opravený povrch odlitku</i>	39
<i>Obr. 17 Endoskopická kamera [37]</i>	41
<i>Obr. 18 Přenosný drsnoměr [44]</i>	43
<i>Obr. 19 Ruční bezdrátový přístroj Recognoil2W [45]</i>	51
<i>Obr. 20 Příklad snímků vyhodnocení nečistot na povrchu formy</i>	53
<i>Obr. 21 Pomocný přípravek k zabránění propustnosti světla</i>	53
<i>Obr. 22 Pomocný přípravek k měření na rovném povrchu</i>	53
<i>Obr. 23 ScanCONTROL 29x0[48]</i>	54
<i>Obr. 24 Příklad zobrazení naměřené hodnoty</i>	57
<i>Obr. 25 Příklad zobrazení naměřené hodnoty</i>	58
<i>Obr. 26 Znečištěný povrch (hrana) formy</i>	83
<i>Obr. 27 Očištěný povrch (hrana) formy</i>	83

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Základní rozdělení termoplastů [4]</i>	13
<i>Tab. 2 Základní rozdělení reaktoplastů [4]</i>	13
<i>Tab. 3 Požadavky a funkce vstřikovací formy [25]</i>	23
<i>Tab. 4 Seznam chemických látek používaných k výrobě epoxidové licí hmoty</i>	47
<i>Tab. 5 Technická specifikace ručního přístroje Recognoil 2W [45]</i>	51
<i>Tab. 6 Technická specifikace scanCONTROL LLT2910-25 [49]</i>	55
<i>Tab. 7 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 0 cyklů – naseparová forma</i>	59
<i>Tab. 8 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 2 cykly</i>	60
<i>Tab. 9 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 5 cyklů</i>	60
<i>Tab. 10 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 6 cyklů</i>	61
<i>Tab. 11 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 8 cyklů</i>	61
<i>Tab. 12 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 68 cyklů</i>	62
<i>Tab. 13 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 137 cyklů</i>	62
<i>Tab. 14 Výsledné měření čistoty povrchu formy TPU 4, 194 cyklů</i>	63
<i>Tab. 15 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 0 cyklů – naseparová forma</i>	65
<i>Tab. 16 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 2 cykly</i>	66
<i>Tab. 17 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 3 cykly</i>	66
<i>Tab. 18 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 6 cyklů</i>	67
<i>Tab. 19 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 7 cyklů</i>	67
<i>Tab. 20 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 8 cyklů</i>	68
<i>Tab. 21 Výsledné měření čistoty povrchu formy TJC 4, 10 cyklů</i>	68
<i>Tab. 22 Výsledné měření čistoty povrchu formy KEVCY, 0 cyklů – naseparová forma</i>	72
<i>Tab. 23 Výsledné měření čistoty povrchu formy KEVCY, 12 cyklů</i>	72
<i>Tab. 24 Výsledné měření čistoty povrchu formy KEVCY, 21 cyklů</i>	73
<i>Tab. 25 Výsledné měření čistoty povrchu formy KEVCY, 31 cyklů</i>	73
<i>Tab. 26 Výsledné měření čistoty povrchu formy KEVCY, 39 cyklů</i>	74
<i>Tab. 27 Výsledné měření čistoty povrchu formy KEVCY, 524 cyklů</i>	74
<i>Tab. 28 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 0 cyklů – naseparová forma</i>	77
<i>Tab. 29 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 2 cykly</i>	78
<i>Tab. 30 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 5 cyklů</i>	78
<i>Tab. 31 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 12 cyklů</i>	79
<i>Tab. 32 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 14 cyklů</i>	79
<i>Tab. 33 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 17 cyklů</i>	80
<i>Tab. 34 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 19 cyklů</i>	80

<i>Tab. 35 Výsledné měření čistoty povrchu formy KOKM, 21 cyklů.....</i>	<i>81</i>
<i>Tab. 36 Seznam vakuových forem.....</i>	<i>84</i>
<i>Tab. 37 Ukázka seznamu forem s přiděleným tagem a popiskem výrobce.....</i>	<i>84</i>
<i>Tab. 38 Začátek cyklické kontroly forem.....</i>	<i>85</i>
<i>Tab. 39 Hraniční hodnoty znečištění.....</i>	<i>85</i>

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1 Naměřené průměrné hodnoty přístrojem Recognoil 2W na formě TPU 4.....</i>	<i>63</i>
<i>Graf 2 Naměřené hodnoty přístrojem Elcometer 456 S na formě TPU 4.....</i>	<i>64</i>
<i>Graf 3 Naměřené průměrné hodnoty přístrojem Recognoil 2W na formě TJC 4.....</i>	<i>69</i>
<i>Graf 4 Naměřené hodnoty přístrojem scanCONTROL 2910-25 na formě TJC 4.....</i>	<i>69</i>
<i>Graf 5 Naměřené hodnoty přístrojem scanCONTROL 2910-25 na formě TJC 4.....</i>	<i>70</i>
<i>Graf 6 Naměřené hodnoty přístrojem Elcometer 456 S na formě TJC 4.....</i>	<i>70</i>
<i>Graf 7 Naměřené průměrné hodnoty přístrojem Recognoil 2W na formě KEVCY.....</i>	<i>75</i>
<i>Graf 8 Naměřené hodnoty přístrojem Elcometer 456 S na formě KEVCY.....</i>	<i>75</i>
<i>Graf 9 Naměřené průměrné hodnoty přístrojem Recognoil 2W na formě KOKM.....</i>	<i>81</i>
<i>Graf 10 Naměřené hodnoty přístrojem Elcometer 456 S na formě KOKM.....</i>	<i>82</i>

SEZNAM PŘÍLOH

