



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA BEZRÁMOVÝCH SLÉVÁRENSKÝCH FOREM VE SLÉVÁRNÁCH ŽELEZNÝCH A NEŽELEZNÝCH KOVŮ

MANUFACTURE OF FLASKLESS FOUNDRY MOULDS IN FERROUS AND
NON-FERROUS METAL FOUNDRIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Petr BOŘIL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Petr CUPÁK, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Bořil

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba bezrámových slévárenských forem ve slévárnách železných a neželezných kovů

v anglickém jazyce:

Manufacture of flaskless foundry moulds in ferrous and non-ferrous metal foundries

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracování přehledu metod výroby bezrámových slévárenských forem metodami hot box, croning, alkalická silikátová pojiva a bentonitová pojiva.

Cíle bakalářské práce:

Popis odlišností jednotlivých metod výroby bezrámových slévárenských forem.
Porovnání výhod a nevýhod (technologických a ekologických) jednotlivých metod výroby bezrámových slévárenských forem.

Seznam odborné literatury:

KOFFLER, CH. Produkcja odlewów ze stopów miedzi na automatycznych liniach DISAMATIC. Przegląd odlewnictwa. 1992, roč. 24, č. 4, s. 146–151. ISSN 0033-2275.

WUJCZYK, T., SALOMOŃSKI, M. Technologia wykonywania maski rdzeniowej dla automatu formierskiego. Przegląd odlewnictwa. 1995, roč. 45, č. 5, s. 179–180. ISSN 0033-2275.

KOFLER, CH. Formovací linky DISAMATIC – jednoduchost a dokonalost. Slévárenství. 1998, roč. 46, č. 7-8, s. 285–287. ISSN 0037-6825.

DIBROV, A.-I. Novyje vozmožnosti linij Disamatik. Litějnoje proizvodstvo. 1999, č. 1, s. 42–44. ISSN 0024-449X.

CHUDOKORMOV, D.-A. O konstruirovanii litnikovych sistem dlja otlivok složnoj geometrii, polučajemych na linijach Disamatik. Litějnoje proizvodstvo. 2006, č. 3, s. 7–9. ISSN 0024-449X.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Cupák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 18.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

ABSTRAKT

Práce zpracovává přehled metod výroby bezrámových slévárenských forem a porovnává výhody a nevýhody jednotlivých technologií. V praktické části je zaměřena na zhodnocení modernizace pracoviště bezrámové formovny ve společnosti Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o. při přechodu z morálně i fyzicky zastaralé linky UNIVERSAL KFA 20 na novou, přesnější a výkonnější linku DISA MATCH 20/24.

Klíčová slova

bezrámové formy, formovací linka DISA, bentonitové směsi, samotuhnoucí směsi, 3D tisk forem

ABSTRACT

The bachelor thesis handles a summary of working methods of frameless casting molds and compares advantages and disadvantages of individual technologies. In its practical part, the thesis is focused on a corporation Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o. whose frameless molding went through a modernization that is the subject of this thesis. A morally and physically obsolete production line UNIVERSAL KFA 20 was exchanged for a more accurate and efficient one – DISA MATCH 20/24.

Key words

frameless molds, forming line DISA, bentonite mixture, auto-cured mixtures, Rapid Casting Technology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BOŘIL, Petr. *Výroba bezrámových slévárenských forem ve slévárnách železných a neželezných kovů*. Brno 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 31 s. 2 přílohy. Vedoucí práce Ing. Petr Cupák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba bezrámových slévárenských forem ve slévárnách železných a neželezných kovů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Petr Bořil

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Petrovi Cupákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování teoretické části bakalářské práce. Současně děkuji odborným pracovníkům společnosti Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o. za pomoc při přípravě podkladů a odborných odhadech pro praktickou část této bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
1 Formovací směs	9
2 Přehled pojivových systémů pro výrobu bezrámových forem	10
2.1 Bentonitové formovací směsi.....	10
2.1.1 Složení jednotné formovací směsi	10
2.2 Směsi používající jako pojivo vodní sklo	11
3 Formy ze samotuhnoucích směsí	12
3.1 Organika na bázi furanů nebo jiných kyselých pryskyřic	12
3.1.1 Furanové pryskyřice	12
3.1.2 Fenolické pryskyřice.....	13
3.2 Anorganika na bázi geopolymérů nebo jiných zásaditých pojivových systémů...	13
3.2.1 Geopolymery	13
3.2.2 Vazné ST směsi s vodním sklem	14
3.2.3 Nevazné ST směsi s vodním sklem	14
4 Přehled metod výroby bezrámových forem.....	15
4.1 C – metoda (Croningova metoda) skořepinového formování.....	15
4.1.1 Princip metody:.....	15
4.1.2 Příprava formovací směsi:	15
4.2 Metoda HOT – BOX (metoda horkého jaderníku.....	16
4.2.1 Princip metody:.....	17
4.2.3 Modifikace metody HB: Profukování teplým vzduchem.....	17
4.2.4 Metoda WARM – BOX (metoda teplých jaderníků)	17
4.3 Metoda 3D tisku forem a jader (RCT – Rapid Casting Technology)	18
4.3.1 Princip výroby forem pomocí 3D tiskárny	18
5 Automatické bezrámové formovací linky.....	20
5.1 Bezrámové formovací linky se svislou dělicí rovinou.....	20
5.1.1 Postup výroby forem.....	20
5.2 Bezrámové formovací linky s vodorovnou dělicí rovinou.....	21
5.2.1 Bezrámové formovací stroje vstřelovací a lisovací	21
5.2.2 Bezrámové formovací stroje podtlakové a lisovací	22

5.2.3	Bezrámové formovací stroje lisovací	22
6	Zhodnocení modernizace pracoviště bezrámové formovny ve společnosti Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o.	23
6.1	Komponenty linky DISA MATCH 20-24 vyráběné investorem	24
6.2	Zhodnocení neshodné produkce.....	25
7	ZÁVĚR	28
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	29
	SEZNAM PŘÍLOH.....	31

ÚVOD

Cíle bakalářské práce:

Popis odlišností jednotlivých metod výroby bezrámových slévárenských forem. Porovnání výhod a nevýhod (technologických a ekologických) jednotlivých metod výroby bezrámových slévárenských forem.

Slévárství je velmi staré řemeslo, které vzniklo přibližně 2000 - 2500 let před n. l. potřebou zpracování kovů s nízkou teplotou tavení. K odlévání se nejčastěji užívalo kamenných nebo kovových trvalých forem, dále pak keramiky a vosku pro výrobu keramických forem a některých typů písků s jílovým pojivem pro netrvalé formy.

Nejčastěji používaným materiálem byl až do počátku 17. století bronz, který se používal např. ve zvonařství na výrobu zvonů, nástrojů, nádob nebo odlévání bronzových soch. S příchodem průmyslové revoluce a potřebě výroby tvarově složitějších, pevnějších a tepelně odolnějších odlitků nastává masové rozšíření odlitků z šedé litiny. V 19. století došlo k významnému rozvoji hutního zpracování a slévárství ocelových odlitků.

S rozvojem techniky ve 20. století, který odstartovala 1. a především 2. Světová válka, vznikají požadavky na sériovou výrobu tvarově složitých odlitků, jako jsou základní, nepohyblivé části strojů, tělesa armatur, ventily, čerpadla, litinové bloky spalovacích motorů, či jiných mechanických součástí automobilů, letadel a dalších vojenských i nevojenských zařízení.

Požadavky na přesnost a kvalitu povrchu odlitků a snaha o zjednodušení a zefektivnění výroby bez nutnosti manipulace s těžkými a drahými rámy, vedly k vývoji technologií bezrámového formování. Bezrámové formování využívá bentonitové formovací směsi, ale také chemicky vytvrzované formy, především u metody croning, HOT-BOX, samotuhnoucí směsi, až po novou progresivní metodu 3D tisku forem. Jednotných bentonitových směsí se užívá především při sériové výrobě malých a středně těžkých odlitků na bezrámových formovacích linkách.

Bezrámové formování považuji za jednu z progresivních metod výroby odlitků ve slévárnách železných i neželezných kovů. Proto jsem si vybral jako téma bakalářské práce zpracovat přehled metod bezrámové výroby forem.

1 FORMOVACÍ SMĚS

Formovací směs - je disperzní materiál, který je tvořen ostřivem, pojivem a přísadami.

Ostřivo - je základním prvkem formovací směsi, je to zrnitý materiál o středním průměru zrna $d_{50} = 0,2-0,4$ mm. Mezi slévárensky významné vlastnosti ostřiva patří: granulometrie, žáruvzdornost, měrné teplo, pH, tepelná dilatace. Nejpoužívanějším ostřivem ve slévárenství je křemenný písek. Mezi další slévárenská ostřiva patří: chromitová, zirkonová, olivínová, dunitová, šamotový lupek aj.

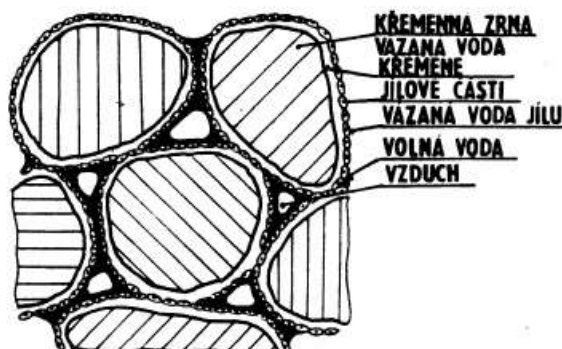
Pojivo – látka tvořící obálku kolem ostřiva, tím umožňuje vznik vazebného spojení mezi jednotlivými zrny, což má za výsledek soudržnost formovací směsi.

Tvrdidlo – látka, která reakcí s pojivem zajistí vytvrzení formy (například samotuhnoucí organické nebo anorganické směsi),

Přísady – jsou látky, které upravují (vylepšují) vlastnosti směsi podle požadavků na kvalitu odlitků. Patří sem např.: Uhlíkaté látky (grafit, kamenouhelný prach – letek), Neplastické látky (křemenná moučka, šamotová moučka), Plastifikátory (dextrin, glukóza, sulfíťový louh)

Z dlouhodobého vývoje dělíme formovací směsi do čtyř generací:

- Směsi I. generace (jílová pojiva).
- Směsi II. generace (chemicky tvrzené formovací směsi) – organické a anorganické.
- Směsi III. generace – prakticky bezpojivové, využívají fyzikální působení na ostřivo.
- Směsi IV. generace-využití biologických procesů [1, 2, 3].



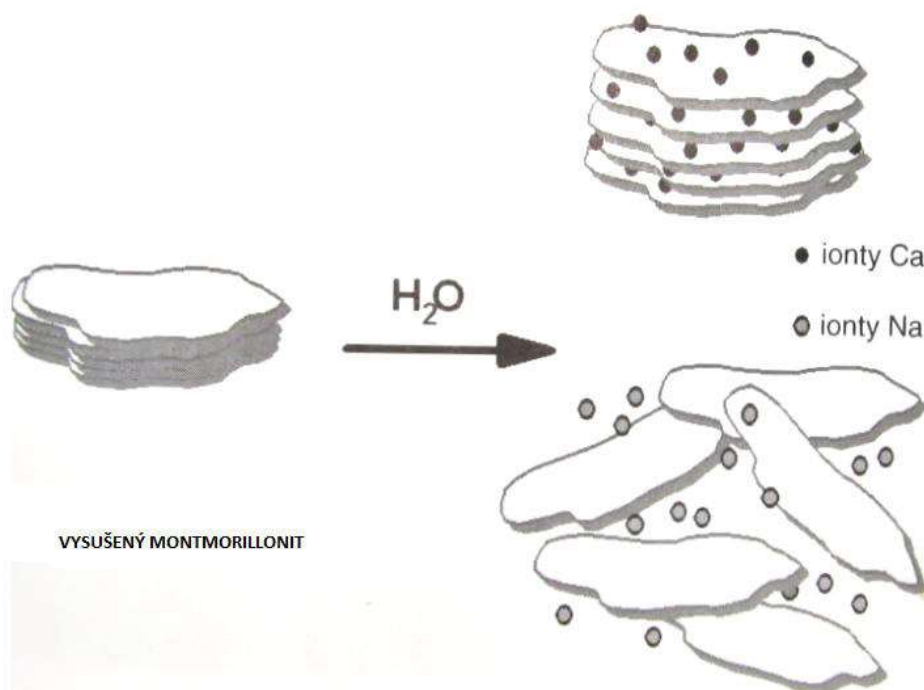
Obr. 1 Schéma formovací směsi [3]

2 PŘEHLED POJIVOVÝCH SYSTÉMŮ PRO VÝROBU BEZRÁMOVÝCH FOREM

2.1 Bentonitové formovací směsi

Jsou nejpoužívanější pro strojní i ruční výrobu forem ve slévárenství. Bentonitové směsi se používají na odlitky ze slévárenských slitin železných i neželezných kovů. Pojivová složka směsi je tvořena bentonitem, což je převážně montmorillonitický jíl (75 – 80 % montmorillonitu, nesmí obsahovat více než 20 % ostatních minerálů) [1, 2, 4].

Hlavní vlastností bentonitu je schopnost vázat na svůj povrch vodu. Ve vysušeném stavu, tím jak jsou k sobě přitahovány, tvoří krystalky strukturu podobnou balíčku karet (obr. 2). Po přidání vody vniknou molekuly vody mezi jednotlivé vrstvičky a způsobí jejich oddálení od sebe - bobtnání. Molekuly vody jsou vázány na povrchu destiček krystalů. Při správném navlhčení je vazba dostatečně silná a umožňuje odlévání na syrovo do nevysušených forem [2, 4].



Obr. 2 Změna struktury bentonitu [4]

2.1.1 Složení jednotné formovací směsi

Základní složky:

- Ostřívo – obvykle se používá křemenný písek
- Pojivo – bentonit
- Přísady – kamenouhelný prach, dextrin nebo grafit
- Voda

Pro správnou kvalitu směsi je nutné dosáhnout takové vlhkosti, aby bylo dosaženo optimální spečovatelnosti směsi při jejím zpracování [2, 4].

2.2 Směsi používající jako pojivo vodní sklo

Vodní sklo je koloidní roztok alkalických křemičitanů, nejčastěji sodného, vznikající rozpouštěním alkalicko-křemičitého skla ve vodě. Patří mezi anorganická pojiva směsí 2. generace. Získáme ho tavením písku a sody v kontinuální vanové peci při asi 1400 °C, plynule vytékající sklovina se ochlazuje vodou nebo se jímá do malých kokil. Vodní sklo se ve slévárenství používá hlavně při výrobě forem z chemicky vytvrzovaných směsí (nejčastěji oxidem uhličitým).

Při vytvrzování směsi se uvolňuje velké množství vodní páry, kterou je nutné odsát, aby se forma nebo jádro co nejrychleji vytvrdila, a tím se dosáhlo vysoké produktivity výroby. Výhodami vodního skla jsou nízké opotřebení modelů, zlepšení produktivity a čistoty práce. Nevýhodou je špatná rozpadavost především u jader a špatná regenerace směsí [3, 5].

3 FORMY ZE SAMOTVRDNOUCÍCH SMĚSÍ

Výroba forem a jader ze samotvrdnoucích směsí je rozhodující technologií pro malosériovou a kusovou výrobu středních a těžkých odlitků v rámu i bezrámově. Tvrdnutí směsí probíhá za studena reakcí tvrdidla s pojivem promíchané směsí. ST směsí dosahují požadovaných vlastností působením chemických nebo fyzikálně-chemických procesů uvnitř pojivové soustavy, bez nutnosti zásahu zvenčí.

Mezi výhody ST směsí patří

- Rychlá a snadná výroba
- Rozměrová přesnost a kvalita povrchu odlitků
- Snížení nákladů na čištění

Nevýhody ST směsí

- Vysoká cena pojiv
- Nutnost rychlého zpracování směsí
- U organických pojiv problémy s ekologií a hygienou [6, 7].

Tabulka 1 Rozdělení systémů samotvrdnoucích směsí [6]

Samotvrdnucí směsí (ST)	ST směsí anorganické	Vodní sklo - ester	Vodní sklo, tvrdidlo ester
		Vodní sklo - kalciumsilikát	tvrdidlo kalciumsilikát (di - trikalciumsilikát)
		Geopolymery	Pojivo kapalný geopolymery na bázi Al-SiO ₂ tvrdidla - anorganické estery
	ST směsí s umělými pryskyřicemi organické	Furanové ST organický, kyselý proces	Furanová pryskyřice tvrdidlo kyselina paratoluensulfonová (PTS)
		Fenolické ST organický, kyselý proces	Fenolická pryskyřice tvrdidlo PTS
		Rezol - esterové ST organický, zásaditý proces	Alkalická fenolická pryskyřice tvrdidlo ester
		Polyuretanové ST organický neutrální proces	Fenolická pryskyřice, katalyzátor, izokyanát
		Alkydové ST organický neutrální proces	Alkydová pryskyřice, katalyzátor polymerizovaný izokyanát
	Rychle tvrdnucí ST	syst. Gisag Cold Box	Fenolická pryskyřice tvrdidlo PTS
syst. Fascold		Furanová pryskyřice tvrdidlo PTS	
Polyakryláty		Akrylátová pryskyřice tvrdidlo ester	
Vazné ST	Vodní sklo - bentonit	Vodní sklo, bentonit	
	Škrob - bentonit	Škrob, bentonit	

3.1 Organika na bázi furanů nebo jiných kyselých pryskyřic

3.1.1 Furanové pryskyřice

Jsou nejrozšířenějším pojivovým systémem. Jako pojivo se využívá kombinace furfurylalkoholu s fenolickými nebo močovinovými pryskyřicemi. Pryskyřice se nejčastěji vytvrzují paratoluensulfonovou kyselinou (PTS). V závislosti na obsahu furfurylalkoholu se mohou vytvrzovat i anorganickými kyselinami např: kyselina trihydrogen fosforečná (H₃PO₄). Při středně velkém obsahu furfurylalkoholu se vytvrzují kombinací PTS a H₃PO₄ a při malém obsahu furfurylalkoholu lze použít samotnou H₃PO₄ [1, 6, 7].

3.1.2 Fenolické pryskyřice

Pojivem je fenolformaldehydová pryskyřice, tvrdidlem je především PTS kyselina a aromatické sulfokyseliny. Kyselina s pryskyřicí silně reaguje a při lití dochází k silnému vývinu plynů, což vzhledem k ekologii a hygieně práce značně omezuje použití.

Modifikací byla vyvinuta metoda GISAG Cold Box, která se řadí mezi rychletvrdnoucí ST směsi (0,5 – 2 min), proto je nutné směs zpracovat v co nejkratším čase použitím vstřelování [1, 6, 7].

Výhody organických ST směsí

- Zvýšení rozměrové přesnosti odlitků
- Zlepšení jakosti odlitků
- Prakticky neomezená skladovatelnost jader
- Zjednodušení užívání výstuh

Nevýhody organických ST směsí

- Škodlivé výpary vznikající při odlévání
- Obtížnější vyjímání jader z jaderníků [6, 7].

3.2 Anorganika na bázi geopolymérů nebo jiných zásaditých pojivových systémů

3.2.1 Geopolymery

Pro přípravu ST směsí se používá geopolymerní pojivo např. GEOPOL. Upravená směs má dobrou tekutost. Samotné pojivo je viskózní kapalina s nízkým stupněm polymerace, po přidání tekutého pojiva (ester) se stupeň polymerace zvyšuje a dochází k vytvrzování směsi. Pro zvýšení rychlosti vytvrzování se do směsi přidávají akcelerátory, které zároveň zlepšují rozpádnost při vysokých teplotách [7, 8, 9].

Směsi s novým ostřivem:

- Ostřivo 100%
- Pojivo 1,8%
- Tvrdidlo 12 - 14%

Směsi s regenerátem:

- Ostřivo 100%
- Pojivo 2,0%
- Tvrdidlo 14% [8, 9].

3.2.2 Vazné ST směsi s vodním sklem

Spojují výhody vazných směsí s jílovými pojivy a ST směsí s vodním sklem. Modelová zařízení se dají odebrat ihned po zaformování a současně dochází ke zlepšení mechanických vlastností formy vlivem vytvrzení [6, 7].

Příklad složení směsi:

- 85 – 90 hm. d. ostřiva (SiO_2)
- 4 hm. d. bentonitu
- 7 hm. d. vodního skla
- 1 – 3 hm. d. tvrdidlo (dikalcium silikát)
- Přibližně 2 hm. d. kamenouhelná moučka [6, 7].

3.2.3 Nevazné ST směsi s vodním sklem

Směs ostřiva a vodního skla je vytvrzována přidáním nejčastěji kapalného (ester) nebo práškového (mleté ferosilicium, ocelářská struska, samorozpadavá ferochromová struska, cement, anhydrit). Při použití vhodné kombinace různých esterů lze dosáhnout optimálního průběhu vytvrzování [6, 7].

Příklad složení formovací směsi vytvrzované mletým ferosiliciem (metoda N)

- 1 h. d. ferosilicia na 100 h. d. ostřiva a 5 h. d. vodního skla

Výhody ST směsí s vodním sklem

- Hygienická nezávadnost u vazných směsí s bentonitem
- Zvýšení rozměrové přesnosti odlitků
- Úspora energie (vytvrzování za studena)
- Snížení opotřebení modelů

Nevýhody ST směsí s vodním sklem

- Obtížnější regenerovatelnost směsi [6, 7].

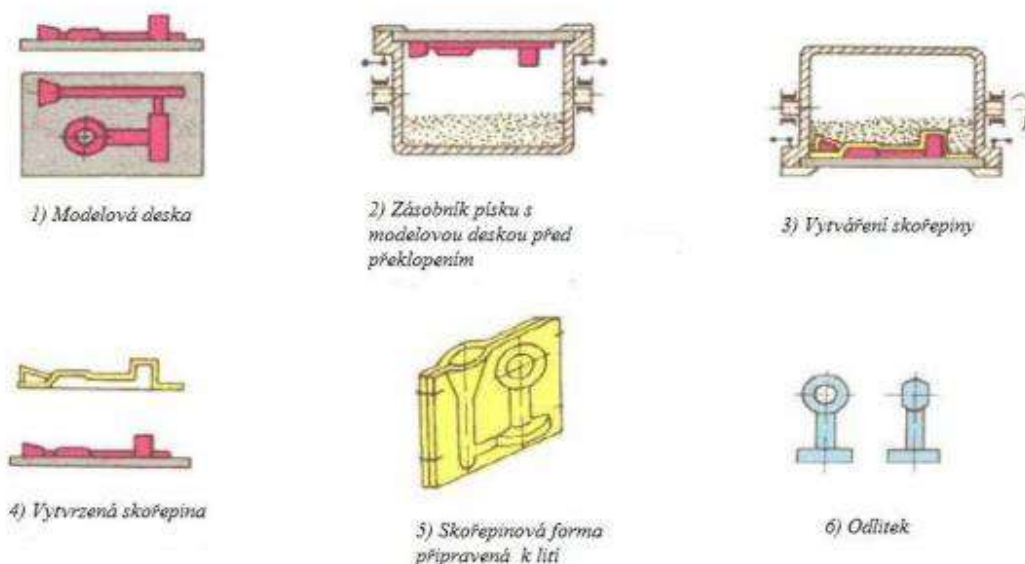
4 PŘEHLED METOD VÝROBY BEZRÁMOVÝCH FOREM

4.1 C – metoda (Croningova metoda) skořepinového formování

Je to metoda skořepinového formování vyvinutá Johanem Croningem, která byla patentována již roku 1943. Metoda využívá jako pojivo k přípravě obalené směsi novolakovou FF – pryskyřici [1, 3].

4.1.1 Princip metody:

Sypká formovací směs, která je dobře foukatelná do tvarově složitého jaderníku, se nanese na modelovou desku předem nahřátou na teplotu přibližně 250°C nebo se foukne do předem nahřátého jaderníku. Přestupem tepla z nahřáté desky směrem do směsi vznikne natavením pryskyřice souvislá plastická vrstva. Tloušťka vrstvy závisí na době setrvání směsi na horké desce, obvykle jen po krátkou dobu 8 – 20 s vzniká vrstva silná 5 – 12 mm. Nenatavená formovací směs se odstraní z modelu nebo jaderníku oklopením. Poté se skořepina nechá vytvrdit při teplotě přibližně 450°C po dobu 1 – 3 min. Po vytvrzení je skořepina sejmuta z modelu či jaderníku, následně se pak spojí s druhou polovinou skořepiny a poté následuje odlévání [1, 6, 10].



Obr. 3 Postup při výrobě formy metodou C [10]

4.1.2 Příprava formovací směsi:

Ostřívo – křemenné písky nebo pro tepelně namáhané formy umělý korund či zirkon o střední zrnitosti do 0,2 mm kvůli zajištění kvality povrchu. Pro zajištění co největší tvrdosti skořepin by měl být výskyt prachových částic co nejnižší.

- Pojivo – fenolformaldehydová pryskyřice
- Tvrdivlo – ve vodě rozpuštěný hexametylentetraamin

Obalení za studena

- ostřívo a katalyzátor se smísí s pryskyřicí rozpuštěnou v alkoholu. Poté se dmýcháním studeného vzduchu odstraní alkohol. Až se směs v mísiči začne

rozpadat, přidá se stearan vápenatý, který zvyšuje tekutost směsi a usnadňuje následné sejmutí skořepiny z modelu [6, 7].

Obalení za tepla

- obdobně jako obalení za studena, rozdíl spočívá v tom, že se rozpouštědlo odpařuje vzduchem o teplotě 90°C – 230°C [6, 7].

Obalení za horka

- užívá se nejčastěji. Nejprve se písek v přehřívači přehřeje pod bod tavení pryskyřice. Poté se ohřátý písek s pryskyřicí přivede do speciálního kyvadlového mísiče, kde se během několika sekund promísí. Pryskyřice se teplotou písku začne tavit a rovnoměrně se povleče po znech. Nakonec se přidá tvrdidlo, směs se ochladí, aby se zabránilo nevhodným reakcím pryskyřice a tvrdidla. Poté se přidá stearan vápenatý, který zvýší tekutost směsi a směs se skrz vibrační síto vypustí do fluidní chladničky, kde se ochladí na teplotu vhodnou ke skladování v síle [6, 7].

Výhody metody:

- Malá spotřeba formovací směsi
- Dobrá přesnost odlitků
- Zmenšené přídavky na obrábění díky nízké povrchové drsnosti odlitků
- Menší nároky na kvalifikaci pracovníků

Nevýhody metody:

- Vhodné pouze pro malé odlitky, omezeno pevností skořepiny
- Drahá pojiva, dělicí prostředky modelová zařízení
- Obtížná regenerace (tepelně mechanická, energeticky náročná)
- Hygienická a bezpečnostní opatření, škodlivé látky fenol, formaldehyd, alkohol [6, 7, 11].

4.2 Metoda HOT – BOX (metoda horkého jaderníku)

Ostřivo

- křemenné písky nebo pro tepelně namáhané formy umělý korund či zirkon o střední zrnitosti do 0,2 mm kvůli zajištění kvality povrchu. Výskyt prachových částic by měl být co nejnižší.

Pojivo:

- močovinoformaldehydová pryskyřice – pomalé tvrdnutí se urychluje katalyzátory, má ostrý zápach, je dráždivá
- melaninoformaldehydová pryskyřice – u nás málo dostupné
- furanová pryskyřice – dražší, s vhodným katalyzátorem vytváří pojivový systém, který po zahřátí na stanovenou teplotu polymeruje na tvrdou hmotu. Vytvrzení na manipulační pevnost dosáhne velmi rychle 10 -30 s [1, 6].

4.2.1 Princip metody:

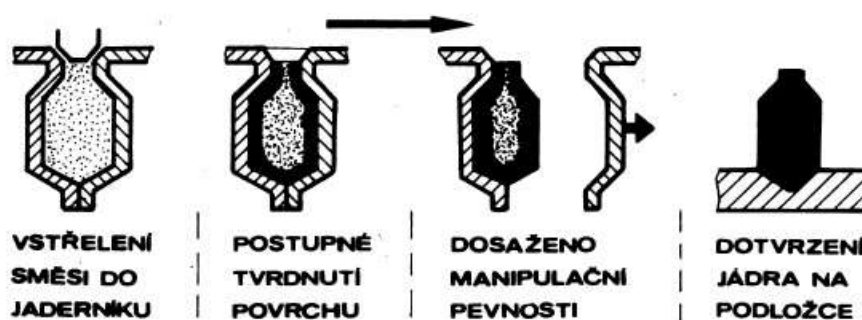
Připravená formovací směs se vstřeluje do horkého kovového jaderníku přehřátého na potřebnou teplotu obvykle 200 – 250°C. Působením tepla dochází k vytvrzování směsi, po vytvrzení povrchu jádra a dosažení tzv. manipulační pevnosti jádra, se jádro vyjme a nechá se vytvrdit v celém objemu mimo jaderník na podložce.

Metodou HB lze vyrábět i formy, kvůli způsobu vytvrzování pouze do tloušťky 25 mm. Vyrábí se buď formy pro etážové lití menších odlitků.

U etážového lití jsou dílčí formy vyráběny v horkém jaderníku, kvůli požadavkům na vysoký stupeň upěchování a hladkost povrchu, se obvykle provede dolisování tlakem 10 – 15 MPa. Formy se poté v licím přípravku skládají nad sebe a odlévají se společným vtokem.

Při výrobě skořepin metodou HB je požadováno vysoké upěchování a oboustranný ohřev směsi. V porovnání s metodou "C" musí být tloušťka stěn u HB o 30 – 100 % větší.

Metoda HB má nižší rozpadavost směsi po odlití. Navzdory vyšší spotřebě směsi jsou celkové náklady u metody HB nižší než u metody C, to je dáno především nižší cenou směsi u metody HB [1, 6, 11].



Obr. 4 Postup tvrdnutí jádra [6]

4.2.3 Modifikace metody HB: Profukování teplým vzduchem

Vhodná pro masivnější jádra, kde nemodifikovaná HB není efektivní. Směs se vytvrzuje profuknutím teplým vzduchem 80 – 120°C, proto je nutné, aby směs byla dostatečně prodyšná. Výhodou této metody je možnost použití dřevěných jaderníků, nižší energetická náročnost, vysoká pevnost za tepla a zrychlení výrobního cyklu. Nevýhodou je nutnost rozboru proudění daným tvarem a prudký pokles teploty vzduchu při průchodu jádrem [6].

4.2.4 Metoda WARM – BOX (metoda teplých jaderníků)

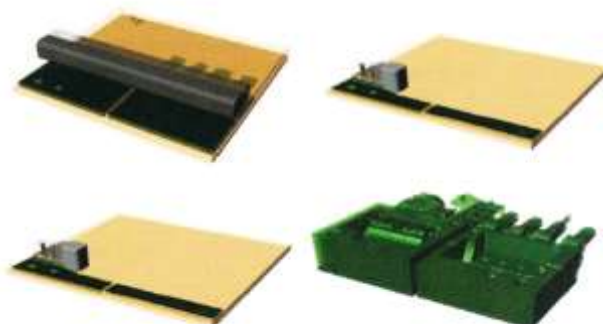
Metoda zavedená ve Francii, využívá jako pojivo pryskyřici na bázi furfurylalkoholu, která se vytvrzuje při nižších teplotách než HB přibližně 150°C. výhodou je zlepšení pracovních podmínek a úspora energie díky ohřevu na nižší teploty. Nevýhoda spočívá ve zvýšené náchylnosti k deformacím [6].

4.3 Metoda 3D tisku forem a jader (RCT – Rapid Casting Technology)

Technologie byla vyvinuta v Německu a jde o poměrně novou technologii používanou ve slévárenství. 3D tiskárny umožňují slévárnám vyrábět pískové formy a jádra přímo z CAD souborů, není tedy nutné zhotovovat modelová zařízení, ani není nutné upravovat stávající modelová zařízení, při přechodu k této technologii. Technologie využívá hojně používané pojivové systémy na bázi furanu, fenolu nebo systému vodní sklo – CO₂. RCT je v podstatě proces rychlé výroby prototypu, který využívá technologie 3D tisku k vytvoření tvaru formy nebo jádra. Formy nebo jádra vyrobené RCT mohou být použity pro odlévání hliníku, slitin mědi, tvárné litiny, šedé litiny a oceli. Hořčík je také možné lít po vmíchání inhibitoru do písku. Maximální rozměr výrobního boxu největší 3D tiskárny S – Max od firmy ExOne je 1800 × 1000 × 700 mm, pokud je forma nebo jádro větší, je možné formu tisknout po částech za předpokladu, že bude umožněn přístup k aktivním plochám z důvodu dokonalého očištění povrchu. Zařízení vyrábí formy rychlostí 60 – 110 l směsi za hodinu v závislosti na tloušťce vrstvy aktivovaného ostřiva v rozmezí 0,28 – 0,5 mm [12, 13].

4.3.1 Princip výroby forem pomocí 3D tiskárny

Ostřivo se ze zásobníku přivede do mísiče, kde se smísí s aktivátorem. Připravená formovací směs je dopravena šnekovým dopravníkem do zásobníku nad tiskovou plochou. Dno pracovního boxu se sníží o předem nastavenou vrstvu (0,28 – 0,5 mm), zásobník nanese vrstvu předem aktivované směsi po celé ploše pracovního boxu přejetím z jedné strany na druhou. Po nanesení vrstvy, přejede nad touto vrstvou tisková hlava se soustavou trysek, která nanese potřebné množství pojiva na zrna, která mají být slepena dohromady. Pojivo reaguje s aktivátorem a aktivovaná směs vytvrdne. Celý postup se opakuje až do maximální výšky pracovního boxu 700 mm. Vnitřní prostor boxu je pak tvořen vytvrzenou formou a nevytvrzeným aktivovaným ostřivem, které se následně odstraní použitím kartáčů a průmyslového vysavače z prostoru pracovního boxu. Vytvrzené formy nebo jádra jsou poté vyjmuty.



Obr. 5 Postup tisku forem [12]

Bez nutnosti obrábění, je čas potřebný pro výrobu odlitků z CAD souborů výrazně snížen. Tento proces je vhodný k vyrábění odlitků v malých sériích, nebo pro porovnání variant návrhu odlitku.

Kromě toho, by tento proces mohl být použit k vyhodnocení různých vtokových a odvzdušňovacích soustav díky práci s CAD soubory s variantami různých soustav. Po celou dobu proces pracuje s virtuálními nástroji, základní tvar pro lítí může zůstat stejný, nebo může být změněn.

Dostupné dodávky zahrnují F8101, pojivový systém založený na furanové pryskyřici; FC101, čistič pro údržbu stroje; FS101 a 102, předem aktivovaná licí média se standardním řazením hrubosti zrna; a FS103, směs písku s inhibitorem pro lítí slitin hořčíku [12, 13].

Výhody metody

- Obsluhu stroje může vykonávat zodpovědná osoba bez znalostí z oboru slévárenství
- Ušetřené náklady za výrobu modelových zařízení
- Rychlá výroba prototypů
- Vysoká přesnost forem => menší přídavky na obrábění, odpadá nutnost úkosů a nepravých jader
- Výroba tvarově složitých forem a jader
- Vhodné pro malosériovou a kusovou výrobu => flexibilita práce
- Vhodné pro modernizaci slévárny jako náhrada za střešací stroje s dolisováním

Nevýhody metody

- Vysoké pořizovací náklady 800 000 – 1 100 000 eur za jedno pracoviště
- Vysoká cena pojiva, ostřiva a čističe tiskové hlavy
- Nízká životnost (asi jeden rok) a vysoká cena tiskové hlavy [12, 13].

5 AUTOMATICKÉ BEZRÁMOVÉ FORMOVACÍ LINKY

Bezrámové formování bylo známé již před první světovou válkou. Snaha o zjednodušení a zrychlení výroby forem vedla pokusům o odstranění nutnosti manipulaci s rámy od uvolňování k formovacímu stroji. První takto vyrobené stroje vyráběly obě poloviny forem v rámech a po složení formy a založení jader se rámy z forem stáhly. Jednotlivé stoje se však neprosadili, až do zavedení technologie lisování vyšším měrným tlakem, čímž se do značné míry odstranila nevýhoda nízké pevnosti forem u bezrámového formování. V současnosti se se na automatických bezrámových formovacích linkách mohou vyrábět složité odlitky, jako jsou litinové bloky spalovacích motorů, a především jsou linky vhodné pro odlévání ve velkých sériích. V USA byla tato metoda již velmi brzy technicky využívána. Až do současnosti je zde bezrámové formování značně zastoupeno. Bezrámová technika je především v Evropě spojena s dánskou firmou DISA Industries, která roku 1962 uvedla první bezrámové formovací zařízení a do roku 2000 prodala více jak 1200 bezrámových linek se svislou dělicí rovinou. Dnes se odhaduje, že je 1900 až 2100 bezrámových zařízení pracujících v mnoha zemích po celém světě, z toho je zhruba 1600 s vertikální dělicí rovinou. V bezrámovém formování se metoda Disamatic vypracovala na přední pozici a dnes je jedním z vedoucích poskytovatelů slévárenské techniky a zařízení na povrchové obrábění kovových dílů na světě [7, 14].

Automatické bezrámové formovací linky dělíme na:

- Bezrámové formovací linky se svislou dělicí rovinou
- Bezrámové formovací linky s vodorovnou dělicí rovinou

5.1 Bezrámové formovací linky se svislou dělicí rovinou

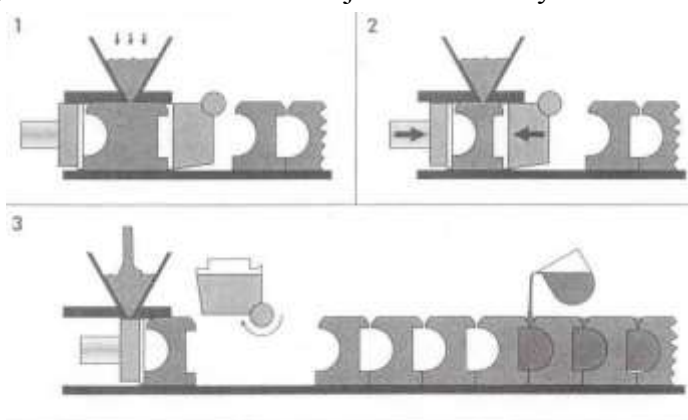
Jsou vysoce výkonné, a proto mají značnou spotřebu formovací směsi. Formovací linka se kromě samotného formovacího stroje skládá ze zásobníku a mísiče směsi, krokových a pásových dopravníků, chladícího bubnu, zařízení na třídění odlitků a dopravníků vratné směsi.

5.1.1 Postup výroby forem

Do vstřelovací komory se přivede směs. Poté se komora uzavře plochým šoupátkem. Vstřelovací ventil se otevře a stlačený vzduch vstřeluje formovací směs do formovací komory. Tím se směs předzhuťní a po odvzdušnění vstřelovací komory se směs lisuje z obou stran modelovými deskami, až se dosáhne požadovaného lisovacího tlaku (až do 2 MPa). Současně pracují vibrátory na modelových deskách. Odklopná lisovací deska se vysune a sklopí do vodorovné polohy a druhá deska vysune novou formu z otevřené formovací komory. Rychlost přesunu formy před dotlačením je regulována tak, aby se dosáhlo požadovaného tlaku při skládání forem. Po dosažení požadovaného tlaku se lisovací deska přesouvá synchronizovaně s krokovým dopravníkem o sílu formy. Lisovací deska se vrátí do výchozí polohy a na obě modelové desky se nanese dělicí prostředek. odklopná deska se sklopí do svislé polohy a obě desky se vycentrují vůči vstřelovacímu otvoru. Síla formy se řídí stupňovitě pro dosažení optimálního poměru forma - kov.

Zakládání jader probíhá buď zcela automaticky kombinovaným zakladačem, který umožňuje výměnu modelových desek, nebo ručním založením jádra do dutiny v desce automatického zakladače.

Po vytvoření formy je forma dopravována pomocí krokového dopravníku k licímu zařízení a po dostatečném zchlazení se přesouvá na pásový dopravník. Poté je forma přesunuta k vibračnímu dopravníku a chladicímu bubnu, kde se ochlazuje formovací směs a odlitky. Ochlazená formovací směs se přeseje a je dopravena do mísiče, odlitky jsou roztříděny a putují dál do výroby.



Obr. 6 Výroba forem a odlitků na lince DISA [17]

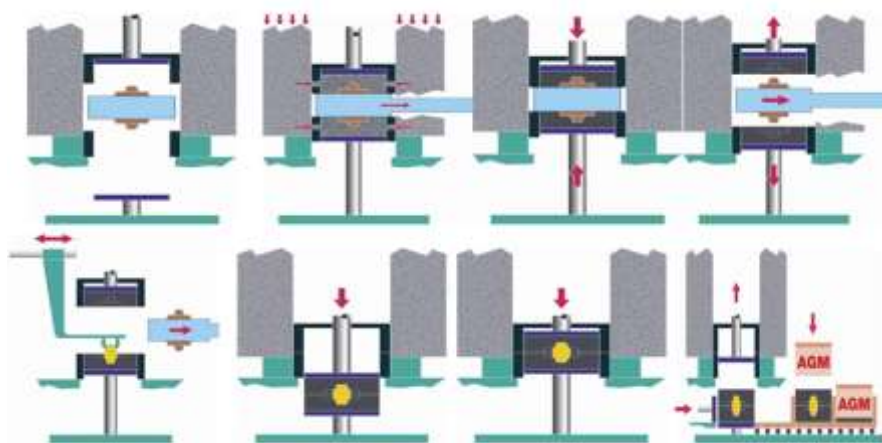
Linka je vybavena diagnostickým systémem, který zpracovává data o průběhu výroby odlitků týkající se směsi, jader, objemu vratné směsi, údajů o formování a odlévání, postavení stroje a údajů o modelu. Data jsou pak zpracovávána řídicím systémem s uživatelským rozhraním a CIM modulem (Computer Integrated Manufacturing) [7, 15, 16].

5.2 Bezrámové formovací linky s vodorovnou dělicí rovinou

Byly vyvinuty pro odlitky, které nelze formovat do svisle dělených forem. Stejně jako u bezrámových linek se svislou dělicí rovinou i zde odpadá manipulace s formami v těžkých a drahých rámech. Rámy jsou však nahrazeny tzv. žakety, které jsou po zhotovení formy a založení jader navlečeny na formu, kterou zpevňují v oblasti dělicí roviny a zároveň brání přesazení formy. Aby bylo možné žakety bez problému navléct na formu, je forma vyrobena s úkosem. Dále jsou formy zatěžovány tzv. úkladky, které brání případnému vztlaku. Při výrobě forem se používají oboustranné modelové desky, proto bývá problém s předěláním původních desek při přechodu k této technologii (hrozí přesazení odlitků) [7, 15, 16].

5.2.1 Bezrámové formovací stroje vstřelovací a lisovací

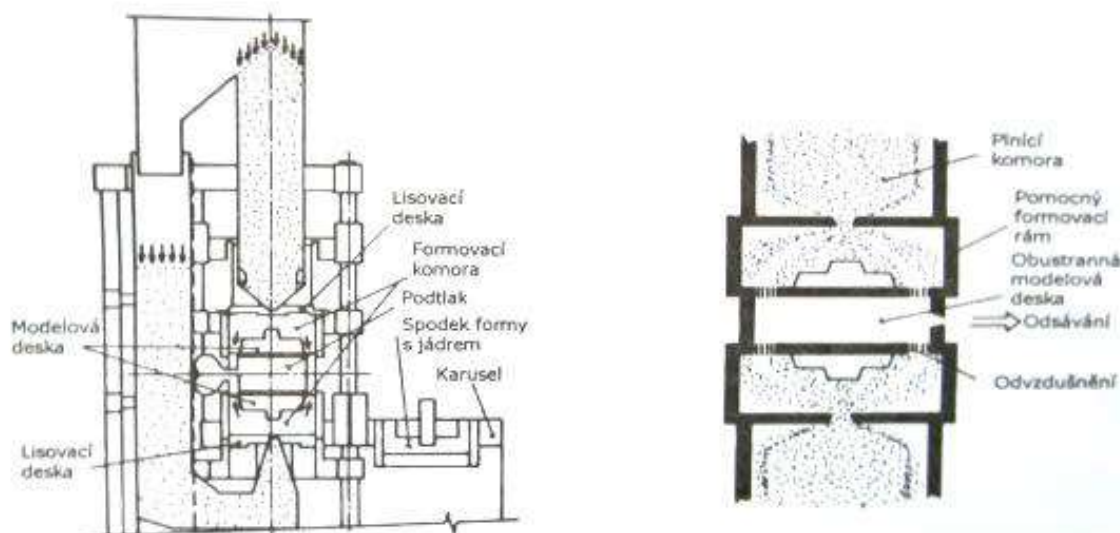
Na oboustrannou modelovou desku se z obou stran přitlačí pomocné rámy, poté je do formovací komory se svislou dělicí rovinou shora (z boku modelu) vstřelena a následně dolisována formovací směs. Poté se lis s formovací komorou odklopí do vodorovné polohy, spodní



Obr. 7 Výroba formy strojem ABM – Haflinger [18]

poloforma se posune směrem dolů, vysune se modelová deska a založí se jádra. Po založení jader se obě poloformy složí dohromady a celá forma se přesune na dopravník [7, 15, 16].

5.2.2 Bezrámové formovací stroje podtlakové a lisovací



Obr. 8 Bezrámový formovací stroj DISA plnicí se podtlakem [7]

Modelová deska je ve vodorovné poloze. Spodní i horní komora se svisle plní směsí za podtlaku. Poté jsou formy lisovány a následně se vyjme model za pomoci přetlaku vzduchu. Spodní poloforma se uloží na dvoupolohový karusel a na její místo se dostane dříve zhotovená poloforma, do níž byla založena jádra. Ve stroji se obě poloformy spojí a výsledná forma je umístěna na lici a chladicí trať.

Výhodou tohoto způsobu formování je, že při nasávání směsi nevzniká téměř žádný hluk ani vibrace. Další výhodou je rovnoměrné předzhuštění formovací směsi [7, 15, 16].

5.2.3 Bezrámové formovací stroje lisovací

Jedná se především o americké stroje. Zařízení se používá při výrobě jednoduchých odlitků v malých sériích.

Ke zhuštění formy dochází pomocí vibrace a lisování ve dvou polohách. Rovnoměrnost zhuštění je podstatně horší než u předešlých linek, nedochází však k takovému poškození modelu jako při vstřelování.

V první poloze se směs dávkuje do spodního rámu za vibrace. Poté je přisunuta podložka a modelová deska s rámem se otočí.

Ve druhé poloze je z pojízdného dávkovače nadávkována směs do horního rámu. Následně jsou obě poloformy lisovány proti pojízdné lisovací desce [7, 15, 16].

6 ZHODNOCENÍ MODERNIZACE PRACOVIŠTĚ BEZRÁMOVÉ FORMOVNY VE SPOLEČNOSTI SLÉVÁRNA A MODELÁRNA NOVÉ RANSKO, S.R.O.

Výchozí stav pracoviště



Obr. 9 celkový pohled [19]



Obr. 10 odlévání [19]

Stávající strojní formovna se třemi páry formovacích strojů FOROMAT 20 (Obr. 9, 10) je schopna vyrobit maximálně 800 forem za směnu. Na modelových deskách lze však umístit přibližně dvakrát méně pozic než tomu bude na nově realizované lince DISA MATCH 20-24. Na pracovišti bezrámové formovací linky UNIVERSAL KFA 20 (Obr. 11, 12) lze vyrobit maximálně 215 forem za směnu, velikost modelových desek je téměř shodná. Po úplném převedení všech přizpůsobených modelových desek na linku DISA MATCH 20-24 (Obr. 13, 14) bude tedy výkon pracoviště o 36 % vyšší,



Obr. 11 KFA 20, prostor formování



Obr. 12 celkový pohled na formovací stroj KFA 20



Obr. 13 DISA MATCH, prostor formování



Obr. 14 celkový pohled na formovací stroj

protože linka DISA MATCH 20-24 je schopna vyrobit průměrně 960 forem za směnu a po přepočtu strojní formovny s FOROMATY 20 = 400 forem za směnu + 215 forem za směnu z linky UNIVERSAL KFA 20 = celkem 615 forem za směnu. Mimo to lze předpokládat, že nová formovací linka bude pracovat ve dvousměnném provozu. V tomto případě bude výkon nové strojní formovny o 172 % vyšší než je tomu u stávajícího výkonu obou strojních formoven (UNIVERSAL KFA 20, FOROMATY 20).

V současnosti na strojních formovných pracuje sedm formířů, dva odlévači a tři vytloukači (12 pracovníků/směnu). Formovací linku obsluží jeden formíř, jeden pracovník zakládání jader, dva odlévači, jeden manipulát a jeden vytloukač (6 pracovníků/směnu), takže uvedených dvanáct pracovníků obsadí dvousměnný provoz.

Současný stav produkce na strojním formování je 1400 tun, což je ½ roční produkce slévárny litin. Při předpokladu zvýšení produkce o 172 % se zvýší celková roční výroba ve slévárně litin na 54 % [19].

Výpočet celkové produkce při navýšení produkce strojní formovny o 172 %

Současná produkce:

1400 tun na ruční formovně + 1400 tun na strojní formovně = 2800 tun za rok celkem

Produkce po zavedení nové formovací linky:

1400 * 2,72 = 3808 tun na strojní formovně

1400 tun na ruční formovně

1400 + 3808 = 5208 tun za rok celkem.

Zvýšení produkce strojně vyráběných odlitků společně s nezměněnou produkcí ručního formování, tedy celková produkce slévárny litin se zvýší po převedení všech pozic strojního formování na novou formovací linku DISA MATCH 20-24:

$2800 / 5208 = 0,5376 \Rightarrow 54 \%$

6.1 Komponenty linky DISA MATCH 20-24 vyráběné investorem

Společnost využila možnosti vyrobit část dílců pro novou formovací linku ve vlastních kapacitách slévárny. Jedná se o podkladovou desku z litiny s lupínkovým grafitem, žaketů ze slitiny hliníku s křemíkem a úkladky rovněž z litiny s lupínkovým grafitem.



Obr. 15 úkladek s otvorem pro lití



Obr. 16 pojízdná podkladová deska



Obr. 17 žaket ze slitiny hliníku s křemíkem pro zpevnění formy v oblasti dělicí roviny

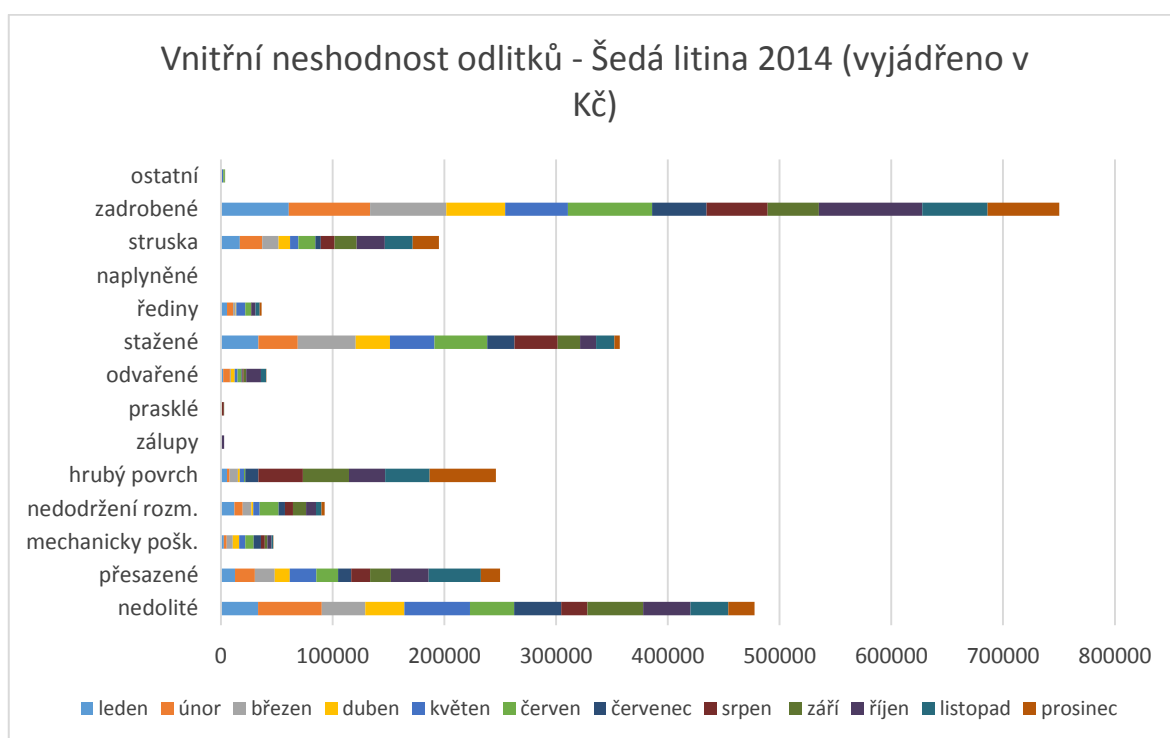
6.2 Zhodnocení neshodné produkce

Ke zhodnocení neshodné produkce bylo provedeno porovnání mezi vyhodnocením vad odlitků slévárny litin za rok 2014 a odborným odhadem poklesu neshodné produkce po úplném rozběhu nové formovací linky DISA MATCH 20-24.

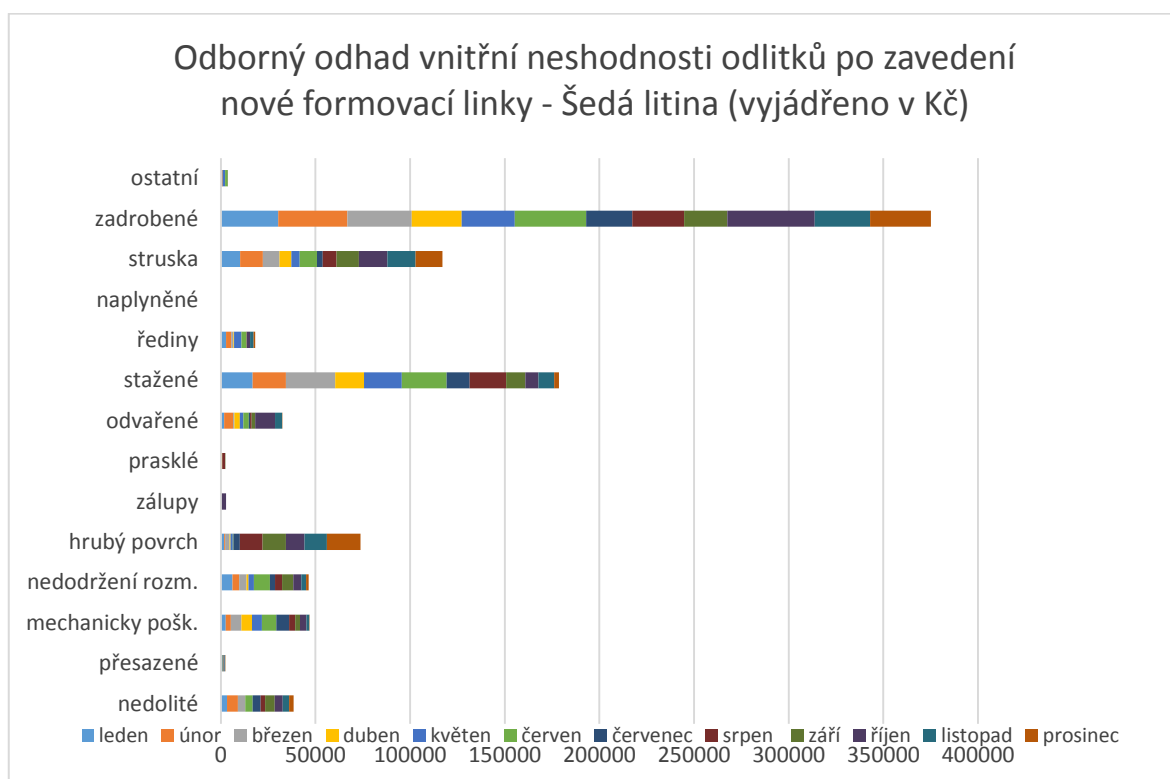
Z porovnání histogramů vyplývá, že neshodná produkce významně klesne, jak v oblasti výroby odlitků z litin s lupínkovým grafitem, tak v oblasti litin s kuličkovým grafitem.

Při odborném odhadu poklesu neshodné produkce bylo uvažováno, že na ručních pracovištích slévárny litin nedojde k významným změnám neshodné produkce, ale pro strojní pracoviště byly odhadnuty koeficienty přepočtu výskytu jednotlivých vad.

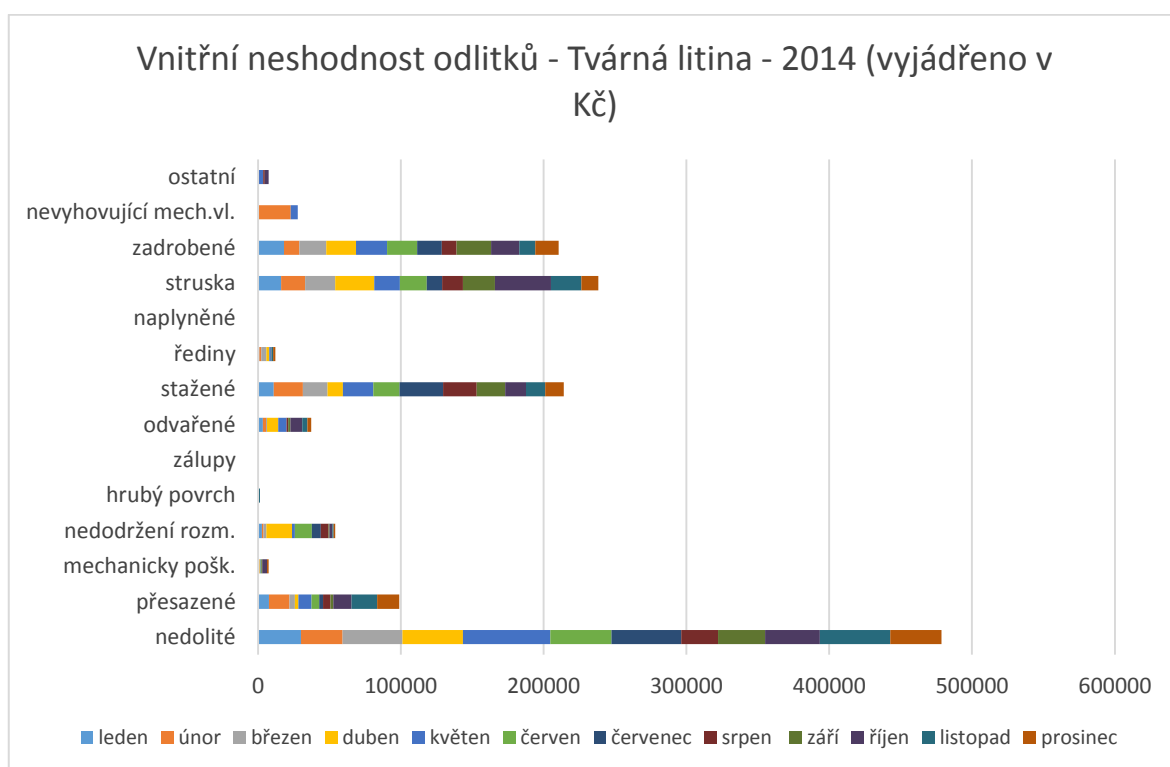
Tyto závěry vyplývají z následujících grafů.



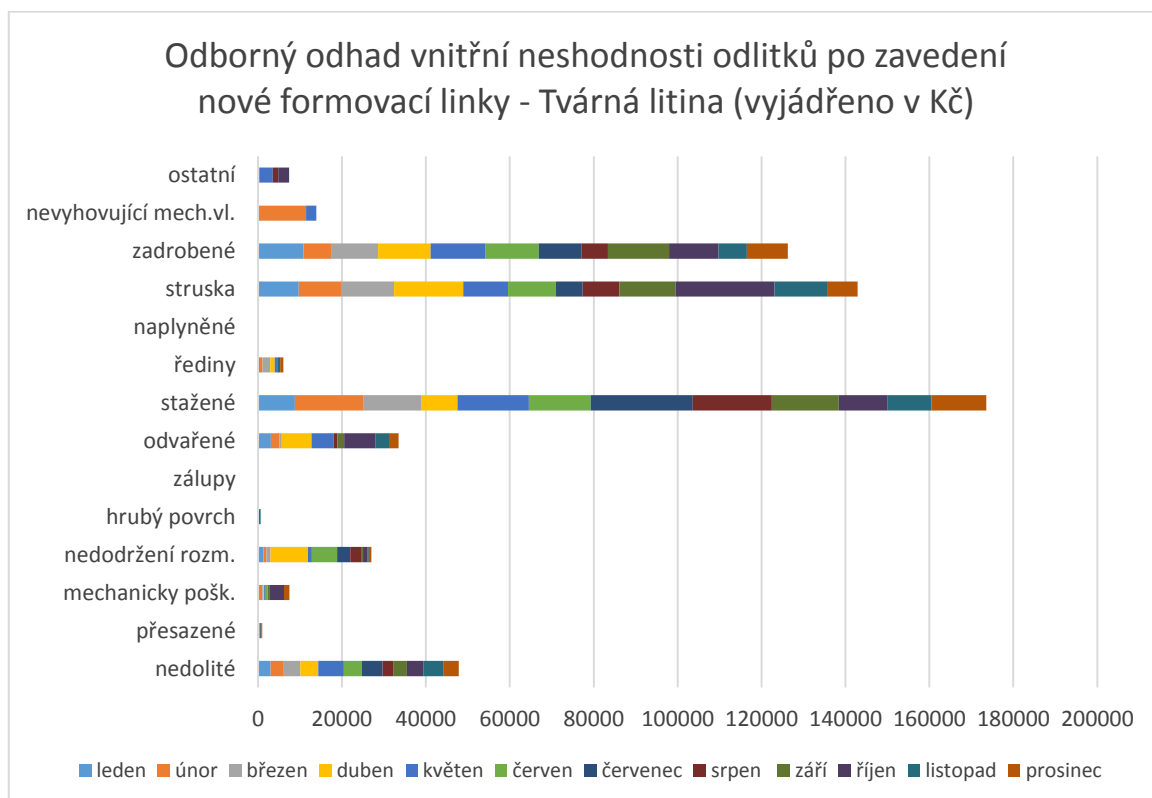
Graf 1 [19]



Graf 2 [19]



Graf 3 [19]



Graf 4 [19]

7 ZÁVĚR

V teoretické části byly zhodnoceny odlišnosti jednotlivých metod výroby bezrámových slévárenských forem, včetně porovnání výhod a jednotlivých metod výroby bezrámových slévárenských forem.

V praktické části bylo porovnání stávajících výkonů pracovišť strojního formování s odborným odhadem výkonů nové formovací linky.

Dále bylo v praktické části provedeno porovnání stávající neshodné produkce s předpoklady, odvozenými z odborného odhadu.

Cíle práce byly splněny v celém rozsahu.

- Byla provedena rešerše z dostupné odborné literatury a firemní literatury
- Odborným odhadem bylo zjištěno, že po zavedení nové formovací linky dojde k navýšení výkonu slévárny litin o 54 %
- Odborným odhadem bylo zjištěno, že se produkce neshodných odlitků výrazně sníží.

Doporučení:

Doporučuji společnosti investovat do inovací a nových progresivních metod, protože jsem přesvědčen, že je to předpoklad pro dlouhodobou udržitelnost a konkurence schopnost slévárenství.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] JELÍNEK, Petr. *Slévárství*. 3. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 1992, 256 s. ISBN 80-7078-952-2.
- [2] ELBEL, Tomáš. *Teorie slévárenských pochodů* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oborech BS studijního programu „Metalurgické inženýrství“. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Katedra metalurgie a materiálového inženýrství [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/632-Elbel-Teorie-slevarenskych-pochodu-BSUS.pdf>
- [3] HORÁČEK, Milan. *Teorie Slévání*. 2. vydání. Vysoké učení technické v Brně, 1991. ISBN 80-214-0293-8
- [4] *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, roč. 2007, 11-12. ISSN 0037-6825.
- [5] TOPINKOVÁ, Michaela. *Anorganická pojiva* [online]. 2013. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2013 [cit. 2015-04-25]. ISBN 978-80-248-3366-8.
Dostupné z: http://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-2-metalurgie/anorganicka-pojiva/Topinkova_Anorganicka-pojiva.pdf
- [6] HORÁČEK, Milan. *Slévárenská technologie I*. Vysoké učení technické v Brně, 1990. 166 s. ISBN 80-214-0217-2.
- [7] CHRÁST, Jaroslav. *Slévárenská zařízení*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 256 s. ISBN 80-7204-456-7.
- [8] NOVOTNÝ, Josef, KRAHULA, Zdeněk. *Geopolymery ve slévárnách neželezných kovů* [online]. RGU, Holeček. 2009. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.rgu.cz/download/holecek2009/14_prednaska.pdf
- [9] SAND TEAM spol. s r. o. *GEOPOLYMER Y - Technologie GEOPOL®* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.sandteam.cz/nase-sluzby/geopolymery>
<http://www.sandteam.cz/nase-sluzby/geopolymery>

- [10] DLOUHÁ, Monika. *SROVNÁNÍ EKOLOGICKÝCH A TECHNOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ RŮZNÝCH ZPŮSOBŮ VÝROBY SLÉVÁRENSKÝCH FOREM A JADER*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Cupák Ph.D.
- [11] CUPÁK, Petr. *Studium biogenních pojiv*. Disertační práce v oboru „Strojírenská technologie“. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie, 2011.
- [12] Šlajs, Jan. Nové trendy v technologii formování. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, roč. 2014, 11-12. ISSN 0037-6825
- [13] *FOUNDRY Management and Technology: a Penton publication*. Cleveland: Penton Media, 2006. ISSN 0360-8999.
- [14] COLDITZ, Michael. Das kastenlose Formen mit weltweiten Potentialen: DISA-Formanlagen im Fokus der Giessereien. *Geiserei: Erfahrungsaustausch*. 2012, 1+2. ISSN 0016-9773.
- [15] Kofler, Christoffer. Formovací linky DISAMATIC – jednoduchost a dokonalost. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, roč. 1998, 7-8. ISSN 0037-6825.
- [16] Marcinkowski, Jan. Produkcja odlewów ze stopów miedzi na automatycznych liniach DISAMATIC. *Przegląd Odlewnictwa*. Warszawa: Wydawnictwo Czasopism i Ksiązek Technicznych "sigma", 1992. ISSN 0033-2275.
- [17] BEDNÁŘOVÁ, Vlasta. *Základy teorie a technologie slévárství* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oborech BS studijního programu „Metalurgické inženýrství“. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Katedra metalurgie a materiálového inženýrství [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/cs/studium-a-vyuka/studijniopory/Zaklady_teorie_a_technologie_slevarenstvi.pdf.
- [18] Slévárenská zařízení – ABM. *METOS METALURGICKÝ TECHNOLOGICKÝ OBCHODNÍ SERVIS*. [online]. 15. 5. 2015 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.metos.cz/zarizeni.html>
- [19] *Výtah z podkladů pro projekt k dotačnímu titulu rozvoj I*. Materiály poskytnuté společností Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o. Nové Ransko, 2015.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Tabulky údajů o neshodné produkci odlitků z litiny s lupínkovým grafitem

Příloha 2 Tabulky údajů o neshodné produkci odlitků z litiny s kuličkovým grafitem

Tab. 1 Vnitřní neshodná produkce 2014 – litina s lupínkovým grafitem (hodnoty v jednotkách Kč) [19]

Druh vady	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	CELKEM
nedolitě	33265	57070	39040	34981	58591	39444	42224	23514	49860	42172	33940	23419	477520
přesazené	12807	17523	17831	13662	23586	19399	11750	17001	18736	33663	46806	17162	249926
mechanicky pošk.	2534	2724	5540	5648	5332	7524	6730	3192	2539	3499	1447	201	46910
nedodržení rozm.	12163	7348	7818	1721	5782	16905	5605	7295	11782	8724	4823	2845	92811
hrubý povrch	5649	2077	7636	1556	3907	1102	11618	39851	41382	32267	39874	59243	246162
zálupy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3068	0	0	3068
prasklé	0	0	0	884	0	0	0	1681	183	0	0	0	2748
odvařené	2110	5996	804	3540	2508	3482	835	1139	2295	13136	4563	314	40722
stažené	33479	35417	51844	30601	39804	47266	24359	38571	20273	14163	16249	5117	357133
řediny	5546	5447	2289	642	7884	5448	0	167	0	3596	3609	1743	36371
naplyněné	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
struska	17112	20001	14571	10341	7329	15186	5062	12323	19653	25161	24822	23699	195260
zadrobené	60751	72925	68022	52687	56227	75257	48787	54685	45793	92484	58453	64112	750183
ostatní	0	916	0	1	1258	1477	0	0	77	0	0	0	3729
Celkem	185416	227444	215395	156264	212208	232480	156970	199419	212573	271933	234586	197855	2502543

Tab. 2 Odborný odhad vnitřní neshodné produkce po náběhu nové formovací linky – litina s lupínkovým grafitem (hodnoty v jednotkách Kč) [19]

Druh vady	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	CELKEM
nedolitě	3326,5	5707	3904	3498,1	5859,1	3944,4	4222,4	2351,4	4986	4217,2	3394	2341,9	38394,8
přesazené	128,07	175,23	178,31	136,62	235,86	193,99	117,5	170,01	187,36	336,63	488,06	171,62	2499,26
mechanicky pošk.	2534	2724	5540	5648	5332	7524	6730	3192	2539	3499	1447	201	46910
nedodržení rozm.	6081,5	3674	3909	860,5	2891	8452,5	2802,5	3647,5	5891	4362	2411,5	1422,5	46405,5
hrubý povrch	1694,7	623,1	2290,8	466,8	1172,1	330,6	3485,4	11955,3	12414,6	9680,1	11962,2	17772,9	73848,6
zálupy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2761,2	0	0	2761,2
prasklé	0	0	0	795,6	0	0	0	1512,9	164,7	0	0	0	2473,2
odvařené	1688	4796,8	643,2	2832	2006,4	2785,6	668	911,2	1836	10508,8	3650,4	251,2	32577,6
stažené	16739,5	17708,5	25922	15300,5	19902	23628	12179,5	19285,5	10136,5	7081,5	8124,5	2558,5	178566,5
řediny	2773	2723,5	1144,5	321	3942	2724	0	83,5	0	1798	1804,5	871,5	18185,5
naplyněné	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
struska	10267,2	12000,6	8742,6	6204,6	4397,4	9111,6	3037,2	7393,8	11791,8	15096,6	14893,2	14219,4	117156
zadrogené	30375,5	36462,5	34011	26343,5	28113,5	37628,5	24393,5	27342,5	22896,5	46242	29226,5	32056	375091,5
ostatní	0	916	0	1	1258	1477	0	0	77	0	0	0	3729
Celkem	75607,97	87511,23	86285,41	58910,12	69250,26	97800,19	57636	77845,61	72920,46	105583	77381,86	71866,5	938598,66

Tab. 3 Vnitřní neshodná produkce 2014 – litina s kulíčkovým grafitem (hodnoty v jednotkách Kč) [19]

Druh vady	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	CELKEM
nedolitě	29956	29277	41887	42463	61128	42744	48993	25644	32940	38474	49339	35818	478663
přesazené	7678	14392	3810	2437	9191	5359	2751	5154	2035	12651	18004	15434	98896
mechanicky pošk.	0	1017	209	234	346	520	0	0	496	3378	0	1271	7471
nedodržení rozm.	2647	1260	2045	17810	1930	12082	6194	5451	619	2048	737	1271	54094
hrubý povrch	0	0	0	0	0	0	0	0	17		1440	0	1457
zálupy	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
odvařené	3386	2342	554	7873	5888	0	0	956	1768	8260	3618	2534	37179
stažené	10927	20508	17323	10654	21296	18356	30409	23593	19941	14609	13484	13031	214131
řediny	901	1286	3648	2076	1047	0	0	0	201	245	1161	1493	12058
naplyněné	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
struska	16118	16840	21051	27461	17796	18986	10655	14648	22267	39312	21228	11833	238195
zadrobené	18107	10843	18717	20905	21784	21120	17129	10389	24301	19593	11298	16208	210394
nevyhovující mech.vl.	0	22835	0	0	4982	0	0	0	0	0	0	0	27817
ostatní	491	1	0	0	3020	0	0	1273	0	2618	0	0	7403
Celkem	90211	120601	109244	131913	148408	119167	116131	87108	104585	141188	120309	98893	1387758

Tab. 4 Odborný odhad vnitřní neshodné produkce po náběhu nové formovací linky – litina s kuličkovým grafitem (hodnoty v jednotkách Kč) [19]

Druh vady	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	CELKEM
nedolitě	2995,6	2927,7	4188,7	4246,3	6112,8	4274,4	4899,3	2564,4	3294	3847,4	4933,9	3581,8	47866,3
přesazené	76,78	143,92	38,1	24,37	91,91	53,59	27,51	51,54	20,35	126,51	180,04	154,34	35506,96
mechanicky pošk.	0	1017	209	234	346	520	0	0	496	3378	0	1271	7471
nedodržení rozm.	1323,5	630	1022,5	8905	965	6041	3097	2725,5	309,5	1024	368,5	635,5	27047
hrubý povrch	0	0	0	0	0	0	0	0	6,8	0	576	0	582,8
zálupy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
odvařené	3047,4	2107,8	498,6	7085,7	5299,2	0	0	860,4	1591,2	7434	3256,2	2280,6	33461,1
stažené	8741,6	16406,4	13858,4	8523,2	17036,8	14684,8	24327,2	18874,4	15952,8	11687,2	10424,8	13031	173548,6
řediny	450,5	643	1824	1038	523,5	0	0	0	100,5	122,5	580,5	746,5	6029
naplyněné	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
struska	9670,8	10104	12630,6	16476,6	10677,6	11391,6	6393	8788,8	13360,2	23587,2	12736,8	7099,8	142917
zadrobené	10864,2	6505,8	11230,2	12543	13070,4	12672	10277,4	6233,4	14580,6	11755,8	6778,8	9724,8	126236,4
nevyhovující mech.vl.	0	11417,5	0	0	2491	0	0	0	0	0	0	0	13908,5
ostatní	491	1	0	0	3020	0	0	1273	0	2618	0	0	7403
Celkem	37661,38	51904,12	45500,1	59076,17	59634,21	49637,39	49021,41	41371,44	49711,95	65580,61	39835,54	38525,3	621977,66