



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA ODLITKU PÁČKOVÉ POJISTKY PRO HADICOVOU SPOJKU

PRODUCTION OF LEVER FUSE CASTING FOR HOSE COUPLING

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Tvrdoň

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vítězslav Pernica, Ph.D.

BRNO 2020

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Tomáš Tvrdoň</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Vítězslav Pernica, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2019/20

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 odlitku páčkové pojistky pro hadicovou spojku

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Literární rešerše zaměřená na výrobu odlitků pomocí netrvalých forem. Součástí práce je experimentální výroba repliky odlitku páčkové pojistky pro hadicovou spojku dle vybrané slévárenské technologie.

### Cíle bakalářské práce:

- sepsat rešerši na slévárenské technologie výroby odlitků pomocí jednorázových (netrvalých) forem,
- v experimentální části popsat výrobu repliky zadané součásti.

### Seznam doporučené literatury:

BEELEY, P.R. Foundry technology. 2nd ed. Boston: Butterworth Heinemann, 2001. ISBN 0-750-4567-9.

HORÁČEK, M. Teorie slévání. 2. vydání. Brno: VUT Brno, 1991. ISBN 80-214-0293-8.

JELÍNEK, P. Slévárenské formovací směsi. 1. vyd. Ostrava: VŠB Technická univerzita, 1996, 177 s. ISBN 80-7078-326-5.

HORÁČEK, M. Slévárenská technologie I. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1990. 166 s. ISBN 80-214-0217-2.

AMMEN, C. W. Metalcasting. New York: McGraw-Hill, c2000. ISBN 0-07-134246-X.

SCHLEG, F.P., F.H. KOHLOFF a J.G SYLVIA. Technology of metalcasting. Des Plaines, Ill.: American Foundry Society, c2003. ISBN 0-87433-257-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

TVRDOŇ Tomáš: Výroba odlitku páčkové pojistky pro hadicovou spojku.

První část této bakalářské práce je teoretická a je zaměřena na výrobu odlitků pomocí netrvalých forem. Najdeme zde základní členění forem a následně jsou popsány pískové a keramické formy. Druhá, praktická část, přibližuje výrobu odlitku páčkové pojistky, která v praxi brání rozpojení hasičských hadic při tlakování vodou. Pro výrobu byla zvolena technologie vytavitelného modelu. Je zde popsán celý postup od výroby voskových modelů, lepení na stromeček, obalování, vytavování vosku, až po odlévání kovu. Celá praktická část je doprovázena autentickými fotografiemi, které vznikaly postupně během výroby.

## **Klíčová slova:**

netrvalé formy, přesné lití, metoda vytavitelného modelu, moderní slévárenství

## **Abstract**

TVRDOŇ Tomáš: Production of lever fuse casting for hose coupling

The first part of this bachelor's thesis is just a theory and it is focused on producing castings with method of impermanent moulds. You can find here basic classification of moulds and afterwards sand moulds and ceramic moulds are described. The second part is practical and it is focused on a production of lever fuse which defends disconnection of the fire hose when it is under the pressure of water. Lost wax casting was chosen for the production. In this part is described full process from pattern making, gluing to wax tree, covering to metal casting. The whole practical part is accompanied by authentic pictures which were made during the process.

## **Keywords:**

impermanent moulds, investment casting, lost wax casting, modern foundry

## **Bibliografická citace**

TVRDOŇ, Tomáš. *Výroba odlitku páčkové pojistky pro hadicovou spojku* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125121>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Vítězslav Pernica

## **Čestné prohlášení**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V ..... dne 23. 6. 2020.

.....

Podpis

## **Poděkování**

Tímto děkuji panu Ing. Vítězslavovi Pernicovi, PhD. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

## Obsah

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Úvod – Historie .....	10
1 Slévárenské formy .....	12
1.1 Základní pojmy .....	12
1.2 Rozdělení forem .....	14
1.2.1 Trvalé formy .....	14
1.2.2 Polotrvalé formy .....	14
1.2.3 Netrvalé formy .....	14
2 Pískové formy .....	15
2.1 Ostřívo .....	16
2.1.1 Ostříva kyselého charakteru .....	16
2.1.2 Ostříva zásaditého charakteru .....	17
2.1.3 Ostříva neutrálního charakteru .....	17
2.2 Pojivové soustavy .....	19
2.2.1 Dělení do čtyř generací .....	20
2.3 Dělení podle chemického charakteru .....	21
2.3.1 Anorganická pojiva .....	23
2.3.2 Organická pojiva .....	25
3 Keramické formy .....	28
3.1 Keramické skořepinové formy .....	28
3.1.1 Modely .....	29
3.1.2 Výroba voskových vytavitelných modelů .....	30
3.1.3 Vosky pro matečné modely .....	32
3.1.4 Sestavování modelů .....	33
3.1.5 Výroba skořepinových forem .....	34
3.1.6 Vytavování modelu z formy .....	34
3.1.7 Vypalování skořepin a odlévání .....	34
3.1.8 Konečná úprava odlitku .....	35
3.2 Metoda Shaw .....	35
3.2.1 Výroba formy .....	35
4 Další způsoby výroby netrvalých forem .....	36



4.1	Magnetické formování .....	36
4.2	Odlévání na vypařitelný model .....	36
4.3	Vakuové výroby forem (V – metoda) .....	36
4.4	Výroby forem zmrazováním .....	36
4.5	Sádrové formy .....	36
4.5.1	Metoda Antioch .....	37
4.5.2	Metoda Bendix .....	37
4.5.3	Metoda napěněné směsi .....	37
4.6	Cementové formy .....	37
5	Praktická část .....	38
5.1	Zadání a přiblížení problému .....	38
5.2	Silikonová forma .....	38
5.3	Volba vosku, výroba modelů .....	39
5.4	Lepení na stromeček .....	40
5.5	Obalování .....	40
5.6	Vytavování vosku .....	42
5.7	Vypalování keramiky .....	42
5.8	Tavba a odlévání kovu .....	43
5.9	Výsledek a zhodnocení .....	43
6	Závěr .....	44
7	Seznam použitých zdrojů .....	45
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	48
	Seznam obrázků .....	49
	Seznam tabulek .....	51
	Seznam příloh .....	52
	Příloha 1 .....	53
	Příloha 2 .....	54
	Příloha 3 .....	55

## ÚVOD – HISTORIE

Slévárnictví je technologie, kterou zná lidstvo několik tisíc let. Prapočátky sahají do doby kamenné, kdy byly tvořeny naprosto primitivní kamenné či hliněné formy. Dochované odlitky šperků, zbraní a sošek sahají do dob velkých říší Starého světa. Již před 6000 lety na dolním Eufratu v zemi Ur vznikaly první odlitky metodou vytavitelného modelu, přičemž model byl tvořen včelím voskem a forma byla zhotovena z hlíny. Pro slévárnickou výrobu té doby bylo klíčové objevení kovů s poměrně nízkou teplotou tavení. Řeč je o bronzových slitinách, a tedy o době bronzové. Velká řada uměleckých odlitků pochází zhruba ze 4. století př. n. l., kdy vznikaly busty starověkých bohů nebo šperky. Existují však mnohem starší nálezy, jako například bronzové sošky ze Sýrie staré zhruba 5 000 let, které lze vidět na obr. 1 nebo soška na obr. 2. Postupem času se tyto technologie dále vyvíjely. Od prvních způsobů výroby odlitků, které pravděpodobně probíhaly jen metodou „pokus-omyl“, se technicky zaměřená skupina lidí dále snažila tyto technologie zdokonalovat. Z bronzu se hojně odlévalo až do počátku 17. století, v souvislosti s válkami většinu odlitků tvořila děla nebo jiné zbraně. Vedle bronzu se využíval i cín, zejména pak na přístroje, svícny a jiné výrobky denní potřeby té doby.

Velmi významná je v historii slévárnictví tavba železa. Ta se objevovala podle archeologických nálezů až 4000 let nazpět. V tzv. dýmačkách (viz obr. 3.), 1-2 m vysokých pecích vytápěných dřevěným uhlím, bylo možné dosahovat teplot



Obr. 3 Dýmačka [22]



Obr. 1 Tell Judiah, Sýrie, 3 100 - 2 900 př. n.l. (bronz) [20]



Obr. 2 Tanečnice z Mohenjodaro, 2500 př. n. l. [21]

v rozmezí 700 až 1200 °C. K redukci železných oxidů je dostatečná právě teplota 700 °C. Při 1200 °C je pak produktem tavby surové železo. Významný rozvoj této technologie je známý zhruba z 16. století, kdy byly postaveny první vysoké pece a bylo tak možné vyrábět až několik desítek kilogramů surového železa za den. Na našem území byla doložena vysoká pec v Králově Dvoře, avšak až z roku 1696.

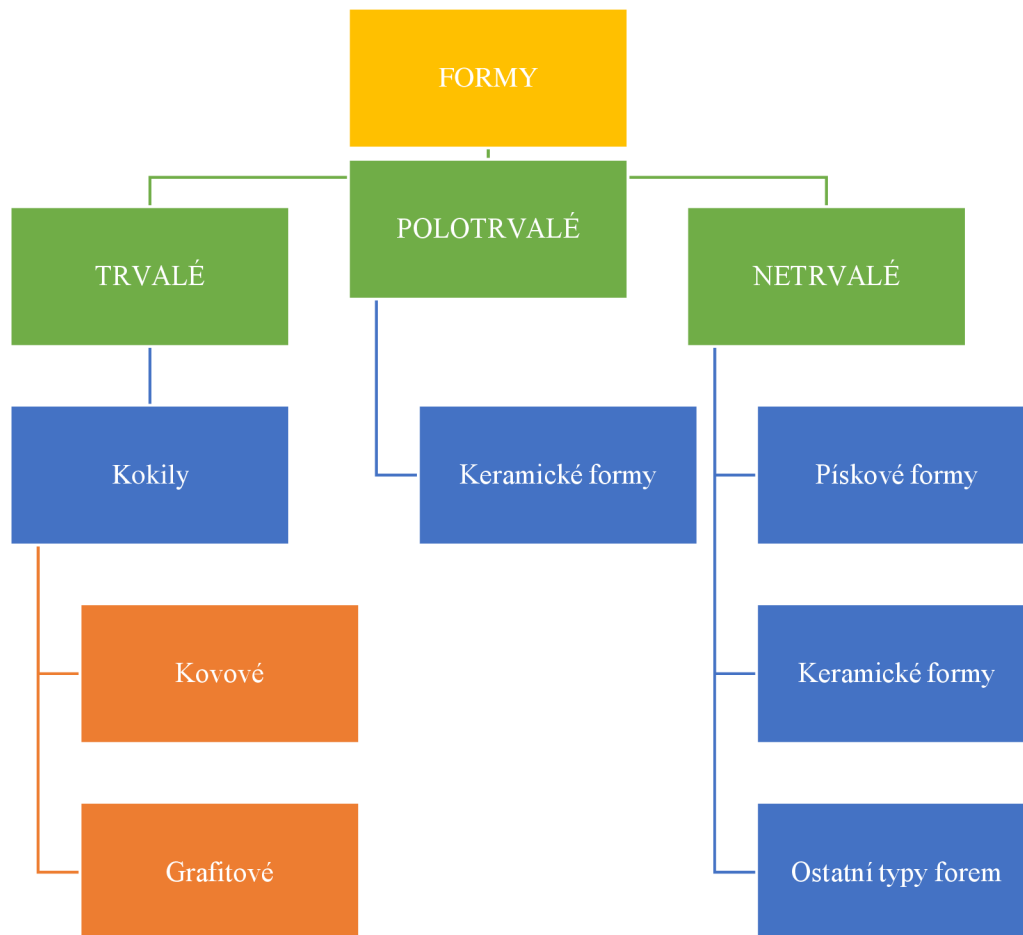
Století páry, a tedy průmyslová revoluce roku 1848, s sebou přineslo masový nárůst tavby litiny. Již na přelomu 18. a 19. století představil světu britský průmyslník John Wilkinson první kuplovnu. Později se kvůli zvyšujícím se požadavkům na kvalitu a množství odlévaného kovu zaváděla výroba plávkové oceli (Siemens – Martinské pece,

konvertory, elektrické pece). Nárůst poptávky po železných slitinách přinesl změny ve výrobě litiny a oceli. Výroba a používané technologie byly stále efektivnější. Druhá světová válka, i přes svůj obecně negativní dopad, pomohla slévárenství výrazně se posunout dopředu. Jelikož se tvarová složitost odlitků neustále zvyšovala a klasickou metodou výroby pomocí pískových dělených forem nebylo možné takové odlitky ve větších sériích vyrábět, došlo k rozvoji nových metod. Začala se mnohem více uplatňovat chemie, a tedy rozvoj nových formovacích materiálů. Vznikly nové metody výroby, vedle přesného lití na vytavitelný model také tlakové lití (nízkotlaké, vysokotlaké nebo odstředivé), mnohem více se uplatňovala sériová výroba litím do kokil ve zbrojním či automobilovém průmyslu.

V dnešní době je přesné lití nedílnou součástí mnoha odvětví průmyslu, zejména však v energetice, letectví, elektrotechnice, optice či ve zdravotnické sféře. V posledních letech, za použití moderního softwaru a progresivních technologií, lze odlévat i velice tvarově složité a technologicky náročné součásti. Abychom byli schopni poptávku zákazníka pokrýt v co nejkratším čase i za dodržení požadavku na vysokou jakost výrobku, zavádíme do výrobního procesu technologie typu rapid prototyping. Často si ve výrobě pomáháme 3D tiskem. Je tedy logické, že místo trvalých forem, jejichž výroba je často poměrně komplikovaná, drahá a z hlediska úprav i neflexibilní, vstupují do výrobních procesů právě formy netrvalé. [1], [2], [3], [4]

# 1 SLÉVÁRENSKÉ FORMY

Formy ve slévárenství jsou nedílnou součástí výroby odlitku. Do formy se odlévá roztavený kov. Odlitek má tvar modelu a je velmi důležité, aby jeho rozměry odpovídaly budoucí součásti, přičemž je třeba počítat s přídávky (např.: technologickými, na obrábění, přídávky kompenzující smrštění, ...). Ve slévárenství hovoříme o formách trvalých, polotrvalých a netrvalých, rozdělení je ve schématu níže (obr. 4). [3], [5]



Obr. 4 Základní schéma rozdělení slévárenských forem [5]

## 1.1 Základní pojmy

Netrvalé formy jsou jednou z nejčastěji využívanou technologií ve slévárenství. Každou netrvalou formu tvoří složky ostřiva, pojiva, vody a dalších přísad, které prospívají lepším vlastnostem směsi. Zejména jsou to látky zlepšující rozpadavost formy po odlití nebo zvyšující konečnou jakost povrchu odlitku (pro odlitky z litiny jsou to například přísady s obsahem uhlíku – třeba mleté uhlí).

Abychom se mohli v netrvalých formách lépe orientovat, existují různé způsoby klasifikace, například podle typu ostřiva, pojiva nebo technologie výroby. Dále u forem můžeme posuzovat obsah volné vody v systému, která je odstranitelná sušením (při teplotách nad 105 °C). V následující tabulce č. 1 je toto dělení znázorněno:

Tab. 1 Rozdělení pískových směsí podle obsahu vody [3], [5].

Typ směsi:	Obsah vody:	Poznámka:
bezvodé směsi	maximálně 0,1 %	plastifikátor pojiva je na bázi organické sloučeniny
polosuché směsi	maximálně 3 %	lisování za vyšších tlaků
směsi „na syrovo“	maximálně 5 %	není třeba je před odléváním nijak sušit
směsi „na přisoušení“	6-7 %	formu je nutné těsně před odlévání kovu krátkodobě, ale intenzivně vysušit, tzv. sušení na kůru
směsi „na sušení“	nad 7 %	formy a jádra je bezprostředně nutné vysušit, jelikož je třeba odstranit jak volnou, tak chemicky vázanou vlhkost

Rovněž existuje dělení podle způsobu použití formovacích směsí:

- Modelová formovací směs (modelka).
  - Tato směs je přímo nanášena na model a je tedy nositelem tvaru budoucího odlitku.
  - U této směsi je požadavek na vysokou jakost, jelikož je přímo ve styku s odlévaným kovem a v případě výskytu nedokonalostí jsou defekty přímo přeneseny na odlévaný výrobek. Proto se připravuje ze zcela nových surovin, použití recyklátu se nedoporučuje.
- Výplňová formovací směs (vratná).
  - Jedná se o recyklovanou modelovací směs.
  - Její použití je zpravidla jako výplň zbytku formy po zaformování modelu modelovou formovací směsí. Jelikož není v přímém styku s kovem, lze ji použít právě pro tyto účely. Snižují se tím náklady i ekologická zátěž výrobního procesu.
  - Používá se rovněž pro výrobu vnitřní části jádra odlitku.
- Jádrová formovací směs.
  - Tato směs slouží výhradně pro výrobu jádra odlitku, buď se vyrábí jádro z tohoto materiálu v celém jeho objemu, nebo je použita pouze pro vnější část (obalení) jádra vyrobeného z výplňové formovací směsí.
  - U této směsi je kladen důraz na kvalitu a jakost ještě vyšší, než je tomu u modelové formovací směsi, jelikož jsou jádra mnohem křehčí a je třeba zajistit jejich stabilitu při odlévání.
- Jednotné formovací směsi.
  - Jedná se jakousi univerzální směs, jejíž složení je na bázi bentonitu (surový bentonit je na obr. 5).
  - Tato směs vyplňuje celý rám a zastupuje tak směs pro výrobu jádra či pro obalení modelu.



Obr. 5 Bentonit v surovém stavu [23]

- Velkou výhodou je částečná recyklovatelnost, kdy je za předpokladu patřičných úprav směs opětovně použitelná. Mezi úpravy patří vychlazení po odlití, následné odvlhčení na požadovanou úroveň a oživení zcela novou směsí. [5]

## 1.2 Rozdělení forem

### 1.2.1 Trvalé formy

Uplatňují se nejčastěji ve velkosériové výrobě, např. v automobilovém průmyslu (výroba až několika tisíc kusů). Jsou zhotoveny výhradně z kovových (např.: ocel, litina, měď, ...) nebo grafitových materiálů. Kovové formy jsou též známé pod pojmem kokily. Odlévá se většinou za zvýšených sil, tedy vysokotlakým, nízkotlakým nebo odstředivým litím. Životnost kokily je dána použitým materiálem jak pro formu, tak pro budoucí odlitek. Jakmile dojde k výraznému opotřebení (deformace tvaru, mapování, vytavení, prasknutí), je nutné formu vyřadit. Trvalá forma je znázorněna na obr. 6.



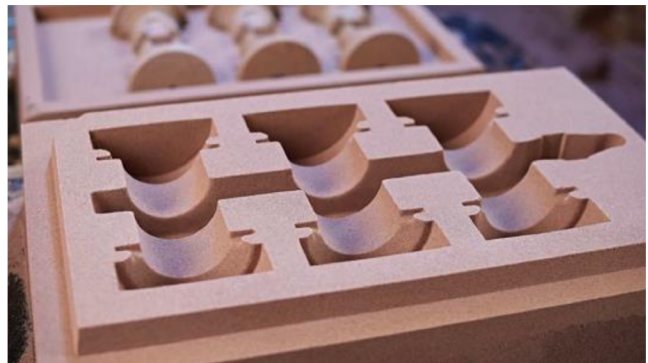
Obr. 6 Kokilové lití – trvalá forma [24]

### 1.2.2 Polotrvalé formy

Do těchto forem lze odlévat opakovaně, zdaleka však ne tolikrát, jako do trvalých forem. Po odlití a vyjmutí odlitku je nutné formu opravit. Je zhotovena z keramických žárovzdorných hmot. Životnost takové formy je maximálně 10 odlitků a odvíjí se od složitosti výrobku. Závisí také na pečlivosti a opatrnosti při vytahování odlitku z formy. Odlévá se výhradně gravitačně.

### 1.2.3 Netrvalé formy

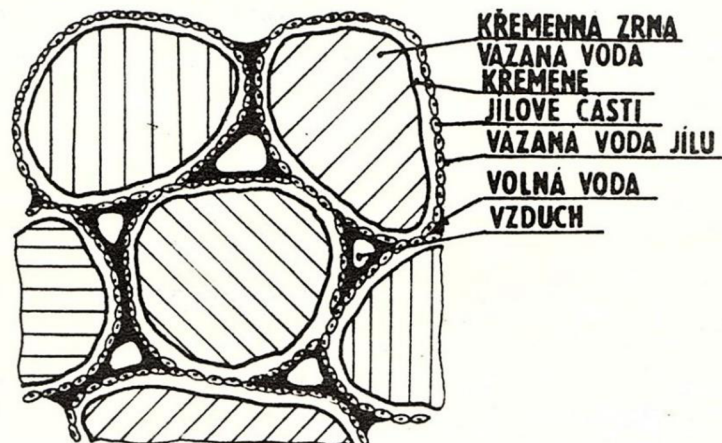
Jedná se o jednorázové formy, což znamená, že z jedné formy lze odlít pouze jeden odlitek. K vyjmutí odlitku je potřeba formu poškodit, a proto se nedá opětovně použít. Zhotovují se z formovacích směsí, zvláštním typem jsou keramické formy. Z hlediska zastoupení ve slévárenství jsou nejpoužívanější (až 80 % z celkové produkce). Tato práce je zaměřena právě na tento typ forem. Příklad netrvalé formy je na obr. 7. [3], [5]



Obr. 7 Písková netrvalá forma [25]

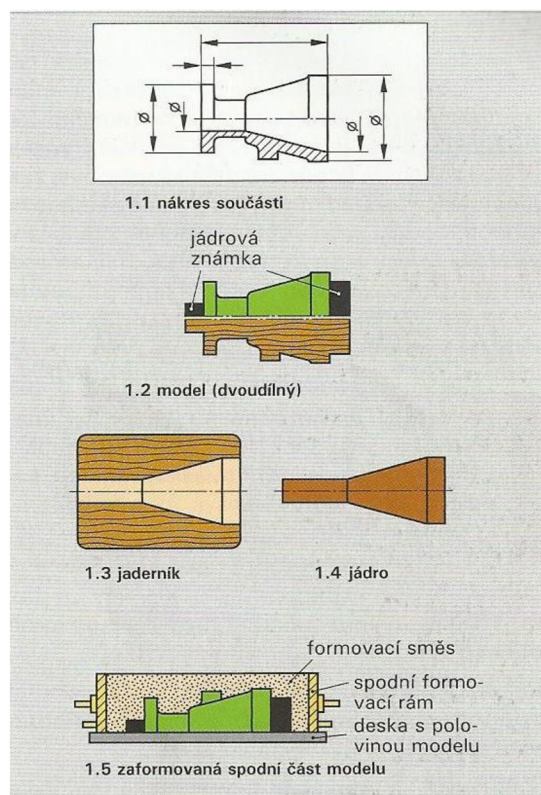
## 2 PÍSKOVÉ FORMY

Pískové formy jsou tvořeny různými druhy písků. Převažující složkou je ostřivo (písková zrna), následuje pojivo. Vedle těchto dvou hlavních složek obsahuje forma vodu a případně další přísady. Schéma takové směsi je na obr. 8. Níže jsou pak jednotlivé části blíže vysvětleny.

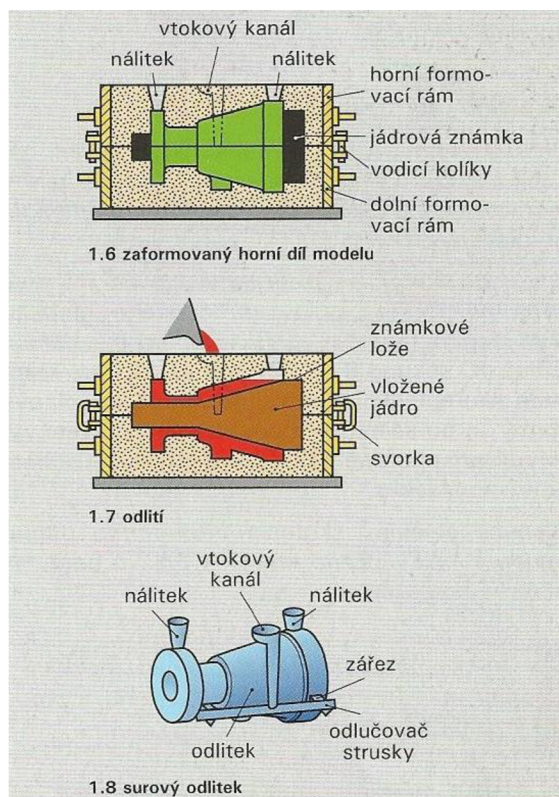


Obr. 8 Průřezové schéma formovací směsi [5]

Jakmile je zvolena vhodná směs, je potřeba zaformovat model se všemi náležitostmi. Následně se do formy odlévá roztavený kov. Schéma postupu je na obr. 9 a obr. 10 níže. [5]



Obr. 9 Výroba pískové formy [36]



Obr. 10 Výroba pískové formy [36]

## 2.1 Ostřivo

Ostřivo je hlavní hmotnostní i objemovou složkou formovací směsi. Tvoří až 98% hmotnosti. Jedná se o žáruvzdorný materiál ve formě zrn. Velikost zrn se pohybuje okolo 0,02 mm. Mezi posuzované parametry patří hranatost a granulometrická skladba částic. Podle chemického charakteru částic je dělíme na:

- ostřiva kyselého charakteru – zde spadají křemenné písky,
- ostřiva zásaditého charakteru – zde spadá magnezit a chrommagnetit,
- ostřiva neutrálního charakteru – zde spadá šamot, korund, chromid, zirkon, olivín.

Volba chemického složení ostřiva přímo ovlivňuje kvalitu odlitků. Kyselá ostřiva reagují se zásaditými oxidy za vzniku sloučenin se sníženou žáruvzdorností. Tento princip samozřejmě funguje i naopak, kdy reaguje ostřivo zásaditého charakteru s kyselými oxidy, například s křemíkem u legovaných ocelí. Tyto nežádoucí sloučeniny jsou pak častou příčinou povrchových vad u odlitků. Podle původu také dělíme ostřiva na přirozená (např. křemenné písky, šamot, korund, zirkon, ...) a umělá a speciální ostřiva (grafitová a uhlíková ostřiva, kovové kuličky). [2], [3]

### 2.1.1 Ostřiva kyselého charakteru

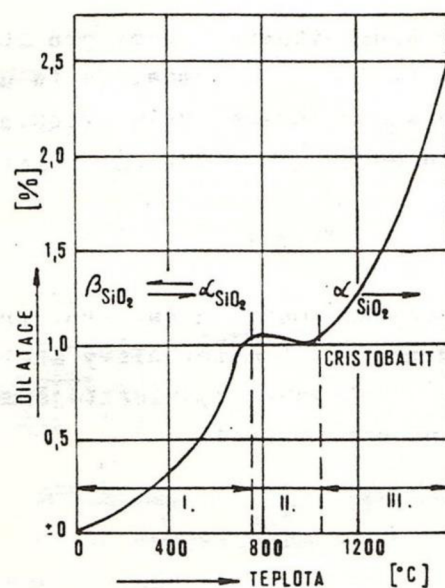
- Křemenná ostřiva

Vzhledem k ekonomickému hledisku a dostupnosti se nejčastěji používají křemenná ostřiva. Nároky na čistotu jsou však vysoké ( $\text{SiO}_2 > 96\%$ ). Zároveň se hodnotí tvar, ideální je koule. Granulometrická skladba směsi by se měla pohybovat od 0,1 mm do maximálně 0,6 mm velikosti zrna v závislosti na masivnosti, tvarové složitosti a požadovaném povrchu odlitku. Mezi kritéria pro výběr ostřiva patří:

- chemické složení odlévané slitiny,
- lící teplota (a tudíž tepelné ovlivnění formy),
- složitost tvaru odlitku (náchylnost ke vzniku vad – zapečenin a zálupů),
- druh pojivové soustavy,
- ekonomické hledisko – zisk co nejvyšší pevnosti s ohledem na minimální obsah pojiva.

- Negativní vlastnosti křemenných ostřiv:

Kvůli zvýšené reaktivnosti s oxidy Fe a dalšími kovy za vysokých teplot se mohou na odlitcích objevovat povrchové vady. Jak je znázorněno na obr. 11, tepelná dilatace směsi nevykazuje plynulou křivku kvůli změně krystalové mřížky okolo teplot 800–900 °C. Hexagonální mřížka se mění na kubickou, v případě  $\text{SiO}_2$  tedy vlivem změny hovoříme o Cristobalitu. Díky transformaci dochází ke změnám mřížkového parametru, tudíž i k celkové rozměrové změně formy či jádra. S tímto problémem je rovněž spojena silikóza, což je nemoc z povolání, kdy se mikročástice křemíku usazují v plicích. Z tohoto důvodu se k přípravě formy používají i nekřemenné směsi i za předpokladu zvýšených nákladů. [2], [3], [5], [6]



Obr. 11 Neplynulá křivka tepelné dilatace křemenných ostřiv [5]



### 2.1.2 Ostřiva zásaditého charakteru

- Magnezit

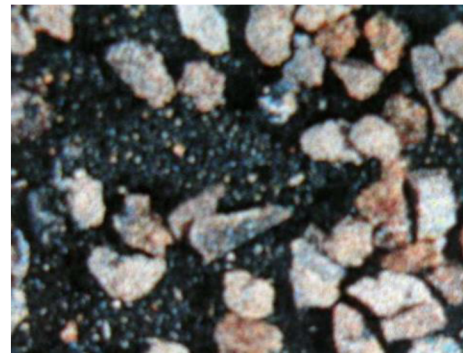
Jedná se o vratný materiál, který se získává z horniny zvané také magnezit (viz obr. 12). Ta obsahuje vedle čistého magnezitu ve formě uhličitanu hořečnatého ( $MgCO_3$ ) také další vápenaté, křemičité a železité složky. Surový materiál je potřeba chemicky upravit. Pálením uhličitanu hořečnatého dochází ke vzniku  $MgO$  a tím pádem ke zbavení sloučeniny  $CO_2$ . Nově vzniklý oxid má vlastnosti podobné vápnu, velmi aktivně na sebe váže vzdušnou vlhkost a hydratuje. Aby se dosáhlo kýženého žáruvzdorného materiálu hnědé barvy s obsahem  $MgO$  o minimálním zastoupení z 85 %, pálí se do slnutí za přítomnosti železitých oxidů při teplotách přesahujících  $1400\text{ }^\circ\text{C}$ . Zastoupení sloučenin v této nově vzniklé směsi se pak ideálně pohybuje u  $Fe_2O_3$  do 5 %,  $SiO_2$  a  $CaO$  max. 6 %. Samotný oxid hořečnatý je žáruvzdorný až do teplot okolo  $2\ 800\text{ }^\circ\text{C}$ . Magnezitová směs odolává do teplot okolo  $2000\text{ }^\circ\text{C}$ . Využití tohoto materiálu je jak pro vyzdívkou tavicích pecí (nejen kvůli žáruvzdornosti, ale také kvůli odolnosti před zásaditými struskami), tak po nadrcení právě jako forma ostřiva pro rozměrné a těžké odlitky. [2]



Obr. 12 Magnezit [26]

- Chrommagnezit

Jelikož magnezitové výrobky těžko snášejí teplotní šoky a náhlé tepelné výkyvy, lze tuto nežádoucí vlastnost potlačit přidáním chromové rudy, čímž vzniká právě chrommagnezit (viz obr. 13). V této směsi má největší zastoupení chromit (až 80 %), zbytek tvoří slinutý magnezit chudý na  $CaO$  a kvalitní chromové rudy. Při pálení chrommagnezitu za teplot mezi  $1500$  a  $1600\text{ }^\circ\text{C}$  probíhají složité fyzikální a chemické děje. Vzniká velké množství dalších sloučenin. Nejlepší odolnost vůči tepelným změnám a výkyvům mají směsi s obsahem 65 % slinutého magnezitu a 35 % chromitu. Takové směsi se využívají buď pro klenby SM pecí, tzv. černé klenby nebo jako vysoce kvalitní ostřivo pro speciální legované oceli. [2]



Obr. 13 Chrommagnesit [27]

### 2.1.3 Ostřiva neutrálního charakteru

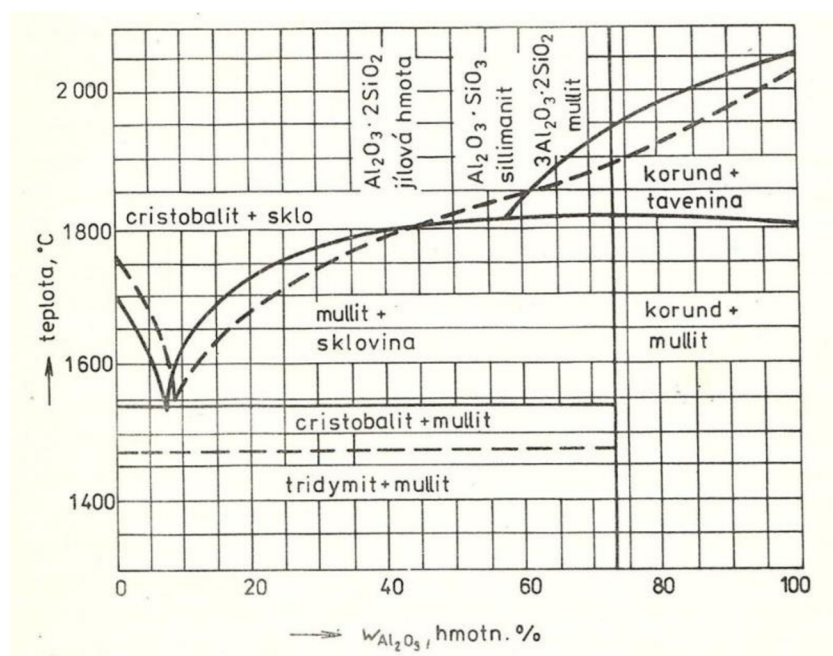
- Šamot

Jedná se o vypálený jííl, který sestává minimálně z 30 % z  $Al_2O_3$  (kaolin). Při použití plavených kaolínů je obsah ve směsi až 45 %. Společně s  $SiO_2$  tvoří hlavní složky směsi a zajišťují žáruvzdornost (znázorněno v tab. 2). Ostatní oxidy jsou považovány za nežádoucí příměsi a od jejich zastoupení se pak posuzuje čistota ostřiva. Podle změn poměru  $SiO_2$  a  $Al_2O_3$  se odvíjí změny fázového složení. Chování této sloučeniny znázorňuje rovnovážný fázový diagram  $SiO_2 - Al_2O_3$  na obr. 14.

Tab. 2 Rozdělení žáruvzdornosti šamotu [2].

Stupeň žáruvzdornosti	Teplota [°C]	Stupeň žáruvzdornosti
nízce žáruvzdorný	1 670	30 ž
středně žáruvzdorný	16 70 až 1730	30 ž
vysoce žáruvzdorný	nad 1730	34 ž

Nejčastěji se volí ostřívo běžné jakosti a používá se k výrobě forem pro ocelové odlitky či těžké odlitky z šedé litiny. Směs tohoto typu se kombinuje společně s žáruvzdorným jílem (pojivem). Velikost nadrcených zrn se pohybuje v rozmezí od 3 do 5 mm a poměr  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 2$ . Mezi hlavní výhodu patří odolnost vůči tepelnému ovlivnění od roztaveného kovu, tudíž nedochází k polymorfním přeměnám. Zároveň tato směs není náchylná k tvorbě záclupů.



Obr. 14 Rovnovážný diagram  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$  [2]

- Korund

Čistý korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) je tvrdý minerál (tvrdość 9 podle Mohsovy stupnice tvrdości) modré barvy a v přírodě se vyskytuje ojediněle. Proto se průmyslově (synteticky) připravuje umělý korund (modifikace  $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$  přechází pálením o teplotě nad  $1400^\circ\text{C}$  v modifikaci  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ ). Vzniká materiál vynikajících vlastností, jako jsou zejména vysoká žáruvzdornost (až 41 ž), chemická stálost, odolnost vůči tepelným změnám a objemová stálost. Výroba tohoto materiálu je kvůli složité přípravě poměrně nákladná, proto je jeho využití ve formovacích směsích ekonomicky



Obr. 15 Korund [28]

nevýhodné (ačkoli vyniká velmi dobrými vlastnostmi). Používá se tedy jako plnivo do barviva pro těžké ocelové odlitky a namáhaná jádra. Korund je na obr. 15. [2]

- Chromit

Přírodní písky na bázi chromu ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) s vysokou teplotou tavení okolo  $2200\text{ }^\circ\text{C}$ . Podle zastoupení chromu ve sloučenině dělíme chromity na chemické (vysoký obsah Cr) a keramické (nižší obsah Cr, vysoký obsah Al). Keramické chromity, též zvané metalurgické, se využívají ve slévárenství. Minimální zastoupení chromu by se v ostřivu mělo pohybovat v rozmezí 45–48 %. Je zobrazen na obr. 16. [2], [7]

- Zirkon

Zirkonové přírodní písky jsou sloučeniny oxidů zirkoničitých a křemičitých oxidů. Teplota tavení je zhruba  $2000\text{ }^\circ\text{C}$ . Kvalita ostřiva se zvyšuje s obsahem  $\text{ZrO}_2$ . Zirkon je na obr. 17. [2], [7]

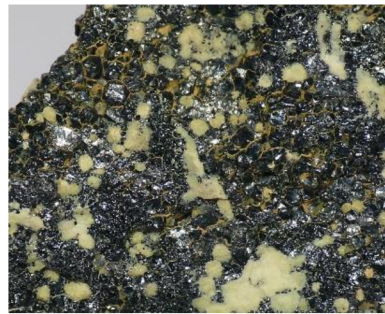
- Olivín

Minerál sopečného původu na bázi hořčíku. Hlavní složky olivínového písku jsou forsterit a fayalit v poměru zhruba 9:1. Podle zastoupení obou složek se mění i teplota tavení, přibližně je to však  $1870\text{ }^\circ\text{C}$ . Na obr. 18 jde vidět zrno olivínu v čediči. [2], [7]

## 2.2 Pojivové soustavy

Pojivo je druhou nejdůležitější složkou formovací směsi. Jak již bylo řečeno, spolu s ostřivem tvoří formovací směs u pískových netrvalých forem. Společná interakce soustav ostřivo – pojivo tvoří přímou vazbu mezi zrnky písku (ostřiva). Toto vzájemné působení zaručuje vaznost za syrova, pevnost po vytvrzení (vysušení), pevnost za zvýšených a vysokých teplot, zbytkovou pevnost (rozpadavost po odlití kovu a následné porušení formy pro vyjmutí odlitku). Vazba pojiva spočívá ve velikosti adhezních (spojení na povrchu zrna) a kohezních sil (vnitřní pevnost pojiva). Typ vazeb a sil, které v soustavě vznikají, jsou podmíněny povrchem zrn a jeho stavem, dále granulometrickou stavbou ostřiva či neméně důležitými fyzikálními a chemickými vlastnostmi.

Pojiva můžeme členit různými způsoby. Podle ryze české literatury a skript z českých vysokých škol se zjednodušeně dělí do tzv. čtyř generací. Toto dělení vychází z typů pojivových soustav, které se k výrobě formy využívají, přičemž první generace je z hlediska používání nejstarší a čtvrtá nejmodernější. Níže je toto dělení stručně vysvětleno. Další způsob klasifikace, který je používán zejména ve světové literatuře a obecně ve slévárenství, je podle pojiv organických a anorganických. Jelikož je chemická podstata ve slévárenství důležitá, preferuji v této práci právě toto rozdělení.



Obr. 16 Krystaly chromitu z lokality Mutorashanga, Zimbabwe [29]



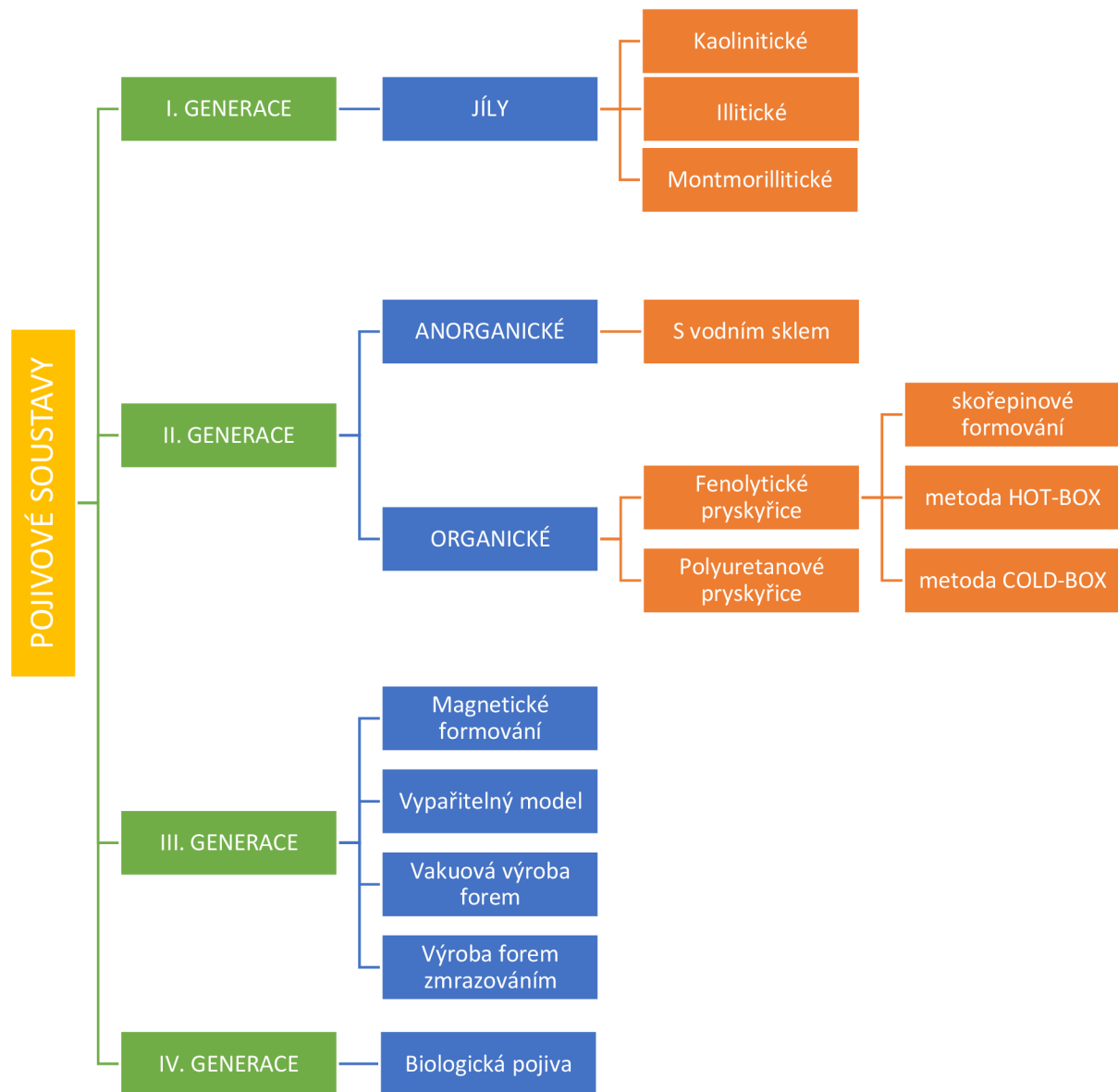
Obr. 17 Zirkonový písek [30]



Obr. 18 Krystaly olivínu v čediči [31]

### 2.2.1 Dělení do čtyř generací

Jak již bylo řečeno, dělení pojivových soustav bylo zejména v tuzemsku zpracováno do čtyř generací. Ve schématu níže je toto dělení vysvětleno (obr. 19). [2], [5]



Obr. 19 Schéma rozdělení pojivových soustav do generací [5]

- První generace

První generace zahrnuje nejstarší pojivové soustavy, jejichž složení je na bázi jílu – aluminosilikátů, které mohou být jak přírodní, tak syntetické. Při pěstování se využívá vzájemné interakce mezi vodou a jílem. Vazby mezi komponenty zajišťují síly kapilárního tlaku a Van der Waalovy síly. [5], [8]

- Druhá generace

Jelikož technologie první generace nedokázaly uspokojit potřeby průmyslu, přišla během II. světové války druhá generace pojivových soustav. K tvrdnutí směsi se využívá chemických reakcí, kdy je ostřívo pojeno koloidním roztokem křemičitanu sodného, též zvaného vodní sklo. [9]

- Třetí generace

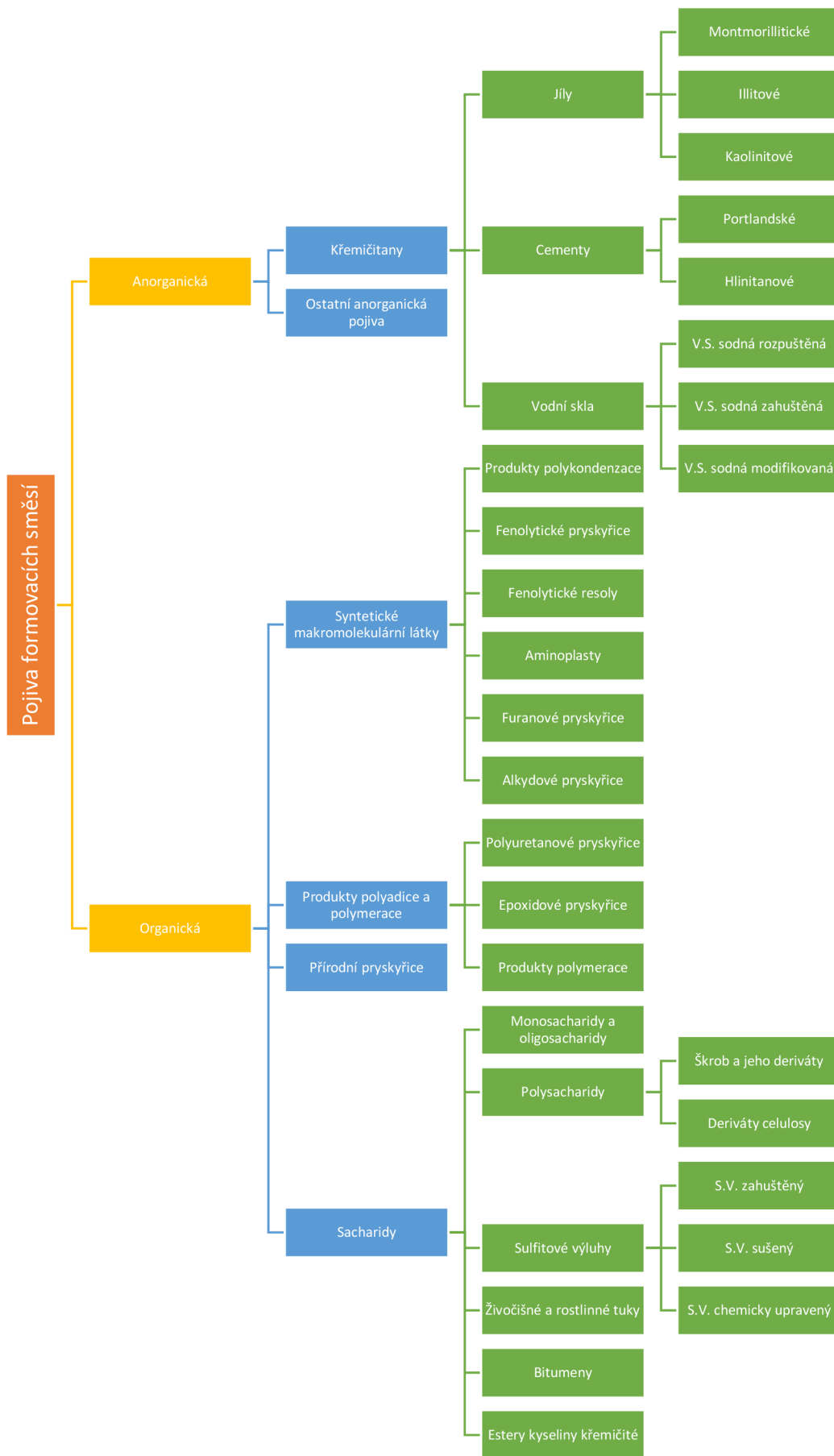
Kvůli zvyšujícím se nárokům na ekologii výroby a zavádění metod typu rapid prototyping se vedle směsi II. generace dostávají do popředí směsi III. generace. Tyto směsi neobsahují chemická pojiva, nýbrž využívají fyzikálních vlastností materiálů ke zpevnění formy. U třetí generace se tedy využívá technologií magnetického formování, odlévání na vypařitelný model, vakuové výroby forem, výroby forem zmrazováním. Tyto technologie jsou stručně popsány v kapitole 4. [3], [10]

- Čtvrtá generace

Rozvoj čtvrté generace je předmětem poslední doby a jedná se o nejmodernější způsob výroby odlitků. Jelikož je dnešním trendem klást velký důraz na ekologii a čistotu provozu, jsou vyvíjeny nové postupy, které jsou založeny na biologických procesech při výrobě formy. Využívá se například speciálně vyvinutých biopolymerů a pojiv z proteinů. Mezi výhody patří možnost výroby složitých dílců i při udržení vysoké produkce. Emise jsou mnohem nižší než u předchozích generací. [3], [10]

### 2.3 Dělení podle chemického charakteru

Členění na organická a anorganická pojiva je poměrně rozsáhlé. Jelikož je zde velká řada skupin a podskupin jak u organických, tak hlavně u anorganických pojiv, je třídění z důvodu lepší přehlednosti znázorněno v následujícím schématu, na obr. 20. Dále jsou pak některé skupiny blíže vysvětleny.



Obr. 20 Dělení na organická a anorganická pojiva [5]

### 2.3.1 Anorganická pojiva

Anorganická pojiva jsou minerálního původu. Patří sem zejména jíly, cement, nebo vodní sklo. Dávají směsi vaznost již v syrovém stavu a zpevnění probíhá buď po chemickém či fyzikálním působení. Některé vlastnosti anorganických pojiv jsou společné, patří mezi ně:

- schopnost lití kovu za syrova,
- nízká produkce plynů při lití,
- neovlivnění materiálu při teplotách sušení,
- zhoršená rozpadavost po odlití (zhoršené či nesnadné čištění odlitků)
- neschopnost vyhoření rozpadnuté formovací směsi po působení horkým kovem.

- Jíly

Jíly jsou jemně zrnité sedimenty tvořené převážně jílovými minerály. Podle převažující složky se dělí na jíly kaolinitické, illitické a montmorillonitické. Různé typy jílu se liší svým vznikem, složením a z toho vyplývajícími technologickými vlastnostmi, které umožňují použití v různých odvětvích. Dříve se používaly hojně, dnes už minimálně. [5], [11], [12]

- Kaolinitické jíly

Chemický vzorec:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Tento jíl se využívá především pro výrobu forem a jader pro velké a těžké ocelové odlitky. Mísí se společně s šamotovým lupkem a společně tak tvoří formovací směs. Obsah jílu ve směsi se pohybuje kolem 15-20 %. Jelikož tato směs obsahuje více než 6 % vody, je třeba počítat se sušením, lépe řečeno vypalováním. To probíhá za teplot okolo 650 °C. Je třeba odstranit právě chemicky vázanou vodu. Kvůli nezbytnému vysušování (vypalování) směsi před odléváním kovu se tyto jíly používají čím dál méně. Složitá příprava zvyšuje výrobní náklady a zároveň snižuje produktivitu vyrobených odlitků. [5], [11], [12]

- Illitické jíly

Illitický jíl slouží jako hlavní pojivo u přirozených formovacích písků. Tyto směsi se využívají zejména na výrobu forem pro těžké a rozměrné odlitky ze šedé litiny. Obsah jílu ve směsi se pohybuje v rozmezí od 8 do 15 %. Tento jíl nejčastěji doprovází přírodní písky. Jelikož se tyto formy musí stejně jako kaolinitické vytvrzovat sušením, jejich použití je v současné době spíše na ústupu.

- Montmorillonitický jíl

Chemický vzorec:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Pokud se podíl tohoto jílu ve směsi pohybuje v rozmezí od 75 do 80 %, nazýváme tento jíl jako bentonit. Bentonity v dnešní době patří mezi nejrozšířenější druhy směsí, oproti kaolinitickým a illitickým jílům spočívá jejich výhoda zejména v(e):

- lepších pojivových vlastnostech (až 2,5krát vyšší pojivová schopnost),
- obsahu vody pod 5 %, což umožňuje výrobu syrových forem (viz tab. 1),
- ekonomické dostupnosti této směsi,
- snadném regenerování ostřiva jak suchou, tak mokrou cestou.

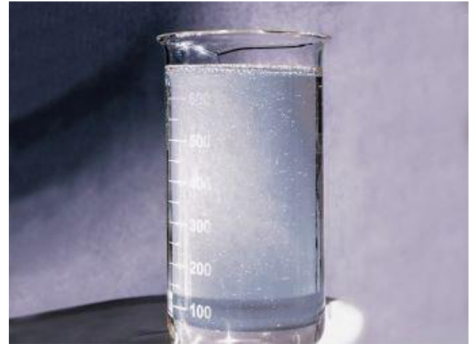
Pro odlitky z ocelí a litin do hmotnosti 400 kg se nejhojněji využívá tzv. jednotná bentonitová směs. Jelikož pevnost není výraznou předností těchto směsí, není jednoduché výrobu forem tímto způsobem mechanizovat a automatizovat. [9]

- Keramické formovací hmoty

Keramické hmoty jsou materiály s heterogenní strukturou. Jejich složení, uspořádání a velikost částic je různé a podstatně se liší od běžných formovacích hmot. Vzhledem k této odlišnosti, a také k jisté návaznosti na praktickou část této práce, jsou keramické formovací hmoty detailněji přiblíženy později v samostatné kapitole.

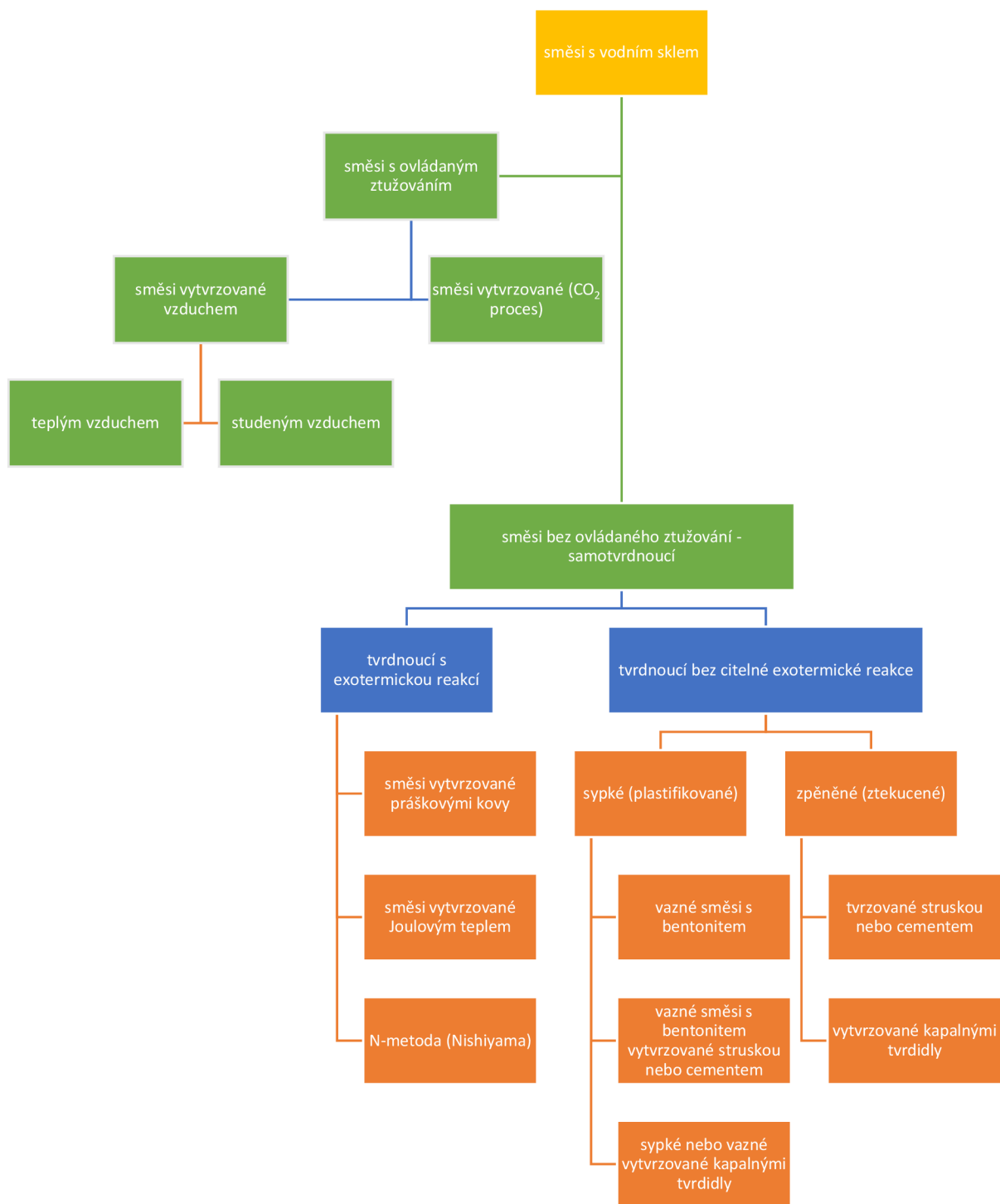
- Křemičitan sodný – vodní sklo

V roce 1947 Dr. L. Petržela objevil velice triviální, avšak rafinovaný způsob chemického tvrzení směsí. Ostřívo je pojeno koloidním roztokem křemičitanu sodného, který je známý též pod označením křemičité vodní sklo (na obr. 21). Průběh vytvrzování popisuje  $\text{CO}_2$  proces, kdy dochází ke vzniku gelu kyseliny křemičité a uhličitanu dvojsodného, což je vedlejší složka. Vmísením oxidu uhličitého do formy začne probíhat velmi rychlá reakce a během krátké doby dosáhne forma velmi vysoké pevnosti v tlaku (až 1 MPa). Po odlití může nastat problém s rozpadavostí formy. Díky této progresivní technologii lze snadno a rychle (a automatizovaně) vyrábět formy pro odlévání „na syrovo“ i pro velmi těžké a rozměrné odlitky jak z oceli a jejich slitin, tak z neželezných kovů. Ve slévárenství existuje několik variant využití vodního skla. V první řadě jsou to směsi s ovládním ztužování a směsi bez ovládním ztužování. Dále jsou to samotvrdnoucí s práškovými nebo kapalnými tvrdidly. Vývoj těchto směsí na bázi vodního skla znázorňuje obr. 22 na následující straně. [5]



Obr. 21 Křemičité vodní sklo [32]





Obr. 22 Schéma směsí s vodním sklem [5]

### 2.3.2 Organická pojiva

Organická pojiva zahrnují široké spektrum odpadních produktů jako jsou zejména umělé pryskyřice, oleje, sacharidy, bitumeny a jiné. Společné vlastnosti těchto pojiv jsou:

- zvýšená fluidita (tekutost) za syrova,
- možnost kontrolovaného tuhnutí směsi za působení tepla nebo chemické reakce,

- dobrá rozpadavost po odlití (zaručuje snadné čištění odlitků),
- rozpad vlivem tepelného působení a vyhořívání při lití,
- vysoká produkce plynů neblahých pro lidské zdraví.

Kvůli poslední zmíněné vlastnosti je nutné dbát při práci s organickými pojivy na zvýšená bezpečnostní opatření a zajistit v provozu například kvalitní odsávání výparů. [2]

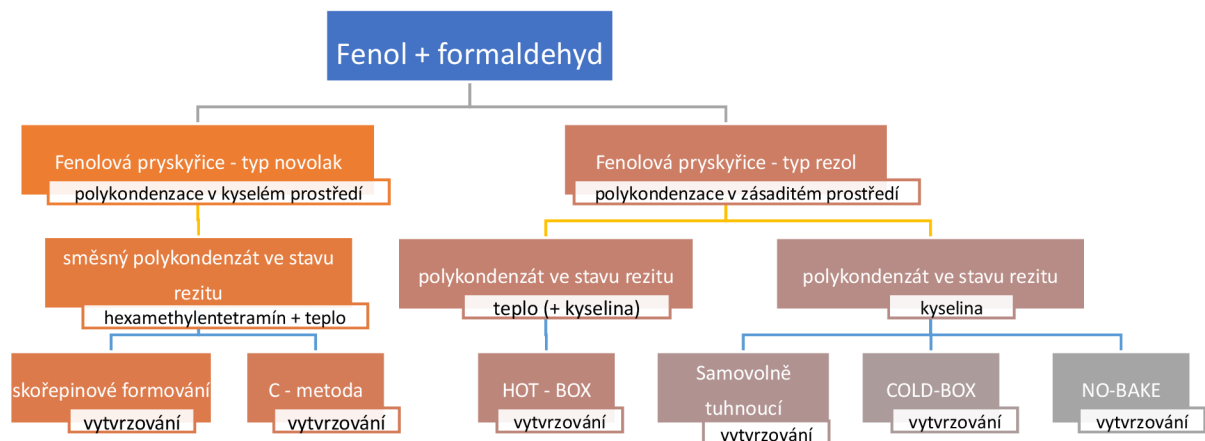
Nejrozšířenější směsi jsou na bázi umělých pryskyřic:

- **fenolických,**
- furanových,
- polyuretanových,
- alkydových,
- epoxidových aj.

Formovací směsi se nanáší na model do formy a mohou vznikat i velmi tvarově náročné odlitky. Tvrdnutí směsi je vždy spuštěno přidáním určitého typu katalyzátoru, který rozběhne chemickou reakci. Kvalitní vytvrzení zaručuje vysokou jakost povrchu odlitku.

- Fenolytické pryskyřice

Fenol snadno polykondenzuje s fenoldehydem. Na základě prostředí, ve kterém se vyskytuje, vzniká určitý typ pryskyřice. Přehled těchto soustav je znázorněn na obr. 23. [5]



Obr. 23 Rozdělení fenolytických směsí a následná technologie vytvrzování [5]

- Skořepinové formování

Pryskyřice typu novolak slouží k přípravě obalených směsí. Jedná se o sypký materiál, který je velice snadno foukatelný, je proto výhodný pro tvorbu složitého jaderníku. Jaderník je zahřátý a tepelným působením dochází k vytvrzování směsi a tvorbě skořepiny. Její tloušťka se pohybuje v rozmezí od 10 do 20 mm v závislosti na době a teplotě vytvrzování.

- Metoda horkého jaderníku – HOT-BOX

Fenolformaldehydová pryskyřice typu resol, která vznikne v zásaditém prostředí, tvoří vaznou směs. Ta se vstříká do horkého kovového jaderníku. Vlivem tepla dochází k vytvrzování. Technologie se využívá zejména v automobilovém průmyslu. [2], [3], [5]

- Metoda studeného jaderníku – COLD-BOX

Resolovou pryskyřici je možné vytvrzovat i za studena. Do připravené směsi s ostřivem se nadávkuje silná kyselina, která zaručí po vystřelení materiálu do jaderníku exotermickou reakci a směs během několika málo minut dosáhne forma manipulační pevnosti.

- NO BAKE

Vytvrzování probíhá za studena pomocí silných kyselin (např.: kyseliny trihydrogenfosforečné). Jedná se tedy o samotvrdnoucí technologii.

- Polyuretanové pryskyřice

Základ tvoří dvousložkové pojivo, které se smísí s ostřivem. Směs je vstřelena do jaderníku a vytvrzena pomocí přidaného katalyzátoru. Velkou výhodou takto vyrobených jader je vysoká pevnost a skladovatelnost forem. [2], [5]

### 3 KERAMICKÉ FORMY

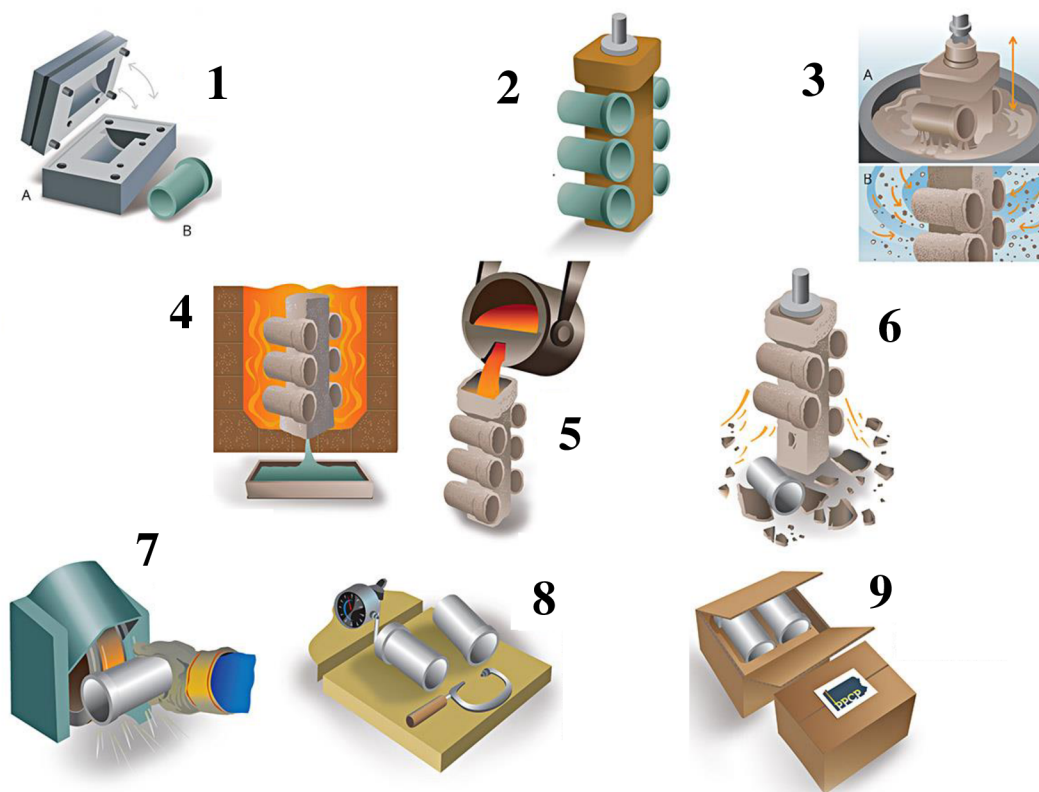
#### 3.1 Keramické skořepinové formy

Keramické skořepinové formy jsou speciální skupinou, která spadá pod netrvalé formy. Jedná se o způsob přesného lití, kde se využívá technologie vytavitelného modelu (*angl. „Investment casting“*). Často se setkáváme s názvem metoda „vytavitelného vosku“ (*ang. „Lost wax casting“*), tento název však platí jen pro určitý typ technologie, jelikož vytavitelným médiem nemusí být ve všech případech pouze vosk. Již od poloviny minulého století dochází k obrovskému rozvoji této metody a v současnosti je využívána velmi hojně. Široké zastoupení této technologie ve slévárnách napříč celým světem je zdůvodněno zejména vysokou účinností v kombinaci s přijatelnou ekonomikou provozu. Obrovskou přidanou hodnotou je možnost výroby velmi přesných a tenkostěnných odlitků bez nutnosti dalšího obrábění. Dosahujeme zde velmi hladkých povrchů. Je nutné si uvědomit, že tato přesnost je relativní a porovnává se s ostatními metodami odlévání kovů. Hodnoty odchylek, kterých u přesného lití dosahujeme, jsou odlišné v závislosti na zvolené slitině, teplotě tání kovu a rozměrech odlitku. Dosahujeme zde přesnosti v řádech setin, zatímco u stolního obrábění jsou to tisíce. Je však nutné podotknout, že tato přesnost je mnohdy pro zákazníka vyhovující a jsou tak vyráběny odlitky tzv. „na hotovo“ – net-shape. [5], [12], [13]

Při výrobě odlitku touto metodou je nutné nejprve vytvořit pozitivní model, který je zhotoven z lehkotavitelného materiálu. Nejčastěji z vosku. Tento vzor se pak obalí v kašovitě hmotě, která po vysušení tvoří žáruvzdorný skořepinový obal lehkotavitelného modelu. Po následném vytavení modelu se do duté keramické formy odlévá roztavený kov, který zaujímá její tvar. Pro vyjmutí tělesa je třeba formu poškodit. Níže bude tato metoda podrobněji popsána.

Na obr. 24 je schematicky znázorněný postup výroby odlitku při použití technologie vytavitelného modelu. Zde jsou vysvětleny jednotlivé body postupu dle obrázku:

1. Výroba voskového modelu,
2. nalepení modelů na vtokový kůl,
3. namáčení stromečku v břečce; obalování pískem,
4. vytavování vosku z formy navazující na vypálení formy,
5. plnění formy tekutým kovem,
6. odstranění skořepiny,
7. dokončovací operace,
8. kontrola,
9. expedice.

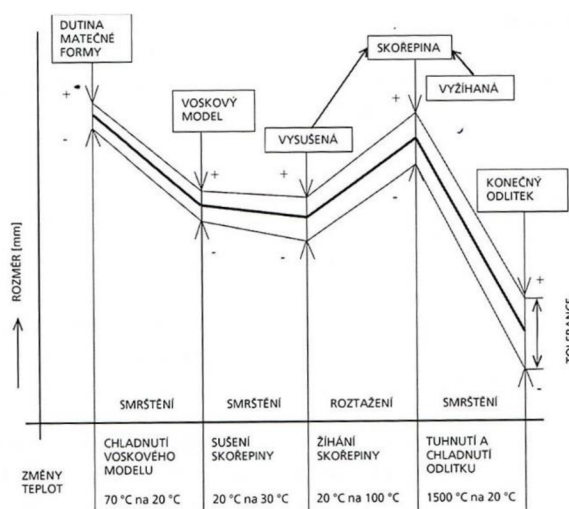


Obr. 24 Postup výroby odlitku technologií vytavitelného modelu [33]

Dále jsou jednotlivé části postupu detailněji vysvětleny. [13], [14]

### 3.1.1 Modely

Model je vždy z lehkého tavitelného materiálu a jeho výsledná kvalita je pro konečný kovový odlitek zásadní. Při navrhování formy na jeho výrobu je potřeba počítat se změnami rozměrů v průběhu celého výrobního procesu, jak je vidět na obr. 25. Materiály, ze kterých lze model vyrobit, se liší podle typu zvolené technologie. Nejčastěji je to speciální modelářský vosk. Vedle něho to může být i speciální polystyren – u metody vypařitelného modelu. Dalšími možnými materiály jsou akryláty, polyetheny a snadno tavitelné kovy (Woodův kov, slitina cín-vismut, rtuť-kadmium). Občas se používá i zmrzlá rtuť. [14], [15]



Obr. 25 Rozměrové změny v průběhu technologie vytavitelného modelu [12]

### 3.1.2 Výroba voskových vytavitelných modelů

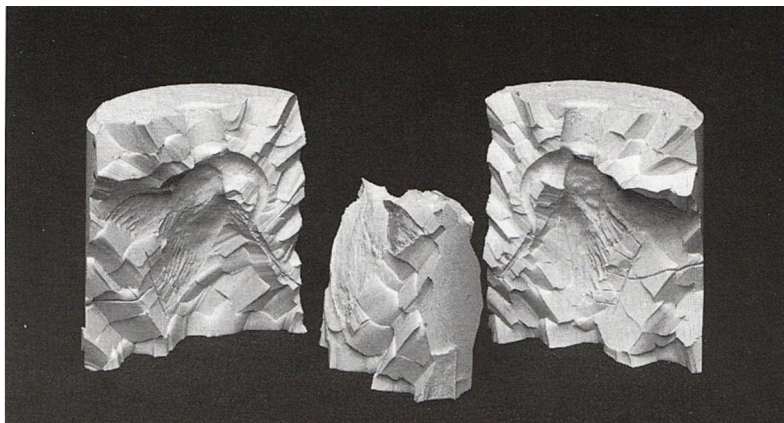
Povrchová kvalita voskového modelu je pro budoucí odlitek zásadní. Proto se klade velmi vysoký důraz na přesnost rozměrů a povrchu. Způsob výroby formy závisí na objemu výrobní série, požadované kvalitě, konstrukci konečného odlitku nebo na navazující technologii, kterou se bude odlitek vyrábět. Formy mohou být sádrové, ze silikonového kaučuku, na bázi pryskyřice nebo vyrobené za pomoci kovového nástřiku, tzv. metalizací. V sériové výrobě jsou nejčastěji kovové. Tyto typy jsou níže podrobněji rozebrány. [8], [13], [14]

- Sádrové formy

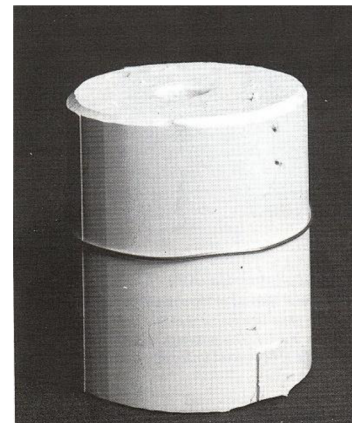
Používají se tehdy, je-li třeba vyrobit omezené množství modelů a rozměrová přesnost není klíčová. Výroba probíhá odléváním sádry okolo modelu. Jejich průmyslové využití je spíše ojedinělé, jelikož značně navyšují čas, po který následně odlévaný voskový model tuhne. Další nevýhodou je křehkost sádry, tudíž je forma náchylná k poškození. Sádra se dá odlévat pouze gravitačně. Nejvhodnější výroba takové formy je za využití vývěvy, tedy ve vakuu. Zamezí se tak tvorbě vzduchových bublin, které snižují kvalitu jak povrchu formy, tak následně i voskového modelu. Nejčastější využití je v umění a u speciálních odlitků ve velmi malých sériích. [13], [14]

- Formy ze silikonového kaučuku

Stejně jako sádrové formy se ve velkých sériích spíše nepoužívají. Je to dáno limitovanou životností a složitou manipulací při práci. Používají se proto v umění nebo ve šperkařském průmyslu pro drobné odlitky kusové výroby. Mohou být rovněž využity při výrobě nových prototypových součástek. Je zde totiž výhodou, že je můžeme vyrobit během několika hodin za relativně nízkých nákladů. Výroba probíhá tak, že se na silikonovou hmotu doprostřed obdélníkové hliníkové formy umístí model (předloha). Vhodně se umístí i vtokový systém a celá soustava se gravitačně zalije formovacím médiem. Po ztuhnutí se následně forma rozřízne skalpelem tak, aby vznikly buď dvě zhruba stejné poloviny, nebo takové části formy, jejichž demontáž umožní bezpečné vyjmutí jak matečného, tak následně i voskového modelu. Složená i rozložená forma je vidět na obr. 26 a obr. 27. Jelikož je forma pružná, není nutné implementovat úkosity. Vedle ryze ruční výroby lze využít i vstřikovacího stroje, který do kovového rámečku aplikuje pod nízkým tlakem formovací hmotu – silikonový kaučuk. Rychlost výroby i výsledná kvalita (zejména tam, kde je dělicí rovina a forma je rozříznutá, velmi úzce souvisí se zkušenostmi a zručností konkrétního modeláře. Zpravidla však hovoříme o velmi kvalitním povrchu. [8], [13]



Obr. 26 Silikonová forma (rozložený stav) [13]



Obr. 27 Silikonová forma (složený stav) [13]

- Formy na bázi pryskyřice

Volba této technologie je většinou opodstatněna malou výrobní sérií (formy nejsou trvanlivé a nepočítá se s opakovaným používáním), nízkým požadavkem na přesnost a lepším ekonomickým zhodnocením oproti kovové formě. Kvůli podstatně nižší teplené vodivosti se doporučují především pro modely s malými rozměry, jejichž hmota je rovnoměrně rozdělena. Nejvhodnější matečný model je kovový (leštěný) nebo dřevěný u primitivních součástí. Empiricky bylo zjištěno, že vhodnou formovací hmotou jsou epoxidové pryskyřice plněné kovovou drtí.

Mezi výhody patří:

- krátký výrobní čas,
- jednoduchá výroba,
- nízká cena.

Nevýhody jsou:

- nemožnost opětovného použití,
- nízká životnost oproti kovovým či hliníkovým formám,
- nutnost vyříznutí matečného modelu,
- rozměrová nepřesnost výsledného produktu. [8], [13]

- Výroba forem metalizací

Principem této metody je vrhání roztavených kovových částic na matečný model. Kov je roztaven kyslíkoacetylenovým plamenem či elektrickým obloukem a následně unášen proudem plynů až na připravený model. Nejčastěji jsou to zinkové slitiny, za určitých podmínek lze použít i hliník, mosaz nebo ocel. Kapky postupně tuhnou a tvoří jakousi „skořápku“, která přesně kopíruje tvar a povrch matečného modelu. Mocnost bývá až 3 mm. Využívá se jako levnější varianta čistě kovové formy, zároveň se jedná o dražší variantu oproti formám na bázi pryskyřic. Jsou zpravidla o pětinu dražší. Životnost takové formy je srovnatelná s hliníkovou, uvádí se 10 000 – 100 000 použití pro voskové modely.

Mezi hlavní výhody patří:

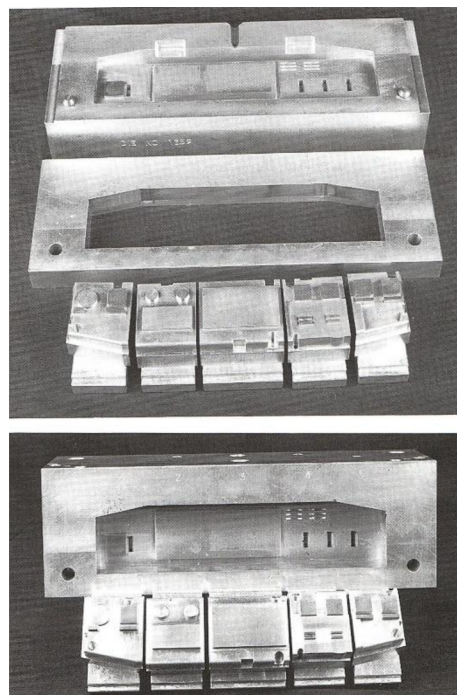
- relativně nízká cena,
- přijatelná kvalita voskového modelu,
- relativně krátký výrobní čas (okolo 2–4 hodin podle složitosti výrobku),
- dlouhá životnost formy.

Nevýhody jsou:

- formu je nutné pro vyjmutí modelu řezat,
- poměrně složitá aplikace kovu na určitých částech matečného modelu (např. rovné povrchy či stěny kolmé k dělicí rovině),
- obtížná práce a údržba metalizačního zařízení,
- opravy těchto forem jsou velmi obtížné za použití pryskyřic (tato místa pak mohou působit problémy při tunutí voskového modelu). [8], [13]

- Kovové formy

Velká výrobní produkce, vysoké nároky na kvalitu a přesnost modelu i výsledného produktu, velmi trvanlivá forma. To jsou klíčové vlastnosti, které vystihují celokovové formy. Při jejich výrobě se na rozdíl od předchozích metod nepracuje s fyzickým matečným



Obr. 28 Jednotlivé části kovové formy [13]

modelem, ale dutina i forma se vyrábí třískovým obráběním. Lze vyrábět i poměrně složité modely, je však nutné počítat s přesným lícováním vkládaných jader. Tím pádem bývá taková výroba velmi nákladná a často i technicky náročná, jak lze vidět na obr. 28 (nezapomínejme, že se pohybujeme v přesnostech IT6 a drsnost povrchu Ra nabývá hodnot 0,8 či 0,4  $\mu$ ). Nejčastěji jsou formy hliníkové nebo ocelové. Jejich porovnání shrnuje tabulka 3. [8], [13]

Tab. 3 Porovnání hliníkových a ocelových forem [13].

Výhody hliníkových forem oproti ocelovým	Výhody ocelových forem proti hliníkovým
<ul style="list-style-type: none"> <li>- mnohem lepší zabíhání vosku při výrobě modelu; dáno dobrou tepelnou vodivostí hliníku</li> <li>- obrábění hliníkového bloku je mnohem jednodušší, jelikož se jedná o relativně měkký kov, cena se díky tomu snižuje</li> <li>- nízká objemová hmotnost hliníku zaručuje jednodušší manipulaci s formou při výrobě modelu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- díky vyšší pevnosti oceli lze předpokládat, že tenké stěny či spoje nebudou opětovným používáním formy deformovány</li> <li>- dobrá svařitelnost ocelí umožňuje provádět opravy forem bez velkých komplikací</li> <li>- vtokový systém se opotřebovává pomaleji, proto tolik nedochází k rychlému stékání vosku do formy</li> </ul>

### 3.1.3 Vosky pro matečné modely

Voskové modely se zhotovují z voskových směsí (viz obr. 29), jelikož samotný vosk nedosahuje vlastností, které často vyžadujeme. Proto se kombinují různé druhy, jako syntetický vosk, přírodní vosk – uhlovodík, přírodní vosk – ester, přírodní a syntetická pryskyřice, organické plnivo a voda. Dodává se v podobě granulí či pelet v pytlích nebo jako tuhá hmota ve vaničkách. Jeho konečné vlastnosti se zpravidla volí podle použití a typu odlitku, vhodná je zde konzultace slévače s dodavatelem vosku. Rozdělení vosků podle použití je znázorněno v tabulce 4, vlastnosti jsou pak podle důležitosti seřazeny v následující tabulce 5. [8], [13], [14], [16]



Obr. 29 Různé typy vosků od firmy Blayson

Tab. 4 Rozdělení vosků podle použití [13].

běžný modelový vosk	a) homogenní neplněný vosk
	b) emulgovaný vosk
	c) plněný vosk
vtokový vosk	- vosky, které vyhovují tvorbě vtokového systému
ve vodě rozpustný vosk	- vosky ředitelné vodou, velmi dobře zabíhají
recyklovatelné vosky	- lze je alespoň částečně recyklovat, používají se opakovaně
další speciální vosky	- vosky na lepení, opravy, ...

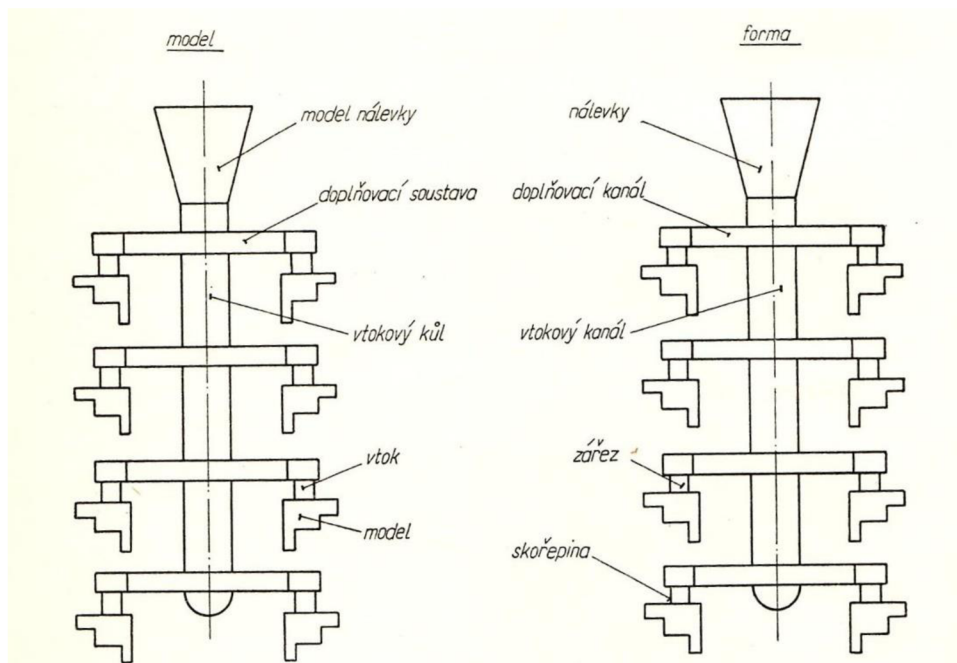


Tab. 5 Vlastnosti vosků [13].

1	smršťování a kavitace
2	bod tuhnutí a tání
3	obsah popela
4	tvrdost a pružnost
5	viskozita
6	povrchová úprava
7	optimální cena výrobku
8	oxidační stabilita
9	návratnost
10	další vlastnosti

### 3.1.4 Sestavování modelů

Vyrobené modely se dále lepí vtokovou soustavu. Podle hmotnosti, velikosti a požadované přesnosti se odlitky sestavují buď jednotlivě nebo do tzv. stromečků (viz obr. 30).



Obr. 30 Stromeček a popis jeho jednotlivých částí [8]

- **Jednotlivě sestavené modely**

Pokud jsou odlitky o hmotnosti vyšší než 2 kg nebo je jejich tvar nějakým způsobem komplikovaný a brání sestavení modelů k sobě ve větším počtu, vtoky se lepí či pájí přímo k modelu. Nejčastěji se to týká odlitků z vysokolegovaných ocelí, jejichž nároky na přesnost jsou nejlépe dosažitelné tímto způsobem.

- **Sestavování modelů do stromečků**

Drobnější nebo tvarově jednodušší odlitky se lepí buď jednotlivě, nebo v etážích na vtokový kůl do tzv. stromečků. Celý systém pak obsahuje několik modelů včetně společné vtokové soustavy. Schéma stromečku je znázorněno na obr. 30.

Rozmístění modelů a konstrukce stroměčku je přímo ovlivněna těmito faktory:

- způsob připojení modelů,
- obalování,
- vytavování,
- způsob lití,
- plnění formy tekutým kovem,
- způsob oddělování odlitků od vtokové soustavy,
- standardizace vtokových soustav.

Při sestavování se dbá na to, aby byla vzdálenost mezi modely optimální a nedošlo po aplikaci poslední obalové vrstvy k propojení jednotlivých větví. Zároveň by nemělo dojít ke zbytečnému plýtvání místem. Dostatečný rozestup také zaručuje dokonalé obalení formy pískem a následné sušení. [8], [13], [14]

### 3.1.5 Výroba skořepinových forem

Abychom měli do čeho odlévat kov, je třeba zhotovit formu. Stroměček je tedy nutné namočit do tzv. keramické břechky. Poté se nechá odkapat od přebytečné suspenze a je vložen do sypače. Tam se nanáší vzduchem načeřený posypový materiál. Celý proces se několikrát opakuje, dokud nemá forma požadovanou tloušťku. Podle velikosti odlitku se obaluje v pěti až patnácti vrstvách, není však vyloučen ani vícevrstevný obal u velkých a těžkých odlitků, u kterých vzniká při odlévání vysoký hydrostatický tlak. Takto vyrobená forma se pak nechá vysušit v místnosti s teplotou okolo 20 °C a velmi nízkou relativní vlhkostí 30-60 %. Keramická břечka je suspenze plniva a pojiva. Plnivo je žáruvzdorný materiál, zde keramický prášek složený například z keramického skla nebo zirkonu a malachitu. Ostřívo je složka zajišťující dostatečnou pevnost po ztuhnutí i vysušení formy. [8], [13]

### 3.1.6 Vytavování modelu z formy

Jelikož forma stále obsahuje voskový model, je nutné ho odstranit – vytavit. Vytavování může probíhat několika způsoby, buď horkým vzduchem, horkou vodou nebo vodní párou. V případě horké vody se pevně fixované formy namáčejí do vřelé lázně. Mnohem progresivnější způsob je použití autoklávu (viz obr. 31). Přetlaková komora s přehřátou párou způsobí šokové ohřátí vosku a ten se na hranici vosk – forma rychle oddělí a vyteče ven. Tento způsob je z hlediska tepelného namáhání keramické skořepiny nejšetrnější. Vytavený vosk se zachytává a následně regeneruje. [8], [13], [14]

### 3.1.7 Vypalování skořepin a odlévání

Abychom dosáhli potřebné pevnosti keramické formy, je nutné ji ještě před naplněním roztaveným kovem vypálit. Vypalování probíhá v komoře o teplotě 900 až 1050 °C a trvá 3 až 12 hodin. Jelikož během ohřevu dochází ke změně vnitřní struktury keramického materiálu, je velmi důležité, aby byl ohřev pozvolný. Zabráni se tak prasklinám. Při tomto procesu rovněž vyhoří zbytky vosku, které ve formě mohly zůstat z předchozí operace. Jakmile je vypalování dokončeno, forma již nechladne na pokojovou teplotu, ale roztavený kov se leje do vyhřáté formy. Nedochozí tak



Obr. 31 Autokláv od společnosti ASC [34]

k velkému teplotnímu šoku. Odlévá se nejčastěji gravitačně, u menších výrobků se může využít sklopného či odstředivého lití. Důvodem je velmi nízká prodyšnost keramické formy, tudíž plyny ve formě těžko hledají cestu ven. Využitím tlaku se tedy tekutý kov dostane i do míst, kde by mohly jinak vznikat vzduchové bubliny. Ty se vytlačí z formy pryč a zabrání se zbytečné zmetkovitosti. [8], [13]

### 3.1.8 Konečná úprava odlitku

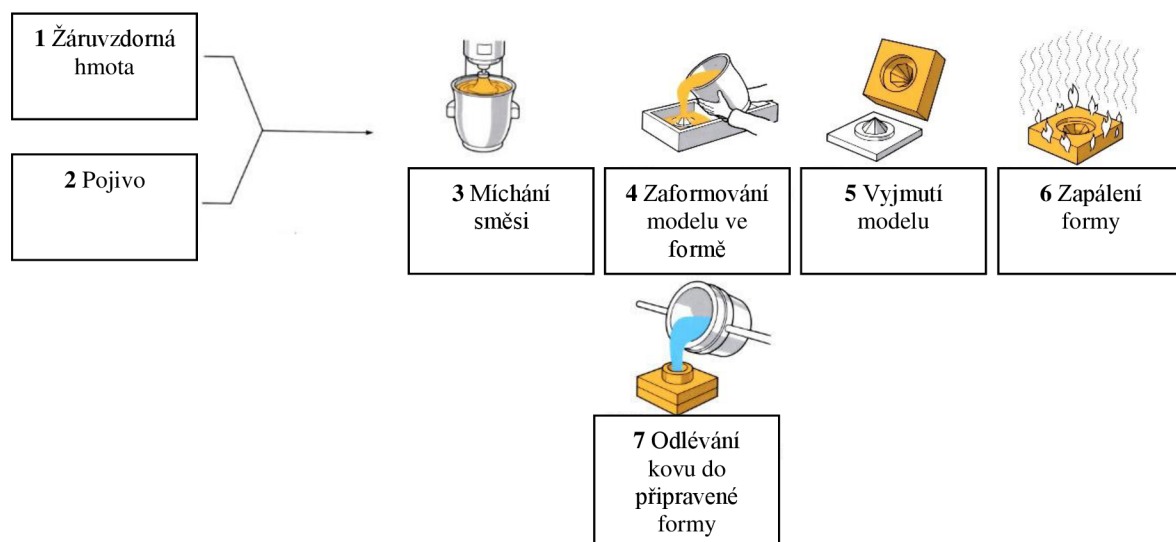
Po odlití a vychladnutí kovu je nutné odstranit skořepinu. K tomu se využívá například vibrační kladivo nebo jiný nástroj na rychlé mechanické poškození skořepiny. Pro detailnější odstranění zbytků formy od odlitku se můžou využít třeba vysokotlaké vodní čističe či tryskací komory. Dále se odlitky odřežou od stromečku a brousí se. Také se odstraní případné povrchové vady, odlitek se zkontroluje a provede se rozměrová kontrola. Podle požadavků zákazníka se může provést rentgenová kontrola nebo tepelné zpracování. [8], [14]

## 3.2 Metoda Shaw

Vedle keramických skořepin se k výrobě forem a jader používá i metoda Shaw (v literatuře též pod pojmem „*Osborn – Shawův proces*“). Ta umožňuje výrobu keramických forem a jader na bázi etylsilikátu bez nutnosti vypalování v peci. Odlévá se tedy do studené keramiky. [14]

### 3.2.1 Výroba formy

Gelová suspenze o nízké hodnotě pH se vstříkne do rámu s trvalým modelem. Hmota je vícesložková (žáruvzdorný materiál, pojivo a gelační činidla), k míšení dochází těsně před plněním vstřikovacího stroje. Jakmile hmota uschne, trvalý model se od formy oddělí a následuje zapálení formy. Dojde tak k rychlému zahřátí vnějších ploch a k tzv. granulaci vazného silikogelu. Vypálí se zbytky obsaženého alkoholu a vzniknou trhliny. Ačkoli se může vznik trhlin zdát jakkoli nežádoucí, v tomto případě pomáhají k lepší prodyšnosti formy a umožňují odlévat za studena. Proces výroby je znázorněn na obr. 32. [8], [14]



Obr. 32 Schéma výroby forem metodou Shaw [37]

## 4 DALŠÍ ZPŮSOBY VÝROBY NETRVALÝCH FOREM

### 4.1 Magnetické formování

Ostřivo je v tomto případě zastoupeno kuličkami o rozměrech 0,1 až 0,5 mm. Model, který tvoří pěna ve formě polystyrenu, je ošetřen speciálním nátěrem a zasypán kovovým ostřivem, které drží svůj tvar působením magnetických sil. Na rozdíl od dosud zmíněných technologií se model z formy nevyjímá, naopak zůstává ve formě a kov se odlévá přímo na model, který se působením roztaveného kovu odpařuje. Využití této technologie se vyplatí spíše pro hromadnou výrobu a je třeba počítat s tím, že pro každý odlitek je potřeba vyrobit samostatný model. Mezi hlavní výhody této technologie patří 100% recyklovatelnost ostřiva, dále fakt, že formovací směs je jednosložková a výroba i odstranění formy probíhá jednoduše bez použití mechanických sil. Tato metoda není vhodná pro výrobu masivních odlitků. [3]

### 4.2 Odlévání na vypařitelný model

Rozvoj této technologie započal ve druhé polovině minulého století. Prakticky vychází z magnetického formování. Model je zde vyroben z polystyrenu. Ten je opatřen žáruvzdorným nátěrem. Po osušení je model vložen do formy a zasypán křemenným pískem, který je třeba udusat. U této metody je výhodné, že modely mohou být do forem umístěny libovolně bez ohledu na dělicí rovinu. Polystyrenový model s sebou nese také vtokovou soustavu a nálitky. Působením roztaveného kovu se pěna postupně spálí (vypaří) a roztavený materiál zaujme tvar dutiny. Výroba modelu se provádí buď CNC technologií, ručně nebo metodou vypěňovací formy. Poslední uvedená metoda je z hlediska kvality a produktivity nejlepší, zato je však nejnákladnější. U ruční výroby modelu je výhodou nízká cena a flexibilita, ovšem čas, který trvá formu vyrobit, je neuměřeně velký v porovnání s ostatními metodami. U CNC obrábění narážíme na problémy s odvodem třísky umělého materiálu a výsledná drsnost povrchu nedosahuje takových kvalit, jako je tomu u vypěňovací formy. [5], [15]

### 4.3 Vakuové výroby forem (V – metoda)

Výroba formy touto metodou probíhá za neustálého podtlaku. Prodyšný model se překryje fólií a pomocí vakua se pod modelem vytvoří podtlak. Pak se model zaformuje do vzduchotěsného rámu suchým ostřivem, které se samozřejmě patřičně zhutní. Poté je forma překryta další fólií, odsaje se vzduch a vakuum pod modelem se přemění v tlak vzduchu. Takto se vyrobí obě poloviny formy a za stálého udržení vakua se odlévá. Jakmile se odleje a vyhoří fólie, podtlak povolí a forma se rozpadne. Využití této technologie je zejména u uměleckých odlitků nebo třeba koupelnových van. Je výhodou, že zde není nutné počítat s úkosy a většími přídávky, jakost povrchu a rozměrová přesnost je na vysoké úrovni. [5]

### 4.4 Výroby forem zmrazováním

Model je zaformován směsí ostřiva a vody. Ta se poté pomocí tekutého dusíku nebo oxidu uhličitého šokově zmrazí minimálně na -10 °C. Takto připravená forma má velký chladicí účinek, což odlitkům přidává na mechanických vlastnostech (pevnost a tvrdost). [5]

### 4.5 Sádrové formy

Podstatou této metody je využití velmi kvalitního povrchu, který při sušení nepraská. Zároveň je výhodou rozměrová přesnost, prodyšnost a nízký vývin plynů při lití. Aby bylo těchto parametrů dosaženo, vyrábí se metodami Antioch, Bendix a metodami zpěněné směsi. Obecně se sádrové formy v dnešní době využívají spíše ojediněle. [2]

#### 4.5.1 Metoda Antioch

Využívá se především v zahraničních slévárnách za účelem prodyšné formy s nízkým obsahem vody. Výroba probíhá ve dvou fázích. V první části procesu, po odlití a ztuhnutí formy, se pod tlakem paří asi 9 hodin v autoklávu. Poté se 10–11 minut suší a sádra se mění z dihydrátu na hemihydrát. Ve druhé fázi se namáčí do vody a nechává na 16 hodin odležet, aby proběhl rekrytalizační proces. Hladkost formy se zachová, ale struktura se změní na zrnitou. Následuje další sušení. Při metodě Antioch je třeba počítat se zhruba 0,6 % smrštěním. [2]

#### 4.5.2 Metoda Bendix

U této metody se pracuje s vícesložkovou sádrovou směsí. Formy se předehřívají. Přesnost je zde vyšší než u metody Antioch, naopak nižší prodyšnost má za následek požadavek na důkladné sušení (okolo teplot 230 °C po dobu až 16 hodin). Používá se odstředivé lití. [2]

#### 4.5.3 Metoda napěněné směsi

Tento způsob umožňuje vyrábět velmi prodyšné formy. Za použití speciální emulze vnesené do sádrové hmoty dojde k napěnění a zvýšení tekutosti. Vzniknou bublinky s prodyšnými kanálky. Po zaformování modelu směs zhruba po 20 minutách ztuhne a dále se až 24 hodin suší. Parametry takto prodyšné formy jsou vhodné pro hliníkové či bronzové odlitky. [2]

### 4.6 Cementové formy

Cementové formovací směsi patří k nejstarším syntetickým formovacím směsím. Tuto metodu využívají ve větší míře slévárny v západní Evropě, jelikož státy jako Francie či Německo produkují cementy vhodné právě pro tento typ forem. Písková cementová směs je složena z křemenného písku a portlandského cementu v poměru zhruba 9:1. Velkou výhodou je tuhnutí na vzduchu (24-72 hodin; lze urychlit vhodnou přísadou), odpadá tedy sušení velkých a těžkých forem.

Cementy se vyrábějí ze surovin, jejichž základním stavebním prvkem je uhličitán vápenatý. Jedná se tedy o vápence či silně vápenaté jíly. Ty se často mísí s dalšími přísadami (kazivec nebo železná ruda), aby se usnadnilo následné vypalování. Před vypálením jsou však vybrané suroviny velmi jemně rozemlety tak, že vznikne zcela homogenní směs. Po vypálení na mez slinutí se slínky ochlazují. Ty se poté rozemelou na jemný prášek, tedy cement.

Jakost mletí zásadně ovlivňuje absorpci vody budoucí cementové směsi. Čím větší bude povrchová plocha (vysoká jemnost zrn), tím rychleji bude hydratace probíhat a o to pevnější směs bude. Proti této výhodné vlastnosti však stojí větší smrštění. [2]

## 5 PRAKTICKÁ ČÁST

### 5.1 Zadání a přiblížení problému

V praktické části práce bylo za úkol zhotovit repliku páčkové pojistky k hasičské hadici. Hadice jsou často různě přetočené a při tlakování vodou by mohlo dojít k jejich rozpojení. Tomu brání právě tato pojistka. Kvůli relativně náročným podmínkám a opětovnému používání často dochází k poškození této součástky. Shánění nové pojistky je poměrně problém, jelikož se (v drtivé většině případů) prodává jako součást celé spojky (viz obr. 33). Proto se zrodila



Obr. 33 Hadicová spojka s páčkovou pojistkou [35]

myšlenka vyrobit zcela samostatně pouze páčku jako takovou. Pro výrobu byla zvolena technologie vytavitelného voskového modelu. Voskové modely byly vytvořeny v silikonové formě, která byla z původního kovového modelu vyrobena jiným kolegou v předchozích letech. Lze ji vidět na obr. 34. Níže je popsán postup výroby včetně autentických fotografií. Výroba probíhala ve školní slévárně na půdě fakulty strojní Vysokého učení technického v Brně.



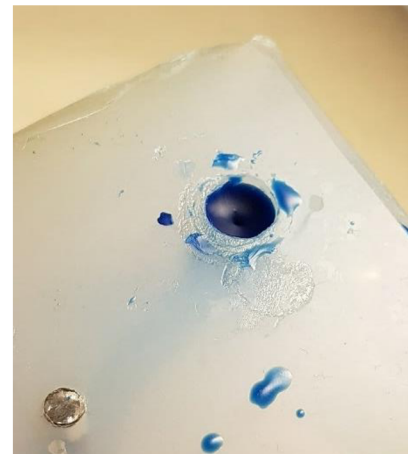
Obr. 34 Silikonová forma složená



Obr. 35 Silikonová forma rozložená

### 5.2 Silikonová forma

Forma je vyrobena ze dvou dílů, jak je vidět na obr. 35. Dutina modelu je umístěna zhruba uprostřed kvádrů. Na horní straně je umístěna vtoková soustava včetně nálitku, který kompenzuje smrštění vosku při tuhnutí (smrštění je vidět na obr. 36). Součástí vtokové soustavy je 6 odvzdušňovacích kanálků. Jelikož se přibližně uprostřed páčky nachází otvor pro šroub (pro montáž k hadicové spojce), je ve formě vsunuté kovové jádro – ocelová tyčinka. Vlnkovaný spoj zajišťuje polohu pro opětovné složení.



Obr. 36 Smrštění vosku po ztuhnutí

### 5.3 Volba vosku, výroba modelů

Jelikož je součást relativně malá a stěny jsou v některých místech tenké, nebylo zpočátku jednoduché vyrobit model bez vad (viz obr. 37). Vosk často nezabíhal do úzkých míst okolo jádra. K výrobě byly použity vosky od firmy Blayson®, konkrétně A7-303 a A7-FR/1200. Ke drobným opravám byl použit vosk A7-208. Materiálové listy jsou v přílohách 1, 2, 3. Před samotným odlitím bylo potřeba formu rozložit a očistit od vosku z minula. Pomocí drátku byly vyčištěny odvětrávací kanálky a zhruba po každém třetím odlévání se forma i kovové jádro opatřilo velmi tenkým silikonovým nástřikem, aby se vosk lépe oddělil od stěn formy a jádra. Při použití vosku A7-303 se forma pouze složila, umístila na podložku pod úhlem zhruba 15° – 25°. V rendlíku na elektrickém vařiči byl roztaven vosk. Když bylo za neustálého promíchávání patrné, že je jeho viskozita již dostatečně nízká a vosk je prohřátý, gravitačně se vosk odlil do formy. K dostatečné manipulační pevnosti došlo zhruba po 15 minutách (při kratších časech tuhnutí doházelo při vyjímání páčky z formy k lámání nebo trhlinám). Při použití zeleného vosku A7-FR/1200 byl postup obdobný, ale jelikož je viskozita tohoto materiálu o něco vyšší, mnohem hůře zatékal do části formy okolo kovového jádra. Řešením tedy bylo formu nahřát horkovzdušnou pistolí. Nahřívání nebylo nijak agresivní, aby se silikonová forma nepoškodila. Teplota na povrchu byla do 60 °C (tak, aby bylo možné na povrchu chvíli udržet ruku). Díky tomu při odlévání nedocházelo k tak prudkému ochlazení roztaveného vosku a ten spolehlivě zabíhal i tam, kde dříve vznikaly problémy. Po gravitačním nalití vosku byl pomocí PET lahve přiložené ke vtoku formy zvýšen tlak. Vosk se tedy se zárukou dostal do všech míst a zamezilo se tak zbytečné zmetkovitosti. Pokud však byla forma dostatečně nahřátá, nebyl tento úkon nutný. Odlévání je vidět na obr. 38.

Po uplynutí 15 minut u vosku A7-303 a 25 minut u vosku A7-FR/1200 (kvůli zahřáté formě bylo ochlazení pomalejší) bylo potřeba model z formy vytáhnout. Výhodou silikonové formy je její tvárnost a poddajnost. Při vyjímání tedy nebyl problém formu různě kroutit a ohýbat tak, aby se model bez obtíží od formy oddělil. S trochou opatrnosti a za použití tyčinky se forma poměrně jednoduše



Obr. 37 Neshodné součásti



Obr. 38 Odlévání vosku A7-FR/1200



Obr. 39 Voskový model připravený k dalšímu použití

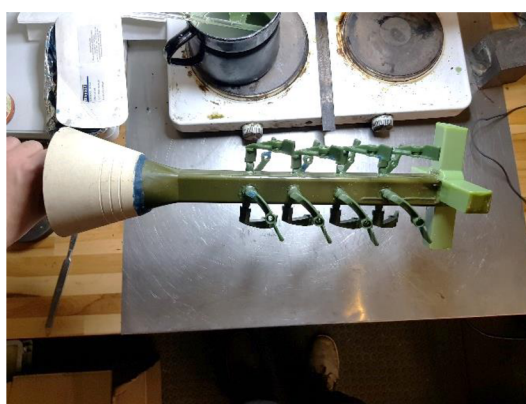
rozložila na jednotlivé části a model se jednoduše vyjmul. Občas se stalo, že se vyskytla vada v podobě vzduchové bublinky na povrchu. Takový model nebylo nutné považovat za zmetkový, pomocí reparačního vosku A7-208 byl vhodně opraven. Dutina byla zvětšena nožikem, aby se odstranily tenké stěny a nestabilní okolí a vyplnila se zmíněným reparačním voskem. Opravené páčky nebo páčky bez vad, jako je například ta na obr. 38, mohly putovat k další výrobní operaci.

#### 5.4 Lepení na stromeček

Připravené modely se dále lepily do tzv. stromečku na čtvercový vtokový kůl, který je vidět na obr. 40. Pomocí pájky byla natavena plocha přibližně 1 cm<sup>2</sup> na vtokovém kůlu i vtok voskové páčky. Bylo nutné, aby byly obě spojované části dostatečně roztavené a přitlačením páčky ke kůlu došlo ke spojení. Směr a úhel byl zvolen tak, aby nevznikaly problémy při vytavování vosku (vytékání vosku) i odlévání kovu (zatékání kovu). Kompletně nalepený stromeček lze vidět na obr. 41.



Obr. 40 Vtokový kůl



Obr. 41 Modely nalepené na stromečku

#### 5.5 Obalování

Jak je vidět na obr. 42, před obalováním bylo potřeba stromeček pomocí lihu v rozprašovači odmastit, aby k povrchu lépe ulpěla zirkonová břečka. Po oschnutí se celý stromeček důkladně namočil do suspenzní kapaliny SuspendaSlurry® ZR material značky Ransom & Randolph. Tato břečka obsahuje zirkonové částice a je výrobcem doporučována pro počáteční vrstvy u odlévání železných kovů. Po namočení byl stromeček důkladně posypán zirkonovým pískem REMET® Zircon od společnosti REMET®. Tento písek je velmi jemný (částice okolo 100 μm) a vhodný právě pro první vrstvy a zaručuje vysokou kvalitu povrchu. Obalování i posypávání prvotní zirkonovou vrstvou je na obr. 43 až obr. 45. Takto byla vytvořena



Obr. 42 Odmašťování pomocí lihu





Obr. 43 Zirkonová břecha a zirkonový písek

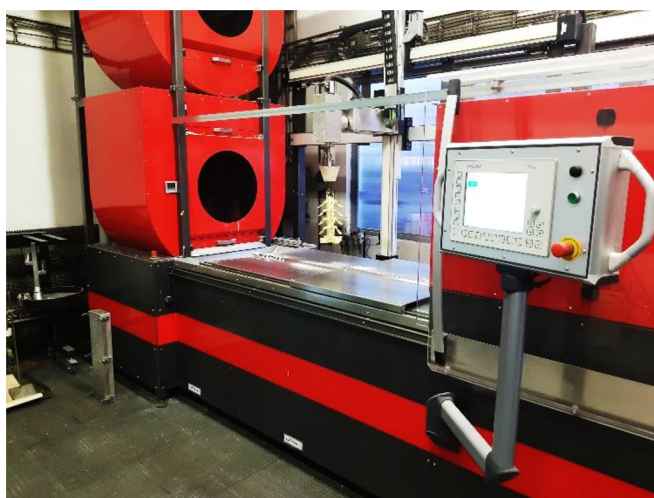


Obr. 44 Namáčení stromečku v zirkonové břechce

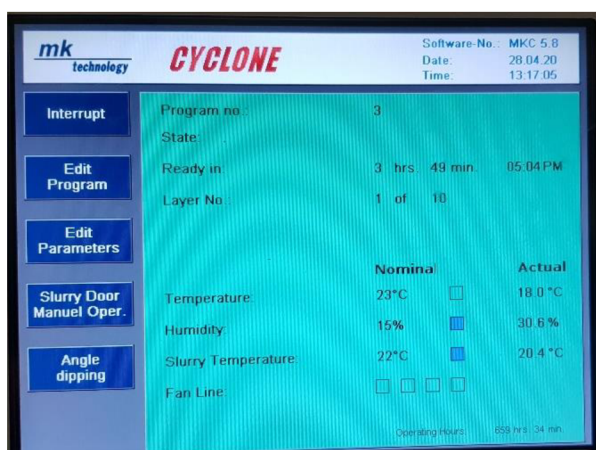


Obr. 45 Posypávání zirkonovým písekem

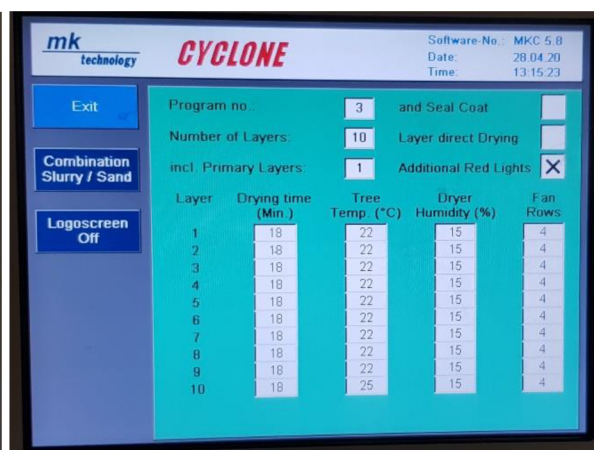
první vrstva skořepiny. Následně byl stromeček upevněn do stroje CYCLONE, jak je vidět na obr. 46. Zde proběhlo několikaminutové sušení v horkovzdušné komoře (pravá část stroje). Poté byl nastaven program na další (automatické) obalování a sušení stromečku. Obalování bylo rozděleno do 10 vrstev a celková doba byla strojem stanovena na 3 hodiny a 49 minut. Detaily z řídicí jednotky stroje jsou na obr. 47 a obr. 48. [17], [18]



Obr. 46 Obalovací a sušící stroj CYCLONE



Obr. 47 Zvolený program



Obr. 48 Detaily zvoleného programu

## 5.6 Vytavování vosku

Po dokončení obalování a sušení byl stromeček umístěn do žíhací pece. Při teplotě 650 °C byl vosk z formy vytaven. Při manipulaci bohužel došlo k rozlomení formy. I přesto byla část této skořepiny využitelná pro další kroky výroby, proto bylo přistoupeno k jejímu dalšímu zpracování a následnému odlití.

## 5.7 Vypalování keramiky

Při teplotě 1050 °C po dobu asi jedné hodiny probíhalo vytvrzení keramiky vypalováním. Po uplynutí této doby byla forma ze žíhací pece vložena do kyblíku a obsypána pískem. Ten jednak zpomalil ochlazování skořepiny, zároveň zajišťoval polohu formy. To dokumentují obr. 49 a obr. 50. Poté putovala vypálená keramická forma k peci, kde se do ní ihned vléval roztavený kov. Předcházelo se tak k tepelným šokům mezi formou a kovem.



Obr. 49 Vytahování formy z žíhací pece



Obr. 50 Obsypávání formy pískem

## 5.8 Tavení a odlévání kovu

Paralelně s vytavováním vosku a vypalováním keramiky byla v kelímkové peci připravována slitina pro odlévání. Jednalo se o korozivzdornou austenitickou ocel, konkrétně X2CrNi 19 2 dle DIN 1.4603. Odlévání proběhlo gravitačně a je vidět na obr. 51. Lze si všimnout poškození, ke kterému došlo manipulací. Formě chybí část vtokové soustavy. I přesto se do otvoru podařilo kov odlít. Následovalo tuhnutí pod dobu zhruba jedné hodiny.

## 5.9 Výsledek a zhodnocení

Po ztuhnutí a dostatečném ochlazení byla skořepina mechanicky odstraněna a sice ručním kladivem. Poté byl celý odlitek ještě zchlazen ve vodě a následně otryskán. Po celkovém očištění bylo zjištěno, že u většiny odlitků kov nezaběhnul a vznikly tak neshodné kusy (viz obr. 52). Dva odlitky (viz obr. 53) s drobnými, avšak opravitelnými vadami, jsou použitelné. Příčinou neshodnosti mohla být nedostatečná teplota kovu či skořepiny nebo nedostatečná metalostatická výška. Dva shodné kusy byly umístěny ve spodní části lícího stromečku.



Obr. 51 Odlévání kovu



Obr. 52 Surový odlitek po otryskání



Obr. 53 Výsledné odlitky

## 6 ZÁVĚR

Slévárnictví je velmi důležitou součástí strojírenství a je zřejmé, že i do budoucna bude mít tuto pozici pevně zakotvenou. Ve své práci jsem se zabýval metodami netrvalých forem, které svým původem sahají do velmi dávné historie. Mohlo by se tedy zdát, že jsou již pohřbeny v dávnověku, opak je však pravdou. Dnešní slévárnictví využívá lití do netrvalých forem ve velmi velké míře. Principy vychází z prapůvodních metod, které jsou dnes mnohonásobně (sofistikovaně) vylepšeny letitými zkušenostmi a také využitím moderních technologií dnešního světa. Věda a technika jdou spolu již po staletí ruku v ruce, což se projevuje i zde. Na první pohled tradiční řemeslo se stává automatizovaným a robotizovaným. Výroba forem a jader nikdy nebyla snazší. Využití 3D technologií, nových softwarů a zařízení rychle posouvá výrobu vpřed. Znalosti v oblasti chemie během posledního století pozvedly (nejen) metody přesného lití do netrvalých forem na novou úroveň, jak již bylo naznačeno v první polovině této práce. Do budoucna by měla výroba probíhat rychleji, flexibilněji a bezpečněji.

S velkou vděčností přijímám fakt, že jsem mohl v rámci závěrečné práce působit na praktickém projektu. Jelikož s hasičským sportem nemám přímou zkušenost, považoval jsem výrobu páčkové pojistky na hasičskou hadici spíše jako zadanou zakázku od klienta. Simulace takového prostředí mě naučila lépe komunikovat s odborníky v rámci školního slévárenského týmu. Při práci jsem zjistil, jaká úskalí s sebou výrobní proces nese a měl jsem prostor experimentovat. Pracoval jsem s různými druhy vosků a postupně jsem odstraňoval nedostatky při výrobě matečných modelů. Naučil jsem se lepit modely na stromeček. Asistence při obalování či odlévání pro mě rozhodně byla přínosem. Pokud by se na podobném projektu pracovalo někdy příště, bylo by dobré dbát na to, aby při manipulaci s formou nedošlo k jejímu poškození. Bylo by též vhodné zajistit lepší izolaci formy, jelikož je malých rozměrů a rychle se ochlazuje. Ve slévárně je relativně velká vzdálenost mezi žíhací pecí a tavicím agregátem. Pro příští realizaci bych tedy navrhoval zkrátit čas mezi vytažením skořepiny z žíhací pece a samotným odléváním kovu. Také bych doporučil zvýšit lící teplotu. I přesto, že výsledek nebyl podle původních představ, byla pro mě práce na tomto projektu velmi dobrou zkušeností.

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ŠENBERGER, Jaroslav. *Metalurgie oceli na odlitky*. V Brně: VUTIUM, 2008, 311 s. : il. ISBN 978-80-214-3632-9.
2. RUSÍN, Karel. *Slévárenské formovací materiály: celostátní vysokoškolská učebnice pro skupinu studijních oborů strojírenství a ostatní kovodělná výroba*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 80-03-00278-8.
3. JELÍNEK, Petr. *Slévárenství*. III. vydání. Ostrava: Ediční středisko VŠB, 1992, 256 stran : ilustrace.
4. *Technologie tavení litin v kupolové peci* [online]. Ostrava, 2018 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: [https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/128965/SNO0008\\_FMMI\\_B2109\\_2109R038\\_2018.pdf?sequence=1](https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/128965/SNO0008_FMMI_B2109_2109R038_2018.pdf?sequence=1). Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Hampl, Ph.D.
5. HORÁČEK, Milan. *Teorie slévání*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1991.
6. Silikóza a azbestóza. In: <https://www.stefajir.cz/?q=silikoza-azbestoza> [online]. Praha, 2011 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://www.stefajir.cz/?q=silikoza-azbestoza>
7. JELÍNEK, Petr. *Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí: ostrřiva*. Ostrava: P. Jelínek, 2000. ISBN 80-238-6118-2.
8. DOŠKÁŘ, Josef. *Výroba přesných odlitků*. Praha: SNTL, 1976, 315 s.
9. JELÍNEK, P. *Slévárenské formovací směsi*. 1. vyd. Ostrava: VŠB Technická univerzita, 1996, 177 s. ISBN 80-7078-326-5.
10. JELÍNEK, Petr. *Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí: (chemie slévárenských pojiv)*. Ostrava: P. Jelínek, 2004. ISBN 80-239-2188-6.
11. HORÁČEK, Milan. *Slévárenská technologie I*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1990. ISBN 80-214-0217-2.
12. KOSOUR, Josef, Milan HORÁČEK a Jiří HORENSKÝ, 2012. Kvalitní voskový model - základní předpoklad kvalitního odlitku zhotoveného. *SLÉVÁRENSTVÍ*. Brno: Svaz sléváren České republiky, 60.(9-10), 329-331. ISSN 0037-6825.
13. BEELEY, Peter R a Robert F SMART. *Investment Casting*. London: The Institute of Materials, 1995, 486 s. ISBN 0-901716-66-9.
14. DOŠKÁŘ, Josef a V. KRUMPOLC. *Novodobé způsoby lití kovů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955. Řada strojírenské literatury.
15. CHEN, Hong Ze, Zhong De SHAN a Hong Zhao DONG. *Research of Foam Pattern Processing for Lost Foam Casting*. *Applied Mechanics and Materials*[online]. Trans Tech Publications, 2013, 331-331(331), 600-603 [cit. 2020-03-30]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.331.600. ISSN 1660-9336. Dostupné z: <https://www-scientific-net.ezproxy.lib.vutbr.cz/AMM.331.600>
16. HERMAN, Aleš. *Lití na vytavitelný model: Přesné lití na vytavitelný model* [online]. Praha, 2009 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: [http://docplayer.cz/419638-Ing-ales-herman-ph-d.html#show\\_full\\_text](http://docplayer.cz/419638-Ing-ales-herman-ph-d.html#show_full_text). Disertační práce. ČVUT. Vedoucí práce Aleš HERMAN.
17. SuspendaSlurry® materials. *Ransom & Randolph* [online]. Maumee, Ohio, USA, 2019, 2019 [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.ransom-randolph.com/suspendaslurry>
18. REMET®: *REMET® Zircon* [online]. Rochester, Kent, 2020 [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.remet.com/en/>
19. *Blayson* [online]. Pembroke Avenue, Cambridge: The Blayson Group, 2020 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://blayson.com/>
20. Tell Judaidah bronze figurines. In: *The University of Chicago New office* [online]. Chicago Illinois, 2012, 12/1/2005 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://www-news.uchicago.edu/releases/05/050112.oi-objects.shtml>

21. JEN. Dancing girl. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco, 2012, 18/2/2012 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: [https://es.wikipedia.org/wiki/Bailarina\\_\(escultura\)#/media/Archivo:Dancing\\_girl.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Bailarina_(escultura)#/media/Archivo:Dancing_girl.jpg)
22. Železářská pec: Dýmačka. In: *ITRAS* [online]. Rychnov nad Kněžnou, 2020 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://itras.cz/villa-nova/galerie/1656/#foto>
23. JIRÁSEK, J. Zemitý červenohnědý montmorillonit. In: *Nerudní a stavební suroviny* [online]. Ostrava: Sbírký Geologického pavilonu VŠB-TU Ostrava, 2006 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/nerudy/bentonit.html>
24. Kokilové lití. In: *Silesia - Tech s.r.o.* [online]. Opava, 2020 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <http://www.silesia-tech.cz/kokilove-liti>
25. Sand Casting Running System. In: *Novacast* [online]. Bowerhill Melksham UK, 2019, 28th May 2019 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.novacast.co.uk/news/elements-of-a-sand-casting-running-system/>
26. LAVINSKY, Rob. Magnesite. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco, 2005, 5/2010 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnezit#/media/Soubor:Magnesite-t06-203a.jpg>
27. JELÍNEK, P. *Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí (Ostřiva)*. Ostrava: OFTIS, 2000. 138 s. ISBN 80-238-6118-2
28. Korund: Mjas, Ural. In: *Natur CUNI* [online]. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <http://web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/mineral/korund.html>
29. HUPPERICHS, Leon. Krystaly chromitu z lokality Mutorashanga v Zimbabwe. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco, 2012-07, 2012/7 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Chromit#/media/Soubor:Chromite-478691.jpg>
30. Zirkonový písek. In: *FormServis* [online]. Brno: FormServis, 2020, 2020 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <http://www.formservis.cz/cz/o-firme/produkty/suroviny/>
31. JIRÁSEK, J. Rozpraskané zrno zeleného olivínu v čediči. In: *Geologie VŠB* [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006, 2006 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/nerudy/oliv%C3%ADn.html>
32. Vodní sklo křemičité. In: *H-Glost: Bílé písky pro vaše směsi* [online]. Kuřim: H-GLOST, 2016, 2016 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.h-glost.cz/anorganicka-pojiva>
33. Investment Casting Process. In: *SMILE* [online]. 215, Jianping 11th Street, Tainan City 70847, Taiwan: SMILE [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: [https://www.smile01.com/investment\\_casting\\_process.html](https://www.smile01.com/investment_casting_process.html)
34. Investment Casting Autoclave Systems. In: *ASC Process Sytem* [online]. Livingston Ave. Valenci: ASC PRocess System, 2020, 2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://www.aschome.com/index.php/en/industries/investment-casting>
35. BENDA, Jan. Spojka pevná B75 kovaná s páčkovou pojistkou. In: *Jan Benda požární služby* [online]. Vejrnice: Jan Benda, 2015, 2015 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.pozarni-zbozi.cz/eshop-spojka-pevna-b75-kovana-awg-s-packovou-pojistkou.html#&gid=1&pid=1>
36. LUKS, Marek. Lití do netrvalých forem. In: *M.L. Gear Designs* [online]. Uherský Brod: M.L. Gear Designs, 2016, 9. 4. 2015 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1504/liti-do-netrvalych-forem>

37. Ceramic mould casting. In: *OpenLearn: Free Learning from the Open University* [online]. Walton Hall, Milton Keynes MK7 6AA: The Open University, 2020, 1st November 2017 [cit. 2020-06-20].  
Dostupné z: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/ceramic-mould-casting>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Legenda	Jednotka
$\text{Al}_2\text{O}_3$	Oxid hlinitý	-
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Kaolinitický jíł	-
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Montmorillonitický jíł	-
CAD	Computer Aided Design	-
$\text{CO}_2$	Oxid uhličitý	-
Fe	Železo	-
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Oxid železitý	-
$\text{FeCr}_2\text{O}_4$	Chromit	-
$\text{MgCO}_3$	Uhličitan hořečnatý	-
MgO	Oxid hořečnatý	-
$\text{SiO}_2$	Oxid křemičitý	-
$\text{ZrO}_2$	Oxid zirkoničitý	-



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Tell Judiah, Sýrie, 3 100 - 2 900 př. n.l. (bronz) [20] .....	10
Obr. 2 Tanečnice z Mohenjodaro, 2500 př. n. l. [21] .....	10
Obr. 3 Dýmačka [22] .....	10
Obr. 4 Základní schéma rozdělení slévárenských forem [5] .....	12
Obr. 5 Bentonit v surovém stavu [23] .....	13
Obr. 6 Kokilové lití – trvalá forma [24] .....	14
Obr. 7 Písková netrvalá forma [25] .....	14
Obr. 8 Průřezové schéma formovací směsi [5] .....	15
Obr. 9 Výroba pískové formy [36] .....	15
Obr. 10 Výroba pískové formy [36] .....	15
Obr. 11 Neplynulá křivka tepelné dilatace křemenných ostřiv [5] .....	16
Obr. 12 Magnezit [26] .....	17
Obr. 13 Chrommagnesit [27] .....	17
Obr. 14 Rovnovážný diagram SiO <sub>2</sub> – Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [2] .....	18
Obr. 15 Korund [28] .....	18
Obr. 16 Krystaly chromitu z lokality Mutorashanga, Zimbabwe [29] .....	19
Obr. 17 Zirkonový písek [30] .....	19
Obr. 18 Krystaly olivínu v čediči [31] .....	19
Obr. 19 Schéma rozdělení pojivových soustav do generací [5] .....	20
Obr. 20 Dělení na organická a anorganická pojiva [5] .....	22
Obr. 21 Křemičité vodní sklo [32] .....	24
Obr. 22 Schéma směsi s vodním sklem [5] .....	25
Obr. 23 Rozdělení fenolytických směsí a následná technologie vytvrzování [5] .....	26
Obr. 24 Postup výroby odlitku technologií vytavitelného modelu [33] .....	29
Obr. 25 Rozměrové změny v průběhu technologie vytavitelného modelu [12] .....	29
Obr. 26 Silikonová forma (rozložený stav) [13] .....	30
Obr. 27 Silikonová forma (složený stav) [13] .....	30
Obr. 28 Jednotlivé části kovové formy [13] .....	31
Obr. 29 Různé typy vosků od firmy Blayson .....	32
Obr. 30 Stromeček a popis jeho jednotlivých částí [8] .....	33
Obr. 31 Autokláv od společnosti ASC [34] .....	34
Obr. 32 Schéma výroby forem metodou Shaw [37] .....	35
Obr. 33 Hadicová spojka s páčkovou pojistkou [35] .....	38
Obr. 34 Silikonová forma složená .....	38
Obr. 35 Silikonová forma rozložená .....	38
Obr. 36 Smrštění vosku po ztuhnutí .....	38
Obr. 37 Neshodné součásti .....	39
Obr. 38 Odlévání vosku A7-FR/1200 .....	39
Obr. 39 Voskový model připravený k dalšímu použití .....	39
Obr. 40 Vtokový kůl .....	40
Obr. 41 Modely nalepené na stromečku .....	40
Obr. 42 Odmašťování pomocí lihu .....	40
Obr. 43 Zirkonová břečka a zirkonový písek .....	41
Obr. 44 Namáčení stromečku v zirkonové břečce .....	41
Obr. 45 Posypávání zirkonovým pískem .....	41
Obr. 46 Obalovací a sušící stroj CYCLONE .....	41
Obr. 47 Zvolený program .....	41
Obr. 48 Detaily zvoleného programu .....	41
Obr. 49 Vytahování formy z žihací pece .....	42

Obr. 50 Obsypávání formy pískem.....	42
Obr. 51 Odlévání kovu .....	43
Obr. 52 Surový odlitek po otryskání .....	43
Obr. 53 Výsledné odlitky.....	43

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rozdělení pískových směsí podle obsahu vody [3], [5].....	13
Tab. 2 Rozdělení žáruvzdornosti šamotu [2].....	18
Tab. 3 Porovnání hliníkových a ocelových forem [13].....	32
Tab. 4 Rozdělení vosků podle použití [13].....	32
Tab. 5 Vlastnosti vosků [13].....	33

## SEZNAM PŘÍLOH

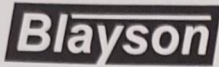
**Příloha 1** Vosk A7 – 303

**Příloha 2** Vosk A7 – FR/1200

**Příloha 3** Vosk A7 – 208

# PŘÍLOHA 1

Vosk A7 – 303 [19]



## PRODUCT DATA SHEET

FOR GUIDANCE ONLY

A7-303

Patching Wax



### Description

A low viscosity, fast melting dip seal and general purposed patching wax. The material is designed to reduce pressure on ceramic systems during dewax operations and also as an in fill for larger cavities on trim operations.

### Typical Properties

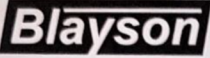
Congealing Point	67 – 73 °C	DSC T Peak	60 – 65 °C
Ash Content	< 0.05 %	DSC Solid	64 – 71 °C
Viscosity @ 70 °C	0.08 – 0.2 Pa · s	Product Colour	Blue
Filler Content	< 0.5 %	Product Form	Pellet

### Additional Information

- Intended for use in the investment casting process
- The suggested operating temperature of the wax is 75 °C
- The recommended maximum melting temperature of the wax is 100 °C

## PŘÍLOHA 2

Vosk A7 – FR/1200 [19]




---

### PRODUCT DATA SHEET

FOR GUIDANCE ONLY

**A7-FR/1200** **Filled Wax**



---

#### Description

- Cross linked polystyrene filled wax
- Provides dimensional stability and excellent surface finish
- The wax can be recycled

---

#### Typical Properties

<b>Congealing Point</b>	63 – 67 °C	<b>Free Linear Contraction @ 68 °C</b>	0.8 – 1.1 %
<b>Drop Melt Point</b>	70 – 75 °C	<b>Filler Content</b>	30 – 32 %
<b>Ash Content</b>	0.05 % Max	<b>Filler Type</b>	XLPS
<b>Penetration</b>	9 – 12 dmm	<b>Product Colour</b>	Green
<b>Viscosity @ 70 °C</b>	0.7 – 1.1 Pa · s	<b>Product Form</b>	Pellet

---

#### Additional Information

- Intended for use as an investment casting wax
- The recommended maximum melting temperature of the wax is 100 °C
- Once melted the wax should be stirred continually at an agitation speed of 10 to 15 rpm
- TRISOL is recommended as the preferred wax pattern wash and etching agent
- BLAYSIL is recommended as the preferred wax pattern release agent
- Further information can be found at [www.blayson.com/help](http://www.blayson.com/help)

---

Blayson Olefines Ltd  
Denny Industrial Centre, Pembroke Avenue, Cambridge CB25 9QP (UK)  
Tel +44 (0)1223 861 491 - Fax +44 (0)1223 441 500 - enquiries@blayson.com - www.blayson.com  
Registered in England No 00703644 - A member of The Blayson Group Ltd

2018-04-16 Page 1 of 1

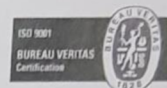
## PŘÍLOHA 3

Vosk A7 – 208 [19]

# Blayson

## PRODUCT DATA SHEET

FOR GUIDANCE ONLY



A7-208

Repair Wax

### Description

- Dip seal and repair wax
- Flexible and resists cracking
- Very low ash

### Typical Properties

Congealing Point	63 – 68 °C	Product Colour	Red
Ash Content	0.005 %	Product Form	Block
Penetration	36 – 46 dmm		

### Additional Information

- Intended for use as an investment casting wax
- The recommended maximum melting temperature of the wax is 100 °C
- Trisol is recommended as the preferred pattern wash and etching agent

# Blayson

REFERENCE: 190254A

NAME: A7-208

F.A.O: MILAN HORACEK

COMPANY: ALUCAST

Blayson Olefines Ltd  
Denny Industrial Centre, Pembroke Avenue,  
Cambridge CB25 9QP (UK)  
Tel +44 (0)1223 861 491 - Fax +44 (0)1223 441 500  
enquiries@blayson.com - www.blayson.com  
A member of The Blayson Group Ltd