



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A  
BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND  
BIOMECHANICS

## VÝROBA JADER VE SLÉVÁRENSTVÍ

PRŮMYSLOVÝ PROJEKT

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MAREK ROH

BRNO 2016

## Obsah

Obsah.....	2
1 Úvod.....	3
2 Siemens AG.....	4
2.1 Historie .....	4
2.2 Siemens v ČR.....	5
3 Slévárství .....	6
3.1 Historie .....	6
3.2 Princip výroby odlitku.....	6
4 Výroba jader v Mohelnickém závodu Siemens .....	8
Seznam použité literatury .....	11

# 1 Úvod

Tato práce se zabývá výrobou jader ve slévárně, kterou jsem měl na starost na brigádě v létě roku 2013 v Mohelnickém výrobním závodě společnosti Siemens. V práci bude ve zkratce řečeno něco málo o společnosti Siemens AG o historii slévárny a samotné výrobě jader. Podrobněji bude rozebrán výrobní proces konkrétních jader, na nichž se podílela má osoba.

## 2 Siemens AG

je konglomerátní společnost patřící mezi největší výrobce elektroniky na světě s mezinárodním sídlem v Berlíně a Mnichově. Hlavními divizemi společnosti jsou průmysl, energetika, zdravotnictví a infrastruktura měst. V současné době společnost Siemens a její dceřiné společnosti zaměstnávají přes 350 tisíc lidí po celém světě a její globální příjmy podle výroční zprávy z roku 2014 přesáhly 71 miliard € [1].

### 2.1 Historie

Společnost byla založena Wernerem von Siemensem a Johannem Georgem Halskem 1. října roku 1847. Byla založena na základě Siemensově vynálezu telegrafu, používajícího střelku k ukazování písmen. Společnost, tehdy pojmenovaná *Telegraphen-Bauanstalt von Siemens & Halske*, otevřela první továrnu 12. října roku 1847 [1].

Roku 1848 byla výše zmíněnou společností postavena první dálková telegrafní síť v Evropě mezi městy Berlín a Frankfurt nad Mohanem [1].

V šedesátých letech 18. století byly postupně bratry Siemensovými otevřeny pobočky v Anglii a Rusku [1].

V roce 1867 bylo dokončeno monumentální dílo indoevropské telegrafní sítě spojující Kalkatu a Londýn. V tomtéž roce bylo Wernerem von Siemensem popsáno dynamo fungující bez permanentních magnetů, kterýžto systém byl nezávisle objeven též Charlesem Wheatstonem, ale společnost Siemens byla první, která toto zařízení sestrojila.

Roku 1881 bylo za použití alternátoru Siemens na střídavý proud rozsvíceno první elektrické pouliční osvětlení na světě. K tomuto počínu došlo v Anglii ve městě Godalming [1].

Roku 1890 odešel zakladatel Werner von Siemens do důchodu a chod společnosti přenechal svému bratru Carlovi a synům Arnoldovi a Wilhelmovi.

Do roku 1907 se s 34 tisíci zaměstnanci stala společnost sedmou největší společností v Německu, co se týče počtu zaměstnanců [1].

Ve 20. a 30. letech devatenáctého století začala S & H vyrábět rádia, televizory a elektronové mikroskopy [1].

V průběhu druhé světové války je známo, že společnost Siemens (v té době Siemens-Schuckert) zaměstnávala některé zručné dělníky z koncentračních táborů a dokonce jedna z jejích továren ležela přímo na uzavřeném území vyhlazovacího tábora Osvětim. Ke konci války bylo zničeno nemalé množství továren v Berlíně a jiných velkých městech pod nálety spojeneckých vojsk. Aby se předešlo dalším ztrátám, byla výroba přesunuta do míst méně postižených válkou. Takto mohla společnost pokračovat ve výrobě válečných i každodenních produktů [1].

V padesátých letech z jejich nového sídla v Bavorsku začal Siemens vyrábět počítače, polovodičové přístroje, pračky a kardiostimulátory [1].

V roce 1966 došlo ke sloučení společností Siemens & Halske (založeno r. 1847), Siemens-Schuckertwerke (založeno r. 1903) a Siemens-Reiniger-Werke (založeno r. 1932) na Siemens AG, která v současné podobě funguje dodnes [1].

## 2.2 Siemens v ČR

Siemens, s.r.o. je dceřinou společností Siemens AG, která jak již bylo zmíněno sídlí v Berlíně a Mnichově. Jedná se o jednu z největších elektrotechnických firem působících na území Česka. Aktivity této skupiny mají v České Republice dlouholetou tradici. Na podzim roku 1890 bylo otevřeno první zastoupení v Brně a Praze. Siemens se již předtím podílel na řadě projektů, jako třeba osvětlení v Roustonově libeňské strojárně, osvětlení Stavovského divadla. V Olomouci a v Praze vybudoval tramvajový provoz, v Ostravě elektrifikoval parní dráhu a v několika městech zprovoznil veřejné osvětlení. Po vzniku Československa na našem území vzniklo několik velkých závodů, v nichž docházelo jak k výrobě silnoproudých zařízení pro elektrárny, průmyslové závody, doly, hutě a elektrické dráhy, tak k výrobě různých zařízení jako např. elektromotorů, generátorů, telefonů, lékařských a měřících přístrojů, ale i elektrického nářadí a domácích spotřebičů. Po druhé světové válce však došlo k znárodnění jak zastoupení firmy, tak výrobních závodů, k jejichž oživení došlo až koncem šedesátých let. Do Československa se však Siemens úplně vrátil až na konci roku 1990 a rozrostl se ve skupinu sdružující řadu jak výrobních, tak obchodních a servisních závodů [2].

V současné době se na území České Republiky nachází 7 výrobních závodů společnosti Siemens. Dochází zde k výrobě nízkonapěťových spínacích technik, elektromotorů, komponent osvětlovacích technik, elektromotorů, generátorů a průmyslových parních turbín. Tyto závody sídlí v Trutnově, Mohelnici, Bruntálu, Brně, Frenštátu p. Radhoštěm, Drásově a Letohradu [2].

Mohelnický Siemens je největším závodem na výrobu nízkonapěťových asynchronních elektromotorů v Evropě. Zaměstnává téměř 2 000 lidí a svou produkcí vytváří stovky návazných pracovních míst u regionálních dodavatelů. Denně podnik vyrobí téměř 4 tisíce elektromotorů, které jsou určeny k pohonu především průmyslových zařízení, jako jsou například ventilátory, čerpadla, kompresory či obráběcí stroje [3].



Obr. 1 Mohelnické sídlo společnosti Siemens [3]

## 3 Slévárenství

Pod pojmem slévárenství si představíme technologii, pomocí které dochází k výrobě předmětů odléváním roztaveného kovu do forem. Takovéto výrobky se nazývají odlitky. Tekutý kov umožňuje vyrábět odlitky složitých tvarů s různými tloušťkami stěn, či odlitky s komplikovanými vnitřními dutinami. Touto technologií lze vyrábět součástky, které by jinou technologií vyrobit nešlo. Rozsah hmotností odlitků se pohybuje od gramů až po tuny a dle jejich charakteru se výroba může mechanizovat a automatizovat [4].

### 3.1 Historie

Kořeny slévárenství sahají až do roku 2000 př. n. l. a bývají spojovány s kulturami staré Persie, Číny a později Egypta. Od té doby prodělala výroba několik vývojových etap, přičemž u každé z těchto etap došlo ke kvalitativnímu skoku. Ve 20. století přišla éra, v níž docházelo k chemizaci forem a jader, přičemž však docházelo k uvolňování škodlivin do ovzduší. Do dnešní doby, kdy jsou kladeny velké nároky jak na kvalitu výrobku, tak na ochranu životního prostředí, produkuje slévárenská výroba stále největší množství nebezpečných odpadů v oblasti strojírenství, a proto se odborníci stále snaží najít optimální metody pro dosažení požadovaných kvalit s minimálním dopadem na životní prostředí. V současné době se nejvíce používají metody horkého a studeného jaderníku (Hot-Box, Warm-Box) [4].

### 3.2 Princip výroby odlitku

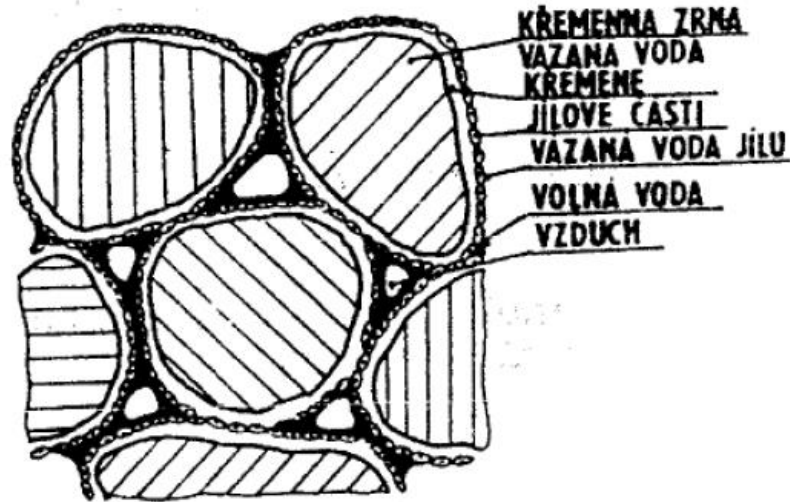
Na výrobě odlitku spolupracuje mnoho odborníků jako například technolog, metalurg či chemik. Společným cílem všech těchto odborníků je vytvoření takového odlitku, který splňuje požadované rozměry a vlastnosti. K popisu těchto vlastností a rozměrů se využívá výkresů, jakožto hlavních podkladů pro výrobky daných odlitků [4].

Smísením ostřiva a pojiva vzniká formovací směs. Tato směs musí splňovat předepsané vlastnosti, jako například vlhkost, vaznost prodyšnost či žáruvzdornost. Pojmem **ostřivo** rozumíme zrnitý, žáruvzdorný materiál, který tvoří až 98% hmotnosti formovací směsi. Velikost jednotlivých částic ostřiva se pohybuje od 0,02mm výše a mezi jeho nejdůležitější vlastnosti patří hranatost a zrnitost částic. V současné době je nejčastěji užívaným ostřivem křemenný písek vysoké mineralogické a chemické čistoty. Jako **pojivo** je označována látka nebo směs organických (anorganických) látek, které formovací směsi dodávají vaznost, pevnost po vysušení, pevnost po vytvrzení chemickou cestou, pevnost za vysokých teplot a pevnost po odlití. Z hlediska vývoje lze výsledné formovací směsi rozdělit do čtyř generací [4].

1. Směsi I. generace – jsou historicky nejstarší směsi, spojené jílovými pojivy (bentonit, illitický jíl a kaolín) na základě kapilárního tlaku a Van der Waalových sil. Formy získávají pevnost upěchováním. Někdy z důvodu zvýšení pevnosti suší či přisoušejí.
2. Směsi II. generace – směsi se pěchují, výslednou pevnost však získávají až chemickým tvrzením, které se dnes označuje jako CO<sub>2</sub> proces.
3. Směsi III. generace – jádra a formy jsou vytvářeny fyzikálními metodami, ve formovacích „směsích“ se nevyskytuje pojivo a zrna v ostřivu jsou vázány

pomocí fyzikálních vazeb, jako je například magnetické pole, vakuum či účinek teplot pod bodem mrazu.

4. Směsi IV. generace – pod tímto pojmem rozumíme směsi, v nichž je ostřivo zpevněno biologickým pojivem. Základem tohoto pojiva jsou proteiny [4].



Obr. 2 Formovací směs

Formovací směs se následně dopraví do formovny, kde se za pomoci modelu a jaderníku zhotoví forma, či případně jádra. Tyto formy jsou již nástroji, pomocí nichž se tekutý kov tvaruje do podoby odlitku. Podle počtu vyrobených odlitků vyrobených v jedné formě se tyto formy dělí na formy

1. Trvalé – v nichž lze vyrobit větší množství odlitků. Zpravidla se jedná o formy grafitové či kovové. V praxi mají větší uplatnění formy kovové, též nazývané jako kokily.
2. Polotrvalé – v nichž lze vyrobit více než jeden odlitek (maximálně však 10 kusů). Jsou vyrobeny ze zrnitých keramických žáruvzdorných hmot a po každém lití je nutná jejich oprava.
3. Netrvalé formy – v nichž lze odlít pouze jediný odlitek. Formy jsou zhotoveny z formovacích směsí obsahujících pojivo, ostřivo a další přísady [4].

Po vyjmutí modelu vložení jádra zůstává ve formě dutina ve tvaru budoucího odlitku. Následně musí být vytvořena vtoková soustava. Pod tímto pojmem rozumíme systém kanálků a výfuků, které jsou nezbytné, aby se tekutý kov dostal do dutiny a unikající plyny nepoškodily formu. Někdy se zhotovují i dodatečné dutiny pro nálitky, kterých se využívá při tuhnutí a smršťování odlitku. Po ztuhnutí a vychladnutí se odlitek z formy vyjímá. Způsob vyjmutí závisí na druhu formy. Následně se odlitek přesouvá do čistírny, v níž dochází k odstranění vtoků, výfuků, nálitků a švů. Zbytky jader, které ulpěly na odlitku, jsou otryskány či odstraněny jiným způsobem. Odlitek takto zpracovaný se nazývá hrubým odlitkem, který je finálním produktem slévárny se pouze natírá protikorozním nátěrem a odesílá se do obrobny, kde dochází k jeho dalšímu zpracování. Odřezané části se vrací spolu se zmetky do tavnice, kde se jich užívá jako vratného materiálu [4].

## 4 Výroba jader v Mohelnickém závodu Siemens

Jak již bylo výše zmíněno, v létě roku 2013 jsem měl na starost výrobu jader ve slévárně výrobního závodu Siemens v Mohelnicích. Byl zde třísměnný provoz, já jsem vzhledem ke své praxi pracoval pouze na směnách ranních, tedy od 6:30 do 14:30.

Jako ostřívo těchto jader se užívalo písku z místní pískovny známé širokou veřejností jako *Bagr*. Tento písek se nákladními auty vozil do areálu závodu, kde následně docházelo k jeho přesívání a sušení. Takto zpracovaný písek se dovážel v kontejnerech přímo do haly slévárny. Jako pojivo bylo užíváno pojivo GEOPOL®, což jsou anorganické geopolymerní, modifikované silikátové pojiva s minimálním dopadem na životní prostředí. K vytvoření formovací směsi se nejprve naplnila speciální míchačka pískem a následně se přidalo pojivo, které se v míchačce spolu s pískem rozmíchalo. Při vytváření této směsi se příliš nedbalo na přesné odměřování, písek se do míchačky sypal kýblem a v závislosti na počtu kýblů se přidalo tabulkou stanovené množství pojiva. Častokrát se stalo, že po rozmíchání neměla formovací směs náležitou konzistenci a v těchto případech se pojivo přidávalo kvalifikovanou obsluhou, dokud se směs neměla požadovanou podobu. Následně se míchačka uzavřela poklopem, jelikož by docházelo k degradaci povrchové vrstvy formovací směsi působením vzdušného CO<sub>2</sub>. Postupem času směs měnila barvu z pískové na růžovou. Je tedy zřejmé, že se jedná o směs II. generace, využívající chemických procesů k vytvrzení. Důležité bylo, aby se ztvrdlé (zdegradované) kusy formovací směsi z míchačky (stejně jako ze všech nástrojů používaných k výrobě jader) odstraňovali, neboť jejich výskyt měl na výsledný produkt neblahé následky. Z míchačky se formovací směs vsypávala do kýble a pěchovala do jaderníku. Jaderník se skládal celkem z 6 částí. Spodní část, s příívodem z plynové bomby, která daný plyn rozváděla do celkem osmi míst na spodní části jaderníku. Na tuto část se přidělaly 4 menší „žebra“, které sloužily k tvarování vnitřního průměru jádra. Celá tato sestava se přiklopila posledním dílem jaderníku a následně se pěchovala formovací směsí. Směs bylo třeba náležitě upěchovat, aby se dostala do všech míst a vyplnila kompletně celý jaderník. K tomuto pěchování se používalo dřevěného topírka. Po dokončení pěchování se vrchní strana budoucího jádra zarovnála tupou stranou dlouhého nože a spustil se příívod CO<sub>2</sub>. Délka vystavení formovací směsi kysličníku byla rovněž určena odhadem a trvala zhruba 40-60 vteřin. Po této době byla jádra dostatečně vytvrdlá a bylo třeba je z jaderníku vyklepat. Při tomto procesu bylo třeba pracovat s náležitou opatrností, protože vytvrdlá jádra jsou velmi křehká. Nejprve se jaderník opatrně poklepal gumovým kladívkem a následně se jeho odstranil vrchní díl. Dále se poklepaly boky jaderníku, aby se jádro uvolnilo. Aby se jádro k jaderníku nelepilo, bylo rovněž třeba jaderník vymazávat speciálním olejem a to zhruba po každých šesti vytvořených jádrech. Po vyjmutí jádra z jaderníku bylo nutné zkontrolovat jeho kvalitu a upravit povrch v místech spojů jednotlivých částí jaderníku. Takto opracovaná jádra se skládali na přistavenou paletu vždy po šesti kusech, které se prokládali kartonem. Zmetky se házeli do přistaveného kontejneru z důvodu jejich recyklace. Při použití výše zmíněného pojiva GEOPOL® lze totiž zrecyklovat až 90% ostříva. Následně bylo nutné pracovní stůl a všechny části jaderníku ofoukat vzduchem z kompresoru, aby se odstranili veškeré ztvrdlé části formovací směsi, které jak již bylo zmíněno, mají na výsledný produkt neblahé účinky (pokud se ve formovací směsi tyto kusy či



kousky objeví, jádra mají sníženou tepelnou pevnost a při lití praskají). Následně se forma opět složila, v případě nutnosti vymazala speciálními oleji a celý proces se opakoval.



Obr. 3 Výsledná jádra

Na obr. 3 lze vidět již finální produkt. Tmavé skvrny značí místa vývodů  $CO_2$ . Tato místa byla očividně nejvíce vytvrdlá, protože na nich docházelo k nejintenzivnějšímu kontaktu s tvrdícím plynem a proto je bylo třeba kontrolovat s velkou pečlivostí, jelikož byla nejčastějším místem vad.

Denní norma na osobu bylo vytvoření dvou palet po 52 kusech, přičemž výroba jednoho jádra trvala zhruba tři minuty. Po zaskladnění se hotová paleta odvezla vysokozdvížným vozíkem k další úpravě, kterážto spočívá v máčení jader v hořlavé kapalině a její následné zapálení. Toto slouží k dodatečnému tvrzení jader.

Simultánně s výrobou jader dochází ostatními zaměstnanci podniku k výrobě forem pro odlitky, do nichž se následně tyto jádra zasazují. V těchto formách se jako ostřivo používá křemenný písek a jako pojivo je použit jí. Tyto formy byly rozměrově mnohonásobně větší a k jejich pěchování bylo užíváno pneumatických pěchovaček. Klasicky se tyto formy skládali z horního a dolního dílu, které se následně spojili pomocí vodících prvků a nakonec se vytvořila vtoková soustava.

Zhruba hodinu před koncem pracovní doby se výroba jader a forem ukončila, já jsem se začal důkladnému věnovat čištění všech částí jaderníku, míchačky a kýblů. Ostatní pracovníci asistovali při lití. Samotné lití bylo prováděno z takové „vany“ která byla naplněna roztaveným kovem a zdvihnuta mostovým jeřábem, který obsluhoval kvalifikovaný pracovník. Po ztuhnutí roztaveného kovu se formy tímtež jeřábem zvedly a pracovníci formu kladivý rozbili a uvolnili odlitek, který se vložil do přistaveného kontejneru a následně byl vysokozdvížným vozíkem odvezen k dalšímu zpracování.

## Seznam použité literatury

- [1] *Siemens*. Wikipedia: The Free Encyclopedia [online]. 2016 [cit. 2016-2-3]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Siemens>
- [2] *Siemens AG*. Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online]. 2016 [cit. 2016-2-3]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Siemens\\_AG](https://cs.wikipedia.org/wiki/Siemens_AG)
- [3] *Siemens* [online]. [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: [http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty\\_a\\_sluzby/oz\\_mohelnice/pages/elektromotory\\_mohelnice.aspx](http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/oz_mohelnice/pages/elektromotory_mohelnice.aspx)
- [4] DLOUHÁ, M. *Srovnání ekologických a technologických vlastností různých způsobů výroby slévárenských forem a jader*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Cupák, Ph.D..