



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**POUŽITÍ BIOGENNÍCH JÁDROVÝCH POJIV
PŘI VÝROBĚ ODLITKŮ PRO
AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL**

APPLICATION OF BIOGENOUS CORE BINDER FOR PRODUCTION OF
CASTINGS IN AUTOMOTIVE FIELD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Vymyslický

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Cupák, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jakub Vymyslický**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Petr Cupák, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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:

Použití biogenních jádrových pojiv při výrobě odlitků pro automobilový průmysl

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše z anglicky a česky psané odborné literatury a internetových zdrojů.

Cíle bakalářské práce:

Přehled stavu použití biogenních slévárenských pojiv při výrobě tvarově složitých odlitků pro automobilový průmysl.

Seznam literatury:

Jelínek, P. (1996): Slévárenské formovací směsi II. část - Pojivové soustavy formovacích směsí. VŠB Ostrava, 180 s., s.164 -166. ISBN 80-7078-326-5

Škuta, R., Jelínek, P., aj. (2003): Pojivové soustavy pro dehydratační pochody výroby jader na bázi alkalických silikátů. In: Sborník přednášek mezinárodní konference "Moderní metody výroby jader". Brno: Sand - Team, s. 77-88. ISBN 80-02-01556-8.

Cupák, P. (2012): I organická pojiva mohou být ekologicky příznivá, Slévárenství, Vol.LX, (2012), No.3-4, pp.75-78, ISSN 0037-6825, Svaz sléváren České republiky

Cupák, P. (2010): Biogenní pojiva jako ekologická alternativa k metodám HB a WB, ISBN 978-8-904020-6-5, presentation

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

VYMYSLICKÝ JAKUB: Použití biogenních jádrových pojiv při výrobě odlitků pro automobilový průmysl

Tato práce se zabývá slévárenskými pojivy a je úzce zaměřena na biogenní pojiva použitelná při výrobě odlitků pro automobilový průmysl. V úvodní části práce je vypracován stručný přehled všech formovacích a jádrových směsí vzhledem k jejich chemickému složení a historii jejich vývoje. Dále už je práce zaměřena na biogenní pojiva, která byla vyvinuta pro automobilový průmysl, a na biogenní pojiva s možným uplatněním v tomto odvětví. Pro každé z uvedených pojiv je zpracován přehled jeho technologických a ekologických vlastností a jsou uvedeny výhody a nevýhody.

Klíčová slova

slévárenská pojiva, jádro, biogenní pojiva, GMBOND, pojiva na bázi klišů

ABSTRACT

VYMYSLICKÝ JAKUB: Application of biogenous core binder for production of castings in automotive field

This thesis deals with foundry binders and it is narrowly focused on biogenous binders used for production of castings in automotive field. There is a short overview of all groups of forming and core mixtures at the beginning of the thesis, which describes chemical composition of the mixtures and also development history of the mixtures. The thesis continues by focusing on biogenous binders, which are developed for the automotive field and with another biogenous binders which fits with the automotive field demands. Overview of technological and ecological properties was made for all of the listed biogenous binders. Advantages and disadvantages of the biogenous binders were also noted.

Key words

foundry binders, core, biogenous binders, GMBOND, binders based on a glue

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VYMYSLICKÝ, Jakub. *Použití biogenních jádrových pojiv při výrobě odlitků pro automobilový průmysl*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Cupák, Ph.D..

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 27.5.2016

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Petru Cupákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

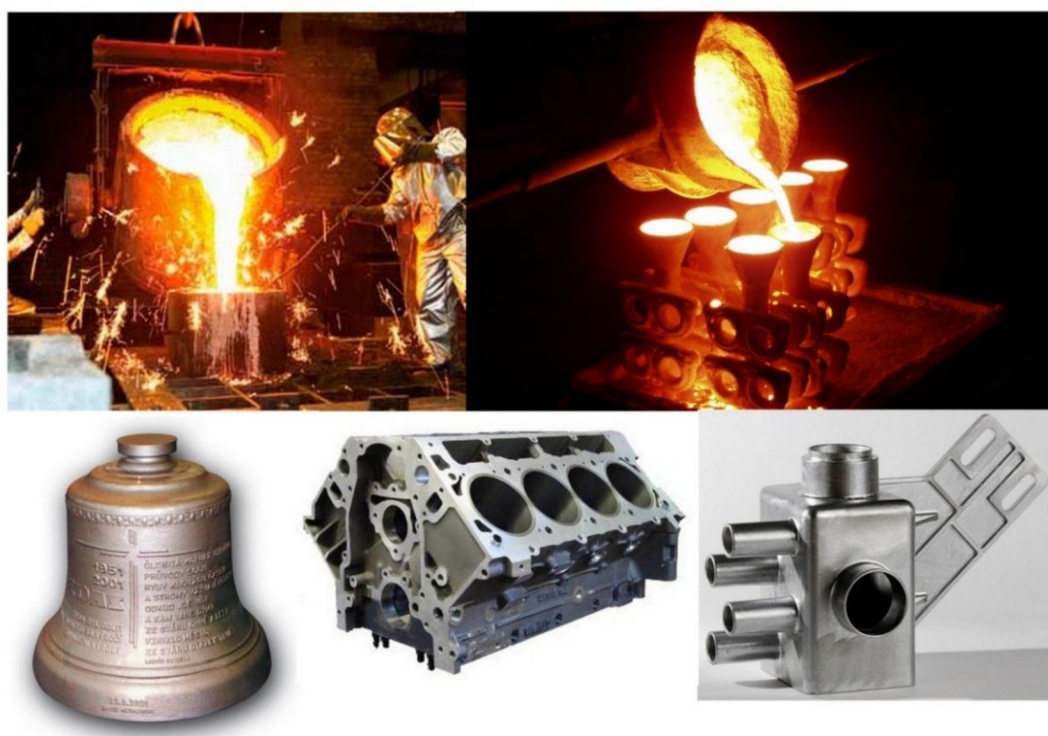
OBSAH

ÚVOD.....	8
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	9
2 FORMOVACÍ SMĚSI.....	10
2.1. Formovací směs	10
2.2. Rozdělení pojiv podle původu	11
2.3. Vývoj formovacích směsí	12
2.3.1. Směsi 1. generace	12
2.3.2. Směsi 2. generace	13
2.3.3. Směsi 3. generace	14
2.3.4. Směsi 4. Generace.....	15
3 BIOGENNÍ POJIVOVÉ SYSTÉMY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	15
3.1. GMBOND.....	15
3.1.1. Složení směsi a postup výroby jader.....	16
3.1.2. Přednosti a nedostatky pojiva	18
3.2. Pojiva na bázi materiálů ze skupiny klišů	21
3.2.1. Složení směsi a postup výroby jader.....	21
3.2.2. Vlastnosti směsi	23
3.2.3. Ekonomická náročnost zavedení technologie.....	26
4 ZÁVĚR	27
5 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	
6 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	
7 SEZNAM OBRÁZKŮ	
8 SEZNAM TABULEK	

ÚVOD

Slévárství je výrobní technologie, jejíž stáří je již více než 5000 let a stále se vyvíjí. Výroba pomocí této technologie spočívá v zahřátí kovového materiálu až na teplotu tavení a následném odlévání do předem připravené formy. Forma obsahuje dutinu, do které je systémem kanálu dopraven roztavený kov. Tato dutina odpovídá svým tvarem i rozměry s technologickými přídávky, nálitky a přídávky na obrábění, budoucímu výrobku. Po úplném zaplnění dutiny formy roztaveným kovem dojde postupným ochlazováním k jeho ztuhnutí, takto vzniklý výrobek se nazývá odlitek. Tímto způsobem je možné vyrobit předměty velmi složitého tvaru, které by bylo obtížné a nákladné vyrábět pomocí jiné technologie nebo by výroba jinou technologií vůbec nebyla možná. Slévárství je využíváno při výrobě strojních součástí, ale i uměleckých předmětů [1].

Se stále se zpřísňujícími normami pro ochranu životního prostředí je dnes vyvíjen značný tlak na slévárny, aby jejich výroba byla co možná nejméně ekologicky závadná a pracovní prostředí s co nejnižším množstvím emisí nebo nejlépe úplně bez emisí. Ve slévárenské výrobě je velkým producentem emisí formovací směs respektive pojivo formovací směsi. Společnosti zabývající se výrobou slévárenských pojiv se ve spolupráci se slévárnami snaží vyvíjet taková pojiva, která jsou ekologicky nezávadná a nezvyšují náklady na výrobu [2].



Obr. 1 Ukázka odlévání a některé součásti a výrobky vyrobené touto technologií [3] [4] [5] [6] [7]

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Pojivo slévárenské formovací směsi je jedním z velkých zdrojů ekologicky a hygienicky závadných látek v procesu odlévání. Jde hlavně o pojivové systémy typu HB a WB, které pracují s látkami jako je fenol, formaldehyd, močovina a furan a pojivové systémy CB, kde jsou k vytvrzování používány aminy. Dnešním trendem je vzrůstající důraz na ochranu životního prostředí a také na vytvoření co nejčistšího pracovního prostředí ve slévárnách. To má za následek snahu firem, které se zabývají výrobou a vývojem formovacích a jádrových směsí, o vývoj vhodného pojiva, které by jednak splňovalo všechny emisní normy, ale zároveň bylo schopné z technologického hlediska konkurovat již zaběhlým směsím a postupům jejich zpracování. Z pohledu automobilového průmyslu se jedná o pojiva vyznačující se dobrou rozpadavostí po odlití i při odlévání tenkostěnných odlitků ze slitin neželezných kovů, jako jsou hliník nebo hořčík, kde nedochází k dostatečnému prohřátí a následné degradaci jádrové směsi [2].

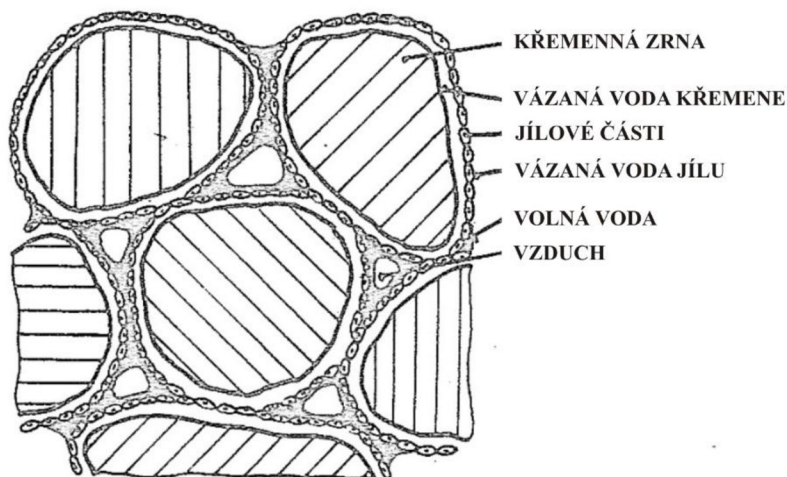
Odpovědi na tyto požadavky mohou být nově vyvinutá pojiva anorganického původu. Průkopníky v této oblasti jsou hlavně německé společnosti, jako například Hüttenes-Albertus a ASK Chemicals. Výsledkem jejich práce jsou pojiva jako INOTEC, k jehož vytvrzení je používána technologie HB. Technologie pracující s tímto pojivem byla úspěšně použita a zaběhnuta ve výrobním procesu v automobilovém průmyslu a dnes je využívána společností BMW při odlévání hlav válců, klikových hřídelů a dalších součástí do motorů. Dalším zástupcem z této oblasti je pojivo CORDIS. Jedná se o pojivo, které je vytvrzováno fyzikální cestou pomocí technologie WB. Toto pojivo je tak jako předešlé jmenované hojně využíváno k výrobě jader v automobilovém průmyslu. V současné době je využíváno společnostmi Volkswagen a Mercedes – Benz, při výrobě hlav motorů [8], [9].

Tato práce se bude zabývat sestavením, přehledu používaných, ale i použitelných biogenních pojiv pro automobilový průmysl. Biogenní pojiva, která patří do skupiny organických pojiv, jsou látky vznikající v průběhu živých procesů, jako například růstu živých organismů nebo při jejich látkové výměně. Základem těchto pojiv jsou proteiny. Průkopníkem ve vývoji pojiv v této oblasti je americká společnost General Motors a společnost Hormel Foods Corporation. Tyto dvě společnosti vyvinuly pojivo s názvem GMBOND. Další vývoj biogenních pojiv probíhá již po několik let na odboru slévárenství VUT v Brně, kde již byly také nalezeny materiály vhodné pro výrobu jader [2].

2 FORMOVACÍ SMĚSI

2.1. Formovací směs

Většina odlitků v celosvětové výrobě je odlévána do netrvalých forem, které jsou určeny pouze pro jedno použití. Obvyklým materiálem pro výrobu forem a jader je formovací směs (obr. 2), která je složena z ostřiva, pojiva, vody a dalších přísad [10], [11].



Obr. 2 - Schéma formovací směsi [10]

Z hlediska objemu a hmotnosti má ve formovací směsi hlavní zastoupení ostřivo, tvoří až 98% hmotnosti formovací směsi. Jde o zrnitý žáruvzdorný materiál o velikosti částic nad 0,02 mm. Mezi hlavní vlastnosti ostřiva patří aktivita povrchu zrn, hranatost a granulometrická skladba neboli zrnitost částic. Podle chemické povahy lze ostřiva rozdělit na kyselá (křemenné písky), neutrální (šamot, chromit, korund) a zásaditá (magnezit). Druh ostřiva musí být správně zvolen vzhledem ke složení a vlastnostem odlévané slitiny [10], [11], [12], [13].

Pojivo je látka nebo směs látek, které obalují a váží jednotlivá zrna ostřiva. Musí splňovat vysoké nároky moderní slévárenské výroby, jako jsou formovatelnost, prodyšnost, rozpadavost a regenerovatelnost ostřiva. Pojiva lze podobně jako formovací směsi rozdělit na základní typy: na syrovo, na sušení, samotvrdnoucí, ztvzovaná. Poslední jmenovaný typ ze skupiny lze dále rozdělit na pojiva ztvzovaná: tepelně (HB), chemicky (CO₂-proces, CB-Ashland, SO₂-proces), fyzikálně (profukování studeným vzduchem). Mezi hlavní a nejdůležitější vlastnosti pojiv, které významně ovlivňují vlastnosti vzniklé formovací nebo jádrové směsi, patří:

- Vaznost
 - pevnost v syrovém stavu po zhuštění směsi, která dále ovlivňuje další důležité vlastnosti směsi, jako jsou tekutost, spěchovatelnost, formovatelnost, prodyšnost.
- Pevnost
 - po vysušení

- Pevnost po vytvrzení
- Pevnost za zvýšených teplot
 - rozhoduje o poddajnosti formy a ovlivňuje celou řadu vad odlitků.
- Zbytková pevnost
 - ovlivňuje rozpadavost forem a jader po odlití a tím zvyšuje nebo snižuje náročnost čištění odlitku.

Voda je další důležitou složkou formovací směsi. Její obsah je důležitou hodnotou hlavně u jílových a anorganických pojiv, jako jsou: cement, sádra, vodní sklo.

Přísady jsou látky, které jsou přidávány pro zlepšení vlastností formovací směsi. Jde například o přísady pro zlepšení rozpadavosti po odlití nebo povrchové jakosti [10], [12], [13]

2.2. Rozdělení pojiv podle původu

Jedno z nejběžnějších rozdělení druhů slévárenských pojiv je rozdělení podle původu na pojiva anorganická a organická.

Anorganické pojivové systémy mají minerální původ. Tyto systémy jsou schopny udělit formovací směsi vaznost již v syrovém stavu nebo po vytvrzení chemickou nebo fyzikální cestou. Jde především o jíly, cement, sádru, vodní sklo, organické estery kyseliny křemičité, soli a další. Mezi hlavní společné vlastnosti těchto pojiv patří: vhodnost pro lití zasyrova, při odlévání vzniká jen malé množství plynů, zhoršená rozpadavost, nevyhořívají po rozpadu formovací směsi působením tepla tekutého kovu [13].

Organická pojiva tvoří velkou oblast formovacích materiálů. Vzhledem ke spotřebovanému množství jsou využívány hlavně při výrobě forem, mají ale i hlavní podíl ve výrobě jádrových směsí. Do skupiny organických formovacích materiálů patří především umělé pryskyřice, oleje, sacharidy, bitumeny a jiné odpadní organické produkty. Mezi charakteristické vlastnosti těchto pojiv patří vysoká tekutost zasyrova, možnost řízeného tepelného nebo chemického ztužení, při odlévání vzniká velké množství plynů, dobrá rozpadavost po odlití a snadné čištění odlitků. Právě dobrá rozpadavost směsi po odlití je důvodem značné rozšířenosti tohoto druhu pojiva. K nejrozšířenějším patří směsi na bázi umělých pryskyřic: fenolických, furanových, polyuretanových, alkydových [13].

2.3. Vývoj formovacích směsí

Vývoj pojivových systémů je možné rozdělit do čtyř skupin neboli čtyř generací.

2.3.1. Směsi 1. generace

Směsi první generace užívají jílová pojiva, která pojí směs následkem kapilárního tlaku a Van der Waalsových sil. Jílová pojiva jsou jedním z nejstarších druhů pojiv, i přesto je však jejich podíl na veškeré produkci odlitků ve světě zhruba 70 %. Tato pojiva využívají jílu – aluminosilikátu. Ten je obsažen v přírodních pískách a v čistém stavu je použit k pojení praných písků i umělých ostřiv. Jílová pojiva se obecně vyznačují výbornými technologickými i hygienickými vlastnostmi, ekonomickou dostupností, dostatečnou vazností, pevností po vysušení a opětovnou použitelností neboli možností regenerace. Podle druhu jílu lze jílová pojiva rozdělit na [10], [12]:

- Kaolinitický jíl

Kaolinit (obr. 3) patří mezi jílovité minerály. Základem pojiva je šamotový lupek, který tvoří šamotovou formovací směs. Tato formovací směs je určena zejména pro formování a výrobu jader masivních ocelových odlitků. K vytvrzení formy je nutné vypalování při teplotě 650 °C [10].



Obr. 3 Kaolinit [14]

- Illitický jíl

Tento druh jílu (obr. 4) nejčastěji doprovází přírodní písky. Jeho nejdůležitějším minerálem je glaukonit. Vzniklé formovací směsi jsou využívány pro výrobu forem pro těžké litinové odlitky a jejich vytvrzení je dosaženo pomocí sušení [10].



Obr. 4 Illit [15]

- Montmorillonitický jíl

Pokud je obsah montmorillonitu (obr. 5) v jílu vyšší než 75 – 80 %, jedná se o jíly nazývané bentonity. Formovací směsi s bentonitovým pojivem jsou formovány na syrovo a patří mezi nejrozšířenější pojiva. Tyto jíly se vyznačují výbornou pojivovou vlastností, která je zhruba 2,5krát větší než



Obr. 5 Montmorillonit [16]

u kaolinitických jílu, z tohoto důvodu je možné vytvářet směsi s minimálním obsahem pojiva (6 – 8 %) a vody (5 %). Pojivo je ekonomicky dostupné, vyznačuje se dobrou regenerovatelností a hygienickou nezávadností. Směs je využívána pro výrobu forem odlitků z oceli a litiny do hmotnosti 400 kg a více [10].

2.3.2. Směsi 2. generace

- Anorganická pojiva

Zavedení anorganických pojiv do výroby bylo zahájeno objevem chemicky tvrzených směsí (CT-směsi, dnes uváděny jako CO₂ - proces), které v roce 1947 vynalezl Dr. Lev Petržela. Ostřívo, kterým je křemenný písek nebo nekřemenné ostřívo (zirkon, korund, chrommagnezit, kovové kuličky), je pojeno koloidním roztokem křemičitanu sodného (vodní sklo). Tímto způsobem vznikne nevazná dobře pěchovatelná směs, která je následně vytvrzena reakcí s CO₂. Proces vytvrzování je realizován pomocí filtrování plynného CO₂ pod tlakem celým objemem formy nebo jádra. Následně proběhne rychlá chemická reakce mezi směsí a plynem, jejímž výsledkem je vytvrzení směsi. Formy a jádra takto získávají vysokou pevnost v tlaku (až 1 MPa). Vytvrzená forma umožňuje lití na syrovo i pro velmi těžké odlitky z litin, oceli a neželezných kovů. Do takto vyrobených forem lze odlévat i odlitky o hmotnosti 300 tun a více [10].

- Organická pojiva

Pojiva tohoto druhu jsou využívána v oblasti formovacích, ale i jádrových směsí, kde se díky dobré rozpadavosti po odlití rozšířily zejména pojivové soustavy na bázi olejů, sacharidů a umělých pryskyřic. Z těchto skupin patří

k nejpoužívanějším, směsi na bázi umělých pryskyřic a to zejména fenolických, furanových, polyuretanových a alkydových [10].

2.3.3. Směsi 3. generace

Tyto směsi jsou založeny na fyzikálním procesu pojení. Jedná se o:

❖ Magnetická forma

Tato forma patří k prvním technologiím využívajícím fyzikálního účinku pojení. Jednorázový spalitelný model je pokryt žárovzdorným materiálem, který brání penetraci kovu do formy. Forma je tvořena feromagnetickým materiálem, nejčastěji ocelovými broky. Technologie nevyžaduje používání jader, jelikož model představuje skutečný tvar odlitku i s dutinami. Po odlití přímo na model, následném ztuhnutí a vychladnutí odlitku, je zrušeno magnetické pole, čímž dojde k rozpadu formy. Ocelové broky se vychladí a celý proces se může opakovat. Tato technologie nemá v praxi velké uplatnění [10], [12].

❖ Vakuová forma

Vakuová forma nebo tzv. V – metoda spočívá v umístění prodyšného modelu na modelovou desku, pod kterou se nachází vakuová skříň. Na model i vtokovou soustavu je sálavým teplem přisáta termoplastická fólie. Ustaví se těsný formovací rám, který se zasype suchým ostřivem a zhustí vibrací. Rám se opět překryje termoplastickou fólií. Dále je odsán vzduch z rámu a vakuum pod modelem se přemění v tlak vzduchu. Tak dojde k oddělení modelu od formy. Následně se složí dvě poloviny formy, které jsou drženy pod stálým vakuem. Po odlití a vyhoření fólie se forma rozpadne a po vychlazení je možné opětovné použití ostřiva. Tato metoda má široké uplatnění zejména v oblasti uměleckých odlitků, tvarově složitých odlitků z litiny s lupínkovým grafitem a oceli [10], [12].

❖ Plná forma, spalitelný model

Spalitelný model je buď odléván ve formě z běžných formovacích směsí, nebo je za působení vibrací zapěchován ve formě, přičemž při tomto postupu není použito pojivo. Formovací materiál je křemenný písek, který je po vysypání z rámu opětovně použit. Jeho zvláštností je, že časem po opětovném použití zčerná [12].

2.3.4. Směsi 4. Generace

Formovací směsi 4. generace obsahují pojiva, která jsou hygienicky a ekologicky nezávadná. Jedná se o pojivové soustavy na bázi biopolymerů. Důvodem vzniku těchto moderních pojiv jsou stále se zpřísňující hygienické a ekologické normy, které nutí slévárny a tím výrobce pojiv vyvíjet pojiva, ze kterých nebudou vznikat toxické výpary a zároveň zůstanou zachovány důležité vlastnosti formovacích směsí [12].

Mezi pojiva vyhovující těmto požadavkům patří i pojiva na bázi proteinů. Proteiny jsou základem tkání živých organismů, nejsou toxické a nezatěžují životní prostředí. Jsou rozpustné ve vodě a směsi vzniklé použitím těchto pojiv jsou vytvrditelné dehydratací při nízkých teplotách v rozmezí 70 – 120 °C, lze je tedy vytvrzovat v sušárně, profukováním horkým vzduchem, v horkém jaderníku nebo i mikrovlnným sušením. Obsah pojiva ve směsi se pohybuje v rozmezí 0,5 – 1 hmotnostního % a udává pevnost v ohybu 3 – 6 MPa. Rozpadavost směsi je dána tepelnou degradací pojiva při teplotě okolo 450 °C [12].

3 BIOGENNÍ POJIVOVÉ SYSTÉMY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

3.1. GMBOND

Pojivo GMBOND patří z hlediska původu do skupiny organických pojiv. Z hlediska rozdělení formovacích a jádrových směsí do 4 generací, patří toto pojivo do nejmladší generace, tedy 4. generace. Jedná se o tzv. biogenní pojivo, což jsou látky vznikající při růstu živých organismů nebo při jejich látkové výměně [2].

Na začátku 90 let začalo centrum pro výzkum a vývoj americké společnosti General Motors pracovat na novém druhu pojiva pro formovací a hlavně jádrové směsi. Impulzem k započítí výzkumu byla snaha GM o úpravu výrobního procesu, tak aby byl ekologicky přátelský a hygienicky méně závadný. Zároveň byl kladen důraz na vytvoření pojiva s technologickými vlastnostmi srovnatelnými nebo lepšími s tehdy již existujícími pojivy. Ve spolupráci se společností Hormel Foods Corporation byl na základě rozsáhlého výzkumu nalezen vhodný materiál pojiva. V roce 1994 bylo patentováno pojivo, jehož základem je protein a v roce 1996 byl potom patentován proces výroby jader s použitím vyvinutého pojiva. V následujících letech byl prováděn další výzkum společností HF v oblasti použití pojiva při odlévání dalších slitin, optimalizaci některých vlastností směsi a výrobního postupu. Pojivo bylo také dále testováno slévárnou hliníku FATA v Itálii. Proces výroby jader byl nejprve testován v zařízení technologie CB. Výsledky ukázaly, že zpracování jádrové směsi s pojivem GMBOND, tímto zařízením

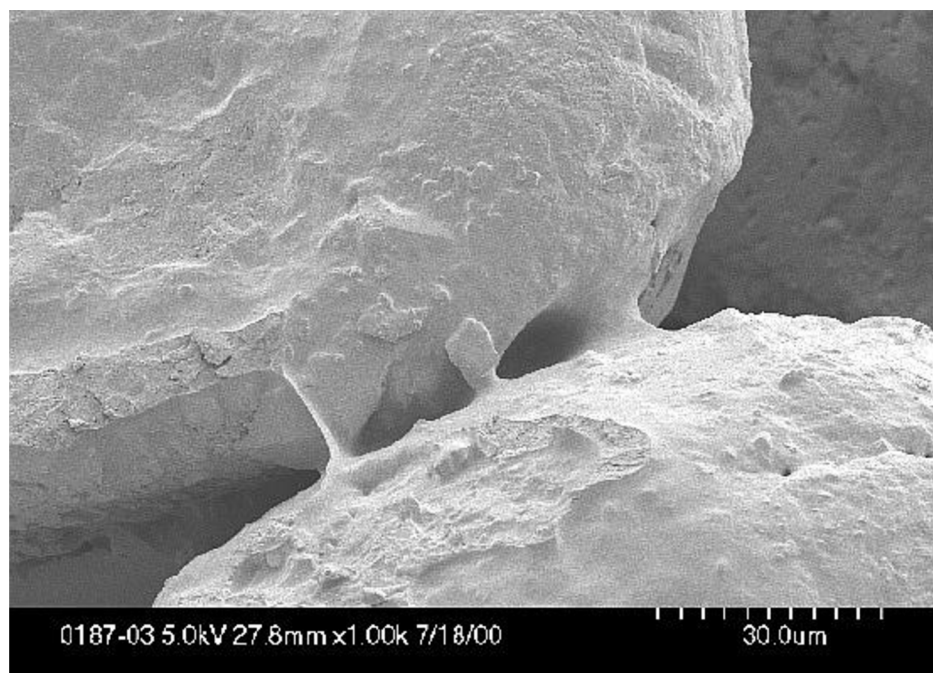
způsobuje opakující se vady. Proto byla následně navržena vhodná technologie zpracování přímo pro pojivo GMBOND (obr. 6), tak aby bylo dosaženo maximálních výsledků z hlediska kvality a efektivity výrobního procesu [17], [18].



Obr. 6 Stroj na výrobu jader navržený pro pojivo GMBOND [18]

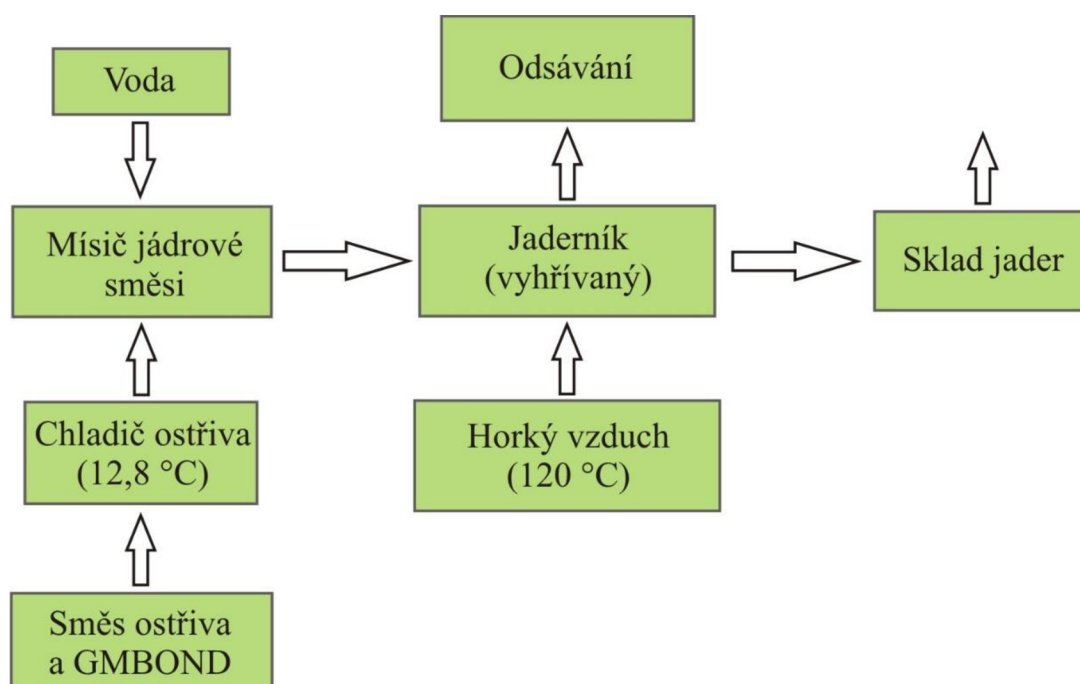
3.1.1. Složení směsi a postup výroby jader

Pojivo GMBOND má před zpracováním formu jemného ve vodě rozpustného proteinového prášku. Pojivový systém je z většiny tvořen kombinací různých typů polypeptidových molekul a dlouhých řetězců aminokyselin. Po smíchání pojiva s vodou a pískem dojde k vytvoření biopolymerního pojivového můstku mezi jednotlivými zrny pojiva (obr 7). Pro zrychlení tepelné degradace pojiva při odlévání je do směsi přidáváno malé množství oxidů železa. Tyto oxidy zajišťují dostatečné množství kyslíku pro správný průběh tepelné degradace směsi, která probíhá i při teplotách nižších než 450°C [2], [17], [19].



Obr. 7 Tvorba pojivového můstku [20]

Míchání jádrové směsi probíhá v mísiči, do kterého je přiváděna voda a pojivo již smíchané s ostřivem. Množství pojiva ve směsi se pohybuje v rozmezí od 0,75 % do 1,25 % hmotnosti potřebného ostřiva [21]. Dále je pro zajištění správné adheze nutné přidat do směsi vodu, jejíž množství odpovídá 2 % hmotnosti ostřiva, přičemž jako ostřivo může být použit jakýkoliv druh písku. Jakmile je do směsi přidáno potřebné množství vody, je nutné udržovat teplotu směsi na $12,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($55\text{ }^{\circ}\text{F}\pm 5^{\circ}$). Vzniklá směs je následně vstřelena do jaderníku, kde dojde k jejímu vytvrzení. Toho je dosaženo profukováním vzduchem o teplotě $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($250\text{ }^{\circ}\text{F}$), čímž je ze směsi vypuzena voda. Při vytvrzování směsi začnou biopolymery tvořit kovalentní vazby mezi zrny ostřiva, čímž začne vznikat krystalická struktura. Po vytvrzení je jádro vyjmuto z jaderníku a může být uskladněno. Celý proces je přehledně popsán na schématu, viz obr. 8. Jelikož během tohoto procesu nedochází k žádným chemickým změnám ve směsi, je v případě výroby vadného jádra možné vytvrzenou směs kompletně recyklovat. Jádro se rozbije na dostatečně malé části, které jsou, bez nutnosti přidání dalšího pojiva, vráceny na začátek cyklu do mísiče [17], [18].



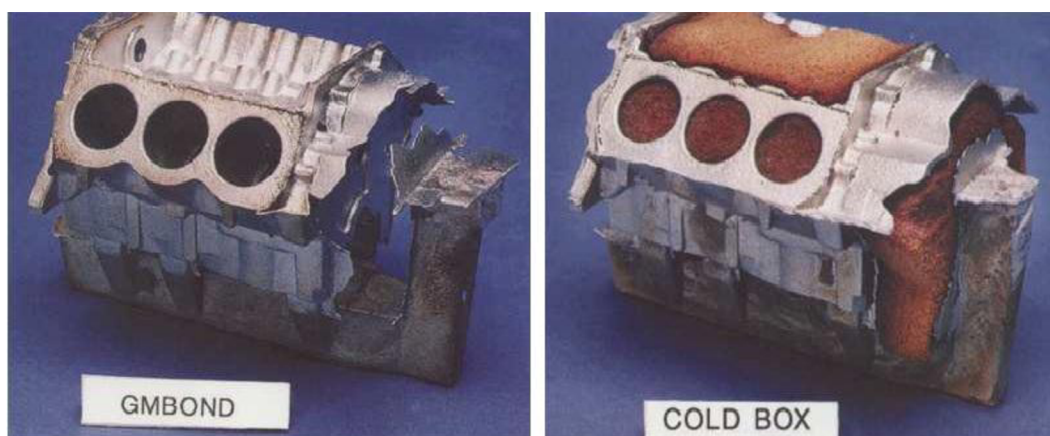
Obr. 8 Postup výroby jádra s pojivem GMBOND [17]

Z hlediska chemického složení je pojivo tvořeno [20]:

- 50 % uhlík
- 25 % kyslík
- 17 % dusík
- 7 % vodík
- 1 % minerály

3.1.2. Přednosti a nedostatky pojiva

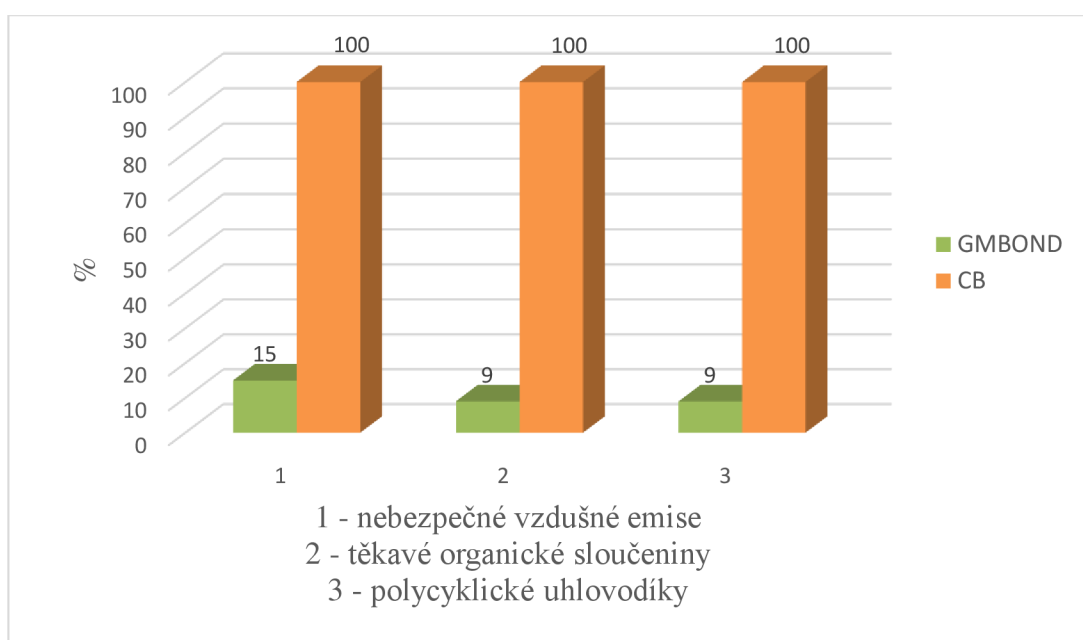
V průběhu testování bylo testujícími společnostmi zjištěno, že se pojivo GMBOND vyznačuje řadou výhod oproti konvenčním pojivům. Mezi hlavní výhody patří zvýšení efektivity výrobního procesu. Po odlití kovu a jeho následném vychladnutí je podstatně jednodušší vyjmout jádra z dutin odlitku a odlitek dočistit. Tento fakt je dobře vidět při porovnání pojiva GMBOND s fenolickou pryskyřicí, kde k vytvrzení jádra dojde pomocí využití technologie CB (obr. 9) [17], [18], [22].



Obr. 9 Porovnání rozpadavosti pojiva GMBOND a fenolické pryskyřice vytvrzované technologií CB [23]

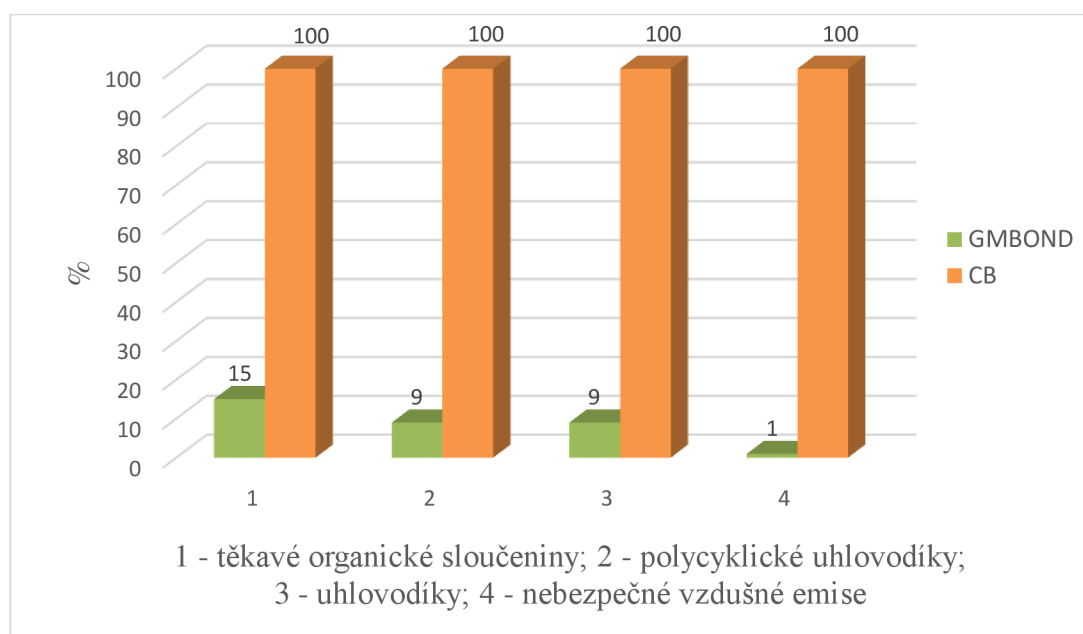
Dobrá rozpadavost pojiva GMBOND má zásadní vliv na snížení energetických nákladů při výrobě odlitků, snížení nutnosti využití lidské práce při procesu čištění a možnost odlévat kvalitnější a složitější odlitky. Další výhodou je snížení celkových výrobních nákladů, čehož je dosaženo zvýšením efektivnosti celého procesu. Výrazný podíl na tom má možnost recyklování jader, což snižuje nutnost přidávat další pojivo do procesu výroby. Proces dovoluje výrobu pevnějších jader se složitějším tvarem, tedy i výrobu technologicky náročnějších odlitků, které se vyznačují vysokou přidanou hodnotou. Jádra se vyznačují vysokou rozměrovou stálostí během procesu odlévání, dosahují vysoké pevnosti v tahu od přibližně 1,723 MPa výše a zároveň díky výborné rozpadavosti nevyžadují použití méně šetrných procesů čištění, čímž je eliminována možnost poškození povrchu odlitku působením vnějších sil nebo tepla. Podle výzkumu Programu pro redukci slévarenských emisí (CERP), což je výzkumná skupina, která spolupracuje s různými americkými federálními agenturami, bylo prokázáno, že při použití pojiva GMBOND klesají emise organických těkavých látek až o 90 % v porovnání s fenolickými uretanovými pojivy vytvrzovanými pomocí technologie CB, viz obr. 10. Pojivo je netoxické, čímž výrazně zlepšuje kvalitu pracovního prostředí ve slévárnách a tím také pracovní bezpečnost. Redukcí toxických plyných látek bylo dosaženo minimalizování znečištění životního prostředí. Při práci s pojivem není nutné používat ochranné pomůcky [2], [17], [19], [23] [24].

Nevýhodou tohoto pojiva je, stejně jako u všech proteinových pojiv, jeho náročnost na skladovací podmínky. Hotová jádra nebo případně formy nesmí být uloženy ve vlhkém prostředí (nebezpečí navlhání), v takovém případě by s přibývajícím časem rapidně klesala jejich pevnost [2].



Obr. 10 Emise při odlévání slitin hliníku [25]

V dnešní době je pojivo GMBOND používáno hlavně pro výrobu jader pro odlévání slitin hliníku. Největšího uplatnění dosahuje tato technologie při výrobě odlitků pro automobilový průmysl. Kromě slitin hliníku je možné toto pojivo použít i pro výrobu jader pro odlitky z LLG. Zde je také dosaženo výborných výsledků z hlediska redukce emisí při odlévání, v porovnání s fenolickou pryskyřicí vytvrzovanou pomocí technologie CB, viz obr. 11 [25].



Obr. 11 Emise při odlévání LLG [25]

3.2. Pojiva na bázi materiálů ze skupiny klišů

Dalším zástupcem ze skupiny biogenních pojiv jsou pojiva na bázi klišů. Jedná se o další zajímavou a v technické praxi uplatnitelnou alternativu ke stávajícím pojivovým systémům používaným ve slévárenství. Stejně jako pojivo GMBOND se i pojiva na bázi kožního klišu vyznačují ekologickou nezávadností. Na odboru Slévárenství na Strojní fakultě VUT v Brně probíhá již několik let výzkum v oblasti biogenních pojiv a jeho výsledkem je několik vhodných druhů pojiv, na bázi již zmíněného klišu [2], [23].

Kožní kliš je směs glutinu a menšího množství jeho štěpných produktů. Jeho výroba spočívá ve vyluhování nečiněných kůží a dalších kožních odpadů v teplé vodě. Výsledný kožní kliš je dodáván ve formě zrn s nepravidelnou velikostí a to buď drcených o průměru 1,5 – 2,5 mm nebo nedrcených o průměru 3,5 – 4,5 mm (obr. 12). Používá se k různým účelům, jako například v textilním, papírenském, dřevařském, chemickém a polygrafickém průmyslu [26].

Z hlediska využití kožních klišů ve slévárenství jako pojiva jádrových nebo formovacích směsí se jako nevhodnější zatím ukázaly pojiva nazvaná výrobcem TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2. Tyto materiály neobsahují žádné nebezpečné látky a nemají nepříznivý vliv na zdraví člověka. Každý z uvedených materiálů je rozpustný ve vodě a biologicky odbouratelný [2].

3.2.1. Složení směsi a postup výroby jader

Příprava jádrové směsi, jejíž postup je stejný pro všechny tři typy materiálů (TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2), začíná rozpuštěním dodaného pojiva, které je dodáváno v suchém stavu ve formě zrn, ve vodě. Množství pojiva, které je nutné přidat do směsi, je 1 % z hmotnosti směsi. Roztok pojiva ve vodě se vyznačuje značnou tekutostí a dobře obaluje zrna ostřiva. Po smíchání pojiva a ostřiva vznikne jádrová směs obsahující pojivo, ostřivo a vodu, viz tab. 1 (součet obsahu ostřiva a pojiva je 100 %, voda je navíc) [2].

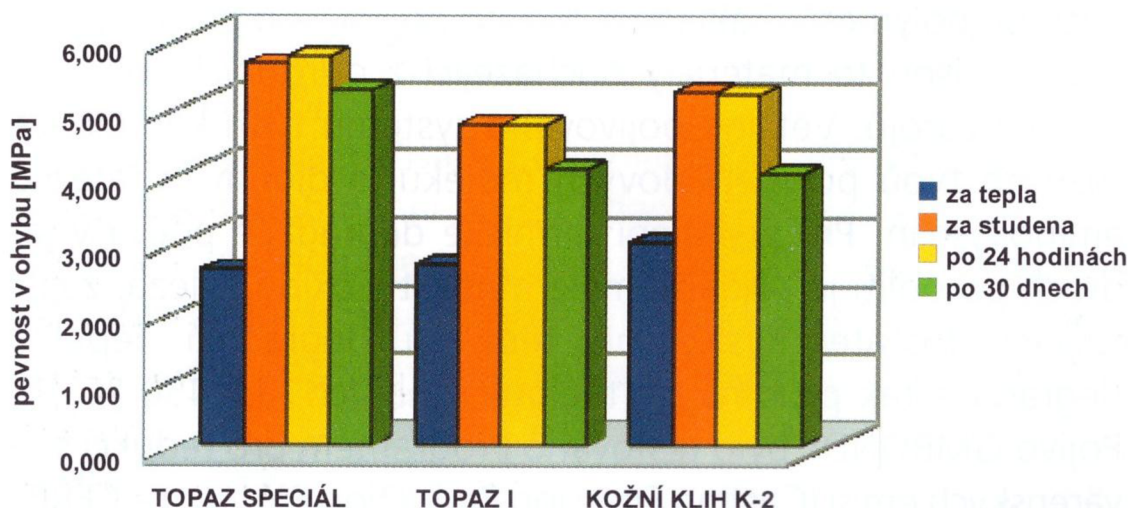


Obr. 12 Ukázka pojiva dodávaného v drceném stavu – TOPAZ SPECIÁL [27]

Tab. 1 Obsah složek v jádrové směsi [2]

Pojivo	Obsah pojiva [%]	Obsah ostřiva ŠH 22 [%]	Obsah vody [%]
TOPAZ SPECIÁL	1	99	4
TOPAZ I	1	99	4
KOŽNÍ KLÍH K-2	1	99	4

Následuje vstřelení směsi do jaderníku, který je zahřátý na 120 °C. Vytvrzení jádrové směsi v jaderníku trvalo v případě testu s normalizovanými zkušebními trámečky 3 minuty. Při použití zařízení na profukování studeným vzduchem bylo dosaženo zkrácení času vytvrzování na 1 minutu a v případě vytvrzování s profukováním horkým vzduchem, bylo dosaženo zkrácení času vytvrzování na 20 sekund. Vytvrzení směsi je dosaženo odstraněním vody z pojivového systému. Směs je po vytvrzení složena pouze z ostřiva a pojiva (součtem obsahu dosaženo 100 %), voda se ve směsi již nevyskytuje. K vytvrzení je možné použít technologii HB nebo i mikrovlnné sušení, v obou případech je podle testů dosaženo přibližně stejných výsledných pevností jader v ohybu. Porovnání pevností jader vyrobených použitím pojiv TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLÍH K-2 je vidět na obr. 13 [2].



Obr. 13 Pevnost zkušebních směsí v ohybu [2]

Takto vysoké hodnoty pevnosti zkušebních trámeček v ohybu jsou dostačující pro výrobu tenkostěnných a tvarově složitých jader, jako například jádra pro odlévání hlavy motoru, viz obr. 14. První hodnota na obr. 13, kterou je pevnost za tepla, udává pevnost zkušební trámečky ihned po vytažení z jaderníku. Pevností za studena se potom

rozumí pevnost trámečku po vychladnutí na 25 °C. Dále je možné vidět, že vytvrzená směs dosahuje vysoké pevnosti i po 30 dnech skladování, které podle údajů z testu probíhalo v prostředí

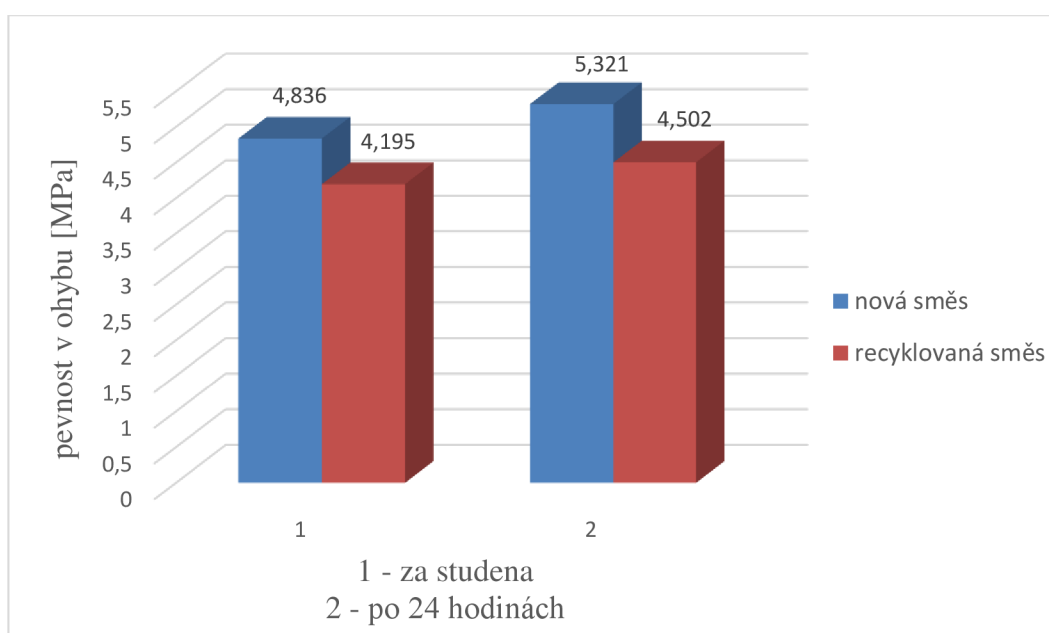


Obr. 14 Jádro hlavy motoru [28]

o relativní vzdušné vlhkosti 70 %. Je zde patrný mírný pokles pevnosti směsi vlivem vlhkosti, nejde však o nijak výraznou degradaci. Zajímavým faktem je, že u zkušebních trámečků s pojivem TOPAZ SPECIÁL byla naměřena hodnota pevnosti v ohybu 5,10 MPa i po skladování o délce 18 měsíců, které bylo provedeno v suchém prostředí [2].

3.2.2. Vlastnosti směsi

V případě výroby zmetkových jader je možné provést velmi snadno jejich recyklaci, což je dáno rozpustností pojiva ve vodě. Jádrovou směs je možné rozpustit ve vodě a po té dosušit na požadovanou vlhkost a opět použít pro výrobu nového jádra, tento postup je ale zbytečně náročný. Výhodnější je zmetkové jádro v suchém stavu rozdrtit například ve vibračním drtiči, následně je směs proseta přes síto a výsledná prosetá směs je potom navlhčena. Při použití tohoto postupu je možné znovu použít až 100 % recyklované směsi a následně tak, bez nutnosti přidání dalšího pojiva, vyrobit nová jádra o dostatečné pevnosti. Rozpad pojivového můstku je převážně adhezního charakteru, což jen dokazuje možnost snadné regenerovatelnosti směsi. Porovnání pevnosti nové a recyklované směsi viz obr. 15. Pokles pevnosti, který je na obrázku patrný a dosahuje hodnoty přibližně 15 %, lze vysvětlit odprášením určitého obsahu pojiva při drcení. Jádra z recyklované směsi dosahují po vytvrzení stále dostatečné pevnosti [2], [25].



Obr. 15 Pevnost v ohybu u nové a recyklované směsi – TOPAZ SPECIÁL [2]

Velmi důležitou vlastností jádrové směsi je její rozpadavost po odlití. Tato vlastnost rozhoduje o nutnosti použití čistících operací, z nichž některé mohou poškodit povrch odlitku. Dalším nepříznivým dopadem špatné rozpadavosti je nárůst výrobních nákladů, který je spojen s použitím dalších čistících operací. Jádrové směsi se zkoušenými pojivy se vyznačují velmi dobrou rozpadavostí po odlití, teplota termodestrukce je nižší než 400 °C. Tato hodnota naznačuje vhodnost jádrové směsi pro použití při odlévání hliníkových slitin. Při porovnání metody PB s metodou CB je rozpadavost po odlití u metody PB lepší [2], [25].

Při testování technologických možností zkoumaných směsí byly nejprve všechny směsi použity při odlévání odlitků z hliníku. Směs byla použita jako formovací a následně i jako jádrová, bez dodatečného ochranného nátěru. Lící teplota použité slitiny AlSi8Cu3 byla 745 °C. Při odlévání nedošlo k žádné deformaci jader a po odlití byla jádra zcela rozpadlá. V případě tohoto testu šlo o silnostěnné odlitky a jádra tak byla dostatečně prohřata. Podobný test byl proveden i při odlévání litiny s lupínkovým grafitem. V tomto případě byl test proveden pouze s pojivem TOPAZ SPECIÁL. Lící teplota byla 1300 °C a povrch jader a forem byl natřen grafitovým ochranným nátěrem. Při odlévání zkušebních odlitků došlo ke vzniku zá lupů a výronků. Pro potlačení vzniku těchto slévárenských vad je nutné přidat do jádrové směsi další přísady [2].

Z pojiv TOPAZ SPECIÁL, KOŽNÍ KLIH K-2 byla postupně vyvinuta pojiva řady PB. Jedná se o pojivo PB 30, které vychází z pojiva KOŽNÍ KLIH K-2 a pojivo PB 50, které vychází z pojiva TOPAZ SPECIÁL. Další testy, při kterých byly testovány vlastnosti výše zmíněných pojiv řady PB, měly ověřit hlavně rozpadavost směsí při

odlévání hliníku a LLG, byly provedeny ve slévárně Metaz Týnec nad Sázavou a firmě Slévárna a modelárna Nové Ransko. Ve slévárně Metaz Týnec nad Sázavou byly odlity odlitky pomocí technologie nízkotlakého lití do kovové formy a ve firmě Slévárna a modelárna Nové Ransko byly pomocí gravitačního lití do bentonitových forem odlity odlitky z LLG. Ukázky odlitků jsou na obr. 16 a obr. 17 [29], [30].



Obr. 16 Odlitek z Al slitiny a jádro – slévárna Metaz Týnec nad Sázavou [30]



Obr. 17 Očištěné odlitky z LLG – Slévárna a modelárna Nové Ransko [30]

Z důvodu prokázání ekologické nezávadnosti technologie byla provedena analýza obsahu polyaromatickým uhlovodíkům (PAU), organického uhlíku a spalitelné síry. Analýzu provádělo akreditované pracoviště. U všech zkoušených jádrových směsí (TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I a KOŽNÍ KLIH K-2) byly naměřené hodnoty obsahu PAU velmi nízké, některé byly nižší než citlivost měřícího zařízení. Podle vyhlášky

č. 341/2008 sb. spadá taková jádrová směs do třídy I, což ukazuje, že s deponiemi takového odpadu by neměl být zásadní problém. Dále byl analyzován obsah PAU v plynných výparech u vzorků s pojivem TOPAZ SPECIÁL. U některých složek plynných výparu byly hodnoty jejich obsahu opět nižší než citlivost měřící metody. Byla tedy prokázána celková ekologická nezávadnost technologie PB [2], [25].

3.2.3. Ekonomická náročnost zavedení technologie

Ve firmě Slévárna a modelárna Nové Ransko bylo, podle firemní kalkulace, provedeno ekonomické srovnání technologií PB, WB a CB. Srovnání cen výroby 100 kg jader je uvedeno v tab. 2. Z technologického a ekonomického srovnání vyplývá, že technologie PB je proti technologiím WB a CB výhodnější. Pro použití technologie PB není nutné investovat vysoké částky do nového zařízení. Pro vytvrzování jádrové směsi je možné použít stávající zařízení WB s přidáním zařízení na profukování horkým vzduchem, které výrazně zrychlí proces vytvrzování. Pořízení tohoto zařízení je finančně nenáročné. Náklady na zavedení technologie PB jsou tedy minimální [2], [30].

Tab. 2 Srovnání výrobních nákladů na 100 kg jader [30]

Název technologie	PB 30	PB 50	WB	CB
Cena za 100 kg jader [Kč]	142,70	144,41	316,35	291,38

4 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo sestavit přehled použití biogenních slévárenských jádrových pojiv při výrobě odlitků pro automobilový průmysl. Hlavním důvodem vývoje v této oblasti slévárenských pojiv je snaha vytvořit pojivo s vhodnými technologickými vlastnostmi, které bude zároveň splňovat normy pro ochranu přírody a životního prostředí. Automobilový průmysl se vyznačuje vysokými nároky na přesnost jader, odlitky jsou převážně ze slitin hliníku, z čehož vyplývá nižší teplota odlévaného kovu, jádra jsou tenkostěnná a vyráběná hromadně. Důležitými vlastnostmi takových jader je pevnost za zvýšených teplot, prodyšnost a dobrá rozpadavost po odlití i tenkostěnných odlitků, kdy dochází k menšímu prohřátí jádrové směsi od odlévaného kovu, nároky na správnou tepelnou degradaci směsi jsou tudíž vyšší. Zároveň je nutné, aby byla pojiva ekonomicky přijatelná, materiály snadno dostupné a zpracovatelné a celý proces výroby maximálně efektivní. Na základě těchto požadavků bylo vyvinuto pojivo GMBOND, které splňuje ekologické normy a nemá nepříznivý vliv na zdraví člověka. Pojivo bylo vyvinuto ve spolupráci společností General Motors a Hormel Foods Corporation a je využíváno při výrobě motorů ve společnosti General Motors. Další vhodná biogenní pojiva byla vyvinuta na Ústavu strojírenské technologie na VUT v Brně ve spolupráci s firmou TANEX. Vyvinutá pojiva TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I, KOZNÍ KLIH K-2 a z nich vycházející pojiva řady PB byla otestována z hlediska ekologické nezávadnosti a technologie výroby. Výsledky ukazují, že testovaná pojiva jsou ekologicky nezávadná a vhodná pro použití v automobilovém průmyslu.

Biogenní pojiva mají z ekonomického, ekologického i technologického hlediska velký potenciál. Jsou schopny konkurovat i moderním anorganickým pojivům jako je INOTEC nebo CORDIS, která jsou také využívána v automobilovém průmyslu a vyznačují se ekologickou nezávadností. Jádra vyrobená za použití biogenních pojiv jsou vhodnou ekologickou alternativou ke stávajícím technologiím WB a CB s minimálními investicemi na změnu technologie.

5 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Co je slévárenství. *Odbor Slévárenství* [online]. [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/uvod/o_slevarenstvi
- [2] CUPÁK, Petr. I organická pojiva mohou být ekologicky příznivá. *Slévárenství*. Svaz sléváren České republiky, 2012, LX(3-4), 75-78. ISSN 0037-6825.
- [3] Technika společnosti STOLLE. *STOLLE-Továrna na výrobu strojů a slévárna* [online]. [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://www.stolle-plates.cz/technika/>
- [4] Slévárenství. *KELLER MSR-Pyrometry a infračervené teploměry* [online]. [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://www.pyrometr.com/aplikace-slevarenstvi/>
- [5] Metalurgie. *Žďas* [online]. [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: http://www.zdas.cz/cs/user_img/0_zvon.jpg
- [6] Proč odlitek. *Alucast* [online]. [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://alucast.cz/cs/proc-odlitek>
- [7] Aluminum Engine Blocks. *Shelmet Precision Casting* [online]. [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://www.shelmetcastings.com/aluminum-engine-blocks.html>
- [8] JELÍNEK, Petr. Anorganická pojiva si razí cestu do sléváren. *Slévárenství*. Svaz sléváren České republiky, 2012, LX(3-4), 65-70. ISBN 0037-6825.
- [9] GRÖNING, Peter a Carsten KUHLGATZ. Budoucnost pojivových systémů pro výrobu jader v regionu Německo. *Slévárenství*. Svaz sléváren České republiky, 2015, LXIII(1-2), 34-36. ISSN 0037-6825.

- [10] HORÁČEK, Milan. *Teorie slévání*. Druhé. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1991. ISBN 80-214-0293-8.
- [11] ŽÁK, Jan a Milan HORÁČEK. *Základy strojírenské technologie: Část I: Slévání, tváření, svařování*. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1983.
- [12] JELÍNEK, Petr. *Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí: Chemie slévárenských pojiv*. Ostrava, 2004. ISBN 80-239-2188-6.
- [13] RUSÍN, Karel. *Slévárenské formovací materiály: celost. vysokošk. učebnice pro skupinu stud. oborů strojírenství a ostatní kovodělná výroba*. Praha: SNTL, 1991, 386 s. ISBN 80-030-0278-8.
- [14] Kaolinit. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kaolinit#/media/File:Kaolinite.jpg>
- [15] Illite. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Illite#/media/File:Illite.jpg>
- [16] HORÁČEK, Milan. *Formovací směsi-prezentace: I. Generace*.
- [17] Cost Benefit Analysis for GMBOND®. *The American Foundry Society* [online]. 2005 [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <http://www.afsinc.org/files/1411-146%203rd%20phase%20gmbond%20public.pdf>
- [18] Putting GMBOND to the Test. *Foundry* [online]. 2003 [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <http://foundrymag.com/feature/putting-gmbond-test>

- [19] PARKER, David. Benefits of organic sand binders in the core making process. *Foundry Trade Journal* [online]. 2005, [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: http://www.indianfoundries.com/gmbond/pdf/benefits_organic_sand_binders.pdf
- [20] SANDERS, Greg. *GMBOND® The Sand Binder of the Future* [online]. Environmental Protection Agency [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/ttn/atw/ifoundry/binders/hormel10-26-05.pdf>.
- [21] EASTMAN, Jeremy. Protein Based Binder Update: Performance Put to the Test. *Modern Casting* [online]. 2012, (říjen) [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <http://www.thefreelibrary.com/Protein-Based+Binder+Update%3a+Performance+Put+to+the+Test.-a066966601>
- [22] EASTMAN, Jeremy a Richard HERREID. Teksid and FATA Put GMBOND to the Test. *Foundry*. A Penton Publication, 2002, 130(9), 36-40.
- [23] CUPÁK, Petr a Karel RUSÍN. Zkušenosti s výrobou a použitím jader s biogenním pojivem. *Slévárenství*. Svaz sléváren České republiky, 2006, LIV(1), 19-21. ISSN 0037-6825.
- [24] The GMBOND® Sand Binder from Hormel. *Indian Foundries* [online]. GM BOND INDIA [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <http://www.indianfoundries.com/gmbond/images/overview.pdf>
- [25] *Seminář Ekologie a slévárenství: tematické zaměření: výklad legislativních změn v ČR, informace o nejaktuálnějším stavu v oblasti ochrany životního prostředí, předcházení nepříznivým dopadům na firmy: sborník přednášek*. Brno: Česká slévárenská společnost - člen ČSVTS Praha, 1992, (23).
- [26] Kožní kliš a technická želatina. *TANEX* [online]. [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.tanex.cz/cz/produkty/kozni-klish/>

- [27] TOPAZ Speciál. *TANEX* [online]. [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.tanex.cz/cz/produkty/kozni-klih/topaz-special.html>
- [28] CUPÁK, Petr. *Studium biogenních pojiv* [online]. Brno, 2011 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=33964. Dizertační práce. VUT Brno. Vedoucí práce Prof. Ing. Karel Rusín, DrSc.
- [29] ŠEBESTA, Pavel. *Ovlivnění zbytkových pevností slévárenských jader s biogenním pojivem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 87 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Cupák, Ph.D..
- [30] CUPÁK, Petr. Proteinové pojivo - alternativa při výrobě odlitků. *Digitovárna.cz* [online]. MM publishing, s. r. o., 2014, (1) [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/proteinove-pojivo-alternativa-pri-vyrobe-odlitku.html>
- [31] *Citace.com* [online]. Brno: citace.com, s.r.o. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.citace.com>

6 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Popis	Jednotka
CB	Coldbox	-
CEPR	Casting Emission Reduction Program	-
CO ₂	Chemická sloučenina – oxid uhličitý	-
CT	Chemicky vytvrzované směsi	-
GM	General Motors	-
HB	Hotbox	-
HF	Hormel Foods Corporation	-
LLG	Litina s lupínkovým grafitem	-
PAU	Polyaromatické uhlovodíky	-
PB	Protein Binder (proteinové pojivo)	-
SO ₂	Chemická sloučenina – oxid siřičitý	-
WB	Warmbox	-

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ukázka odlévání a některé součásti a výrobky vyrobené touto technologií.....	8
Obr. 2 - Schéma formovací směsi.....	10
Obr. 3 Kaolinit.....	12
Obr. 4 Illit.....	12
Obr. 5 Montmorillonit.....	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 6 Stroj na výrobu jader navržený pro pojivo GMBOND.....	16
Obr. 7 Tvorba pojivového můstku.....	17
Obr. 8 Postup výroby jádra s pojivem GMBOND.....	18
Obr. 9 Porovnání rozpadavosti pojiva GMBOND a fenolické pryskyřice vytvrzované technologií CB.....	19
Obr. 10 Emise při odlévání slitin hliníku.....	20
Obr. 11 Emise při odlévání LLG.....	20
Obr. 12 Ukázka pojiva dodávaného v drceném stavu – TOPAZ SPECIÁL.....	21
Obr. 13 Pevnost zkušebních směsí v ohybu.....	22
Obr. 14 Jádro hlavy motoru.....	23
Obr. 15 Pevnost v ohybu u nové a recyklované směsi – TOPAZ SPECIÁL.....	24
Obr. 16 Odlitek z Al slitiny a jádro – slévárna Metaz Týnec nad Sázavou.....	25
Obr. 17 Očištěné odlitky z LLG – Slévárna a modelárna Nové Ransko.....	25

8 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Obsah složek v jádrové směsi.....	22
Tab. 2 Srovnání výrobních nákladů na 100 kg jader.....	26

