

Tehnologija lijevanja kućišta motora

Radić, Anto

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:436808>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-07**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Anto Radić

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Mehanizacija

Tehnologija lijevanja kućišta motora

Završni rad

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Anto Radić

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Mehanizacija

Tehnologija lijevanja kućišta motora

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. Prof.dr.sc. Goran Heffer, predsjednik
2. Izv.prof.dr.sc. Ivan Plaščak, član
3. Ivan Vidaković, mag.ing.mech., član

Osijek, 2019.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Mehanizacija

Završni rad

Anto Radić

Tehnologija lijevanja kućišta motora

Sažetak: U ovom radu objašnjeno je što je kućište (blok) motora, koji su njegovi sastavni dijelovi, gdje se nalazi, od čega se izrađuje, kakva je njegova kvaliteta, itd. Također je opisan proces lijevanja kućišta motora, materijali koji se koriste za lijevanje, kalupi za lijevanje, vrste lijevanja, razvoj tehnologija lijevanja, kako tradicionalnih tako i suvremenih postupaka izrade kućišta motora. Detaljno je pojašnjen proces izrade modela kućišta, pripreme kalupa, ulijevanja litine i hlađenja odljevka, te njegovog čišćenja i naposljetku mehaničke obrade odljevaka.

Ključne riječi: kućište motora, lijevanje, pješčani lijev, kalup, model odljevka

24 stranica, 3 tablice, 21 slike, 15 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Jurja Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
Undergraduate university study Agriculture, course Mehanization

BSc Thesis

Anto Radić

Engine Casing Casting Technology

Summary: This paper explains what the housing (block) of the engine is, what are its components, where it is located, what it is made of, what is its quality, etc. The process of casting the motor housing, the materials used for casting, casting molds, types of casting, development of casting technologies, both traditional and modern methods of making the motor housing are also described. The process of making the model of the housing, preparing the mold, casting and cooling the casting, and its cleaning and ultimately mechanical treatment of the castings, are explained in detail.

Key words: engine housing, casting, sand casting, mold, casting model

24 pages, 3 tables, 21 figures, 15 references

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Sadržaj

1. UVOD	1
2. KUĆIŠTE (BLOK) MOTORA.....	2
2.1. Cilindarsko kućište motora	3
2.1.1. Closed – deck izvedba.....	4
2.1.2. Open – deck izvedba	5
2.2. Materijali od kojih se izrađuje kućište motora	5
3. LIJEVANJE.....	8
3.1. Vrste lijevanja	9
3.1.1. Lijevanje u pijesak ili pješčani lijev	10
3.1.2. Lijevanje pod tlakom (tlačno lijevanje).....	12
3.1.3. Lijevanje u gipsani kalup.....	14
3.1.4. Lijevanje u kokile	15
3.1.5. Lijevanje u pune kalupe.....	16
4. LIJEVANJE KUĆIŠTA (BLOKA) MOTORA	17
4.1. Tradicionalni postupak lijevanja kućišta motora	17
4.2. Suvremeni postupak lijevanja kućišta motora	22
5. ZAKLJUČAK.....	23
6. POPIS LITERATURE.....	24

1. UVOD

Ljevarstvo je djelatnost i znanstvena disciplina koja se bavi postupkom oblikovanja materijala, obično kovina, u rastaljenom, tj. tekućem stanju. Taj se postupak naziva lijevanje, a njime se gotov proizvod – odljevak dobiva uvođenjem tekućeg (rastaljenog) materijala (litine) u kalupe, te skrućivanjem. Kalup može biti jednokratni, izrađen od kremenog pijeska i bentonitnog veziva, ili stalan, od čelika ili sivog lijeva.

Kućište motora, koje se također naziva i blok motora, glavna je struktura motora koja daje prostor za cilindre, a također daje i prolaze za rashladnu tekućinu, ispušne plinove i uzimanje plinova koji mogu prolaziti preko motora i kućišta za kućište radilice i osovine vratila. Blok motora glavni je oslonac stotina dijelova koji se nalaze u modernim motorima. Od kojeg god materijala da je napravljeno, gotovo se u pravilu izrađuje lijevanjem i to u nekoj od različitih vrsta kalupa. Uz sve navedeno, kućište je najveći i najteži pojedinačni dio modernih motora, koji zauzima 20 – 25 % ukupne mase motora (Mechanical Engineering, 2011.).

Kućište je na svojevrsan način „temelj“ konstrukcije samog motora. Riječ je o komadu metala sa mnoštvom rupa, kanala i raznih otvora, a sklapanje motora upravo počinje od njegovog kućišta. Možda ne toliko svojom konstrukcijskom kompleksnošću, koliko činjenicom da su na njega pričvršćeni svi ostali dijelovi, kućište je zaslužilo titulu osnovnog dijela svakog motora (Autonet.hr, 2013.).

2. KUĆIŠTE (BLOK) MOTORA

Kućište motora se često naziva „blok motora“, vjerojatno zbog toga što je u osnovi riječ o hrpi (bloku) metala u kojoj se nalaze brojni, pravilno raspoređeni, otvori, kanali i rupe. U kućištu su također smješteni provrti cilindara, te razni provrti sa navojima za pričvršćenje drugih dijelova motora. U kućištu se nalaze i kanali namijenjeni strujanju rashladne tekućine, kod motora koji se hlade rashladnom tekućinom (Prometna zona, 2015.).



Slika 1. Lijevani dijelovi motora s unutarnjim izgaranjem

(Izvor: <http://newengineeringpractice.blogspot.com/>)

Na obrađeno kućište motora pričvršćuju se sljedeći (osnovni) dijelovi: glava motora (u kojoj su oblikovani prostori za izgaranje), koljenasto vratilo koje je pričvršćeno s donje strane kućišta, klipovi s prstenovima i klipnjačama koje se nalaze u cilindrima (košuljici cilindra) i spajaju se na koljenasto vratilo te crpka za ulje u koritu motora. Košuljice cilindara služe tome da klip sa svojim prstenovima „struže“ po unutrašnjosti cilindra koja stoga mora biti otporna na trošenje. U motorima čije je kućište izrađeno od aluminijskih legura konstrukcija bez košuljice ne bi bila upotrebljiva jer bi se relativno mekano kućište prebrzo potrošilo. Svakako, kućište motora služi kao „držač“ za razne druge dijelove. Na njemu su pričvršćeni i alternator (generator struje), elektropokretač motora, crpka za rashladnu tekućinu itd. Također na kućištu su i nosači koji se motor pričvršćuje za

karoseriju traktora. Blok motora sprječava izlaz radnog medija, rashladnoga sredstva i maziva, a također sprječava ulaz prašine, vlage i prljavštine (Mlfree, 2018).

Kućište traktorskog motora može biti izvedeno jedinstveno (u bloku) ili za svaki cilindar zasebno. Izvedba kućišta ovisi o tome je li motor hlađen rashladnom tekućinom ili zrakom. Kod motora hlađenih rashladnom tekućinom, kućišta se izvode u bloku. U kućištu su smještene cilindarske košuljice, koje se izrađuju od centrifugalnog lijeva. Razlikuju se dvije vrste cilindarskih košuljica. Mokre, gdje rashladna tekućina direktno oplahuje košuljice, i suhe koje su uprešane u blok, a rashladna tekućina cirkulira kroz prostor u bloku. Obje vrste košuljica se prilikom popravka mogu zamjenjivati. Kućište motora ima odgovarajuće šupljine kroz koje cirkulira rashladna tekućina i hladi cilindre motora. Isto tako, u kućištu su izbušeni provrti kroz koje prolazi ulje pod tlakom na određena mjesta podmazivanja. Kod motora hlađenih zrakom najčešća je zasebna izvedba za svaki cilindar. Cilindar je lijevan s rebrima, da bi rashladna površina bila što veća (Vujčić i sur., 2011.).

2.1. Cilindarsko kućište motora

Cilindar predstavlja cilindrično (valjkasto) šuplje tijelo kojemu se formira radni prostor (volumen) motora.

Cilindri vodom hlađenih motora najčešće su obuhvaćeni u jedno kućište s dvostrukim stjenkama unutar kojih teče rashladna tekućina tjerana cirkulacijskom crpkom. Tekućina prolazi kanalima iz kućišta u glavu motora, a zatim u hladnjak. Najčešće su cilindri i kućište radilice izliveni u jednom komadu, što daje veliku krutost konstrukcije.

Kod motora sa zračnim hlađenjem izrađuju pojedinačna kućišta sa po jednim cilindrom.

Mahalec i sur. (2015.) navode sljedeće funkcije kućišta (bloka) motora:

- što bolja iskoristivost zadanog ugradbenog prostora uz što manju masu kućišta (bloka),
- dovoljna krutost s obzirom na točnost oblika provrta za ležaje, cilindra i brtvenih ploha npr. prema glavi cilindra i uljnom koritu,
- veliki stupanj integracije uređaja motora,
- dobra pristupačnost pojedinim sklopovima i uređajima kod održavanja i popravka.

Isti autori također navode da konstrukcija kućišta motora ovisi o:

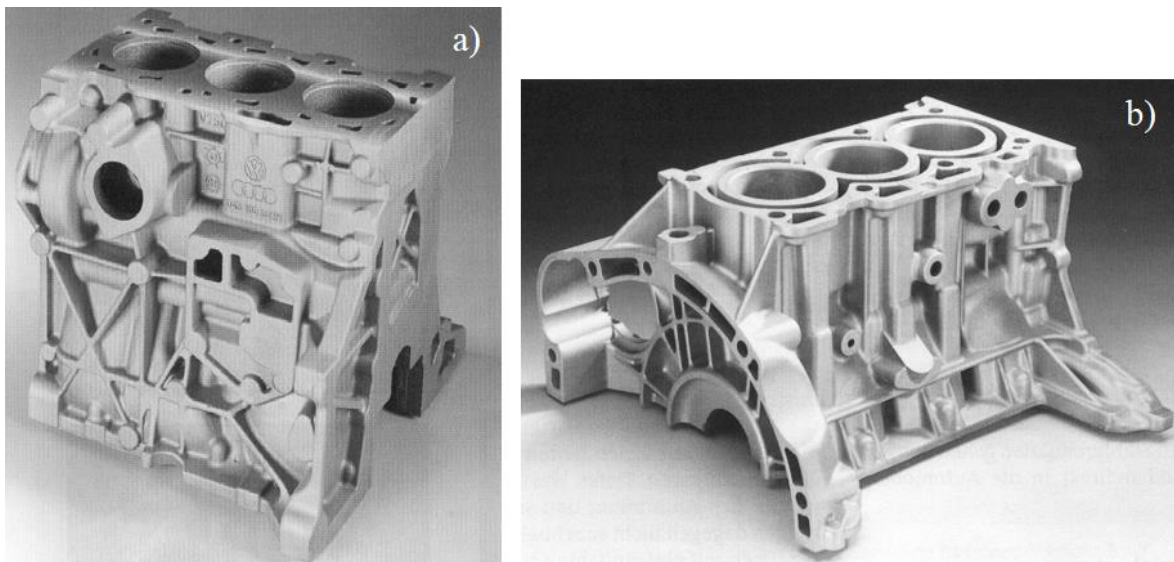
- veličini motora i njegovoj namjeni,

- procesu u cilindru (2 – taktni ili 4 – taktni),
- hlađenju (vodom ili zrakom),
- broju i rasporedu cilindara,
- stupnju tehničkog razvoja.

U kućištu motora se nalaze rashladni kanali kroz koje struji rashladna tekućina tjerana cirkulacijskom crpkom. Tekućina hladi stjenke cilindara i kroz kanale otječe u glavu motora.

Prema obliku gornje brtvene plohe razlikuju se dvije izvedbe kućišta motora, prikazane slikom 2.:

- kućišta sa zatvorenom gornjom plohom (*Closed – Deck*),
- kućišta sa otvorenom gornjom plohom (*Open – Deck*), (Mahalec i sur., 2015.).



Slika 2. Kućišta motora sa zatvorenom (a) i otvorenom (b) gornjom plohom

(Izvor: Mahalec i sur., 2015.)

2.1.1. *Closed – deck izvedba*

Jedinstvena gornja brtvena ploha spaja sve cilindre kućišta (bloka) motora i odjeljuje vodeni plašt cilindra od vodenog plašta glave. Na plohi su samo otvori navojnih rupa za vijke glave cilindara, te provrti i kanali za prolaz ulja i rashladne tekućine. Šupljine za rashladnu tekućinu u bloku liju se pomoću pješčane jezgre koju treba uležiti u vanjskom kalupu kućišta (bloka) motora. Veliki otvori na kućištu (bloku) motora za ova uleženja zatvaraju se limenim poklopcima, po čemu se motor s ovakvim kućištem (blokom) i može prepoznati (Mahalec i sur., 2015.).

Prednosti ove izvedbe jest veća krutost gornje brtvene plohe i zbog toga manje deformacije plohe i cilindara, te tiši rad motora (Mahalec i sur., 2015.).

Kućišta od sivog lijeva (SL) lijevaju se u pijesku. Kućišta od Al-Si legura lijevaju se u kokili, odnosno stalnom kalupu ili niskotlačnim postupkom u metalne kalupe, a u novije vrijeme i u pijesku. Tlačno lijevanje nije moguće zato što su za plašt kod Closed – deck izvedbe potrebne pješčane jezgre, a njih bi zdrobio visoki tlak taline (Mahalec i sur., 2015.).

2.1.2. Open – deck izvedba

Vodeni plašt koji obavija cilindre, je otvoren prema glavi cilindara. Za njegovo lijevanje nije potrebna pješčana jezgra koju bi trebalo uležištiti u kalupu, nego jezgra može biti metalna i izrađena kao sastavni dio kalupa. Cilindri stoje kao konzole i obično se drže zajedno radi povećanja krutosti, pa između njih voda nema prolaz (Mahalec i sur., 2015.).

Prednost ove izvedbe jest bolje hlađenje vrućeg gornjeg dijela cilindara, a nedostaci su manja krutost gornje brtvene plohe i zbog toga veća deformacija same plohe kao i cilindara. To se danas kompenzira primjenom metalne brtve glave cilindara, koja svojom većom čvrstoćom sprečava znatnije deformacije. U odnosu na mekanu brtvu, metalna brtva zbog svojih manjih deformacija pri stezanju glave cilindara ne zahtjeva tako velike prednaponske sile u vijcima, pa su zbog toga i deformacije brtvene plohe i cilindara manje (Mahalec i sur., 2015.).

Lijevanje kućišta se može obavljati bilo kojim načinom. Kućišta od sivog lijeva se pojedinačno lijevaju u pijesku, a od Al-Si legura postupkom tlačnog lijevanja (tlak u pravilu iznosi od 400-1000 bara) koji ujedno omogućuje i izradu posebnih ploha cilindara, odnosno posebnih cilindarskih košuljica (Mahalec i sur., 2015.).

2.2. Materijali od kojih se izrađuje kućište motora

Kućišta motora su najčešće izrađena od sivog lijeva (željezni lijev s lamelnim grafitom) koji je relativno velike tvrdoće, ima dobra klizna svojstva i otpornost na trošenje, mala toplinska rastezljivost, dobro prigušenje buke, a u masovnoj proizvodnji se može s lakoćom i jeftino obrađivati. Tvrdoća kućišta se može još i povećati raznim dodatcima željeza. Nedostatak je relativno velika masa motora.

Rjeđe se za izradu blokova upotrebljavaju i legure lakih metala. Odlikuje ih manja težina i bolje provođenje topline, pa se takvi motori mogu bolje hladiti, a li su za razliku od sivog lijeva nešto skuplji. Za povećanje krutosti konstrukcija mora imati rebra, a površine cilindara moraju se ili posebnim tehnološkim postupcima oplemeniti radi povećanja otpornosti na trošenje i smanjenja trenja. Budući da bi se cilindri od lakih metala prebrzo istrošili u otvore cilindara se ubacuju košuljice od specijalnog sivog lijeva (Mahalec i sur., 2015.).

Materijal bloka motora se odabire na osnovu traženih svojstava, a kako je već spomenuto, za izradu bloka motora mogu se koristiti:

a) Sivi lijev - uglavnom je bio dominantni metal pri proizvodnji konvencionalnih blokova motora s unutrašnjim izgaranjem. Iako je opsežna uporaba legura aluminija smanjila njegovu uporabu, sivi lijev i danas nalazi široku primjenu pri izradi blokova Diesel motora, gdje su unutrašnje napetosti veće. Sivi lijev obično sadrži 2,5 do 4 % ugljika, 1 do 3 % silicija, 0,2 do 1 % mangana, 0,02 do 0,25 % sumpora i 0,02 do 1 % fosfora. Ima dobra svojstva prigušenja udara, dobru otpornost na trošenje i toplinsku postojanost, te je jeftin za proizvodnju. Nedostaci sivog lijeva su niska čvrstoća i sklonost stvaranju pukotina i deformiranju. Zbog ovih problema, kao zamjena sivom lijevu u izradi blokova dizelskih motora, počeo se koristiti vermikularni (crvičasti) lijev (Nguyen, 2005.).

Kućište motora traktora također se izrađuje od sivog lijeva postupkom lijevanja i naknadnom strojnom obradom (Vujčić i sur., 2011.).

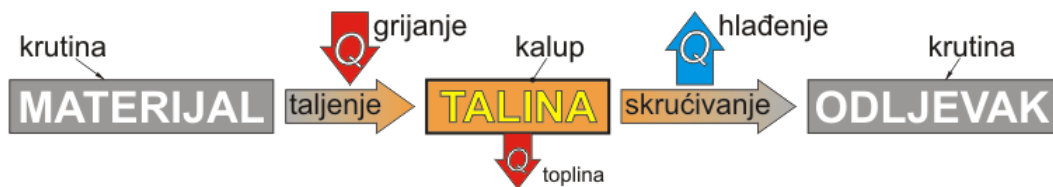
b) Vermikularni lijev - odlikuje se velikom vlačnom čvrstoćom i modulom elastičnosti u usporedbi sa sivim lijevom zbog rasporeda grafita u svojoj mikrostrukturi. Njegova vlačna čvrstoća se kreće između 300 do 600 MPa, a modul elastičnosti od 170 do 190 GPa. Vermikularni lijev također ima dobra svojstva prigušenja udara i toplinske provodljivosti (Nguyen, 2005.).

c) Legure aluminija - zasigurno najprimjenjiviji materijali za izradu bloka motora, svoju primjenu su pronašle zbog potreba smanjenja mase vozila. Dva su praktična razloga uporabe aluminija: poboljšani omjer performansi i težine, te smanjena potrošnja goriva. Nedostaci uporabe legura aluminija u izradi blokova motora jest veća cijena proizvodnje u odnosu na legure željeza. U izradi blokova motora najčešće se koriste dvije vrste legura aluminija - AlSi5Cu3 i AlSi7Mg (ISO). Prema Nguyen (2005.), karakteristike su im:

- Legura aluminija AlSi5Cu3 ima kemijski sastav: 85,5 do 91,5 % aluminija, 5,5 do 6,5 % silicija, 3 do 4 % bakra, do 0,35 % nikla, do 0,25 % titana, do 0,5 % mangana, do 1 % željeza, do 0,1 % magnezija i do 1 % cinka. Ova legura ima dobru livljivost, korozijsku postojanost i toplinsku provodljivost.
 - Legura aluminija AlSi7Mg ima kemijski sastav: 91,1 do 93,3 % aluminija, 6,5 do 7,5 % silicija, 0,25 do 0,45 % magnezija, do 0,2 % bakra, 0,2 % titana, 0,2 % željeza i 0,1 % cinka. Mehanička svojstva ove legure slična su onima leguri AlSi5Cu3. No, toplinskom obradom moguće je dobiti veću vlačnu čvrstoću i granicu razvlačenja.
- d) Legure magnezija - korištene su u motorima i prije, ali ne za izradu samog bloka motora. Umjesto toga, služile su za izradu poklopaca ventila, glava motora, usisne grane, pokrova klackalica, usisnih adaptera, indukcijских sustava i pooćnih pogonskih nosača. Magnezij je puno lakši od lijevanog željeza i aluminijskih legura, a ima istu čvrstoću kao lijevano željezo i legure aluminija (Nguyen, 2005.).

3. LIJEVANJE

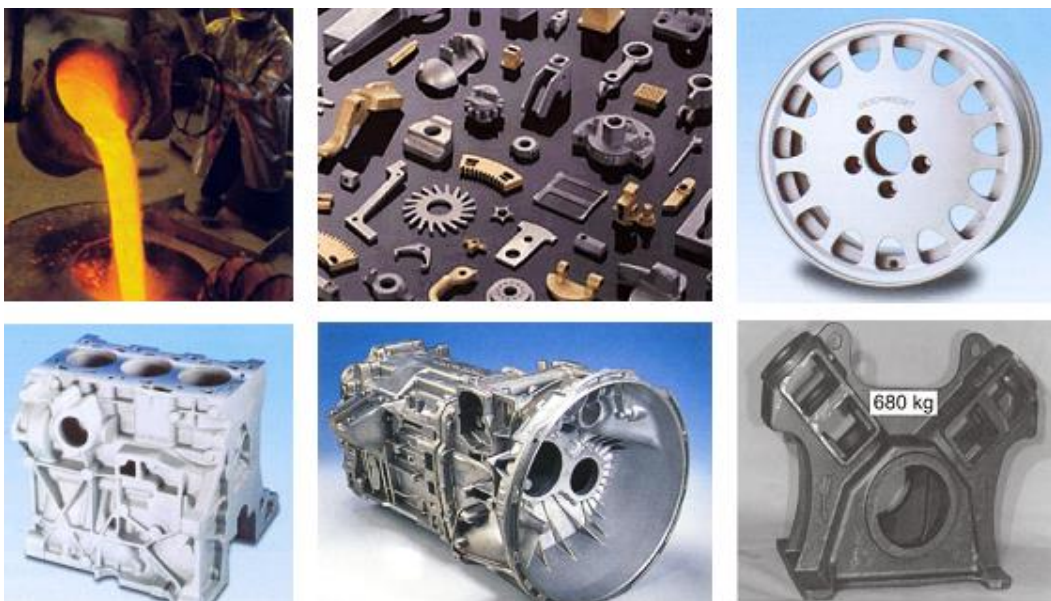
Lijevanje je postupak obrade materijala kod kojeg materijal u rastaljenom stanju ulijevamo u za to pripremljene kalupe. Lijevanje se može odvijati: slobodno – pod utjecajem gravitacije ili prisilno – pod utjecajem neke vanjske sile. Slika 3. prikazuje shemu postupka lijevanja.



Slika 3. Shema postupka lijevanja

(Izvor: Dunder i Kolumbić, 2010.)

Pri lijevanju manjih odljevaka koriste se žlice, tave i ručni lonci, a kod većih odljevaka veliki lonci na dizalicama. Najveća primjena odljevaka, kao što su primjeri na slici 3., je u automobilskoj industriji (SL i Al-legure). U jedan automobil ugrađeno je više od 100 odljevaka. Osim automobilske industrije, odljevci se koriste u strojogradnji, građevinskoj industriji, medicini itd., pa i u poljoprivrednoj tehnici, Dunder i Kolumbić (2010.).



Slika 4. Proizvodi oblikovani postupcima lijevanja

(Izvor: Dunder i Kolumbić, 2010.)

Prema Zadelju (2012.), lijevanje ima određene prednosti i nedostatke:

- Prednosti postupka lijevanja su:
 - moguće lijevanje složenih geometrija vanjskog i unutarnjeg dijela
 - moguće dobiti dimenzijski točan ili približno točan oblik
 - moguće proizvesti vrlo velike odljevke
 - lijevati se može bilo koji materijal
 - moguća masovna proizvodnja
 - velik raspon dimenzija odljevka – od 1 g do 250 t.
- Nedostatci lijevanja su:
 - ograničenost mehaničkih svojstava, poroznost
 - problem je postići dimenzijsku točnost i određenu kvalitetu površine
 - opasan postupak proizvodnje
 - loš ekološki utjecaj.

Dunđer i Kolumbić (2010.) navode šest glavnih operacija u procesu lijevanja:

1. izrada modela
2. izrada kalupa
3. taljenje materijala
4. ulijevanje rastaljenog materijala u kalup
5. istresanje odljevka
6. dorada odljevka

Navedene operacije mogu se u velikoj mjeri razlikovati kod različitih postupaka lijevanja.

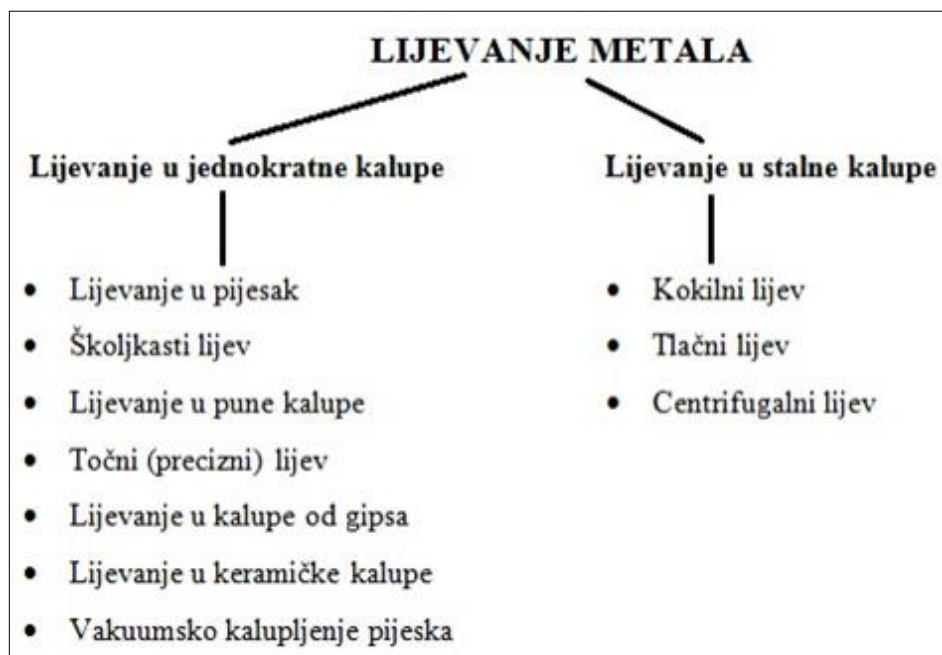
3.1. Vrste lijevanja

Lijevanje se može podijeliti u dvije kategorije (Žeželj, 2013.):

- Lijevanje u jednokratne kalupe
 - nakon lijevanja jednokratni kalup je potrebno uništiti kako bi se izvadilo odljevak
 - materijali za izradu kalupa su pijesak i slični materijali kojima se dodaju veziva i dodatci.
- Lijevanje u stalne kalupe
 - stalni kalupi (kokile) najčešće se izrađuju od metala ili rjeđe od grafita
 - koriste se više puta i isplativiji su u velikoserijskoj proizvodnji

- za manje serije isplativiji su jednokratni kalupi.

Slika 4. prikazuje podjelu postupaka lijevanja metala prema prethodno naznačenim kategorijama.



Slika 5. Podjela postupaka lijevanja metala

(Izvor: Zadelj, 2012.)

Zastupljenost pojedinih postupaka lijevanja u izradi odljevaka prikazana je u tablici 1.

Tablica 1. Zastupljenost postupaka lijevanja u ukupnoj količini proizvedenih odljevaka

Postupak	Zastupljenost, %
Lijevanje u pješčane kalupe	60
Lijevanje u kokile	11
Tlačno lijevanje	9
Precizno lijevanje	7
Centrifugalno lijevanje	7
Lijevanje u školjkasti kalup	6

(Izvor: Dunder i Kolumbić, 2010.)

3.1.1. Lijevanje u pijesak ili pješčani lijev

Lijevanje u pijesak ili pješčani lijev je najrašireniji postupak lijevanja. Dimenzije odljevaka mogu biti od malih do vrlo velikih. Veličine serija su od jednog komada do milijunskih serija. Koristi se kalup izrađen od pijeska. Modeli mogu biti u komadu, od više dijelova, na

jednoj modelnoj ploči za gornjak i donjak, posebna modelna ploča za gornjak, posebna za donjak. Jezgre oblikuju unutrašnju površinu odljevka. U kalupe se dodaje pijesak pomiješan s vodom i vezivom (glina - bentonit). Tipična mješavina je 90 % pijeska, 3 % vode, 7 % gline i dodaci pijesku (služe za povećanje čvrstoće i/ili propusnosti). Pijesak je vatrootporan materijal, podnosi visoke temperature (Horvat, 2016.).

Zbog različitih vrsta pijeska i vezivnih sredstava, s razvojem ljevarstva pojavile su se i različite kalupne mješavine iz kojih se izrađuju kalupi. Slijedom toga, kalupe se može podijeliti na (Ivetić, 2010.):

- Meke kalupe - kalup je od mješavine pijeska, gline i vode. Naziva se engleski „Green sand” jer sadrži vlagu prilikom ulijevanja.
- Površinski osušene meke kalupe - kalup je izrađen kao meki kalup, ali se kalupna šupljina dodatno suši pomoću plamenika ili lampi do dubine od 10 – 25 mm.
- Tvrde kalupe - kalupna mješavina umjesto gline sadrži organska veziva. Kalup se prije ulijevanja legure peče kako bi mu se povećala čvrstoća.

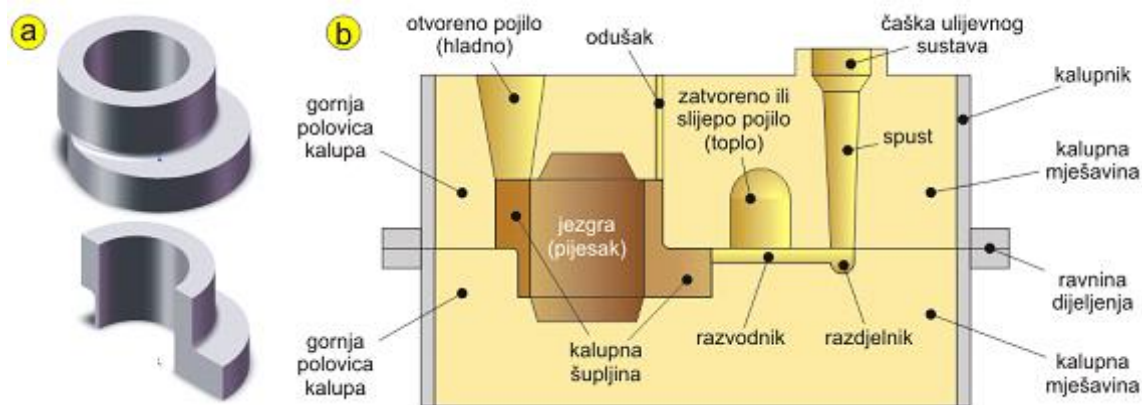
Postupak izrade pješčanog kalupa (Žeželj, 2013.):

- Kalupna šupljina oblikuje se nabijanjem oko modela
- Kalup se najčešće sastoji od dva dijela
- Kalup treba sadržavati ušća i pojila, odnosno uljevni sustav
- Ako se želi oblikovati šupljina unutar odljevka koriste se jezgre
- Za svaki odljevak potrebno je napraviti novi kalup
- Može se dogoditi da u jednom kalupu istovremeno lijevamo više komada

Postupak izrade odljevka u pješčanom kalupu (Žeželj, 2013.):

1. Rastaljeni metal ulijeva se u pješčani kalup
2. Metal se skrućuje
3. Kalup se istresa kako bi se izvadio odljevak
4. Odljevak se čisti i pregledava
5. Po potrebi, primjenjuje se naknadna toplinska obrada kako bi se poboljšala svojstva odljevka

Slika 5. prikazuje odljevak (a) i presjek pješčanog kalupa u kalupniku (b) s elementima koji su potrebni za uspješno izvođenje postupka lijevanja i izradu kvalitetnog odljevka.



Slika 6. Odljevak i pješčani kalup u kalupniku

(Izvor: Dunder i Kolumbić, 2010.)

3.1.2. Lijevanje pod tlakom (tlačno lijevanje)

Tlačni lijev je je proces proizvodnje odljevaka u kojem se taljevina uvodi u trajni kalup pod visokim tlakom. Tlak se održava u kalupu sve dok se skrućivanje odljevka potpuno ne završi. Kalupi za tlačni lijev trebaju biti konstruirani tako da se omogući proizvodnja kompleksnih oblika odljevaka s visokim stupnjem točnosti dimenzija. U jednom kalupu moguće je odliti više desetaka tisuća odljevaka. Tlačni lijev primjenjuje se u serijskoj i masovnoj proizvodnji. Proces je često automatiziran što omogućuje povećanje produktivnosti, poboljšanje kvalitete odljevaka te sniženje cijene gotovog proizvoda. Odljevci proizvedeni tlačnim lijevom koriste se u gotovo svim granama industrije, a najraširenija primjena je u automobilskoj industriji. Odljevke lijevane ovim postupkom karakteriziraju dobra mehanička svojstva te dimenzijska točnost. Najčešće se lijevaju legure aluminija, bakra, magnezija i cinka. Ovim je postupkom moguće lijevanje odljevaka različitih dimenzija i oblika pa se proizvode dijelovi kao što su blokovi motora i drugi dijelovi motora s unutarnjim izgaranjem, radijatori, zupčanici pa sve do okvira mobilnih telefona i dječjih igračaka. Slika 6. prikazuje primjere odljevaka (Tišljarić, 2016.).



Slika 7. Primjeri odljevaka izrađenih tlačnim lijevanjem

(Izvor: Tišljarić, 2016.)

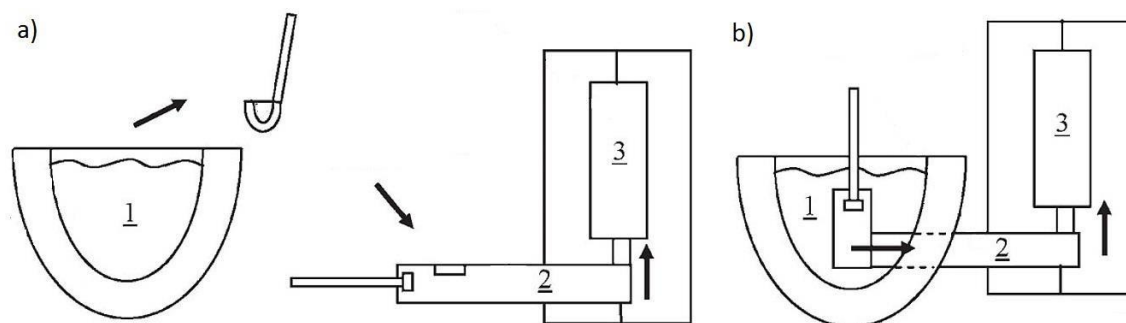
Postoje dvije konvencionalne metode tlačnog lijevanja: lijevanje sa toplom komorom i lijevanje sa hladnom komorom. Prema nazivu, ove metode razlikuju se prema načinu dobave taline:

- Tlačno lijevanje sa hladnom komorom,
- Tlačno lijevanje sa toplom komorom.

Tlačno lijevanje sa hladnom komorom najčešće se koristi za lijevanje bakrenih i aluminijskih legura. Prilikom lijevanja sustav za brizganje taline je samo u kratkom vremenu u dodiru sa talinom. Za svaki ciklus lijevanja talina se sa posebnom žlicom ulijeva u cilindar za brizganje u kalup. Klip koji potiskuje talinu zaštićuje se sredstvom za podmazivanje kako bi se umanjilo naljepljivanje tekućeg metala (Dadić, 2016.).

Kod tlačnog lijevanja sa toplom komorom, sustav za dobavu taline uronjen je u lonac s metalnom talinom. Ovo skraćuje vrijeme ciklusa lijevanja. Kod proizvoda malih dimenzija i mase od nekoliko grama, vremena ciklusa lijevanja mogu biti ispod jedne sekunde, dok vrijeme ciklusa lijevanja proizvoda veće mase iznosi oko 30 s. Talina se tlakom brizga u kalup pomoću klipa i cilindra. Klip je pogonjen hidraulikom ili komprimiranim zrakom. Spremnik sa rastaljenim metalom se održava na temperaturi znatno iznad temperature taljenja legure (Dadić, 2016.).

Shematski prikazi postupaka tlačnog lijevanja prikazani su na slici 7.



Slika 8. Tlačno lijevanje s hladnom (a) i toplom (b) komorom

(Izvor: Dadić, 2016.)

Isti autor navodi da svi procesi tlačnog lijevanja imaju sličan proizvodni ciklus. Talina (1) ulazi u sustav za brizganje, te se tada visokim tlakom (2) potiskuje u kalup (3). Visoki tlak se zadržava dok se talina ne skrutne. Nakon skrućivanja, kalup se otvara i proizvod se izbacuje iz kalupa.

3.1.3. Lijevanje u gipsani kalup

Postupak je sličan lijevanju u pješčani kalup, s tim što se za izradu kalupa koristi gips (kalcij-sulfat, $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$). Za izradu gipsanog kalupa treba prvo izraditi model (original). U pogodnoj posudi, oko modela se nalije homogenizirana mješavina gipsa za lijevanje i vode. Nakon očvršćivanja, iz gipsanog kalupa vadi se model i kalup suši. U osušeni kalup ulijeva se talina te po njenom hlađenju iz kalupa izvadi odljevak. Pri izradi modela i kalupa treba obratiti pozornost na vađenje modela (dvodjelni kalup), čime se i omogućava odlijevanje više komada u jednom kalupu (Dunđer i Kolumbić, 2010.).

Slika 8. prikazuje primjer odljevka dobivenog lijevanjem u gipsanom kalupu.



Slika 9. Al-odljevak iz gipsanog kalupa

(Izvor: Dunđer i Kolumbić, 2010.)

Lijevanje u gipsani kalup ima određene prednosti i nedostatke, koji su navedeni u tablici 2.

Tablica 2. Prednosti i nedostaci lijevanja u gipsanim kalupima

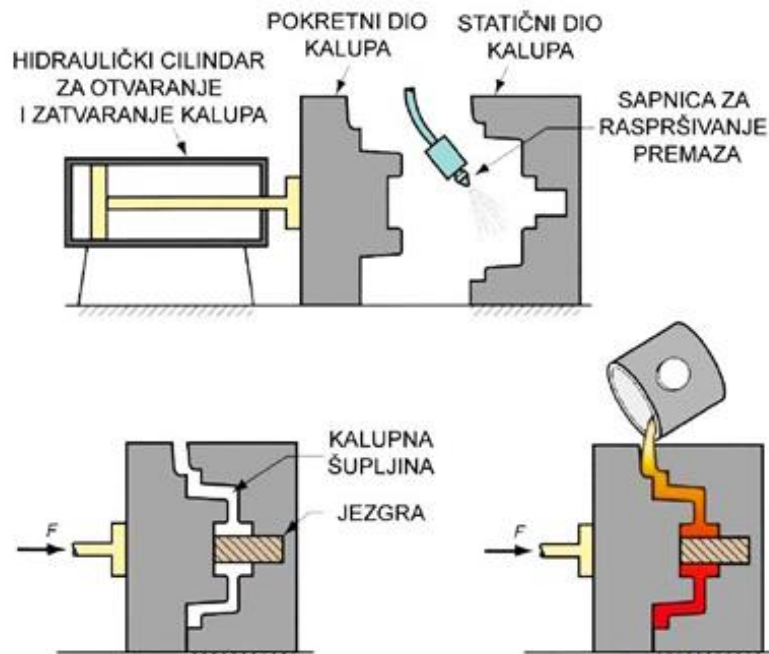
Prednosti	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none">- precizne dimenzije- glatke površine odljevka- moguće oblikovanje tankih zidova i vrlo finih detalja	<ul style="list-style-type: none">- kalup se mora peći kako bi se odstranila vlaga- zadržana vlaga izaziva probleme u lijevanju, a prepečeni model gubi čvrstću- ograničenje na neželjezne legure, izuzev Mg legura- ograničena veličina dijelova- relativno dugotrajna izrada kalupa

(Izvor: Dunđer i Kolumbić, 2010.)

3.1.4. Lijevanje u kokile

Neki od metala koji se mogu lijevati u kokile su: Al, Mg, legure bakra i sivi lijev. Da bi bilo moguće lijevati rastaljeni metal u kokile, potrebno je kokilu prije samog postupka pripremiti. Kokile su izrađene najčešće od čelika ili sivog lijeva i zanimljiva je činjenica da je sivi lijev moguće lijevati u kokile. Prije lijevanja potrebno je kokilu pripremiti na određeni način. Kokila se prije upotrebe ugrije kako ne bi došlo do temperaturnog šoka, te ju je potrebno i premazati premazima koji sprječavaju da se rastaljeni metal ne zalijepi na stijenke kokile. U tako pripremljenu kokilu ulijeva se talina te se pričekava neko vrijeme da talina skrutne. Nakon skrućivanja otvara se kokila i vadi se odljevak. Lijevanje u kokile ima određene prednosti i nedostatke, kao što je navedeno u tablici 3. (Žeželj, 2013.).

Shema postupka prikazana je slikom 9.



Slika 10. Shema postupka lijevanja u kokile

(Izvor: Žeželj, 2013.)

Tablica 3. Prednosti i nedostaci lijevanja u kokile

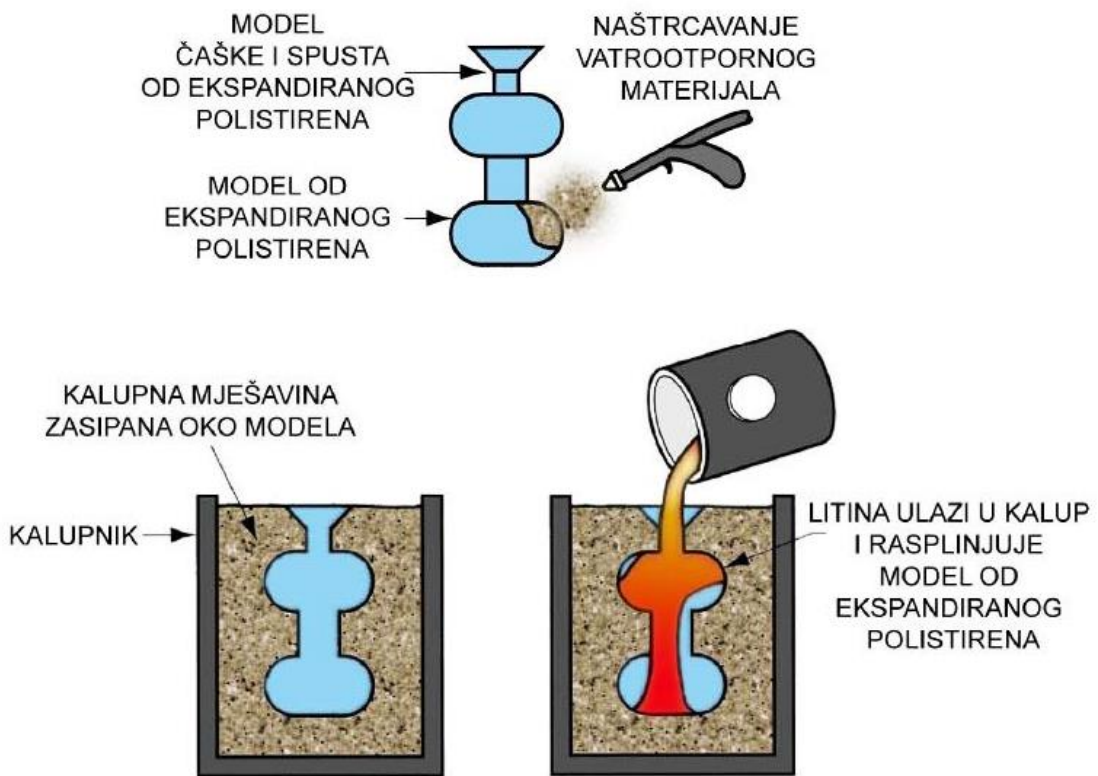
Prednosti	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none"> - dobra dimenzijska točnost i kvaliteta površine - sitnozrnata struktura uslijed brzog skrućivanja 	<ul style="list-style-type: none"> - nije moguće izraditi odljevke velike složenosti oblika - skupoća kalupa - lijevanje legura nižeg tališta

(Izvor: Žeželj, 2013.)

3.1.5. Lijevanje u pune kalupe

Prednost ovog postupka je da se kalup ne sastoji od dva dijela, već se lijeva u kalupe ispunjene isparljivim modelima od ekspaniranog polistirena, koji se otopi kod ulijevanja taline metala. Odljevak ima točne mjere i nema srh koji inače nastaje na spojnim plohama višedjelnih kalupa. Model od ekspaniranog polistirena se premazuje posebnim premazima koji služe kao zaštitni sloj kalupne površine (Horvat, 2016.).

Shema lijevanja u puni kalup prikazano na slici 10.



Slika 11. Lijevanje u puni kalup

(Izvor: Žeželj, 2013.)

4. LIJEVANJE KUĆIŠTA (BLOKA) MOTORA

Kućište motora, od bilo koje vrste materijala, gotovo se u pravilu izrađuje lijevanjem i to u nekoj od različitih vrsta kalupa. Tradicionalni proizvodni proces izrade dijelova poput kućišta motora je pješčani lijev - proces tijekom kojeg se primjenjuje lijevanje u višedijelne pješčane kalupe. Kod takvog su načina lijevanja unutrašnji otvori kućišta motora (kanali za rashladnu tekućinu, cilindri i sl.) oblikovani od zbijenog ljevačkog pijeska - mješavina pijeska, gline i vode (Mlfree, 2018.).

4.1. Tradicionalni postupak lijevanja kućišta motora

Tradicionalni postupak lijevanja počinje izradom modela motora od drveta. Drveni model je dvodjelni (lijeva i desna polovica) kako bi se mogao podijeliti i izrađivati kalup za svaku bočnu stranu posebno. Na modelu su izvedeni svi elementi otvora (ispupčenja) koje će imati vanjska površina motora (udubljenja). Drveni model je prikazan slikom 11.



Slika 12. Drveni model vanjskih ploha motora

(Izvor: <http://newengineeringpractice.blogspot.com/>)

Model se zatim postavlja u drveni ili metalni okvir te se oko njega nasipa vlažni ljevački pijesak (Green sand). Stranice pješčanog kalupa oblikuju se zbijanjem pritiskom ili vibriranjem na metalnom okviru. Taj se postupak ponavlja i za drugu polovicu kalupa. Oblikovane stranice kalupa, prikazane slikom 12., se zatim rastvaraju kako bi se između njih oblikovala jezgra u obliku unutrašnjosti motora.



Slika 13. Stranice pješčanog kalupa vanjskih ploha kućišta motora

(Izvor: <http://newengineeringpractice.blogspot.com/>)

Model unutrašnjeg oblika kućišta motora također se izrađuje od drveta, u obliku dvije polovice, kao što je prikazano na slici 13.



Slika 14. Model unutrašnjeg oblika kućišta motora

(Izvor: <http://newengineeringpractice.blogspot.com/>)

Pomoću prethodno izrađenog modela oblikuju se pješčani kalupi unutrašnjosti kućišta, i to postupkom kalupovanja kao što je rađeno za vanjske plohe motora. Slika 14. prikazuje pješčane kalupe unutrašnjih ploha kućišta motora.



Slika 15. Pješčani kalupi unutrašnjih ploha kućišta motora

(Izvor: <http://newengineeringpractice.blogspot.com/>)

Model cilindarskog prostora u kućištu motora oblikuje se od pijeska i isparljivog materijala, kao što je prikazano na slici 15. U istom dijelu tehnološkog postupka se, od posebne vrste ljevačkog pijeska (čvršći, zbijeniji), izrađuju i jezgre koje će tijekom lijevanja oblikovati otvore u cilindarskom prostoru kroz koje će prolaziti klipovi motora.



Slika 16. Model cilindarskog prostora motora (sivo) i jezgre za otvore (ružičasto)

(Izvor: <http://newengineeringpractice.blogspot.com/>)

Nakon što su izrađeni svi dijelovi pješčanih kalupa, model cilindarskog prostora i jezgre za sve otvore u istome, pristupa se sastavljanju cjelokupnog kalupa za lijevanje kućišta motora. Pri tome se posebna pozornost posvećuje pravilnom i točnom pozicioniranju pojedinih segmenata cjelokupnog kalupa, kao što je prikazano na slici 16.



Slika 17. Sastavljanje cjelokupnog kalupa kućišta motora

(Izvor: <http://newengineeringpractice.blogspot.com/>)

Na kraju, kada su svi dijelovi sastavljeni u oblik cjelokupnog kalupa, isti je potrebno učvrstiti s vanjske strane stezaljkama, kako bi izdržao gravitacijski pritisak prilikom izlivanja rastaljenog metala, kao što je prikazano na slici 17.



Slika 18. Cjelokupni kalup kućišta motora pripremljen za postupak lijevanja

(Izvor: <http://newengineeringpractice.blogspot.com/>)

Nakon obavljenog lijevanja i hlađenja kućišta motora pristupa se uklanjanju pješčanog kalupa. Pijesak se uklanja vibriranjem ili laganim udarcima koji razbijaju i usitnjavaju pješčanu masu kalupa. Odljevak se zatim obrađuje kako bi se postigle glatke površine kućišta motora. Slika 18. prikazuje odljevak kućišta nakon uklanjanja kalupnog pijeska.



Slika 19. Odljevak kućišta motora nakon čišćenja od kalupnog pijeska

(Izvor: <http://newengineeringpractice.blogspot.com/>)

Grubi odljevak kućišta motora zatim se završno obrađuje postupcima rezanja, prije svega brušenja, kako bi se dobile glatke plohe na mjestu brtve glave i na površinama gdje se ugrađuju druge komponente. Nakon toga se na kućištu obrađuju glavni ležajni provrti, te provrti za radilicu i ležaje bregastog vratila. Po završetku svih potrebnih obrada rezanjem kućište je spremno za daljnju ugradnju radilice, bregstog vratila, cilindara, klipnjača i ventila. Slika 19. prikazuje obradu odlivenog kućišta na alatnom stroju za obradu rezanjem.



Slika 20. Obrada odlivenog kućišta motora na alatnom stroju

(Izvor: <http://newengineeringpractice.blogspot.com/>)

4.2. Suvremeni postupak lijevanja kućišta motora

Suvremeni postupak lijevanja kućišta motora od Al-legura izvodi se uz pomoć isparljivih modela. Riječ je o proizvodnom procesu kod kojeg se koristi unutrašnji dio kalupa napravljen od isparivog materijala, u pravilu ekspaniranog polistirena (pjena od 97,5 % zraka i 2,5 % polistirena). Od ovog se materijala oblikuje (lijevanjem u metalne kalupe, rezanjem i sl.) tzv. „pozitiv“ odljevka, tj. stvara model koji odgovara fizičkom izgledu onoga što želimo dobiti kao konačni produkt, kao što je prikazano na slici 20.



Slika 21. Kućište motora i isparljivi model kućišta

(Izvor: Mlfree, 2018.)

Pjena se potom uranja u keramičku „oblogu“ koja stvara čvrsti omotač, ali istovremeno i omogućava izlaz plinova koji nastaju topljenjem pjene. Konačno, sve zajedno se oblaže zbijenim pijeskom koji služi kao sam kalup. Ulijevanjem metala u takav kalup isparivi materijal nestaje te njegovo mjesto zauzima rastopljeni metal. Prednosti takvog načina lijevanja su u točnosti dimenzija te izostanku rubova koji su prisutni na mjestima spoja višedijelnih kalupa. Jedna od tvrtki koje prednjače u razvoju ovakvih tehnika lijevanja je njemački *Knauf Gips KG* (Mlfree, 2018.).

5. ZAKLJUČAK

Kućište motora je najvažniji dio svakog motora s unutrašnjim izgaranjem. On služi kao kućište cilindrima, odnosno košuljicama koje će biti smještene u provrte bloka motora. Pored samih cilindara, u njemu se nalaze i provrti za hlađenje motora kojima cirkulira rashladno sredstvo.

Kućište motora, od kojeg god da je materijala, gotovo se u pravilu izrađuje lijevanjem i to u nekoj od različitih vrsta kalupa. Danas su kućišta motora postala iznimno lagana zbog primjene lakših legura koje su, osim boljih performansi samog motora, pridonijele smanjenoj potrošnji goriva. Potencijal koji aluminij ima u vidu čvrstoće i mase nije u potpunosti iskorišten u motorima s unutrašnjim izgaranjem. Optimizacijom legura AlSiCu i AlSiMg, raspoloživih za proces lijevanja i naknadne toplinske obrade, nudi se značajan potencijal za rast tvrdoće i čvrstoće. Također, i u dizel motorima sav potencijal aluminijske legure u vidu njegove male mase nije iskorišten. Osim neistraženosti potencijala aluminijske legure, također se nameće i magnezij kao materijal za izradu dijelova kućišta motora. Kombinacijama legura od magnezija i aluminijske legure također se postižu vrlo dobre performanse motora, što su neki proizvođači i uvidjeli te svoj razvoj usmjeravaju u tom pravcu.

Daljnijim razvojem tehnologije primjene motora zasigurno je da će i potražnja za lakšim, ekonomičnijim i učinkovitijim motorima zahtijevati usavršavanje ili nastanak novih metoda izrade kućišta motora.

Bez obzira, u kojem god smjeru išao razvoj motora s unutarnjim izgaranjem, lijevanje, kao način izrade kvalitetnih, točnih i, prije svega, ekonomski opravdanih kućišta motora, ostaje nezamjenjiva tehnologija koja će se također razvijati i nalaziti svoje mjesto u cjelokupnoj industriji koja se koristi u motorima s unutarnjim izgaranjem.

6. POPIS LITERATURE

1. Autonet.hr. (2013.): Blok motora. <http://www.autonet.hr/arhiva-clanaka/blok-motora> (25.6.2019.)
2. Dadić, Z. (2016.): Mehanizmi trošenja površine kalupa za visokotlačno lijevanje aluminijskih legura. Kvalifikacijski doktorski ispit, FESB Split. https://data.fesb.unist.hr/public/news/KVALIFIKACIJSKI_RAD_Zvonimir_Dadic-6e5825b3c9.pdf (24.6.2019)
3. Dunder, M.; Kolumbić, Z. (2010.): Strojarska tehnologija 1. <https://www.ffri.hr/~mdundjer/?fbclid=IwAR3utm3ATtdVc3YUQ3u2GvGOfXNcR2WTPyO77P4TqezLRkXHakausdcCmCo> (18.06.2019)
4. Fridl, M. (2012.): Blok i glava motora. <https://www.scribd.com/document/326478732/2-1-12-Blok-i-Glava-Motora> (21.6.2019.)
5. Horvat, S. (2016.): Lijevanje kućišta filtera za plin od aluminijeve legure. Diplomski rad, FSB Zagreb. http://repositorij.fsb.hr/7147/1/Horvat_2016_diplomski.pdf (20.6.2019.)
6. Ivetić, N. (2010.): Izrada odljevaka od sivog lijeva. Završni rad, FSB Zagreb. http://repositorij.fsb.hr/993/1/06_07_2010_Završni_rad_Ivetic_.doc.pdf (20.6.2019.)
7. Mahalec, I.; Kozarac, D.; Lulić, Z. (2015.): Konstrukcije motora. Skripta, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb.
8. Mechanical Engineering (2011.): Engine block manufacturing process. <http://newengineeringpractice.blogspot.com/2011/08/engine-block-manufacturing-process.html> (12.7.2019.)
9. Mlfree (2018). Blok motora – čemu služi, koja mu je uloga? – Tehnika. <https://mlfree.com/blok-motora-tehnika/> (2.7.2019.)
10. Nguyen, H. (2005.): Manufacturing Processes and Engineering Materials Used in Automotive Engine Blocks. Term paper, School of Engineering, Grand Valley State University, Allendale, USA. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.529.4877&rep=rep1&type=pdf> (21.7.2019.)
11. Prometna zona (2015.) Blok motora. <https://www.prometna-zona.com/blok-motora/> (25.6.2019)

12. Tišljar, K. (2016.): Simulacija tlačnog lijevanja odljevka od Al legure. Diplomski rad, FSB Zagreb. http://repositorij.fsb.hr/6234/1/Tisljar_2016_diplomski.pdf (28.6.2019.)
13. Vujčić, M.; Emert, R.; Jurić T.; Heffer, G.; Baličević, P.; Pandurović, T.; Plaščak, I. (2011.): Osnove poljoprivrednog strojarstva. Udžbenik, Poljoprivredni fakultet Osijek. 185 - 186
14. Zadelj, I. (2012.): Izrada odljevaka od aluminijskih legura. Završni rad, FSB Zagreb. http://repositorij.fsb.hr/1998/1/31_10_2012_Završni_rad_%28Ivan_Zadelj%29.pdf (16.6.2018)
15. Žeželj, D. (2013.): Lijevanje. Nastavni materijali, FSB Zagreb. <http://titan.fsb.hr/~dzezelj/Dizajn-2013-14/Prezentacije/LIJEVANJE.pdf> (28.7.2019).