

# COST BENEFIT ANALIZA VALJAKA ROLO PREŠE

---

Išić, Oliver

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Istrian University of applied sciences / Istarsko veleučilište - Università Istriana di scienze applicate**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:847771>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)



image not found or type unknown

**POLITEHNIKA PULA**  
**VISOKA TEHNIČKO – POSLOVNA ŠKOLA S P.J.**  
**PULA**  
**KRATKI STRUČNI STUDIJ POLITEHNIKE**

**ZAVRŠNI RAD**  
**COST BENEFIT ANALIZA VALJAKA ROLO**  
**PREŠE U TVORNICI CEMENTA KOROMAČNO**

**OLIVER IŠIĆ**

**PULA, 2019.**

**POLITEHNIKA PULA**

Izjava o samostalnosti izrade završnog rada

Izjavljujem da sam završni rad na temu „COST BENEFIT ANALIZA VALJAKA ROLO PREŠE“ samostalno izradio uz pomoć mentora dr. sc. Davor Stanić koristeći navedenu stručnu literaturu i znanje stečeno tijekom studiranja. Završni rad je pisan u duhu hrvatskog jezika.

U Puli, travanj 2019.

Oliver Išić

**Završni rad kratkog stručnog studija Politehnike**

**COST BENEFIT ANALIZA VALJAKA ROLO  
PREŠE U TVORNICI CEMENTA KOROMAČNO**

Student : Oliver Išić

Studijski program : Kratki stručni studij Politehnike

Kolegij: Proizvodno inženjerstvo

Mentor: pred.dr.sc. Davor Stanić

Pula, travanj 2019.

## **Sažetak:**

U ovom završnom radu je opisano kako se implementacijom novih valjaka rolo preše može optimizirati proizvodni proces, smanjujući pritom trošak nabave standardnih valjaka te njihovo održavanje, ugradnjom zamjenskih valjaka Hexadur koji imaju duži životni vjek i ne zahtjevaju održavanje. Rad je podijeljen u šest (6) dijelova, u drugom dijelu opisuje način proizvodnje cementa, sirovine koje su potrebne za proizvodnju cementa, njihov transport i aktivnosti koje su potrebne da bi cement nastao, a u trećem dijelu obuhvaća pojmovno određenje rolo preše, valjaka te pojašnjava način održavanja valjaka, kao i zamjene valjaka. Četvrti dio istražuje karakteristike Koppern Hederux valjaka, njihove reference, kao i način proizvodnje. Peto poglavlje čini Cost-benefit analiza koja obrađuje troškove održavanja standardnih valjaka, te troškove nabave Koppern-Hexadur valjaka. U zaključku je objašnjeno na osnovu sprovedene Cost Benefit analize da je investicija sa skupljom tehnologijom Hexadur valjaka isplativija s više aspekata ekonomskom, proizvodnom, te aspekta održavanja.

## **Summary:**

In this graduate thesis, it is described how implementing new rollers of rolo press can optimize the production process by reducing the cost of standard rolls and their maintenance by installing Hexadur replacement rollers that have a longer life, and do not require maintenance. The work is divided into six (6) parts, in the second part it describes the method of cement production, the raw materials needed for cement production, their transport and the activities needed to produced cement, and the third part includes the conceptual determination of roller presses, rollers and clarifies how to maintain rollers, as well as roller replacement. Part Four examines the characteristics of Koppern Hederux rollers, their references as well as the production method. The fifth chapter is a cost-benefit analysis that addresses the costs of maintenance of standard rollers and the cost of purchasing Koppern-Hexadur rollers. The conclusion is explained on the basis of the Cost Benefit analysis that the investment with more expensive Hexadur roller technology is more cost-effective with many aspects of economic, production and maintenance aspects.

## SADRŽAJ:

POPIS TABLICA I SLIKA .....	1
1. UVOD .....	2
1.1. Definicija problema .....	2
1.2. Cilj i svrha rada .....	3
1.3. Hipoteza .....	3
1.4. Metode rada .....	3
1.5. Struktura rada .....	4
2. OPIS PROCESA PROIZVODNJE CEMENTA .....	5
2.1. Sirovine za proizvodnju cementa .....	9
2.2. Transport sirovine .....	11
2.3. Mljevenje sirovine .....	12
3. ROLO PREŠA .....	14
3.1. Princip rada rolo preše .....	16
3.2. Valjci rolo preše .....	18
3.3. Održavanje valjaka .....	21
3.4. Zamjena valjaka .....	24
4. KOPPERN .....	27
4.1. Koppern Hexadur valjci .....	28
4.2. Proizvodnja Hexadur valjaka .....	30
4.3. Reference Hexadur valjaka .....	34
5. COST BENEFIT ANALIZA .....	36
5.1. Osnovna načela cost-benefit analize .....	36
5.2. Troškovi održavanja standardnih valjaka .....	39
5.4. Troškovi nabave Koppern-Hexadur valjaka .....	41
6. ZAKLJUČAK .....	47
6.1. Ostali izvori .....	48
6.2. Internet izvori: .....	48

## POPIS TABLICA I SLIKA

Slika 1. Shematski prikaz proizvodnje cementa.....	8
<a href="#">Slika 2.</a> Shematski prikazuje transport sirovine_ .....	11
<a href="#">Slika 3.</a> Shematski process meljave sirovine(cementa) u dva stupnja .....	13
<a href="#">Slika 4.</a> Komponente rolo preše .....	14
<a href="#">Slika 5.</a> Dvostruka zaklopka .....	16
<a href="#">Slika 6.</a> Princip rada sile između valjaka rolo preše .....	17
<a href="#">Slika 7.</a> Princip rada sile između valjaka rolo preše .....	18
<a href="#">Slika 8.</a> Izvedba valjaka.....	20
<a href="#">Slika 9.</a> Valjci nakon navarivanja.....	21
<a href="#">Slika 10.</a> Tablica mjerenja valjaka .....	22
<a href="#">Slika 11.</a> Tablica istrošenja valjaka.....	22
<a href="#">Slika 12.</a> Obnavljanje valjaka profiliranjem .....	23
<a href="#">Slika 13.</a> Obnavljanje valjaka profiliranjem .....	24
<a href="#">Slika 14.</a> Izgled HEXADUR površine .....	29
<a href="#">Slika 15.</a> Izgled čeličnog prstena.....	30
<a href="#">Slika 16.</a> Postavljanje Hexadur pločica .....	31
<a href="#">Slika 17.</a> Kapsula i punjenje prahom .....	32
<a href="#">Slika 18.</a> Kapsula HIP ( <b>Hot isostatic pressing</b> ) .....	33
<a href="#">Slika 19.</a> Završna obrada i testiranje valjka .....	34
<a href="#">Slika 20.</a> Tablica referenci u cementnoj industriji .....	35
<a href="#">Slika 21.</a> Troškovi održavanja valjaka.....	40
<a href="#">Slika 22.</a> Tablica kompletne revizije valjaka .....	41
<a href="#">Slika 23.</a> Usporedba tone/utrošak el.energije.....	43
<a href="#">Slika 24.</a> Porast el.energie tokom godina .....	43
<a href="#">Slika 25.</a> Cost benefit analiza Standardni valjci vs Hexadur valjci .....	44
<a href="#">Slika 26.</a> Cost benefit analiza Standardni valjci vs Hexadur valjci .....	45

# 1. UVOD

Cost- Benefit (C&B) analiza je metoda kojom se procjenjuju prednosti i nedostaci nekog projekta. To je postupak kojim se prosuđuju društvene koristi i društvene štete, koje će se predvidivo pojaviti ostvarenjem nekog projekta. C&B analiza, ujedno je i ključni dokument na osnovi kojega evaluator vrednuje prihvatljivost projekata i donosi odluku o njegovom financiranju i realizaciji.

Tema ovog završnog rada je benefit cost analiza implementacije novih valjaka rolo preše u poslovanje poduzeća. Benefit cost analiza metoda je kojom se procjenjuju prednosti i nedostaci nekog projekta odnosno ulaganja te stoga predstavlja osnovu za donošenje poslovnih odluka o investicijama, u ovom slučaju za donošenje poslovne odluke da li investirati u nove valjke rolo preše.

U radu je analizirana i prikazana isplativost projekta, analizirana su ulaganja u novu vrstu valjaka u cilju smanjenja troškova održavanja postojećih te smanjenja brojeva zastoja. Na taj način postiže se optimizacija proizvodnje cementa, koja je jedna od najvažnijih djelatnosti analiziranog poduzeća. Cilj implementacije novih valjaka u konačnici je stvaranje povećanog profita. Stoga je Cost-benefit analiza neophodna metoda za provjeru isplativosti navedenog ulaganja. Ponukani time da poboljšamo i optimiziramo proces, počeli smo istraživati valjke Hexadur tvrtke Koppern koji su po referencama drugih tvornica bolji i bez održavanja.

## 1.1. Definicija problema

U uvjetima suvremenog tržišta, cilj svakog poslovanja je povećanje profita. Jedan od načina povećanja profita je i ulaganje u nova znanja, strojeve i alate, odnosno investiranje. Kako bi se ispitala isplativost investicija kroz povrat uloženi sredstava u određenom vremenskom razdoblju, provodi se procjena opravdanosti ulaganja u određeni projekt. Glavni alat koji se koristi pri procjeni opravdanosti ulaganja je analiza troškova i koristi, odnosno Cost-benefit analiza. Problem analiziran u ovom diplomskom radu je pitanje isplativosti implementacije novih valjaka rolo preše.



## **1.2. Cilj i svrha rada**

Cilj ovog rada je na realnom primjeru Holcim Hrvatska dokazati potrebu za Cost-benefit analizom kao i njenu praktičnu primjenu na primjeru investiranja u ugradnju zamjenskih valjaka tvrtke Koppern-Hexadur za rolo prešu. Cilj rada ujedno je na temelju analiziranog primjera zaključiti da li ugradnja novih valjaka na rolo prešu doprinosi stvaranju većeg profita odnosno povećane poslovne uspješnosti Holcim Hrvatska.

Na osnovu definiranih problema i ciljeva rada formulirana su sljedeća istraživačka pitanja:

1. Što je cement ?
2. Koje su vrste cementa?
3. Koji su sastavni dijelovi cementa?
4. Što je cost-benefit analiza ?
5. Koje su karakteristike rolo preše?
6. Na koji način se može utjecati na vijek trajanja valjaka?

## **1.3. Hipoteza**

Hipoteza ovog istraživanja je da se primjenom cost-benefit analize može prikazati ušteda na održavanju standardnih valjaka, te produžiti vijek zamjene valjaka.

## **1.4. Metode rada**

U izradi diplomskog rada korištena je metoda klasificiranja podataka prikupljenih iz sekundarnih izvora kao što su knjige, znanstveni i stručni članci te statistička izvješća i internet.

Metodom deskripcije opisuju se činjenice kao i dosadašnje teorijske i stručne spoznaje o tržišnim pokazateljima poslovanja, na što se nadograđuje metoda klasifikacije. Zbog složenosti teme korištene su analize i sinteze kako bi se došlo do shvaćanja međuovisnosti pojedinih dijelova. Induktivno-deduktivnom metodom došlo se je do finalnih spoznaja i zaključaka.

Podaci i informacije prikupljeni su kroz stručne izvore kao što su knjige, članci i predavanja sa interneta, a posebno su važni podaci iz interne dokumentacije poduzeća.

## 1.5 Struktura rada

Diplomski rad sastoji se od 6 dijelova.

U prvom dijelu, Uvodu, obuhvaćeni su problem i predmet istraživanja, svrha i ciljevi istraživanja, te znanstvene metode korištene u diplomskom radu kao i struktura rada.

Drugi dio s naslovom Opis procesa proizvodnje cementa opisuje način proizvodnje cementa, sirovine koje su potrebne za proizvodnju cementa, njihov transport i aktivnosti koje su potrebne da bi cement nastao.

Treći dio pod naslovom Rolo preša obuhvaća pojmovno određenje rolo preše, valjaka te pojašnjava način održavanja valjaka, kao i zamjene valjaka.

Četvrti dio, Koppern, istražuje karakteristike Koppern Hederux valjaka, njihove reference, kao i način proizvodnje.

Peti dio čini Cost-benefit analiza koja obrađuje troškove održavanja standardnih valjaka, te troškove nabave Koppern-Hexadur valjaka.

Zaključak rada predstavlja sintezu cjelokupnog istraživanja.

## 2. OPIS PROCESA PROIZVODNJE CEMENTA

Cemet je mineralno vezivo, koje se najčešće primjenjuje u građevinarstvu kao vezivo prirodnih ili umjetnih agregata za proizvodnju betona i mortova.

Riječ *cement* dolazi od latinskih riječi **caedere** = lomiti i **lapidem** = kamen.

Cement je zajednički naziv za sva veziva s izrazito hidrauličkim svojstvima, što znači da vežu i stvrdnjavaju u dodiru s vodom, svejedno da li se nalaze na zraku ili pod vodom, jer reakcijom s vodom daju stabilne ili netopljive produkte (sve vrste cementa i hidraulično vapno).<sup>1</sup> To je najvažnije mineralno vezivo, koje pomiješano s vodom i agregatom daje beton.

Cementi se prema svojem mineralnom sastavu dijele u dvije skupine<sup>2</sup>:

- silikatni cementi,
- aluminatni cementi.

**Silikatni** su oni cementi kod kojih su glavni minerali klinkera silikati, a prema sastavu se mogu dalje podijeliti u podgrupe (čisti Portland cement, Portland cement s dodacima, pucolanski cement, metalurški cement, miješani cement, bijeli cement).

**Aluminatni cementi** kao glavne minerale klinkera sadrže kalcijeve aluminate.

Prema namjeni cementi se dijele na<sup>3</sup> :

- cemente opće namjene (među koje spada većina silikatnih cemenata)
- cemente posebne namjene ili specijalne cemente (cementi niske topline hidratacije, sulfatno otporni cementi, bijeli cement, aluminatni cement)

---

<sup>1</sup> Vrkljan D., Klanfar M.: Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina, Zagreb, 2010., str.1

<sup>2</sup> Ibid, str.1

<sup>3</sup> Ibid, str.1

Cement kao osnovni i nezamjenjivi građevni materijal ima masovnu upotrebu, čija je proizvodnja u svijetu dosegla 1,5 milijarde tona, dok je beton danas najšire upotrebljavani konstrukcijski materijal<sup>4</sup>. Cement je ipak samo međufazni proizvod, a ne finalni proizvod za specifičnu primjenu. Većina cementa koristi se kao sastojak smjese betona, a kvaliteta cementa uvelike utječe na kvalitetu betona i njegovo ekološko ponašanje.

## Proizvodni proces

Tipični proces proizvodnje cementa uključuje sljedeće faze:<sup>5</sup>

- 1) Eksploatacija mineralnih sirovina
- 2) Priprema (oplemenjivanje i homogenizacija) mineralnih sirovina za proizvodnju klinkera
- 3) Miješanje mineralnih sirovina i proizvodnja klinkera
- 4) Mljevenje klinkera i dodavanje aditiva te pakiranje cementa

**Eksploatacijom mineralne sirovine** (najčešće vapnenac i lapor), bušenjem i miniranjem ili strojnim iskopom, dobiva se materijal širokog granulometrijskog sastava i nejednolikog kemijskog sastava. Veličina zrna može se kretati od nekoliko milimetara pa do 1,5 ili više metara, a kemijski sastav varira kako se prostorno mijenja sastav ležišta. Potreban granulometrijski sastav sirovine razlikuje se kako se razlikuju postrojenja za proizvodnju cementa, a ovisi o korištenim drobilicama. Najčešće su kamenolomi povezani u proizvodni proces i drobilice se nalaze u sklopu postrojenja za proizvodnju cementa, međutim postoje i slučajevi gdje je potrebno je prethodno prilagoditi granulometrijski sastav i tipični je zahtjev da zrna materijala budu u rasponu 30 – 150 mm.

Ujednačeni kemijski sastav mineralne sirovine vrlo je važan za kvalitetu i svojstva cementa, stoga se mineralna sirovina predhomogenizira. Ovo se postiže uzimanjem uzoraka iz

---

<sup>4</sup> Best available techniques for the cement industry, CEMUREAU-The European Cement Association, Brussels, 1999.

<sup>5</sup> <https://www.holcim.hr/proizvodi-i-usluge/cement/kako-proizvodimo>

minskih bušotina radi kemijske analize, tako se dobivaju podaci o raspodjeli kemijskog sastava stijenske mase. Kod povoljnog rasporeda mineralnih supstanci u ležištu, od minirana sirovina se može homogenizirati već pri utovaru i transportu. Ili se pak predhomogenizacija odvija na deponijama tako što se sirovina deponira vertikalno u slojevima a eksploatira horizontalno presijecajući slojeve. Ovako homogenizirani i granulometrijski obrađeni materijal čini ulazni materijal postrojenja u proizvodnji cementa.

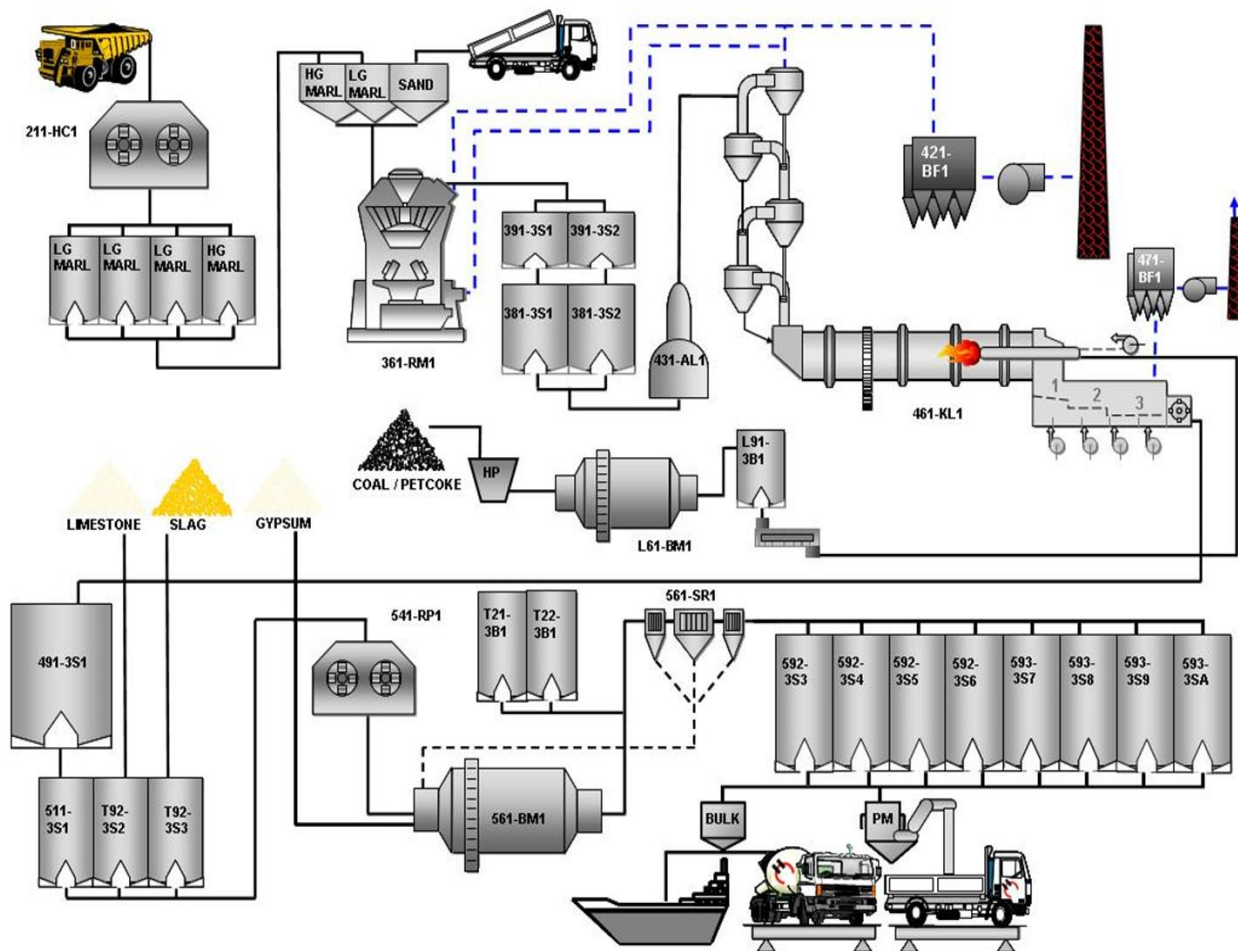
Daljnji proces se sastoji od mljevenja potrebnih sirovina na veličinu zrna tipično ispod 90  $\mu\text{m}$ , te doziranja i miješanja istih sirovina, čiji omjeri ovise o sastavu pojedine sirovine te vrste cementa koji se proizvodi.

Iz ovako pripremljene mješavine, na visokoj temperaturi (1400-1500  $^{\circ}\text{C}$ ) u rotacionoj peći nastaje klinker. Nakon izlaska iz peći klinker se hladi u uređaju za hlađenje a toplina dobivena hlađenjem se ponovno iskorištava u tornju za predgrijavanje.

Osim rotacijskih peći, za proizvodnju cementa koriste se i vertikalne (šahne) peći gdje nije potrebno mljevenje sirovine, već samo drobljenje, jer klinker nastaje taljenjem, dok je kod rotacionih peći za nastanak klinkera dominantno sinteriranje sitnih mljevenih čestica. Vertikalne peći se koriste za proizvodnju nekih vrsta specijalnih cemenata, među koje spada i aluminatni (naziva se još taljenim ili boksitnim cementom).

Klinker se melje pomoću rolo prese između dva valjka koje pritišće hidraulika i kugličnog mlina cementa, uz dodavanje gipsa i ostalih materijala kako bi se reguliralo vrijeme vezivanja cementa.

Cement se potom pohranjuje u skladišne silose odakle se pneumatskim putem vadi i prenosi do pogona gdje se pakira u vreće ili otprema u rasutom stanju. Može se otpremati, cisternama ili brodom.



Slika 1. Shematski prikaz proizvodnje cementa

Izvor: ABB.: "Tis-technical information sistem" cpmPlus knowledge menager 8.1 SP2

## 2.1. Sirovine za proizvodnju cementa<sup>6</sup>

Cementi se sastoje se od različitih materijala, a njihova zahtijevana svojstva definirana su odgovarajućim normama.

Tvornica cementa u Koromačnu koristi za proizvodnju cementa sljedeće sastojke<sup>7</sup>:

- Portland cementni klinker
- Granulirana zgura visoke peći
- Leteći pepeo
- Vapnenac
- Kalcijev sulfat

Navedeni sastojci dijele se na glavne i sporedne sastojke, pri čemu kalcijev sulfat spada u sporedne sastojke, a svi ostali u glavne sastojke.

### **Portland cementni klinker (K)**

Portland cementni klinker dobiva se sinteriranjem točno određene mješavine sirovina odgovarajućeg kemijskog sastava.

To je hidraulički vezivni materijal koji se mora sastojati od najmanje dvije trećine masenog udjela kalcijevih silikata ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  i  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), a ostatak se sastoji od faza klinkera koje sadrže aluminij i željezo te drugih spojeva. Maseni omjer ( $\text{CaO} / \text{SiO}_2$ ) ne smije biti manji od 2,0. Udio magnezijevog oksida ne smije prelaziti 5,0 % masenog udjela.

---

<sup>6</sup> Holcim Koromačno, dokumentacija tvornice: HRN EN 197-1:2012 Cement - 1. dio: Sastav, specifikacije i kriteriji sukladnosti za cimente opće namjene

<sup>7</sup> Holcim Koromačno, dokumentacija tvornice: HRN EN 197-1:2012 Cement - 1. dio: Sastav, specifikacije i kriteriji sukladnosti za cimente opće namjene

### **Granulirana zgura visoke peći (S)**

Granulirana zgura visoke peći dobije se brzim hlađenjem taline zgure pogodnog sastava, koja je dobivena taljenjem željezne rude u visokoj peći. Za ovaj materijal također su definirani kriteriji kemijskog sastava koja daju hidraulička svojstva kod odgovarajućeg načina aktiviranja.

### **Leteći pepeo (V)**

Općenito, leteći pepeo dobiva se elektrostatičkim ili mehaničkim taloženjem praškastih čestica iz dimnih plinova peći, loženih ugljenom prašinom.

Ovisno o kemijskom sastavu, leteći pepeo može biti silicijski ili karbonatni. U tvornici cementa u Koromačnu koristi se silicijski leteći pepeo. To je fini prah, uglavnom kuglastih čestica koje imaju pucolanska svojstva. Sastoji se od reaktivnoga silicijevog dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) i aluminijevog oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Ostatak sadrži željezni oksid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) i druge spojeve.

### **Vapnenac (LL)**

Vapnenac koji se dodaje u cimente potječe iz kamenoloma koji se nalazi u sklopu tvornice, a zadovoljava kriterije kemijskog sastava definiranih odgovarajućom normom.

### **Kalcijev sulfat**

Kalcijev sulfat jedan je od glavnih sporednih sastojaka koji predstavljaju posebno odabrane anorganske mineralne materijale. Takvi materijali dodaju se, jer poboljšavaju fizikalna svojstva cementa, a ne smiju biti prisutni više od 5%.

Kalcijev sulfat se dodaje drugim sastojcima cementa tijekom proizvodnje cementa za kontrolu vezivanja.

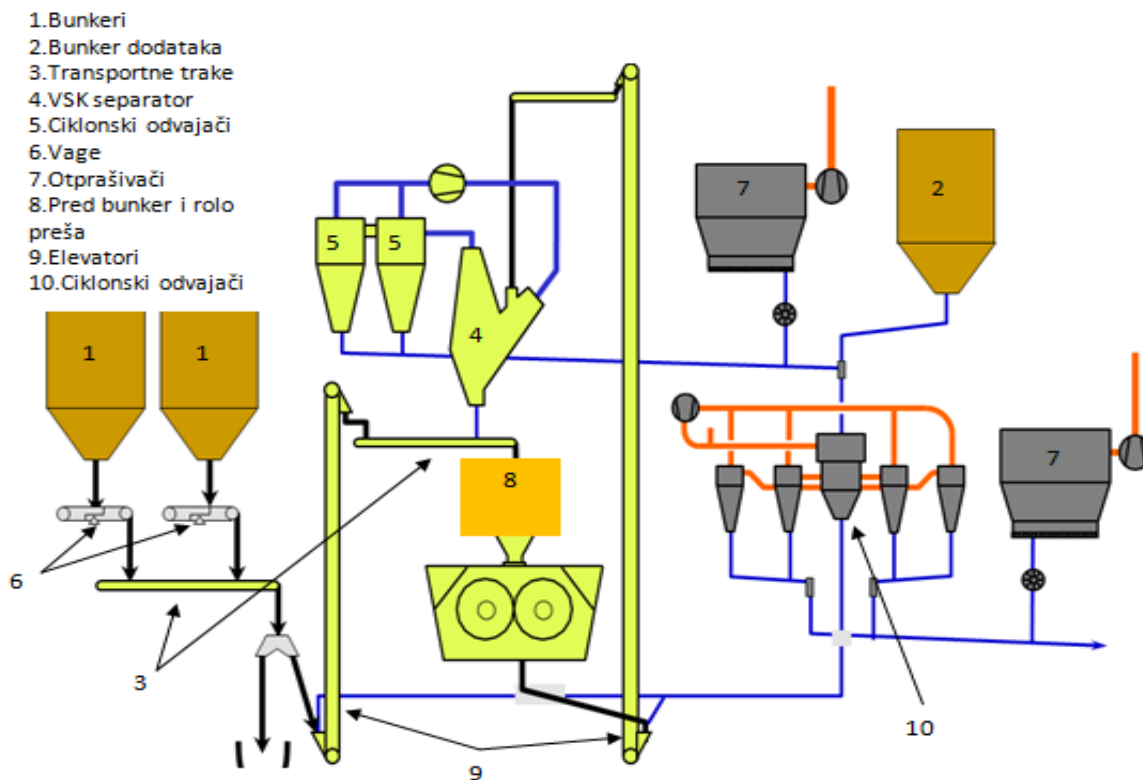
Oblik kalcijevog sulfata koji se koristi u tvornici cementa u Koromačnu je gips (kalcijev sulfat dihidrat,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), dobiven kao nusprodukt iz postupka odsumporavanja dimnih plinova u termoelektrani.



## 2.2. Transport sirovine

Transport sirovine za proizvodnju cementa odvija se preko oduzimača sirovine, vaga za točno doziranje, gumenih transportnih traka, elevatora, pa sve do bunkera kako bi se dobila idealna homogena mješavina za proizvodnju određenog tipa cementa, kompletan proces je automatiziran, a nadziru ga operateri u upravljačkoj sobi uz pomoć specijaliziranog industrijskog HR; softver-a koji je razvijen od strane Simensa-CEMAT koji je razvijen posebno za cementnu industriju.

Shematski prikaz  
Transporta sirovine:



Slika 2. Shematski prikaz Transporta sirovine<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Holcim Koromačno, dokumentacija tvornice, flowsheet

### **2.3. Mljevenje sirovine**

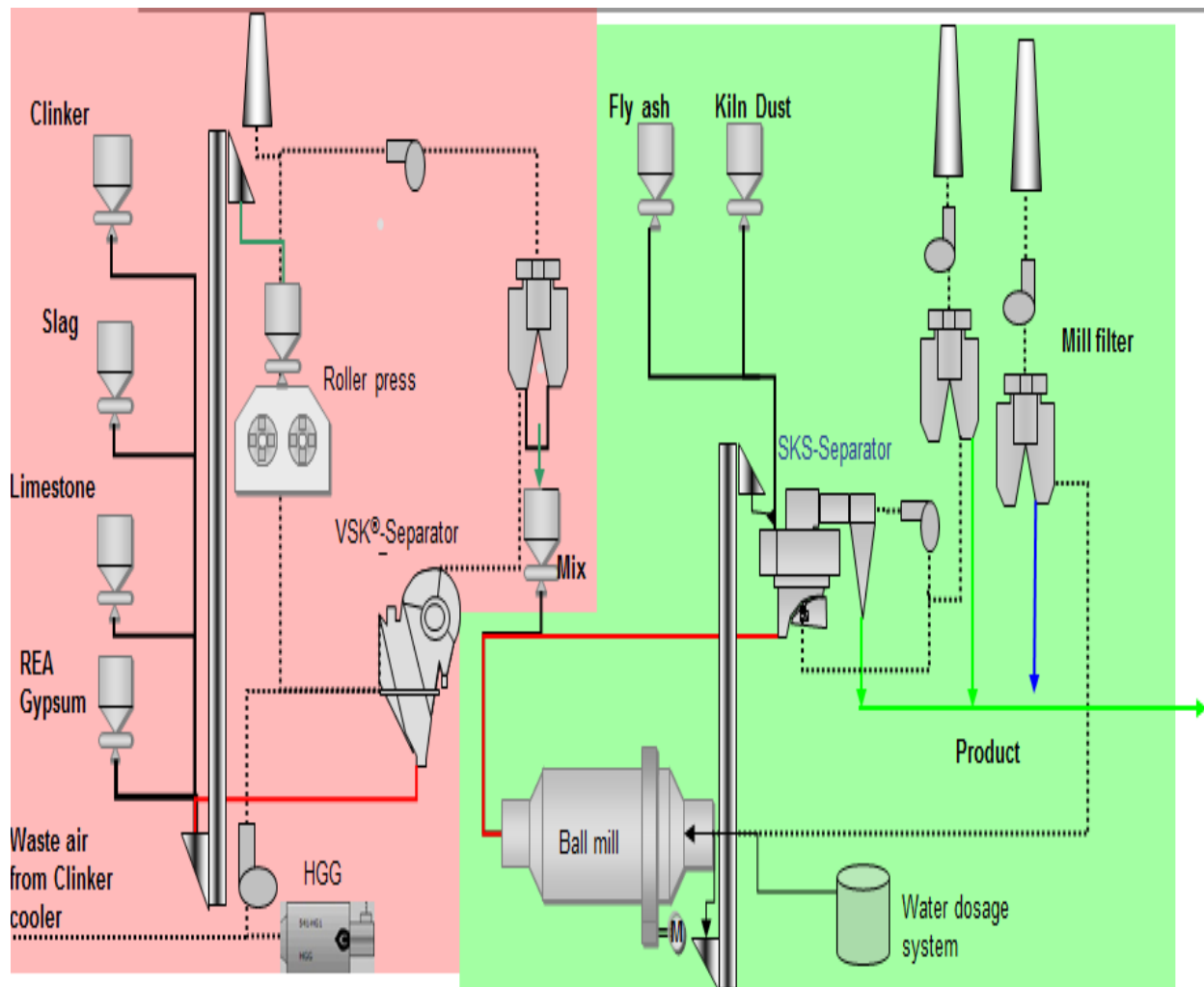
Mljevenje sirovine, odvija se u postrojenju za meljavu cementa koje je djelomično rekonstruirano 2005g, a izvedeno je u dva stupnja. Krug rolo preše sa VSK separatorom koji predstavlja prvu fazu mljevenja cementa (mix materijala do 60%). Cementni klinker i troska ili vapnenac (ovisno o tipu cementa) melju se u rolo preši i tako samljeveni dolaze u separator gdje se fina frakcija, odvaja i odlazi prema mlinu, a gruba se vraća nazad u krug rolo preše. U krugu mlina cementa odvija se druga faza mljevenja cementnog klinkera i cementnih materijala uz dodatak umjetnog ili prirodnog gipsa.

Tako samljeveni materijali odlaze u separator mlina cementa u koji se dodaju (ovisno o tipu cementa) leteći pepeo i filterska prašina. Separator odvaja finu frakciju-cement (gotov proizvod) koji se dalje transportira u silose cementa, dok se gruba frakcija vraća u krug mlina cementa.<sup>9</sup>

Na slici 3. prikazan je shematski proces mljevenja sirovine (cementa) u dva stupnja, crveni dio sheme, krug rolo preše i zeleni dio sheme, krug mlina cementa.

---

<sup>9</sup> [https://www.mzoip.hr/doc/tehnicko-tehnolosko\\_rjesenje\\_132.pdf](https://www.mzoip.hr/doc/tehnicko-tehnolosko_rjesenje_132.pdf)



Slika 3. Shematski proces mljevenja sirovine (cementa) u dva stupnja<sup>10</sup>

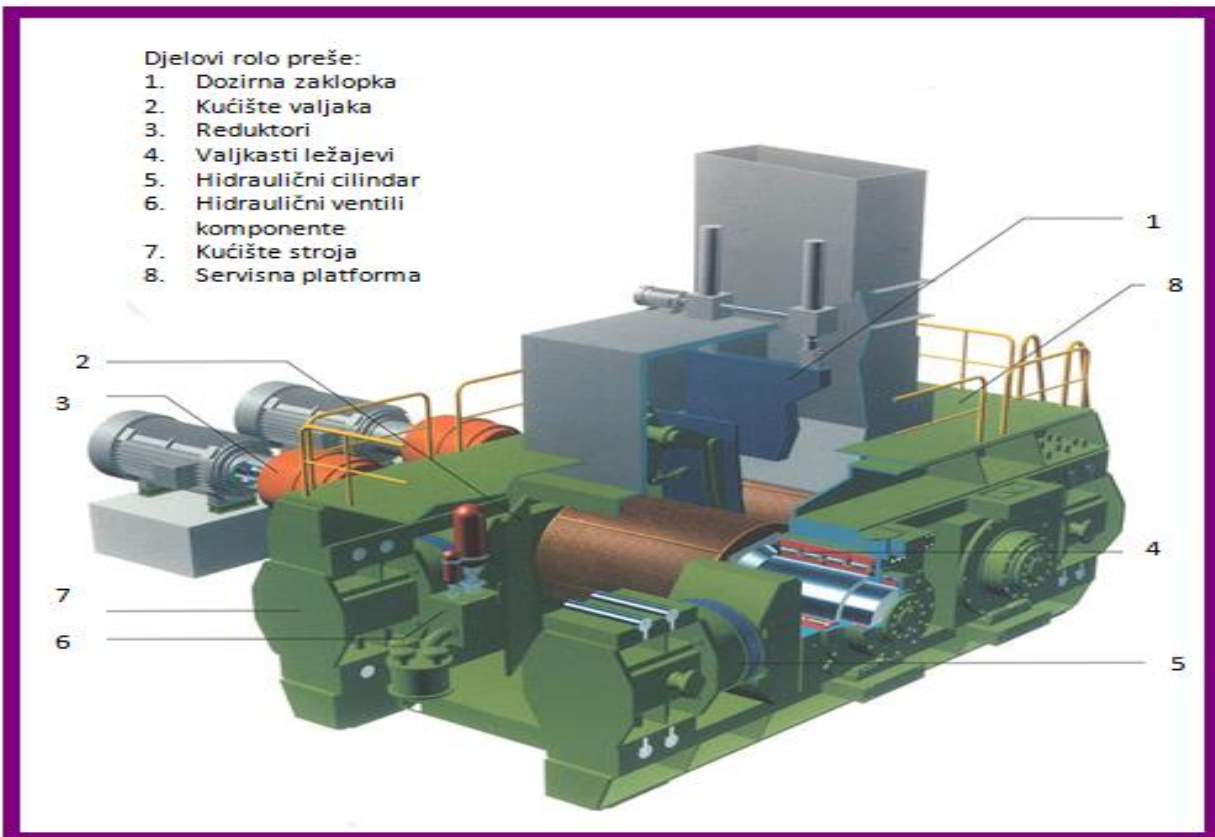
<sup>10</sup> Holcim Koromačno, dokumentacija tvornice, flowsheet

### 3. ROLO PREŠA

Rolo preša je stroj za mljevenje sirovine. Princip rada rolo preše temelji se na načelu komprimiranja visokog pritiska među česticama - proces koji je patentirao Prof. K. Schönert s Sveučilišta Clausthal u Njemačkoj 1977. godine.

Valjci za mljevenje postavljeni su horizontalno na metalnu konstrukciju stroja, a nošeni su kućištima u kojima se nalaze ojačani valjkasti ležajevi podmazivani uljem.

Rolo preša se sastoji od dva valjka, jednog fiksnog i jednog pomičnog preko kojeg djeluje hidraulična opruga, upravo taj pomični valjak predstavlja osnovni princip valjka za prešanje.



Slika 4. Komponente rolo preše<sup>11</sup>

<sup>11</sup> KHD,Humboldt Wedag, roller press

Pogonska snaga se prenosi na valjke za mljevenje preko višestupanjskih planetarnih reduktora s prvim stupnjem spur zupčanika. Reduktori su montirani na pokretnom dijelu valjka pomoću hidrauličkog stezanja spojke. Na taj način, istodobno je postignuta sigurnost od eventualnog klizanja, kao i brzo uklanjanje spojke ukoliko je to potrebno.

Oslonci okretnog momenta izravno su povezani za temelj stroja. Time se sprječava mogućnost vibriranja ili potresa stroja od djelovanja na valjkaste osovine i ležajeve.

V-remenski pogon može se koristiti za pogone do cca. 400 kW po motoru. Pogoni iznad 400 kW su opremljeni s tekućinom ili sigurnim setom za spajanje i kardan vratilom.

### **Tehnički podaci rolo preše**

Tip: RP13 - 140/140

Promjer valjka: 1 400 m m

Širina valjka: 1 400 m m

Propusnost: 554 - 683 t / h

Materijal za hranjenje: klinker, vapnenac, troska i vapnenac

Potrošnja energije: 1314 - 1648 kW

Snaga motora: 2 x 950 kW

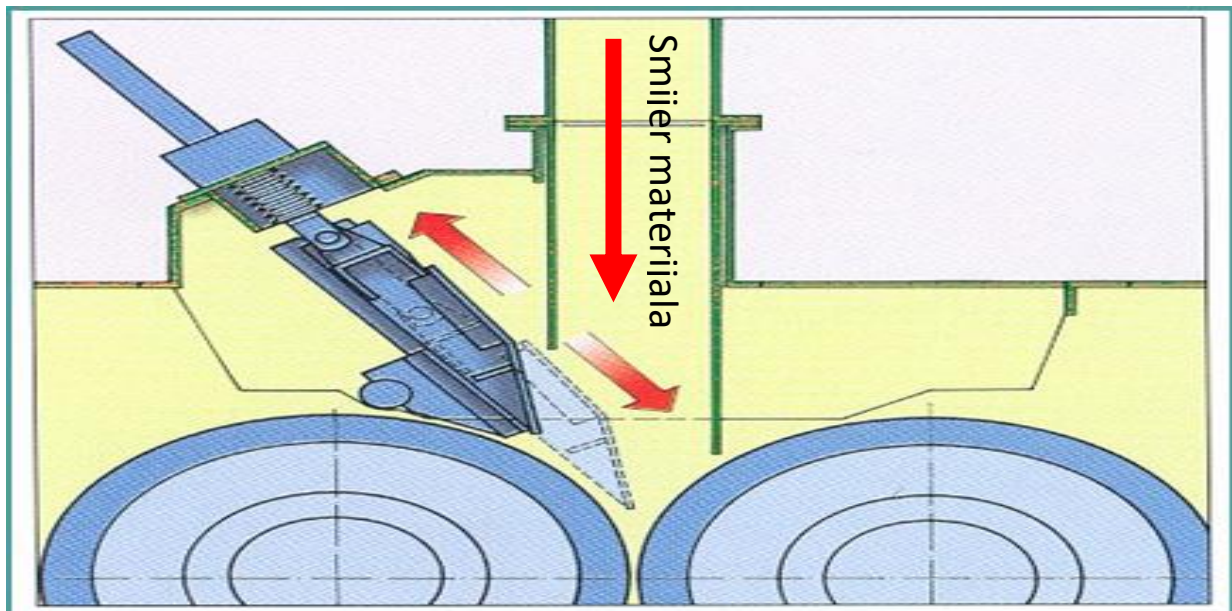
Brzina motora: 950 - 1500 / min (pretvarač frekvencije)

Temperatura materijala: <120 ° C

Obodna brzina valjaka: cca. 1,2 - 1,55 m / s.

### 3.1. Princip rada rolo preše

Proces meljave sirovine odvija se tako da materijal dolazi vertikalno na valjke preko dozirne zaklopke koja osigurava konstantnu debljinu posteljice materijala. Materijal potom dolazi u zahvat valjaka koji se okreću brzinom, cca 1,2 - 1,55 m/sec, koji su spojeni na planetarne reduktore preko kardana na elektro motore.



Slika 5. Dvostruka zaklopka<sup>12</sup>

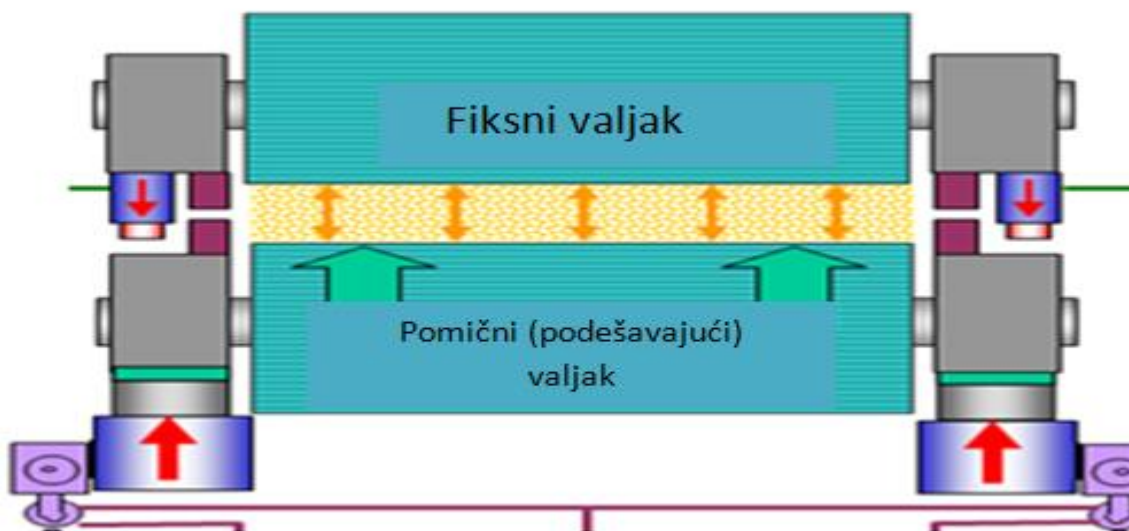
Valjci se kako smo ranije spomenuli okreću jedan prema drugom, od kojih je jedan valjak fiksni, a drugi pomični preko kojeg djeluje hidraulična opruga.

<sup>12</sup> KHD,Humboldt Wedag,:Feed gate

Upravo taj pomični valjak predstavlja osnovni princip valjka za prešanje sirovine. Tretiranjem posteljice od rasutog materijala do vrlo visokog tlaka, usitnjavanje se javlja interakcijom čestica dok se tlak prenosi

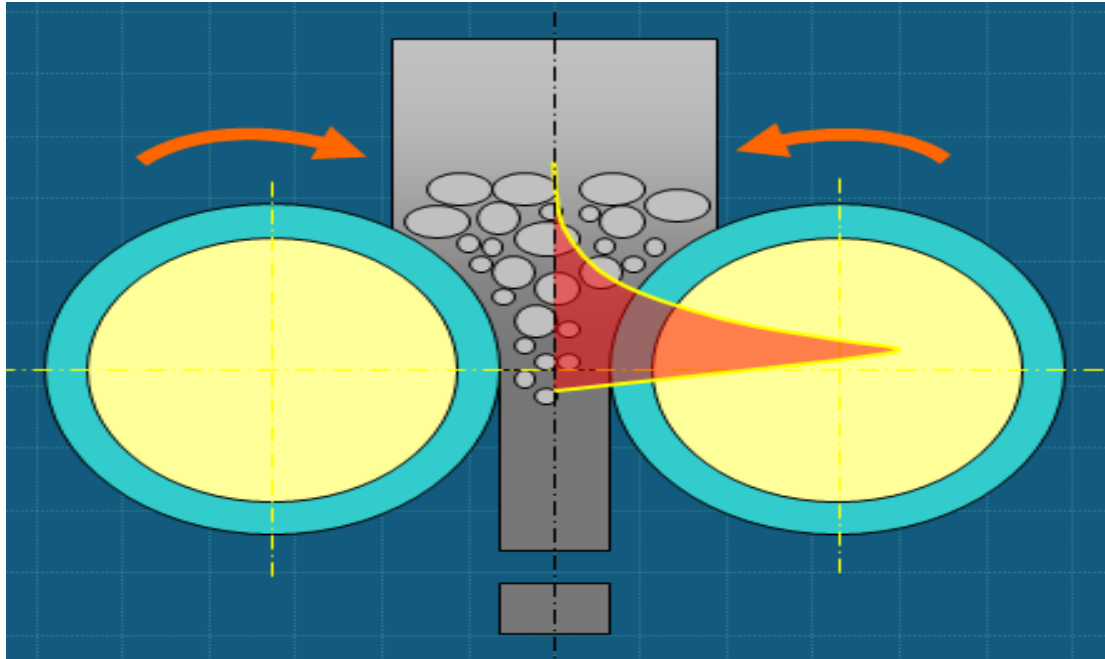
kroz cijelu posteljicu, visoki tlak izaziva naprezanja koja stvaraju mikroskopske pukotine (osobito u krhkom materijalu kao što je klinker i vapnenac), a to mijenja debljinu mljevenja i stvara značajnu količinu finih čestica (koje idu dalje u drugi krug mljevenja), te je potrebno manje snage za proizvodnju željenog proizvoda.

Na slici 6. i 7. Prikazan je princip rada rolo preše



Slika 6. Princip rada sile između valjaka rolo preše<sup>13</sup>

<sup>13</sup> KHD,Humboldt Wedag,: Operating Principle



Slika 7.Princip rada sile između valjaka rolo preše<sup>14</sup>

### 3.2. Valjci rolo preše

Valjci rolo preše napravljeni su od specijalne legure, odnosno čelika oznake AISI 4140. To je legirani ugljični čelik, a glavni legirajući elementi su: krom, molibden, mangan. Ima visoku otpornost na zamor, otpornost na abraziju i udar, čvrstoću i torzijsku čvrstoću.

---

<sup>14</sup> KHD,Humboldt Wedag,: Operating Principle



Tablica 1. Kemijski sastav čelika za izradu valjaka

<b>Krom, Cr</b>	0.80-1.10%
<b>Mangan, Mn</b>	0,75 - 1,0%
<b>Ugljik, C</b>	0,380 - 0,430%
<b>Silicij, Si</b>	0,15 - 0,30%
<b>Molibden, Mo</b>	0.15 - 0.25%
<b>Sumpor, S</b>	0.040%
<b>Fosfor, P</b>	0.035%

Izvor: Autor

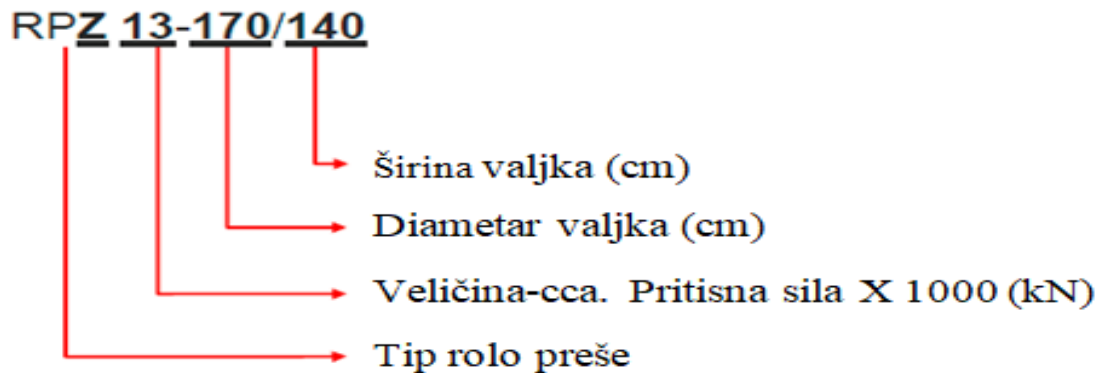
Kovanje ovog čelika treba izvoditi između 1200 i 900 °C. Što je niža temperatura završavanja od kovanja, to će biti sitnija veličina zrna. Ova legura ne bi smjela biti kovana ispod 900 °C i trebala bi biti lagano hladena nakon kovanja.<sup>15</sup>

Tako iskovani proizvod ide dalje na strojnu obradu sa odvajanjem čestica do gotovih mjera za montažu ležajeva te daljnje navarivanje površine valjka kako bi bio otporan na abraziju materijala sa kojima dolazi u dodir prilikom mljevenja cementa .

---

<sup>15</sup> <https://www.steelforge.com/alloy-steel-4140/>

Izvedba valjaka rolo preše u tvornici cementa Koromačno je sljedeća:



Slika 8. Izvedba valjaka<sup>16</sup>

Površina samog valjka gdje dolazi u doticaj sa materijalom za mljevenje navarena je tvrdim slojem i profilima postupkom MAG.

Početni tvrdi sloj navaren je žicom CORODUR® 760, a profiliranje se izvodi sa žicom FLUXOFIL 66 čija je Tvrdoća: 55 – 57 oznake HRC, kod postupka navarivanjem kompletan valjak se predgrijava na 150°C, te se površina navaruje robotom za navarivanje uz stalno mjerenje temperature, tako da temperatura ne pada ispod 150°C, nakon tvrdog sloja počinju se navarivati profili u razmaku cca 10,0 mm kako bi valjci imali što bolji zahvat odnosno što bolje trenje.

---

<sup>16</sup> KHD,Humboldt Wedag,:Roller pres tipe



Slika 9.valjci nakon navarivanja<sup>17</sup>

### 3.3. Održavanje valjaka

Ovisno o abrazivnosti materijala za mljevenje, valjci moraju biti obnovljeni u intervalima. Oni imaju tendenciju da postanu "mekši" s ponovljenim zavarivanjem i profiliranjem, što dovodi do nepopravljivih kvarova površine. Nakon određenog broja obnavljanja, cijeli valjak mora biti zamijenjen. Dakle održavanje valjaka, odnosno obloge, valjaka kako bismo produžili radni vijek valjka, a samim time smanjili troškove održavanja, životni vijek valjka sastoji se od tri faze: profiliranje, kompletna obnova i zamjena valjka. Kako bi se na vrijeme počelo sa profiliranjem valjci se mjere mjernim šablonama i pomičnim mjerilom, jedanput mjesečno, a dobivene rezultate pratimo pomoću Excel tablice (slika 10. i 11. ) u koju zapisujemo dobivene mjere te pratimo istrošenost samih profila i utora (početni tvrdi sloj). Kada su valjci istrošeni više od 5,0 mm do 9,0 mm, vrijeme je za profiliranje valjaka kako

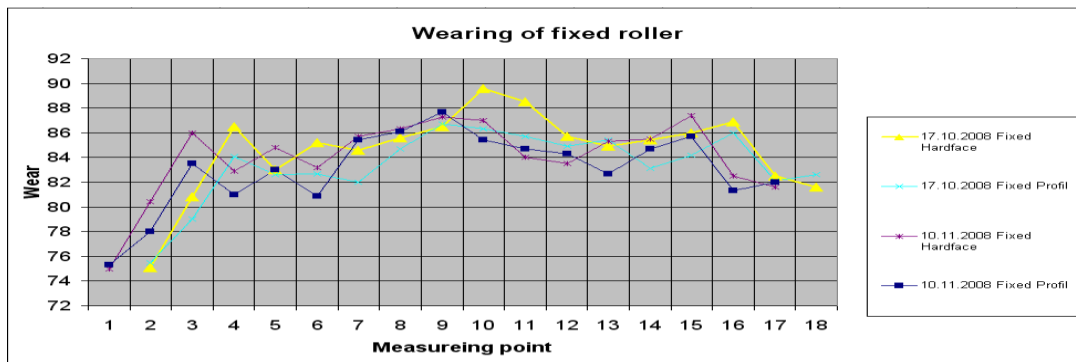
---

<sup>17</sup> KHD,Humboldt Wedag,:Roller after velding

ne bismo došli u zonu kad bi to bilo skuplje ili bi se valjci jednostavno toliko oštetili da bi popravak bio jako skup.

Date	Roller	Measuring point	Measuring point																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
17.10.2008	Movable	Hardface	82,7	85,4	85,1	85	84,7	84,6	84,9	84,6	84,5	84,6	84,6	84,2	84,4	84,6	84,9	85	85,1	81,8
		Profil	81,6	82	82	82,3	81,9	81,7	81,8	81,5	81,4	81	81	80,9	81	81,3	81,2	81,5	81,8	81
17.10.2008	Fixed	Hardface	80,9	84,8	85,4	85,3	85,4	84,2	83,9	84,2	84,7	85	85,2	85	85	85,3	85,3	80,2		
		Profil	82	81,8	82,8	81,9	82,9	82,2	82,2	83,2	83,2	83,2	83,5	83,6	83,8	84	83,9	83,9	80,8	
10.11.2008	Movable	Hardface	82,8	85,4	85,1	85,2	84,7	84,9	85,1	84,9	84,8	84,8	84,7	84,4	84,6	84,8	84,9	85	85,2	81,8
		Profil	81,9	82	82	82,5	82	82	81,9	81,8	81,5	81,3	81,1	81,1	81,1	81,5	81,4	81,7	81,8	81
10.11.2008	Fixed	Hardface	80,9	85	85,4	85,3	85,6	84,5	84,1	84,7	85	85	85,2	85,2	85,5	85,7	85,8	85,8	80,4	
		Profil	82,1	81,8	82,8	82,4	83	82,6	82,4	83,2	83,6	83,6	83,9	84	84	84,3	84,2	83,9	81	
26.11.2008	Movable	Hardface	82,9	85,5	85,5	85,2	84,7	85	85,2	84,9	84,8	84,9	84,7	84,7	84,6	84,9	85	85,1	85,2	81,8
		Profil	82	82,1	82	82,6	82,2	82	82,2	81,8	81,7	81,4	81,4	81,4	81,5	81,7	81,5	81,7	81,9	81
26.11.2008	Fixed	Hardface	81	85	85,5	85,6	85,6	84,7	84,3	84,7	85	85	85,4	85,4	85,6	85,9	86	85,8	80,4	
		Profil	82,1	81,8	83,3	83,2	83,6	83	82,9	83,3	83,7	83,7	84	84,1	84,1	84,5	84,5	84,2	81	
12.12.2008	Movable	Hardface	83,2	85,5	85,5	85,3	85	85,5	85,5	85,3	85,4	85,5	85,1	85,1	85,2	85,2	85,6	85,9	82	
		Profil	82,2	82,1	82,3	82,8	82,7	82,6	82,7	82,3	82,2	82	82	82	81,9	82,1	82	82,1	82,5	81,2
12.12.2008	Fixed	Hardface	81,2	85,1	85,5	85,8	85,7	84,7	84,4	84,7	85,2	85,3	85,6	85,4	85,6	85,9	86,1	85,8	80,4	
		Profil	82,1	82,2	83	83,5	83,9	83,1	83	83,6	83,9	83,9	84,3	84,4	84,7	84,9	84,8	84,4	81	
27.1.2009	Movable	Hardface	83,4	85,5	85,6	85,8	85,2	85,5	85,6	85,5	85,4	85,5	85,6	85,2	85,1	85,3	85,5	85,9	85,9	82,1
		Profil	82,4	82,1	82,5	83,2	83,3	83,1	83,3	83	82,9	82,7	82,5	82,3	82,3	82,3	82,5	82,5	82,7	81,3
27.1.2009	Fixed	Hardface	81	85,1	85,6	85,8	85,8	84,8	84,5	84,8	85,3	85,5	85,7	85,7	85,7	85,9	86,1	85,8	80,4	
		Profil	82,1	82,2	83,5	83,7	83,9	83,2	83,1	83,6	84	84	84,3	84,4	84,6	84,5	84,8	84,4	81,1	
Diference	Movable	Hardface	-0,7	-0,1	-0,5	-0,8	-0,5	-0,9	-0,7	-0,9	-0,9	-0,9	-1	-1	-0,7	-0,7	-0,6	-0,9	-0,8	-0,3
		Profil	-0,8	-0,1	-0,5	-0,9	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,3	-1	-1,3	-1	-0,9	-0,3
Diference	Fixed	Hardface	-0,1	-0,3	-0,2	-0,5	-0,4	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,7	-0,7	-0,9	-0,8	-0,5	-0,2	0
		Profil	-0,1	-0,4	-0,7	-1,8	-1	-1	-0,9	-0,4	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,5	-0,9	-0,5	-0,3

Slika 10. Tablica mjerenja valjaka<sup>18</sup>

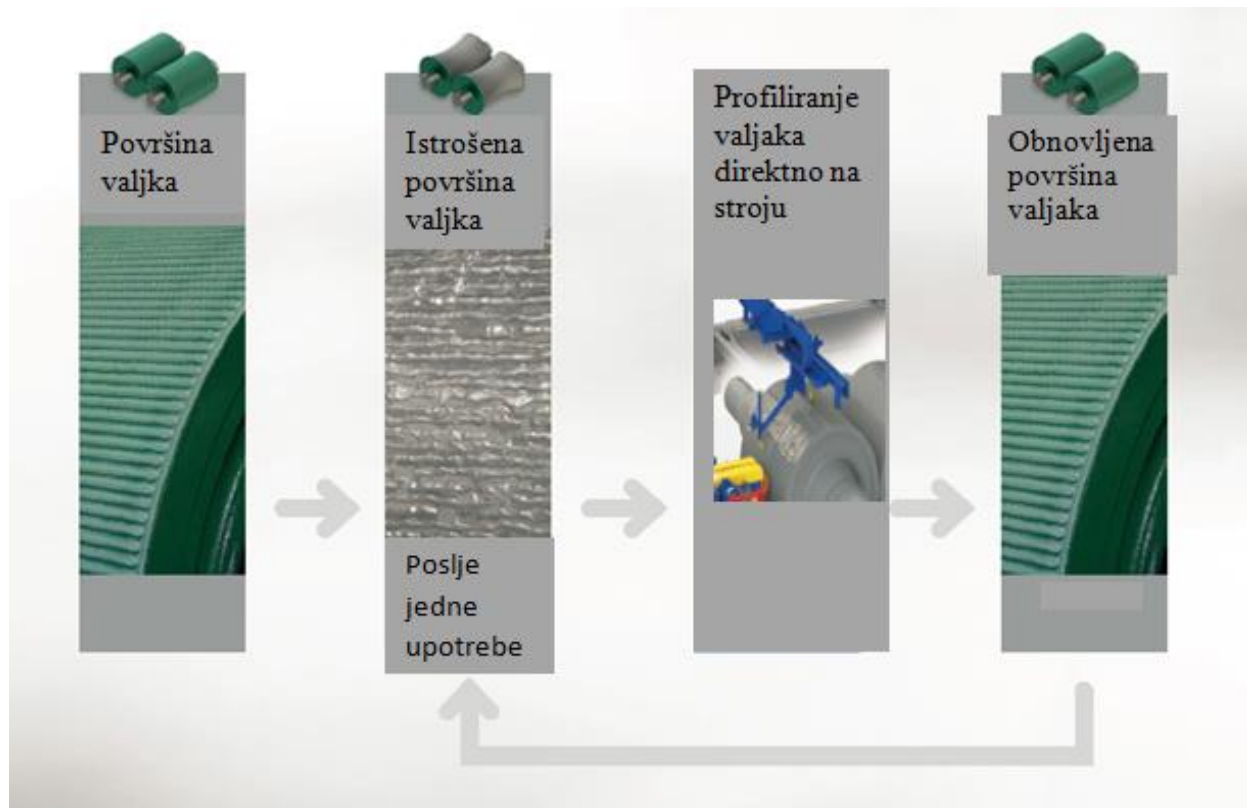


Slika 11. Tablica istrošenja valjaka<sup>19</sup>

<sup>18</sup> KHD, Humboldt Wedag, : Table of measuring point

<sup>19</sup> KHD, Humboldt Wedag, : Wearing of rollers

Profiliranje se izvodi na samom stroju (valjkastoj preši) pomoću robotiziranog aparata za zavarivanje, kojeg montiramo na kućište stroja, valjke prethodno očistimo (pjeskarenjem), te zagrijavamo na 150°C te nastavljamo sa profiliranjem.



Slika 12.Obnavljanje valjaka profiliranjem<sup>20</sup>

Profiliranje valjaka možemo izvoditi ovisno o stanju baznog materijala samog valjka koji su kroz meljavu izloženi stresu i naprezanju tako da cca nakon (šest 6) profiliranja valjci idu na kompletnu obnovu, šta znači da se valjci moraju skinuti sa stroja, demontirati ležajeve i ostale dijelove kako bi se valjci prevezli u specijaliziranu tvrtku koja se bavi obnovom valjaka.

<sup>20</sup> KHD,Humboldt Wedag,: Roller refurbishment

### 3.4. Zamjena valjaka

Kako smo spomenuli u prethodnom poglavlju nakon određenog broja profiliranja valjaka, valjci se moraju demontirati sa stroja kako bi se mogli kompletno obnoviti, a zamjena valjka vrši se pod nadzorom servisera ovlaštenog od strane proizvođača stroja, u ovom slučaju KHD Humbolt Wedag, čiji ćemo terminski plan objasniti.

Plan procesa zamjene valjaka valjkaste preše												
Activity	Dani, 2 x12 h Radnog vremena											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pomicanje predbunkera u poziciju za demontažu	█											
Demontaža ožičenja	█											
Odspajanje cjevi podmazivanja valjaka	█											
Odspajanje kardanske spojke i planetarnog reduktora	█											
Demontaža vijaka glavnog kućišta		█										
Demontaža valjaka i transport u radionicu		█										
Demontaža ležajeva sa starih valjaka i montaža ležajeva na nove valjke		█	█									
Prevoz valjaka iz radionice na mjesto ugradnje i ugradnja u kućišta				█								
Podizanje gornjeg kućišta vraćanje na mjesto ugradnje, pritezanje vijaka kućišta				█								
Montaža planetarnih reduktora te kardanske				█								
Montaža cjevovoda podmazivanja valjaka					█							
Montaža ožičenja					█							
Pomicanje predbunkera u poziciju rada					█							
Pokretanje i uštimanje rolo preše						█	█	█	█	█		

Slika 13. Plan demontaže valjaka<sup>21</sup>

Na slici 13. Opisan je plan demontaže i montaže valjaka u devet radnih dana, a rad se izvodi u dvije smijene po 12. Sati neprekidno.

<sup>21</sup> KHD,Humboldt Wedag,: Assembly process plan for the roller change RP13

1. Prvi dan vrši se izolacija i zaključavanje kompletnog postrojenja, demontaža senzora te ožičenja po rolo preši, nakon toga demontira se i pomiče bunker iznad preše, demontiraju se cijevi podmazivanja ležajeva, a zatim se skidaju kardanski spojevi i planetarni reduktori koji su spojeni na valjke.
2. Drugi dan nastavlja se sa demontažom zaklopke (šibera) te dozirne zaklopke, demontiraju se bočni brisači valjaka, a onda se demontira gornja konstrukcija koja drži valjke, zatim se valjci dižu servisnom dizalicom i spuštaju na kamion labudicu te transportiraju u radionu gdje se valjci čiste te se nastavlja sa demontažom ležajeva.
3. Treći dan demontiraju se kućišta ležajeva, ležajevi te se mjenjau semerinzi i brtveni materijal koji se mora zamijeniti, dalje se nastavlja sa montažom kućišta i ležajeva na nove valjke.
4. Četvrti dan novi valjci se transportiraju do pozicije gdje se podižu i montiraju u kućište stroja, zatim se vraća gornja konstrukcija stroja te se zatežu vijci kućišta, montiraju se bočni brisači i dozirna zaklopka te zaklopka (šiber).
5. Peti dan montiraju se planetarni reduktori i kardanski spojevi koji povezuju motore i planetarne reduktore, vraća se na mjesto bunker preše te montiraju njegovi dijelovi.
6. Šesti dan montiraju se cijevovodi podmazivanja, ožičenja raznih senzora, te pokreće sustav podmazivanja i sustav podmazivanja masti te se prati da li svi sustavi rade.
7. Sedmi dan namještaju se valjci kako bi bili paralelni jedan sa drugim, fino se podešavaju bočni brisači kako ne bi došlo do sipanja materijala, te se mjeri maksimalni i minimalni razmak između valjaka kako u radu ne bi došlo do dodirivanja.
8. Osmi dan skidamo izolaciju pogona te se isprobavaju svi sustavi, i senzorskom diagnostikom, prate se parametri stroja te se stroj pokreće u praznom hodu, tako stroj radi 4-5 sati te se prate temperature ležajeva valjaka.
9. Deveti dan pokrećemo stroj i započinjemo meljavu sa smanjenim kapacitetom za cca 50%, stroj tako radi 2. Do 4. Sata kada stroj ponovno zaustavljamo i otvaramo

revizionna vrata te okrećemo valjke na pomoćni pogon te vizualno pregledavamo valjke te po potrebi fino namjestimo boćne brisaće i ako je sve u redu zapoćinjem sa punim kapacitetom meljave.



## 4. KOPPERN

Koppern tvrtka osnovana 1898. godine u Hattingenu, Njemačka, Köppern je obiteljsko poduzeće koje odražava svoje tradicionalne vrijednosti vodeće tehnologije i visoko pouzdanu kvalitetu proizvodnje, zajedno s jedinstvenim pogledom na individualne potrebe svojih kupaca.

Povijest tvrtke vrlo je povezana s briketiranjem tvrdog ugljena, procesu koji seže do sredine 17. stoljeća. No, do kraja 19. stoljeća proizvodnja briketa postala je suvremeni industrijski proces. Mehaničke preše tada su korištene za narednih 50 godina za generiranje briketa za upotrebu kao domaćeg i industrijskog goriva, dok se ugljen počeo postupno zamijeniti uljem i plinom.

Wilhelm Köppern, direktor rudarske tvrtke, kupio je 'Berninghaus-Hütte' u Hattingenu, na rijeci Ruhr, 1898. godine. Rafiniranje izvornog belgijskog dizajna valjkastih preša tamo je donio veliku korist rastuće potražnje za proizvodnjom briketa. Njegov sin i zet, Leopold Köppern i Otto Schäfer preuzelo su tvrtku 1926., preimenujući ga Maschinenfabrik Köppern. Kako su oni stalno širili obiteljsko poslovanje, stekavši tržišni udio i proširivši svoju bazu korisnika diljem Europe pa sve do od Južne Amerike i Kine.

Nakon Drugog svjetskog rata, smanjena potreba za domaćim ugljenom prisilila je Köppern na traženje novih aplikacija i razvoj njihove tehnologije u skladu s tim. To je, primjerice, uključivalo i obradu vatrostalnih materijala, gnojiva, kemijskih proizvoda i spužvastog željeza.

Nakon uvođenja visokotlačnih valjkastih valjaka (HPGR) 1980-ih, Köppern se uspješno proširio i na cementnu industriju, izgradivši snažnu poziciju inovativnim dizajnom tiska, kao i jedinstvenim sustavom zaštite od habanja HEXADUR®. Köppernovi HPGR-ovi sada se naširoko koriste za preradu sirovina, klinkera i troske za proizvodnju cementa, kao i raznih ruda i minerala, uključujući željezne rude, zlato, bakar, nikal, boksit, vanadij, molibden i dijamantnu rudu.

Da bi zadovoljio zahtjeve najviših performansi postrojenja koji rade s HPGR-om, Köppern je potrošio svoj portfelj proizvoda s klasifikatorima Koesep-zraka. Prva primjena kombiniranog klasifikatora zraka "2-Stage Koesep" na industrijskoj razini bila je 2015. godine.

Köppern je prodao nekoliko stotina valjkastih preša u više od 60 zemalja za brikiranje, zbijanje i usitnjavanje. U suradnji s našim kupcima, optimizirani procesi su razvili naši zaposlenici osoblja procesnih inženjera i testirani u vlastitom pilotskom pogonu Köppern, potpomognuti pokusima koji uključuju više od 2.000 različitih materijala.<sup>22</sup>

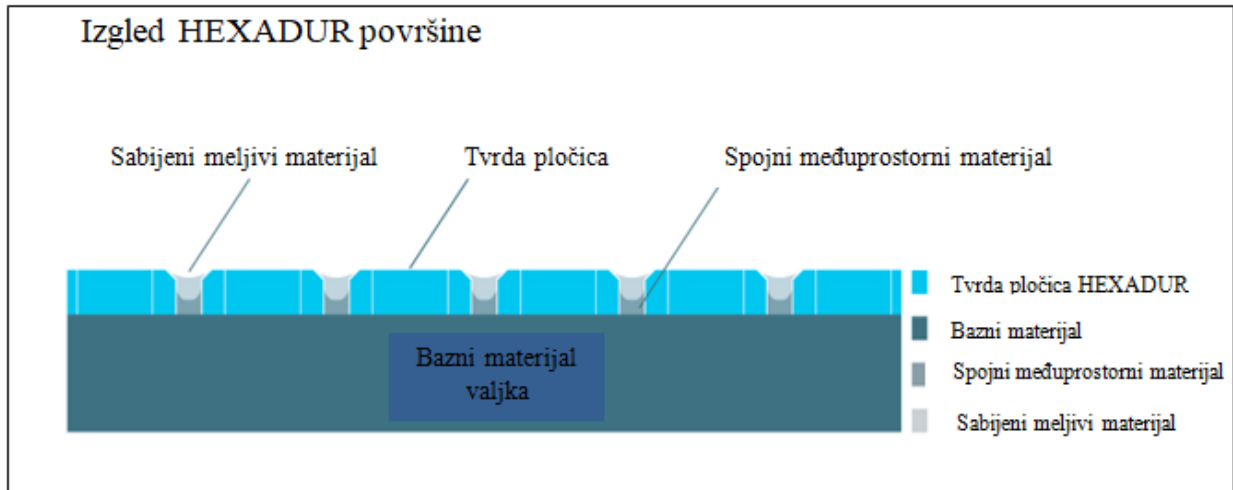
#### **4.1. Köppern Hexadur valjci**

Köppern Hexadur valjci za razliku od standardnih kovanih – zavarenih valjaka, koji naravno, imaju koristi od atraktivnih početnih cijena, ali njihovi troškovi rada čine ih sve više neekonomičnim tijekom vremena. Köppern je tijekom ranih 90-ih odgovorio na ovaj izazov razvijanjem inovativnog i jedinstvenog sustava zaštite od habanja HEXADUR®.

HEXADUR® valjci za valjkaste preše imaju iznimno otpornu površinu s visokim sadržajem tvrdih faza u heksagonalnim pločicama različitih debljina (makro-profiliranje). Pločice su izrađene od praškastog metalurškog čelika za alate ili metalnih matričnih kompozita (powder-metallurgical tool steel or metal matrix composites MMC) s visokim stupnjem otpora na trošenja. Oni se zatim difuzijski vezuju na bazni prsten visoke čvrstoće u vrućem izostatičkom procesu prešanja (HIP), što daje snažnu otpornost na oštećenja.

---

<sup>22</sup> Izvor: <http://www.koeppern-international.com/company/history/>



Slika 14. Izgled HEXADUR površine<sup>23</sup>

Tijekom rada, praznine između pločica se lagano ispunjuju sa sabijenom materijalom, upravo ovo stvara sloj zajedno sa Hexadur pločicama u homogeno zaštitnu površinu, koji također poboljšava ponašanje posteljice materijala između valjaka kako bi mljevenje bilo što bolje te povećava trenje koje je potrebno za meljavu.

Upravo zato su se HEXADUR® valjci pokazali u cementnoj industriji sa izvrsnom otpornošću na trošenje gdje se obrađuju troske ili materijalne mješavine koje sadrže trosku.

Uvođenje visokotlačnog mljevenja u cijeloj cementnoj industriji već je stvorilo ogromne uštede u troškovima energije i trošenja materijala. No, u mnogim primjenama, prekomjerno trošenje valjaka ograničava ekonomičnu upotrebu valjkastih preša. U tom smislu, Köppernov HEXADUR® sustav za zaštitu od habanja pokazao se optimalnim rješenjem za sve korisnike koji imaju veliku potrošnju valjaka, odnosno moraju profilirati i navarivati valjke.

<sup>23</sup> Izvor: <http://www.koepfern-international.com/products/wear-protection/hexadur/>

I kao univerzalno rješenje za industriju, HEXADUR® valjci mogu se ugraditi u rolo preše svih dobavljača, različitih površinskih profila te valjaka različitih širina i promjera do 2.000 mm.<sup>24</sup>

## 4.2. Proizvodnja Hexadur valjaka

HEXADUR® - valjci jedinstvenog su dizajna i visokotehnološke proizvodnje, u sljedećim poglavljima prikazujemo glavne korake procesa proizvodnje HEXADUR® valjaka, koji se proizvode u našim pogonima sa, ISO 9001-2008 certifikatima:

1. Korak- izrađuje se bazni prsten od čvrstog čelika, te taj precizno obrađeni čelični prsten pruža temelj za primjenu zaštitnog sloja Hexadur obloge valjaka.



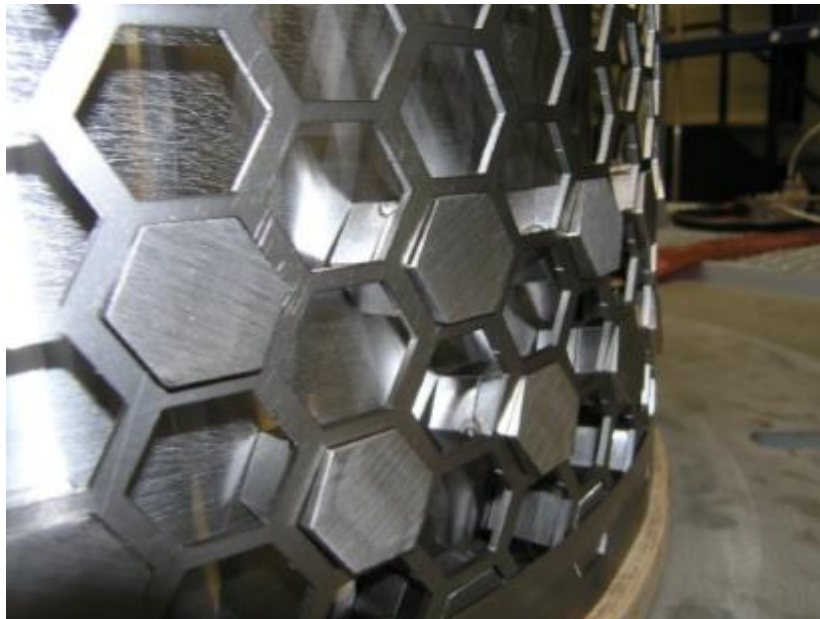
Slika 15. Izgled čeličnog prstena<sup>25</sup>

---

<sup>24</sup> Izvor: <http://www.koepfern-international.com/products/wear-protection/hexadurr/products-and-performance/>

<sup>25</sup> Izvor: <http://www.koepfern-international.com/products/wear-protection/hexadurr/production/>

2. Korak- na bazni prsten postavlja se kavez koji ima na sebi šupljine u koje se postavljaju šesterokutne pločice Hexadur kako bi pločice ostale na mjestu u daljnjem procesu proizvodnje.



Slika 16. Postavljanje Hexadur pločica<sup>26</sup>

3. Korak- tako postavljene pločice na prstenu postavljaju se u kapsulu od metalnog lima. Poklopac kapsule je zavaren i nepropustan te se postavljaju cjevčice kroz koje punimo homogenizirani metalni prah koji ispunjava šupljine između šesterokutnih pločica Hexadura, a kompletna kapsula postavljena je na vibracijski stol kako bi se metalni prah čim bolje sabio u šupljine između pločica. Upravo ovaj prašak kasnije stvara čvrsti međuprostorni materijal.

---

<sup>26</sup> Izvor: <http://www.koeppern-international.com/products/wear-protection/hexadurr/production/>



Slika 17. Kapsula i punjenje prahom<sup>27</sup>

4. Korak- tako ispunjena kapsula postavlja se u stroj sa kapsulom u kojoj se odvija, **HIP (Hot isostatic pressing)** proces podvrgava komponentu kako na povišenu temperaturu tako i na isostatski tlak plina u posudi za zadržavanje visokog tlaka. Tlačni plin koji je najčešće korišten je argon. Koristi se inertni plin tako da materijal ne reagira kemijski. Komora se zagrijava, uzrokujući povećanje pritiska unutar posude. Mnogi sustavi koriste povezanu pumpnu pumpu kako bi postigli potrebnu razinu pritiska. Tlak se nanosi na materijal iz svih smjerova (stoga pojam "izostatičan"). Za obradu odljevaka, metalnih prašaka se takvom metodom mogu pretvoriti u kompaktne krute tvari, uključuje istovremenu primjenu visokog tlaka (1.035 do 2.070 bara ) i povišene temperature (do 2500 °C) u posebno konstruiranoj posudi.

---

<sup>27</sup> Izvor: ibidem



Slika 18. Kapsula HIP (Hot isostatic pressing)<sup>28</sup>

5. Korak- nakon HIP metode obloga valjka se vadi iz metalne kapsule i obrađuje brušenjem na konačnu mjeru, a nakon toga, potrebna konačna svojstva materijala postižu se grijanjem obloge valjka na cca. 1000 ° C, nakon čega slijedi brzo hlađenje, nakon toga obloga valjka se testira na tvrdoću koja mora iznositi: HRC-62-65.

---

<sup>28</sup> Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hot\\_isostatic\\_pressing](https://en.wikipedia.org/wiki/Hot_isostatic_pressing)



Slika 19. Završna obrada i testiranje valjka<sup>29</sup>

### 4.3. Reference Hexadur valjaka

Kada je prvi put predstavljen svijetu 1996. godine, Köppernova jedinstvena rješenja za zaštitu od habanja HEXADUR® za valjkaste preše za mljevenje u cementnoj industriji utemeljena je na tri glavna kontinenta, a trenutno se uvodi i na tržište Južne Amerike. Naša klijentela prepoznala je HEXADUR® Valjke i obloge za valjkaste preše Köppernovih ili drugih dobavljača, te danas bilježimo narudžbe od preko 200 valjaka koje ubrzano rastu. U tablici ispod je selekcija referenci, gdje korisnici već imaju koristi od znatno više dosljednosti u radnim uvjetima za svoje primjene meljave cementa i troske, u kombinaciji s ekstremno dugim vijekom trajanja valjaka zaštićenih od habanja HEXADUR® zaštitom .<sup>30</sup>

---

<sup>29</sup> Izvor: <http://www.koeppern-international.com/products/wear-protection/hexadurr/production/>

<sup>30</sup> Izvor: <http://www.koeppern-international.com/products/wear-protection/hexadurr/references/>



Country	Material	Roll size outer dia. x inner dia. x width in mm	HPGR supplier	Hours of operation up to 02/2014	Number of HPGRs	First HEXADUR® installation
<b>Europe</b>						
Norway	Clinker	1,000 x 710 x 930	Köppern	75,000	1	1996
Austria	Clinker / Slag	1,000 x 600 x 630	Other	43,000	1	2001
Germany	Clinker	1,400 x 950 x 1,200	Other	76,000	2	2001
Italy	Clinker	1,400 x 1,000 x 660	Other	> 33,000	1	2003
Austria	Clinker	1,000 x 690 x 380	Other	30,230	1	2008
Slovakia	Clinker / Slag	1,500 x 1,030 x 1,300	Köppern	10,464	1	2011
Suisse	Clinker	1,150 x 765 x 630	Other	> 8,000	1	2012
Germany	Clinker	1,400 x 1,000 x 530	Other	> 10,000	1	2012
France	Clinker / Slag	1,000 x 690 x 380	Other	Ordered	1	2014
<b>Asia</b>						
India	Clinker	1,200 x 840 x 1,200	Köppern	40,500	2	1999
India	Clinker / Slag	1,200 x 840 x 1,200	Köppern	43,000	2	2002
India	Clinker	1,200 x 840 x 1,200	Köppern	23,000	1	2003
India	Clinker	1,500 x 1,030 x 1,300	Köppern	> 20,000	2	2010
Indonesia	Clinker	1,000 x 710 x 765	Köppern	> 14,000	1	2011
India	Clinker	1,500 x 1,030 x 1,300	Köppern	> 3,500	1	2012
Saudi Arabia	Clinker	1,500 x 1,030 x 1,300	Köppern	> 2,500	2	2013
Philippines	Clinker	1,500 x 1,030 x 800	Other	Ordered	1	2014
Thailand	Clinker	1,220 x 765 x 760	Other	Ordered	1	2015
Thailand	Clinker	1,524 x 1,030 x 965	Other	Ordered	1	2015
Thailand	Clinker	1,200 x 840 x 1,200	Köppern	Ordered	2	2015
Thailand	Clinker	1,000 x 710 x 930	Köppern	Ordered	1	2015
<b>America</b>						
Canada	Clinker	1,220 x 900 x 765	Other	18,000	1	2000
USA	Clinker	1,150 x 780 x 1,000	Other	> 31,000	1	2009
Mexico	Limestone	1,000 x 690 x 380	Other	> 5,450	1	2012
Mexico	Clinker	1,410 x 950 x 525	Other	> 4,700	1	2013
Peru	Clinker	1,150 x 780 x 1,000	Other	> 5,000	1	2013
Colombia	Clinker	1,700 x 1,150 x 1,400	Other	Ordered	1	2014

Slika 20.Tablica referenci u cementnoj industriji<sup>31</sup>

<sup>31</sup> Izvor: <http://www.koepfern-international.com/products/wear-protection/hexadurr/references/>

## 5. COST BENEFIT ANALIZA

Pod pojmom *analiza koristi i troškova (cost-benefit analiza)* općenito promatra se postupak (alat) kojim se prosuđuju društvene koristi i društvene štete, koje će se predvidivo pojaviti ostvarenjem nekog projekta. Za razliku od analitičkih metoda kojima se prosuđuje individualna efikasnost samog projekta, ova analiza razmatra ukupne društvene efekte projekta.<sup>32</sup> Ova analiza smatra se objektivnom metodom za lakše donošenje odluke o prihvatljivosti ili neprihvatljivosti određenog projekta te u odabiru između različitih varijanti ili alternativa projekata.

Činjenica je da odluka o ulaganju u neki projekt bez obzira koliko se činila isplativom na prvi pogled, može uzrokovati značajne gubitke društvenog bogatstva (štete za društvo) odnosno krajnji output poduzetog projekta može imati neočekivane i neželjene posljedice koje mogu biti veće od koristi koje projekt svojom implementacijom donosi.

Za razliku od klasične tržišne analize koja obuhvaća prihode, troškove te isplativost samog projekta i sastavni je dio svake investicijske studije, analiza koristi i troškova u svom pristupu uključuje financijski mjerljive i nemjerljive elemente društvenih koristi i šteta. Na osnovi financijski mjerljivih društvenih koristi i šteta izračunava se neto sadašnja vrijednost koja uz ocjenu financijski nemjerljivih društvenih koristi i šteta služi za ukupnu ocjenu prihvatljivosti projekta.

### 5.1. Osnovna načela cost-benefit analize

Najprije treba reći da to nije nikakav novi izum ekonomske znanosti, već relativno stari postupak koji se već davno primjenjuje u praksi razvijenih zapadnih zemalja pri ocjeni međusobno različitih

---

<sup>32</sup> Rajković D.: Cost-benefit analiza u procjeni utjecaja na okoliš, Sveučilište u Zagreb, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zavod za naftno inženjstvo, Zagreb, 2011, str.3

projekata, a i u našoj literaturi pojavio se kao pojam već 30.-tih godina prošlog stoljeća, iako se takve analize nisu baš često radile.

Cost-benefit analiza koristila se prije svega kod ulaganja u javne i infrastrukturne objekte, ali se sve češće koristi i kod ostalih projekata u slučaju postojanja znatnije društvene koristi i štete. Filozofiju cost-benefit analize možda najbolje definira tzv. "Pareto napredak" nazvan prema talijanskom ekonomistu Vilfredu Paretu.

Načelo Paretoovog napretka zasniva se na pretpostavci: da u današnjem suvremenom društvu nije moguće realizirati bilo kakav projekt koji nikome neće nanijeti štetu.

Stoga su ekonomisti za projekte koji su bili predmet cost-benefit analize, uveli pojam potencijalnog Paretoovog napretka prema kojem se isplati ulagati u svaki projekt kod kojeg su koristi onima koji ih uživaju veće od troškova onih kojima su ti troškovi prouzrokovani.

Za projekte koji ostvaruje koristi i kompenziraju troškove koje uzrokuju može se reći da su ostvarili potpuni Pareto napredak. Ti se troškovi i koristi mogu opisati kao ona vrsta koristi i troškova koje ne terete nositelja zahvata već širu ili užu društvenu zajednicu, pa i buduće generacije. To se može smatrati prvom definicijom tzv. "Održivog razvitka".

**Primjer:**<sup>33</sup> Izgradnjom jedne suvremene ceste koja bi trebala zamijeniti postojeću staru cestu neprikladnu za povećani promet, treba sagledati koliko će iznositi neposredni troškovi izgradnje te ceste, ali i koliko će "šteta" i "koristi" za društvo izazvati izgradnja nove ceste.

**Kao "štete" uslijed izgradnje ceste mogu se smatrati:**

- a) troškovi izgradnje ceste,
- b) troškovi održavanja ceste,

---

<sup>33</sup> Rajković D.: Cost-benefit analiza u procjeni utjecaja na okoliš, Sveučilište u Zagreb, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zavod za naftno inženjstvo, Zagreb, 2011, str.5

- c) gubitak u šumarskoj i/ili poljoprivrednoj djelatnosti zbog toga što će se stanovite površine šuma i/ili poljoprivrednog zemljišta morati prenamijenit u cestu,
- d) ako nova cesta neće više prolaziti kroz neka mjesta, doći će do smanjenja prihoda trgovine, ugostiteljstva i drugih djelatnosti u tim mjestima, jer će ih promet putnika zaobići,
- e) ekološke posljedice do kojih će doći na prostoru kroz koje će prolaziti nova cesta izazvane bukom, ispušnim plinovima, zagađivanjem otpadom koji će putnici ostavljati za sobom, itd.,
- f) nezadovoljstvo dijela stanovništva kroz čije će područje prolaziti nova cesta zbog narušavanja njihovog mira, ali, također, i nezadovoljstvo stanovništva uz staru cestu, jer će se sada osjećati napuštenima i zapostavljenima.

**Kao “koristi” od nove ceste javit će se:**

- a) ušteda na vremenu putnika zbog većih brzina vožnje koje će nova cesta dozvoliti u usporedbi sa starom cestom,
- b) ušteda na gorivu, gumama i troškovima održavanja vozila zbog bolje kvalitete nove ceste,
- c) manje štete na vozilima u prometnim udesima zbog boljih prometnih karakteristika nove ceste i veće sigurnosti vožnje,
- d) manji broj ozlijeđenih u prometnim nesrećama a sa tim u vezi i manji troškovi liječenja (iz razloga kao pod c),
- e) manji broj smrtno stradalih u prometnim nesrećama (iz razloga kao pod c),
- f) povećani prihodi gospodarstva i stanovništva u mjestima kroz koja će ili blizu kojih će prolaziti nova cesta,
- g) posredne koristi od zapošljavanja većeg broja ljudi na održavanju nove ceste zbog čega dolazi do povećanja kupovne moći stanovništva kraja kroz koji prolazi nova cesta,

- h) eventualne koristi svih vrsta do kojih može doći ako se izgradnjom nove ceste omogući lakši pristup nekom do sada manje razvijenom području i time potakne razvoj tog područja.

Iz ovog sažetog prikaza može se sagledati osnovna filozofija cost benefit analize, kao i sve što ova analiza treba obuhvatiti. Za razliku od kalkulacija koje su uobičajene kod razmatranja financijskih učinaka jednog gospodarskog zahvata, u kojem se razmatraju očekivani troškovi i prihodi poslovanja tog zahvata, cost benefit analiza pokriva znatno šire područje i razmatra posljedice izgradnje odnosno poslovanja jednog zahvata na užu i širu okolinu uzimajući u obzir niz drugih gospodarskih i negospodarskih aktivnosti i zahvata (među utjecaji s drugim zahvatima). Ova analiza najčešće je postupak kojim se prosuđuju društveni prihodi (koristi) i društveni troškovi (štete), koje će se predvidivo pojaviti ostvarenjem nekog zahvata (projekta). **Nazivaju se i eksternim koristima i troškovima.** Za razliku od analitičkih metoda kojima se prosuđuje individualna efikasnost samog projekta (investicijske studije), ova analiza razmatra ukupne društvene efekte zahvata.

Cost-benefit analiza može biti metoda izbora između više varijanti, ako ih ima, ili alternativa između jedine, predložene, (izvedbene) varijante i nultog stanja (kada se zahvat ne bi realizirao). Taj se izbor provodi optimizacijom neto koristi (benefita), odnosno:  $Neto\ B = B - C$ .

## 5.2. Troškovi održavanja standardnih valjaka

Troškovi održavanja odnosno ukupne logistike utječu na cijenu proizvoda, a održavanje je jako bitno kako bi stroj, u ovom slučaju rolo preša ispravno radila. U današnje vrijeme od izuzetne je važnosti optimizacija i smanjenje troškova održavanja. Određivanje pravog trenutka za ponovno navarivanje-profiliranje je ključ za smanjenje zastoja, troškova i povećanja vijeka

trajanja valjka. Stalne preventivne kontrole valjaka bitne su za smanjenje zastoja u proizvodnji, kako smo naveli u poglavlju 3.3. održavanje valjaka, ponekad već nakon prvog profiliranja valjci postaju mekši te se počinju pojavljivati rupe na valjcima odnosno otpadaju komadi navarene površine, a kako se ispod tvrdog navara nalazi bazni mekši materijal, na tom mjestu bi u vrlo kratkom vremenu nastale duboke rupe zbog materijala koji se melje a jako je abrazivan, takva oštećenja moraju se sanirati kako ne bi došlo do daljnjeg oštećenja valjaka.

Za analizu troškova održavanja uzeli smo nove valjke instalirane u prvom mjesecu 2016. godine, koje smo do sad profilirali četiri puta, a imaju 13900 sati rada. Za remont u prvom mjesecu 2019. Godine predviđa se zadnje profiliranje nakon kojeg idemo u zamjenu valjaka. Na valjcima su između profiliranja odrađena i reparaturna zavarivanja valjaka, odnosno sanacija uslijed otpadanja obloge-tvrdog navara.

Na slici 21. Prikazani su troškovi održavanja valjaka odnosno svih troškova vezanih za održavanje.

Standardni valjci										
Red br	Opis	1_2016	8_2016	1_2017	8_2017	1_2018	8_2018	1_2019	8_2019	Trosak u 3 godine
1	Trošak nabavke novih valjaka	3.638.400,00 kn								3.638.400,00 kn
2	Trošak profiliranja valjaka (zajedno sa			180.980,00 kn	128.641,00 kn	179.840,00 kn	159.184,00 kn	150.000,00 kn		798.645,00 kn
3	Reparaturna zavarivanja (popravci)				19.258,00 kn	21.100,00 kn		20.000,00 kn		60.358,00 kn
									Σ	4.497.403,00 kn

Slika 21. Troškovi održavanja valjaka. Izvor: Autor

Podacima dobivenih iz tablice u razdoblju od 01.2016 do 08.2019 godine vidljivi su troškovi održavanja i nabave standardnih valjaka u iznosu od 4.497.403,00 HRK.

Kako smo u poglavlju 3.3. održavanje valjaka, pisali da se standardni valjci nakon određenog broja profiliranja, moraju se skinuti sa stroja te slati na kompletnu reparaciju, gdje dolazimo do troškova u iznosu od 1.433.000,00 HRK koji su opisani u tablici na slici 22.

Red br	Opis	Trošak
1	Demontaža valjaka sa stroja uključujući demontažu ležajeva	502.500,00 kn
2	Transport valjaka x2	30.000,00 kn
3	Kompletna reparacija valjaka	675.000,00 kn
4	Brtveni materijal za ležajeve	150.000,00 kn
5	Montaža ležajeva na valjke	75.500,00 kn
	$\Sigma$	1.433.000,00 kn

Slika 22. Tablica kompletne revizije valjaka. Izvor: Autor

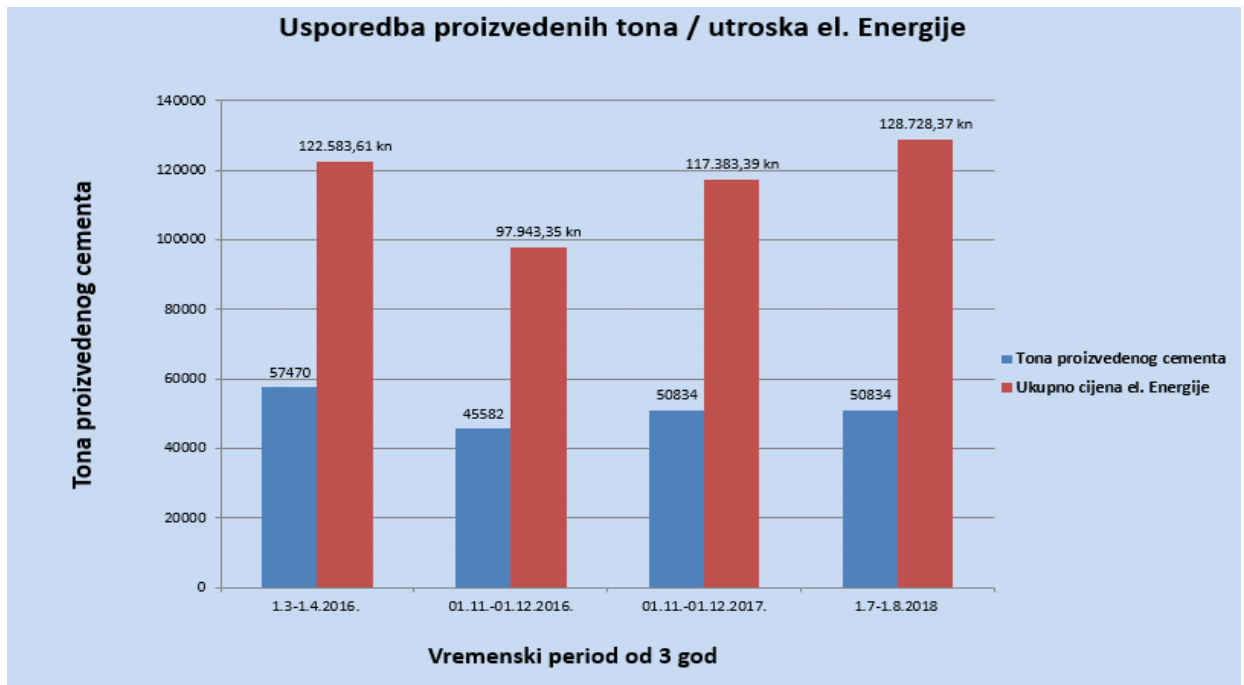
#### **5.4. Troškovi nabave Koppern-Hexadur valjaka**

Koppern Hexadur valjci za razliku od standardnih kovanih – zavarenih valjaka, i kako nisu original napravljeni za druge proizvođače rolo preša, nose sa sobom veće troškove, kao što su izrada nacrt valjaka, izrada osovine na koju se montira obloga HEXADUR® te sama proizvodnja obloge HEXADUR®.

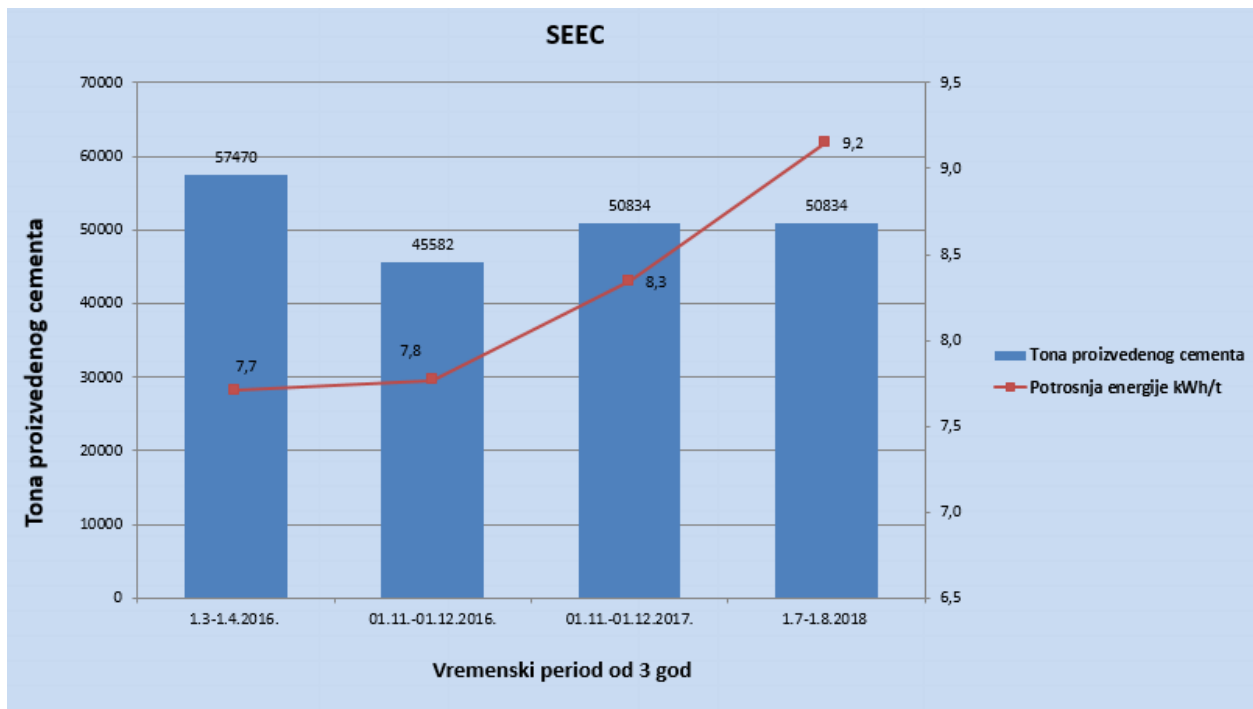
Ali kako HEXADUR® valjci donose znatnu uštedu zbog njihove vrlo niskog trošenja površine. Tako njihova površina dulje osigurava dobro trenje koje je potrebno za mljevenje i tako smanjuje i utrošak električne energije za razliku od standardnih valjaka koji kad se potroše troše više električne energije kako bi samljeli istu količinu materijala kao na početku kada su bili novi ili reparirani, tako da smo analizom za potrošenu električnu energiju po toni za određeni tip cementa, došli do rezultata da povećanje električne energije iznosi i do 9% što je vidljivo i na slici 23. i 24.

Ukupno proizvedeno									
Red br	Period	Sati rada {h}	Tona proizvedenog cementa	Rollo preša {kWh}	VSK separator {kWh}	Elevator recirkulacije rolo preše {kWh}	Potrosnja energije kWh/t	Cijena kn/kWh	Ukupno cijena el. Energije
1	1.3-1.4.2016.	405,34	57470	372442,68	7092,33	63484,91	7,7	0,2767	122.583,61 kn
2	01.11.-01.12.2016.	400,67	45582	290123,02	4392,78	59453,65	7,8	0,2767	97.943,35 kn
3	01.11.-01.12.2017.	440,11	50834	347156,62	9844,84	67224,74	8,3	0,2767	117.383,39 kn
4	1.7-1.8.2018	463,8	50834	384085,04	7828,41	73313,78	9,2	0,2767	128.728,37 kn





Slika 23. Usporedba tone/utrošak el.energije. Izvor: Autor



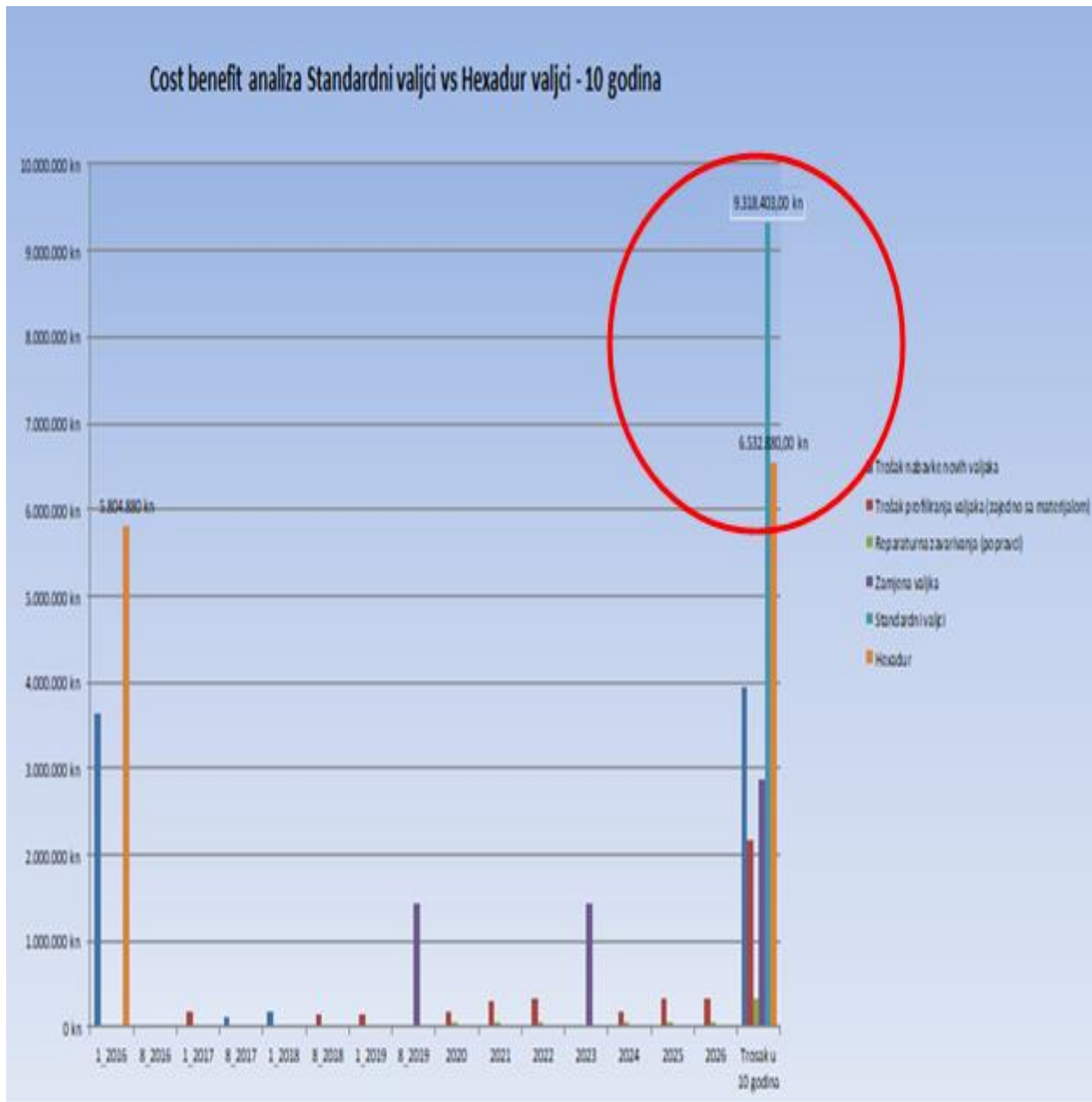
Slika 24. Porast el.energije tokom godina. Izvor: Autor

Analizom troškova održavanja te utroškom električne energije dolazimo do cijene kompletnog životnog vijeka valjaka, od nabavke novih do zadnjeg profiliranja na rolo preši, kad se moraju demontirati i ugraditi novi ili drugi reparirani.

Tablica Cost benefit analiza Standardni valjci vs Hexadur valjci.

Cost benefit analiza Standardni valjci vs Hexadur valjci - 10 godina																	
Red br	Opis	1_2016	8_2016	1_2017	8_2017	1_2018	8_2018	1_2019	8_2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	Trosak u 10 godina
1	Trošak nabavke novih valjaka	3.638.400 kn			128.641 kn	179.840 kn											3.946.881,00 kn
2	Trošak profiliranja valjaka (zajedno sa materijalom)			180.980 kn	19.258 kn	21.100 kn	159.184 kn	150.000 kn		185.000 kn	310.000 kn	320.000 kn		180.000 kn	320.000 kn	320.000 kn	2.165.522,00 kn
3	Reparaturna zavarivanja (popravci)							20.000 kn		50.000 kn	60.000 kn	50.000 kn		50.000 kn	60.000 kn	50.000 kn	340.000,00 kn
4	Zamjena valjka								1.433.000 kn				1.433.000 kn				2.866.000,00 kn
5	Standardni valjci																9.318.403,00 kn
6	Hexadur	5.804.880 kn															6.532.880,00 kn

Slika 25. Cost benefit analiza Standardni valjci vs Hexadur valjci. Izvor: Autor



Slika 26. Cost benefit analiza Standardni valjci vs Hexadur valjci. Izvor: Autor

S obzirom na bolja tehnička i mehanička svojstva i listu referenci Hexadur valjaka prikazana u poglavlju 4. investicija u Hexadur tehnologiju smatra se oportunitetnim troškom odnosno zaradu. Kako po listi referenci Hexadur valjci imaju duži vijek trajanja, i do 50% pa na više, jer se valjci ne bi nakon tri (3) godine skidali već bi trajali cca deset (10) godina, što bi donijelo uštedu u iznosu od cca. 931.840,00 kn godišnje odnosno 9.318.403,00 kn. Nakon deset (10) godina.

## 6. ZAKLJUČAK

Ovim diplomskim radom, razrađena je tema specifična u cementnoj industriji. U većini tvornica u okruženju postoji proizvodnja cementa koja uključuje cementne mlinove. U nekim tvornicama postoji samo jedan, a u nekim tvornicama više manjih mlinova. U tvornicama s više manjih mlinova, svaki mlin se parametrizira (dijafragma, promjer kugli, podiznih/sortirajućih ploča) za pojedinu vrstu cementa.

Kako u tvornici Koromačno postoji moderniji te inženjerski zahtjevniji dizajn odabrana je tema Valjkaste preše.

Temeljno su obrađeni dijelovi valjkaste preše, te najbitniji ekonomski aspekt u održavanju valjkaste preše kojeg čine valjci. Utrošak energije je manji kad u kombinaciji cementnog mlina je uključena Valjkasta preša, sa pripadajućom opremom (VSK) separatorom. Prikazan je i opremljen, sa novom Hexadur tehnologijom u izradi valjaka.

Detaljno je analiziran trošak proizvodnje, te efikasnost valjaka tokom godina. Cost benefit analizom je dokazano da je investicija sa skupljom tehnologijom Hexadur valjaka isplativija s više aspekata: ekonomskom, proizvodnim i aspektom održavanja proizvodne opreme.

Optimizacija proizvodnje je jedna od važnijih stvari u troškovima proizvodnje koja, kao takva donosi povećani profit. Koliko god je proizvodni proces pouzdan i stabilan, može se uvijek pronaći način da se on dodatno optimizira. Upravo je to cilj svakog inženjera ili ambicioznog radnika, pronaći razna moguća rješenja u proizvodnji.

## **Literatura :**

### **6.1. Ostali izvori**

1. Vrkljan D.,Klanfar M.: Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina, Zagreb, 2010.
2. Best available techniques for the cement industry, CEMUREAU-The European Cement Association, Brussels, 1999.
3. Holcim Koromačno,dokumentacija tvornice: HRN EN 197-1:2012 Cement
4. Dokumentacija KHD,Humboldt Wedag
5. Rajković D.:Cost.benefit analiza u procjeni utjecaja na okoliš, Sveučilište u Zagreb, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zavod za naftno inženjstvo, Zagreb, 2011.

### **6.2. Internet izvori:**

1. <https://www.holcim.hr/proizvodi-i-usluge/cement/kako-proizvodimo>
2. [https://www.mzoip.hr/doc/tehnicko-tehnolosko\\_rjesenje\\_132.pdf](https://www.mzoip.hr/doc/tehnicko-tehnolosko_rjesenje_132.pdf)
3. <https://www.steelforge.com/alloy-steel-4140/>
4. <http://www.koepfern-international.com/company/history/>
5. <http://www.koepfern-international.com/products/wear-protection/hexadurr/>
6. <http://www.koepfern-international.com/products/wear-protection/hexadurr/products-and-performance/>
7. <http://www.koepfern-international.com/products/wear-protection/hexadurr/production/>
8. [https://en.wikipedia.org/wiki/Hot\\_isostatic\\_pressing](https://en.wikipedia.org/wiki/Hot_isostatic_pressing)
9. <http://www.koepfern-international.com/products/wear-protection/hexadurr/references/>