

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**NOVA TEHNOLOGIJA OBZIDAVE KORITA
ELEKTROLIZNE CELICE V PODJETJU TALUM
D.D. S POMOČJO BIM**

Kandidat: Aljoša Vajda

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor predavatelj: Bojan Dapčević, univ. dipl. inž. grad.

Mentor v podjetju: Natalija Vindiš, uni. dipl. gosp. inž. grad.

Lektor: mag. Nataša Koražija, prof. slov.

Maribor, 2020

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Aljoša Vajda, sem avtor diplomskega dela z naslovom Nova tehnologija obzidave korita elektrolizne celice v podjetju Talum d. d. s pomočjo BIM-a, ki sem ga napisal pod mentorstvom Bojana Dapčeviča, univ. dipl. inž. grad.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Ur. l. RS 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/2013 in 56/2015); (v nadaljevanju ZASP), prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, februar 2020

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvalil bi se mentorju g. Bojanu Dapčeviću za ustrezno usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge in mentorici v podjetju go. Nataliji Vindiš za vso gradivo in strokovna mnenja.

Zahvalil bi se tudi vsem družinskim članom, ki so me spodbujali pri pisanju diplomske naloge.

POVZETEK

Sam naslov diplomskega dela, je izpeljanka krovne teme »Nove tehnologije v gradbeništву.«, uporaba BIM-a ter izbran projekt v podjetju. Ker je naše podjetje že zelo ustaljeno na področju elektrolize (objekt oziroma, »Hala C« je bila zgrajena in zagnana leta 1988), sem hotel v tem sistemu poiskati gradbeni projekt, ki bi se ga dalo posodobiti in ga ustrezno predstaviti. Odločal sem se o možnostih izdelave diplomskega dela o peči za žganje ogljikovih anod in o izdelavi katodnega korita. Po krajši raziskavi se odločim za temo obzidave korita in tako prišel do ideje, da bi lahko obzidavo korit naših elektroliznih celic posodobili in pri tem zmanjšali faktor fizičnega dela, ter prihranili tudi pri finančah, kar je za vsako podjetje najpomembnejše. Tega sem se lotil tako, da sem najprej pridobil potrebno gradivo o sami elektrolizi in seveda o strokovnem delu obzidave. Na voljo sem imel tudi praktični vpogled in prisostvovanje pri dejanski obzidavi korita s klasičnimi zidaki. Ugotovil sem, da je delo počasno in zahteva veliko število delavcev, ki so večino časa v sključenem položaju. Mentorica mi je ob mojem vprašanju kako to, da obzidava še poteka ročno, dejala, da je podjetje sicer že imelo na predstavitvi vakuumsko dvigalo in velike šamotne bloke, ki so jih položili bistveno hitreje, z manjšim številom ljudi in praktično brez fizičnega napora. Seveda je vse pogojeno s ceno in tako je to vakuumsko dvigalo seveda predrago, da bi upravičilo strošek. Korit se namreč obzida na letni ravni veliko premalo, da bi bil stroj izkoriščen v ta namen. Ne glede na to sem vztrajal pri svoji temi in sem s pomočjo programa Autodesk Revit 2019, izdelal najprej 3D model katodnega korita in vanj začel vnašati posamezne sloje obzidave s klasičnimi zidaki. Nato sem izdelal še model obzidave korita z velikimi bloki. Po tlorisu obeh obzidav je bilo takoj vidno da so klasični zidaki veliko bolj zgoščeni, saj so manjših formatov. Pri tem se seveda vprašamo, ali ni boljše, če je obzidava narejena iz manj posameznih opek? Seveda. Vsaka opeka ima med sabo spoje, ki pa so »kritični« za nepravilnosti in morebitno poroznost. Se pravi, smo z zmanjšanjem števila stikov uspeli pridobiti na boljši kakovosti, kar je tudi eden izmed glavnih ciljev. Na podlagi modelov sem izdelal tudi predračunski vrednosti za posamezno obzidavo korita. Za izdelavo predračuna sem uporabil Microsoft Excel in v njem natančneje opisal vsako postavko in njeno vrednost. Kot se je izkazalo je obzidava z velikimi bloki cenejša, napram obzidave s klasičnimi zidaki.

Ključne besede: obzidava s klasičnimi zidaki, obzidava z velikimi bloki, BIM, vakuumsko dvigalo, elektrolizna celica.

ABSTRACT

NEW TECHNOLOGY FOR DESIGNING ELECTROLYSIS CELL TANK IN TALUM D.D. WITH THE HELP OF BIM

Title of the diploma thesis is a derivative of the umbrella theme "New technologies in construction", the use of BIM and the selected project in the company. Since our company is already very well established in the field of electrolysis (the facility or "Hall C" was built and started in 1988), I wanted to find a construction project in this system that could be updated and presented accordingly. I decided on the possibility of doing a diploma thesis on a carbon anode burning furnace and making a cathode sink. After a short research, I decided on the topic of building a sink, and so I came up with the idea that we could update the sink of our electrolysis cells, reducing the factor of physical labor, and also save on finances, which is most important for every company. I tackled this by first obtaining the necessary material on the electrolysis itself and, of course, on the professional work of walling. I also had practical insight and attendance at the actual construction of the trough with classic brickwork. I have found that work is slow and requires a large number of workers who are in a contracted position most of the time. When asked by my mentor how the building was still done manually, the company said that the company already had a vacuum lift and large chamotte blocks, which were placed much faster, with fewer people and virtually no physical effort. Of course, everything is conditioned on price, and so this vacuum lift is of course too expensive to justify the cost. Namely, the troughs are walled up far too little to use the machine for this purpose. Regardless, I persisted in my theme and, with the help of Autodesk Revit 2019 programme, first created a 3D model of the cathode trough and began to insert individual layers of walls with classic bricks. Then I made a model of building a trough with large blocks. According to the floor plan of both walls, it was immediately apparent that the classic masonry is much more concentrated because of its smaller formats. Of course, we ask ourselves, is it not better if the walls are made of fewer individual bricks? Of course. Each brick has joints, but these are "critical" for imperfections and possible porosity. That is to say, by reducing the number of contacts, we were able to obtain better quality, which is also one of our main goals. On the basis of the models, I also calculated the values for each trough construction. I used Microsoft Excel program to create a pro forma invoice, detailing each item and its value. As it turned out, large block building is cheaper than classic brick wall construction.

Keywords: classic brick walling, large block walling, BIM, vacuum lift, electrolysis cell

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	8
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	8
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	8
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	9
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	9
2	DELO V PROJEKTNi SKUPINI	10
3	ELEKTROLIZA.....	13
3.1	OPIS ELEKTROLIZE IN PRIDOBIVANJA ALUMINIJA	13
3.2	SESTAVA ELEKTROLIZNE CELICE	16
3.2.1	<i>Anodni del.....</i>	<i>16</i>
3.2.2	<i>Katodni del</i>	<i>17</i>
3.3	UPORABA ALUMINIJA V GRADBENiŠTVU	20
3.4	MATERIALI UPORABLJENI PRI OBZIDAVI KORITA	21
4	KLASIČNA OBZIDAVA KORITA	24
4.1	SPODNJA OBZIDAVA.....	24
4.2	POLAGANJE KATODNIH BLOKOV	26
4.3	ZGORNJA OBZIDAVA	27
4.4	PREDNOSTI IN SLABOSTI KLASIČNE OBZIDAVE KORITA.....	30
5	OBZIDAVA KORITA Z NOVO TEHNOLOGIJO – BIM.....	31
5.1	VELIKI LAHKO-IZOLACIJSKI BLOKI	31
5.2	VELIKI ŠAMOTNI BLOKI.....	31
5.3	VACUUM LIFTER (DVIGALO).....	33
5.4	PREDNOSTI IN SLABOSTI OBZIDAVE Z NOVO TEHNOLOGIJO	34
6	PRIMERJAVA KLASIČNE OBZIDAVE Z NOVI OBZIDAVI Z BIM-OM.....	35
6.1	OPIS BIM-A	35
6.2	PREDNOSTI IN SLABOSTI BIM-A.....	35
6.3	IZDELAVA BIM MODELA KATODNEGA KORITA, KLASIČNE OBZIDAVE IN NOVE OBZIDAVE KATODNEGA KORITA.....	37
6.4	PRIMERJAVA MODELOV OBEH OBZIDAV	40
6.4.1	<i>Primerjava števila stikov med opekami</i>	<i>40</i>
6.4.2	<i>Primerjava predračunskih vrednosti obeh obzidav</i>	<i>42</i>
6.5	SISTEM VZDRŽEVANJA OBJEKTA S POMOČJO BIM-A	45
7	SKLEP	47
8	LITERATURA IN VIRI	50
9	PRILOGE.....	52

KAZALO SLIK

SLIKA 1: SKICA KORITA ELEKTROLIZNE CELICE	12
SLIKA 2: PROIZVODNI PROCES PRIDOBIVANJA ALUMINIJA V TALUMU.....	14
SLIKA 3: SHEMA ELEKTROLIZNE CELICE	16
SLIKA 4: SHEMATIČNI PRIKAZ VGRAJENIH VRST IN KOLIČIN KATODNIH MATERIALOV V ELEKTROLIZNI CELICI - ELEKTROLIZA C	18
SLIKA 5: SHEMATIČNI PRIKAZ VGRAJENIH VRST IN KOLIČIN KATODNIH MATERIALOV V ELEKTROLIZNI CELICI – ELEKTROLIZA B	18
SLIKA 6: POLAGANJE OPEK	24
SLIKA 7: DRUGA VRSTA OPEK	25
SLIKA 8: ZADNJA VRSTA OPEK	26
SLIKA 9: POLAGANJE KATODNIH BLOKOV (FOTO: ALEKSANDRA JELUŠIČ).....	26
SLIKA 10: POLAGANJE STRANSKIH BLOKOV (FOTO: ALEKSANDRA JELUŠIČ).....	28
SLIKA 11: PLASTI PIHANJA	29
SLIKA 12: VAKUUMSKO DVIGALO.....	32
SLIKA 13: POSTAVLJANJE VELIKIH ŠAMOTNIH BLOKOV	32
SLIKA 14: MODEL KATODNEGA KORITA.....	38
SLIKA 15: MODEL KLASIČNE OBZIDAVE KORITA	39
SLIKA 16: MODEL OBZIDAVE Z VELIKIMI BLOKI.....	40

KAZALO TABEL

TABELA 1: OSNOVNI TEHNOLOŠKI PODATKI ELEKTROLIZ	18
TABELA 2: KOLIČINE VGRAJENIH MATERIALOV V ELEKTROLIZNI CELICI TIPOV B, C	19
TABELA 3: PRIKAZ STIKOV MED OPEKAMI PO SLOJIH	42
TABELA 4: IZRAČUN PREDRAČUNSKE VREDNOSTI OBZIDAVE KORITA Z VELIKIMI BLOKI V PROGRAMU REVIT	44
TABELA 5: SISTEM VZDRŽEVANJA OBZIDAVE KORITA V PROGRAMU REVIT	46

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Tema mojega diplomskega dela je iz industrijskega področja. Natančneje iz proizvodnje primarnega aluminija, ki se ga proizvaja z elektroliznim procesom. Pri tem procesu, ki je podrobneje opisan kasneje, ima pomembno funkcijo tudi obzidava katodnega korita. Ker je izvedba obzidave praktično enaka že 30 let od kar je bila zagnana proizvodnja, sem si zadal nalogo, da bom našel lažji in boljši način na tem področju. Z razvojem industrijskih tehnologij se razvijajo tudi tehnologije v gradbeništvu. Tako prihaja do različnih postopkov obzidave, vse več je uporabe strojev, kar omogoča lažje delo, ter zahteva delo z manj delavcev, obenem pa je hitrejša in učinkovitejša.

Diplomsko delo je bilo napisano v okviru teme »Nove tehnologije v gradbeništvu«, izbrana tehnologija mi je zanimiva in perspektivna za dejansko rabo v gradbeništvu. Za to temo sem se odločil, ker želim svojemu podjetju predstaviti novejša izdelke, ki bi jih lahko uporabili pri obzidavi in s tem izdelali kvalitetnejšo obzidavo v krajšem času z manjšimi stroški.

Menim, da je nov način obzidave z večjimi izolacijskimi in šamotnimi bloki in vakuumskim dvigalom bolj kvaliteten in bolj racionalen od klasične, ročne obzidave. Prav tako menim, da bi pri tej posodobljeni obzidavi dolgoročno pridobili pri možnostih daljše uporabe elektroliznih peči, zaradi izboljšane kvalitete ter bi rabili manj delavcev zaradi strojne izvedbe, kar bi posledično zmanjšalo stroške proizvodnje.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen in cilji projekta oz. diplomskega dela je bil:

- prepoznati prednosti in slabosti klasične metode gradnje, v primerjavi z novo tehnologijo obzidave korita elektrolizne celice s pomočjo BIM-a, s predpostavko, da je nov način učinkovitejši, bolj racionalen in zato dolgoročno cenejši;
- podrobno analizirati novo tehnologijo obzidave korita elektrolizne celice in jo podrobno predstaviti (tudi s slikovnim materialom postopka);
- prikazati dejanski prikaz nove tehnologije in spremljanju morebitnih težav pri izvedbi, predvsem je nas zanimal tudi podroben časovni potek in sosledja vseh potrebnih postopkov gradnje;

- izdelati konkreten predračun za obzidavo na klasičen način in predračun s pomočjo Bim-a, ter dokazati, da je nov način cenejši in dalj časa obstojen.

Hipoteze:

- H1: Nov način obzidave korita elektrolizne celice s pomočjo BIM-a ima prednosti v primerjavi s tradicionalnim, saj je bolj učinkovit. Z njim sledimo projektu od načrtovanega preko izvedbe do vzdrževanja.
- H2: Z BIM bom dokazal, da je predračunska vrednost za izvedbo natančnejša, izvedba obzidave korita pa časovno hitrejša.
- H3: S pomočjo BIM-a bo vzpostavljen tudi sistem vzdrževanja del.

1.3 Predpostavke in omejitve

Omejitev pri diplomskem delu je predstavljalo pomanjkanje literature, saj govorimo o 30 let stari proizvodnji o kateri, razen gradiva v samem podjetju, ne najdemo ravno veliko. Gre za večinoma prevedeno gradivo, saj je bila ta elektroliza zasnovana s strani francoskih podjetij. Manjšo omejitev je predstavljalo tudi delo z BIM programom, ker ga prej še nisem uporabljal. Drugih omejitev ni bilo.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Pri pisanju diplomskega dela sem uporabil kvalitativno raziskovanje, saj sem pri pisanju uporabil domačo in tujo literaturo, ter interno literaturo podjetja. V nalogo sem vključil tudi svoja spoznanja, pridobljena na izkušnjah z obzidavo korit.

Pri pisanju in povzemanju sem uporabil:

- deskriptivno metodo, saj sem opisoval dejstva;
- komparativno metodo, s katero sem primerjal klasično obzidavo z obzidavo z novo tehnologijo, ter ugotavljal podobnosti in razlike;
- metodo analize in sinteze, s katero sem pisal ugotovitve in zaključke glede na celoto.

2 DELO V PROJEKTNi SKUPINI

Pri gradbenih projektih delo poteka v projektni skupini, saj so dela težka in zahtevajo fizično moč več ljudi. Zato je najpomembnejše dobro sodelovanje med ljudmi, ki delajo na delovnem mestu ali z drugimi besedami, kakovostno timsko delo. Obstaja nekaj skupin, ki so vedno vključene v delovne skupine za projekt gradnje: oblikovalci, arhitekti, inženirji, investitorji in izvajalci. Pomembno je omeniti, da združevanje ljudi ne bo samodejno pripomoglo k učinkovitemu delovanju skupine. Pri izbiri potencialnih delavcev je nujno iskati ljudi, ki so lahko del kulture podjetja in ljudi, ki si prizadevajo za rast in razvoj v skupini (Cherkaoui, 2014).

Dobro timsko delo naredi delovno mesto učinkovitejše in varnejše za vse na gradbišču. Timsko delo vključuje odprto komunikacijo, ki prispeva k izboljšanju delovnega mesta za varno in uspešno doseganje cilja gradnje. Timsko delo se začne s predhodnim načrtovanjem in organizacijo. Določanje jasnih pričakovanj nas usmerja k delovanju v smeri skupnega cilja, uspešnega in varno zgrajenega projekta. Dobra komunikacija pomeni, da lahko vsakdo izrazi svoje mnenje. Vzpostavljanje zaupanja zagotavlja, da so delavci zadovoljni pri delitvi svojih predlogov in skrbi. Zapletene naloge pri gradnji so poenostavljene, kadar ljudje delajo skupaj. Delavci, ki skrbijo drug za drugega, lahko opravijo več dela varno in učinkovito. Dobre ekipe so zgrajene z izmenjavo informacij in vzpostavljanjem zaupanja. Kadar se posamezni delavci medsebojno zavzemajo za ekipo, se poškodbe zmanjšajo, izboljša produktivnost in kakovost. Gradbeno timsko delo gradi varnost v vsakem poslu za doseganje uspešnih projektov (Podjetje State Fund, 2014).

Torej, kot je zgoraj opisano je timsko delo oziroma delo v skupini bolj produktivno in bolje izvedeno, zaradi več različnih tipov oseb, njihovih karakterjev in pristopov do projektov. Zato smo tudi mi na Akademiji, v sklopu pripravljalnega predavanja o pisanju diplomskega dela, izvedli dva testa, ki sta nas uvrstila v določene skupine. Najprej smo izvedli Belbin test za ocenjevanje vlog v skupini. Ta test me je izmed osmih različnih vlog, opredelil za mesto »izvajalec«. Za vlogo izvajalca je značilno, da je dobro organiziran in ima rad rutino. Imajo smisel za praktičnost in samodisciplino, zaznamuje jih tudi trdo delo in sistematično reševanje problemov. Izvajalci ponavadi niso spontani in pogosto delujejo togo, so pa zvesti svoji organizaciji in so jim osebni cilji velikokrat drugotnega pomena.

Izvedli smo še test osebnosti, kateri mi je namenil vlogo »razpravljavec«. Za razpravljavce po tem testu velja, da se pojavlja neobičajen stik lastnosti, saj so brezkompromisno iskreni, po

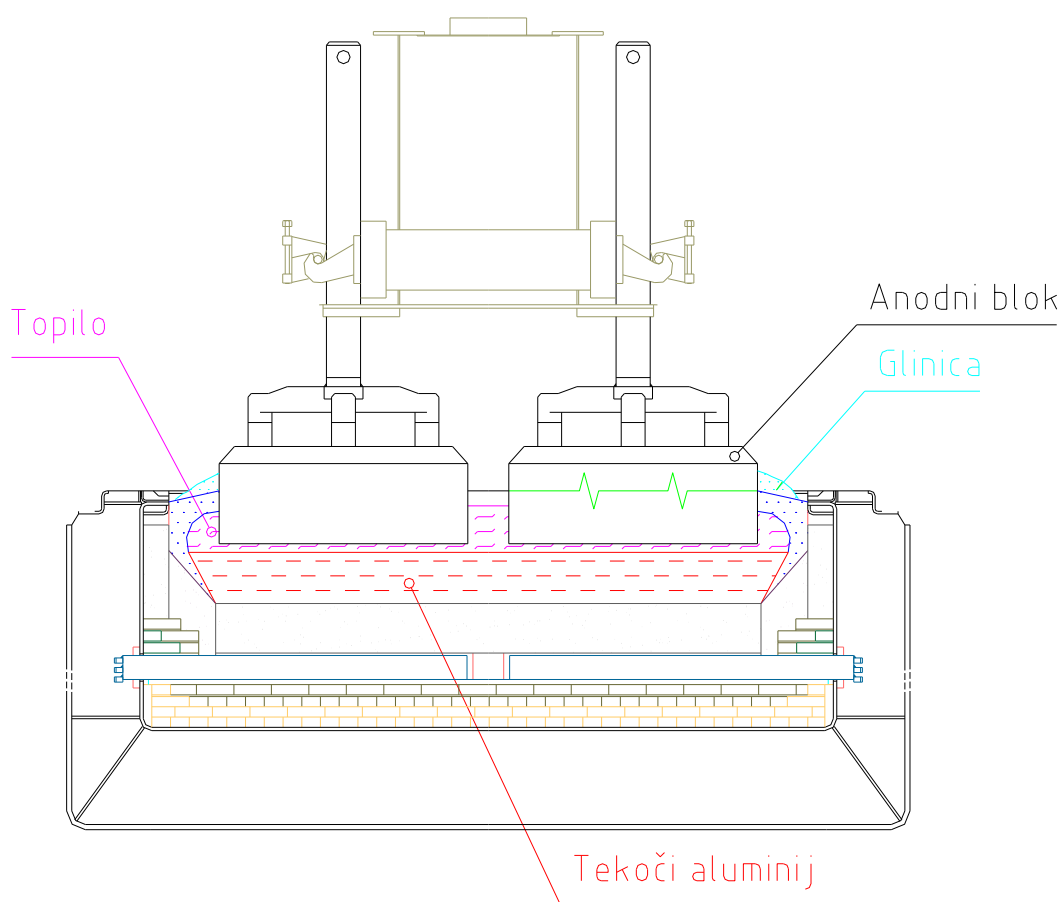
drugi strani pa bodo do onemoglosti zagovarjali nekaj, v kar dejansko verjamejo, pri čemer se bodo postavili v vlogo nekoga drugega, da bi zagovarjali resnico iz drugega vidika.

Na podlagi rezultatov teh dveh testov smo se razporedili v projektne skupine. V teh skupinah smo na srečanjih delali v okvirju svojih diplomskih nalog kot skupen projekt, kar pomeni, da je vsaka diplomska naloga bila del projekta, oziroma projektne skupine. V skupini smo delovali štirje študentje, kjer je vsak imel svojo vlogo. Moja vloga, glede na testa, je bila izvajalec, kar pomeni, da sem večinoma izvajal naloge za katere smo se predhodno dogovorili. V okvirju svoje diplomske naloge sem tako izdelal skico elektrolizne peči (slika 1) in označil njene pomembnejše dele. Razvidno je korito, ki je narejeno iz jekla in ima v osnovi funkcijo zadrževanja tekočega aluminija. Aluminij seveda ni v neposrednem stiku s koritom, ta ima namreč dobrih 900°C in samo jekleno korito ne bi preneslo take konstantne visoke temperature izpostavljenosti in bi ga preluknjalo. Zato je korito v več slojih obzidano s specifičnimi materiali kot so; izolacijska opeka, šamot in fugirna masa odporna na velike temperature. Ta spodnja obzidava je potrebna zaradi absorbiranja visokih temperatur, ki se širijo preko katodnih blokov, vgrajenih na to obzidavo. Ob straneh korita so izrezane luknje za Fe vodnike, ki gredo znotraj korita skozi katodne bloke, in na drugi strani izhajajo izven korita skozi luknje do naslednje celice. Tako so vse elektrolizne celice povezane v električni tok okrog. Skozi anodne bloke, preko elektrolita, do katodnih blokov teče enosmerni električni tok in pri tem nastane reakcija pri kateri se izloča aluminij na dno katodnega korita. Katodni odvodniki so ob straneh obzidani, zaliti z ognje odpornim betonom in na koncu še s phalno maso zatesnjeno na vseh spojih. Elektrolizni proces je podrobneje opisan kasneje, važno je, da razumemo, da se tekoči aluminij zadržuje nad katodnimi bloki in ta ne sme pronicati v notranjost saj se takrat elektrolizna celica izklopi iz tokokroga in je katodno korito potrebno prepeljati na remont.

V skupini smo predebatirali kaj je najbolj smiselno raziskovat pri tem koritu. Ker smo v našem podjetju korito obzidali na klasičen način, na izposajo in preizkusu pa smo imeli tudi dvigalo, ki je z vgradnjo velikih izolacijskih in šamotnih blokov predstavljala nov način obzidave. Prišli smo do sklepa, da je najbolj smotrno, glede na uporabo materialov v koritu, raziskati oziroma preračunati katera varianta je cenejša oziroma boljša. Tega projekta smo se lotili sistematično in najprej pridobili informacije o dimenzijah, kvaliteti, lastnostih in cenah materialov v koritu. Kasneje smo s pomočjo Bim-a izrisali korito elektrolizne peči in nanj vnašali materiale po slojih. Izdelali smo model za vsako obzidavo posebej in ju med seboj primerjali. Na podlagi projektnega modela smo izdelali predračun za obzidavo korita na klasičen način in obzidavo na

nov način. Predračuna smo izdelali najprej v programu Excel, nato pa še v BIM programu in ju primerjali.

Dela v projektni skupini so bila dobro organizirana in razporejena, tako da je vsak vedel kaj dela. Večina del oziroma problemov pri posameznem delu, smo ustrezno predebatirali in reševali skupaj. To kar smo od skupinskega dela pričakovali smo tudi dobili, se pravi smo dokazali, da lahko projektni tim deluje bolje kot posameznik.



Slika 1: Skica korita elektrolizne celice

Vir: (Lastni vir)

3 ELEKTROLIZA

3.1 Opis elektrolize in pridobivanja aluminija

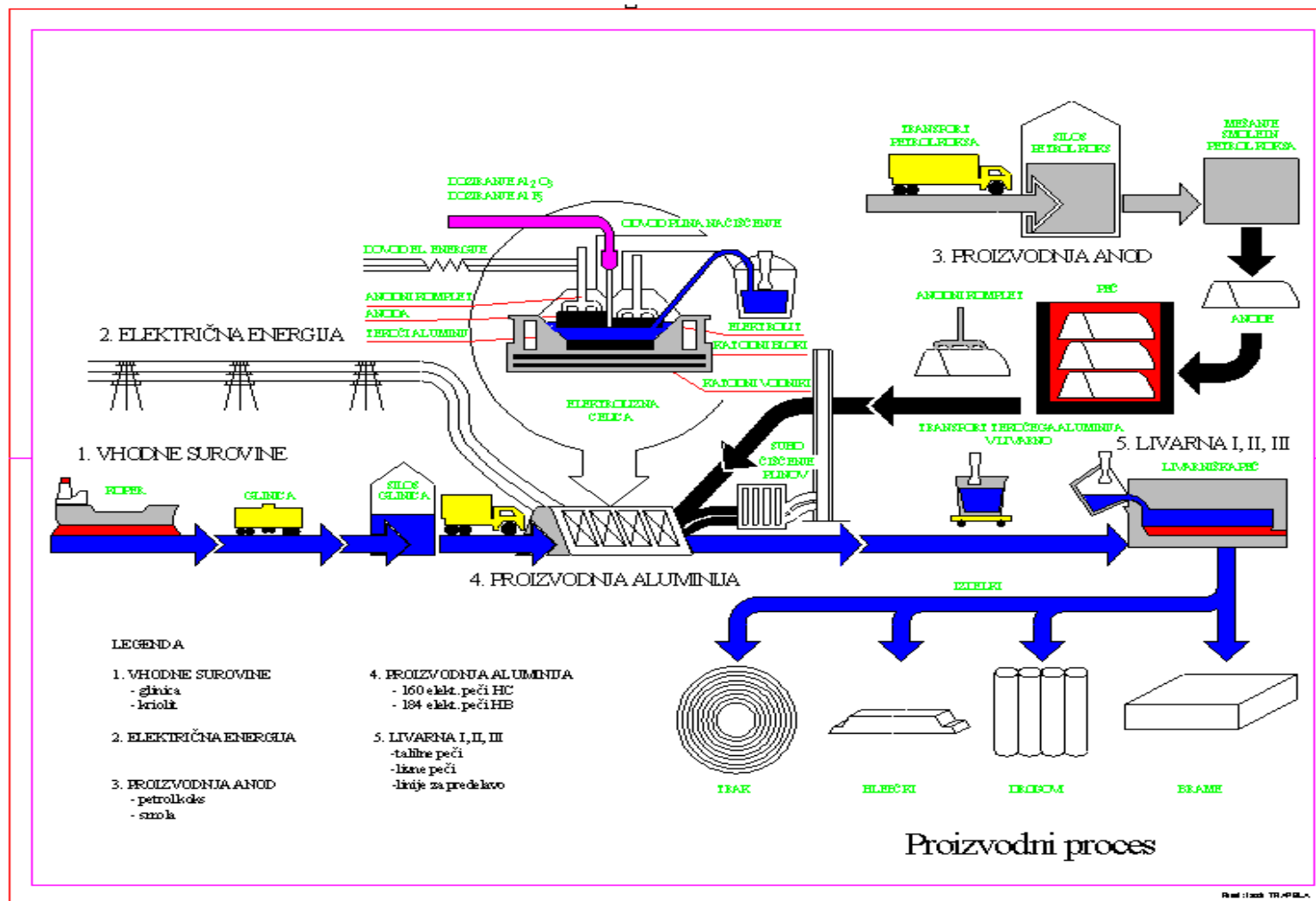
Elektroliza je proces pri katerem s pomočjo katodnih vodnikov in anodnih blokov, ki so obsipani z glinico nastaja tekoči aluminij v koritu.

Aluminij predstavlja tretji najbolj zastopan element v zemeljski skorji, takoj za kisikom in silicijem. Zaradi kemične reaktivnosti aluminij v naravi ni obstojen v kovinski obliki. Najpogostejše se nahaja v mineralih (Salihagić Hrenko, 2018). Pridobiva se iz aluminijevega oksida (Al_2O_3), oziroma glinice s pomočjo enosmernega električnega toka. Za znižanje tališča glinice iz $2072\text{ }^\circ\text{C}$ na temperaturo okrog $950\text{ }^\circ\text{C}$ se v procesu uporablja kriolit (Na_3AlF_6). V reakciji sodelujejo tudi ogljikove anode skozi katere teče enosmerni električni tok, anode so potopljene v elektrolitu (kriolit + glinica). Reakcija poteče, ko pride do pretrganja vezi med aluminijem in kisikom, slednji reagira z ogljikom iz anode in tvori CO_2 , aluminij pa se nalaga na dnu celice, oziroma na tako imenovani katodi (Salihagić Hrenko, 2014).

Proizvodni proces pridobivanja aluminija poteka v elektroliznih pečeh, ki predstavljajo ključni element obrata elektrolize. Elektrolizno peč tvorita anoda in katoda, med katerima se nahaja elektrolit. Tok teče od anode skozi elektrolit na katodo. Na svoji poti razgrajuje glinico na aluminij in kisik. Tekoči aluminij se zaradi nekoliko večje specifične teže zbira na katodi, od koder se črpa in transportira v livarno (Salihagić Hrenko, 2018). Proizvodni proces poteka pridobivanja aluminija v Talumu se nahaja na sliki 2.

Proces elektrolize poteka na naslednji način (prav tam):

- aluminijev oksid (Al_2O_3) se razkroji: $2\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{električna energija} = 4\text{Al} + 3\text{O}_2$;
- sproščeni kisik (C) reagira na spodnji površini anode in se veže z ogljikom: $+ (\text{O}_2)$, tako prihaja do nastanka CO_2 (ogljikovega dioksida);
- ob upoštevanju dejstva, da reakciji potekata istočasno, lahko uporabimo tudi naslednji zapis: $2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{C} + \text{električna energija} = 4\text{Al} + 3\text{CO}_2$. Za potek te reakcije je potrebna napetost, ki jo imenujemo razkrojna napetost.



Slika 2: Proizvodni proces pridobivanja aluminija v Talumu

Vir: (Talum d. d., 2019)

Kisik, kot drugi element se veže z ogljikom iz anode in izhaja kot CO₂ in CO skupaj še z drugimi plini in prašnimi delci iz peči. Elektrolit se zadržuje v ogljikovem koritu, ki istočasno deluje kot katoda peči. Katoda je izdelana iz predhodno oblikovanih in kalciniranih ogljikovih blokov, ki so obdani z izolacijskimi in ognje-odpornimi opekami, in od zgoraj obdelano s posebno ogljikovo maso na osnovi katranske smole. Vse skupaj je postavljeno v železno korito. Ogljikova anoda je obešena nad katodo in delno potopljena v elektrolit (Salihagić Hrenko, 2018).

Za proizvodnjo ene tone aluminija je potrebno (prav tam):

- približno pet ton boksita, iz katerega pridobimo po Bayerjevem procesu dve toni glinice,
- približno polovico tone ogljikovih elektrod,
- približno 14.000 kWh enosmerne električne energije.

Obstajata dve tehnologiji proizvodnje elektroliznega aluminija, starejša Soderberg tehnologija in novejša, ki uporablja pred-pečene anodne bloke. Ogljikovi anodni bloki so narejeni iz mešanice petrolkoks in katranske smole (Salihagić Hrenko, 2014).

Proizvodnja pred-pečenih anodnih blokov poteka tako, da se v ustreznem razmerju in granulaciji zmeša petrolkoks, pečeni ostanek in katranska smola, ki deluje kot vezivo. Pripravljeno zeleno maso se oblikuje v oblikovalniku v želeno obliko. Tako pripravljene »zelene« anode se pečejo v kalcinacijski peči 23 – 24 dni. Pečene anode se na posebni sestavljalni lini pritrdijo na železno/aluminijaste nosilce, skozi katere teče električni tok. Zaradi različne jakosti toka in posledično tudi velikosti celic se število anod v elektroliznih celicah giblje med 14 do 40. Anode se menjajo z novimi, po približno 27 dneh, ostanek starih se predela in gre v ponovno uporabo (prav tam).

Da se doseže optimalno delovanje elektrolizne celice je potrebno zagotoviti (prav tam):

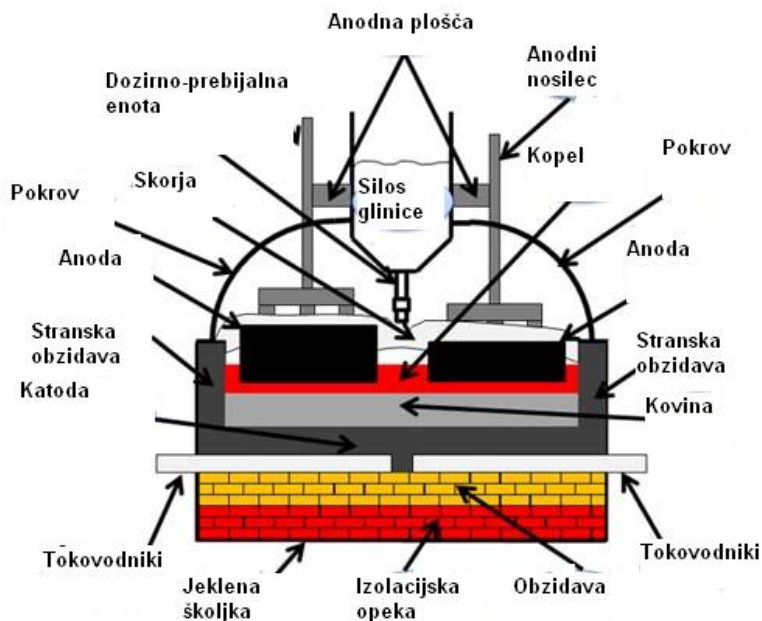
- peč mora služiti kot posoda za staljeno kopel in aluminij,
- odpornost na visoke temperature talin (okrog 950 °C),
- odpornost na kemične vplive, zlasti na vpliv staljenega elektrolita,
- odpornost na abrazijo, ki jo povzroča glinica,
- minimalne toplotne izgube,
- zadostne mehanske lastnosti, obenem pa ohraniti tudi elastične lastnosti zaradi temperaturnega raztezanja in krčenja uporabljenih materialov,

- vodenje električnega toka skozi celico s čim manjšim padcem napetosti.

3.2 Sestava elektrolizne celice

V elektrotehniškem smislu je elektrolizna celica (slika 3) sestavljena iz dveh delov in sicer iz:

- anode (pozitivne ogljikove elektrode) in
- katode (negativne elektrode, na kateri se izloča aluminij).



Slika 3: Shema elektrolizne celice

Vir: (Talum d. d., 2019)

Povprečna življenjska doba posamezne elektrolizne celice znaša v odvisnosti od tehnologije od 40 do 100 mesecev, kar je odvisno od:

- konstrukcijske zasnove (stabilnosti delovanja),
- natančnosti in doslednosti pri izvedbenih delih in
- tehnološke obravnave med obratovanjem.

Za vse materiale, uporabljene pri izdelavi elektrolizne celice in sistema tokovodnikov, in za vsa stična mesta je izredno pomembna čim nižja električna upornost, ki nam z energetskega vidika omogoča optimalno izrabo električne energije.

3.2.1 Anodni del

Proizvodnjo anod delimo na tri dele:

- proizvodnja zelenih anod,
- pečenje anodnih blokov in
- sestavljanje anodnih kompletov.

Proces proizvodnje zelenih anod temelji na mešanju zmletih in presejanih frakcij koksa, anodnega ostanka in katranske smole v predpisanem razmerju. Povprečna anoda vsebuje 65 odstotkov petrolkoksa, 15 odstotkov katranske smole in 20 odstotkov recikliranih anodnih ostankov. Koks in reciklirane anodne ostanke med seboj najprej dobro premešamo in pregrejemo pred dodatkom katranske smole, ki služi kot vezivo. Celotno maso dobro pregnetemo in iz nje na vibracijskem oblikovalniku oblikujemo anodni blok (Salihagić Hrenko, 2014).

Zelene anodne bloke pečemo v kalcinacijski peči pri temperaturi 1250 °C. Namen pečenja anodnih blokov sta, odstranitev hlapnih substanc katranske smole iz anod in kalcinacija smolnega ostanka. Sledita čiščenje in skladiščenje anodnih blokov (prav tam).

Sestavljanje anodnih kompletov poteka tako, da pečeno anodo spojimo s tokovodnikom. Za spojitev uporabljamo sivo litino. Anoda se v elektroliznem procesu porablja. Povprečna bruto poraba anod znaša 540 kilogramov na tono proizvedenega aluminija (prav tam).

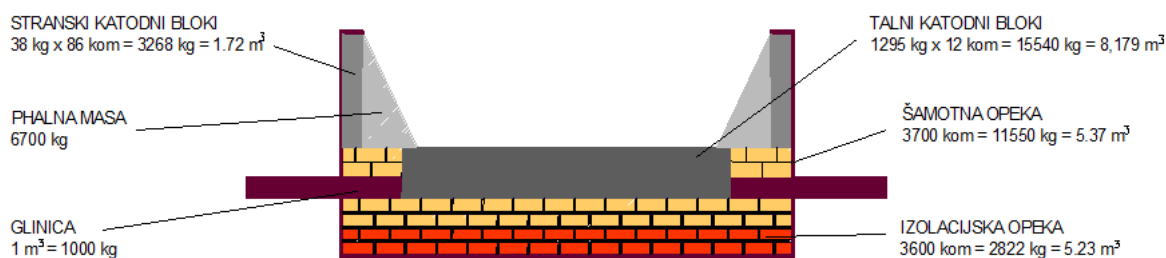
3.2.2 Katodni del

Katodnih blokov ne proizvajamo sami, predvsem zaradi nizke porabe katod. V Evropi so locirani štirje proizvajalci katodnih blokov, ki zalagajo vse primarne proizvajalce aluminija.

Katodni del elektrolizne celice je sestavljen iz (prav tam):

- železnega korita elektrolitske celice,
- izolacijske in šamotne obzidave na dnu korita,
- glavnih katodnih ogljikovih blokov (amorfni, polgrafitni, grafitizirani, grafitni),
- stranskih ogljikovih blokov,
- stranske izolacijske obzidave.

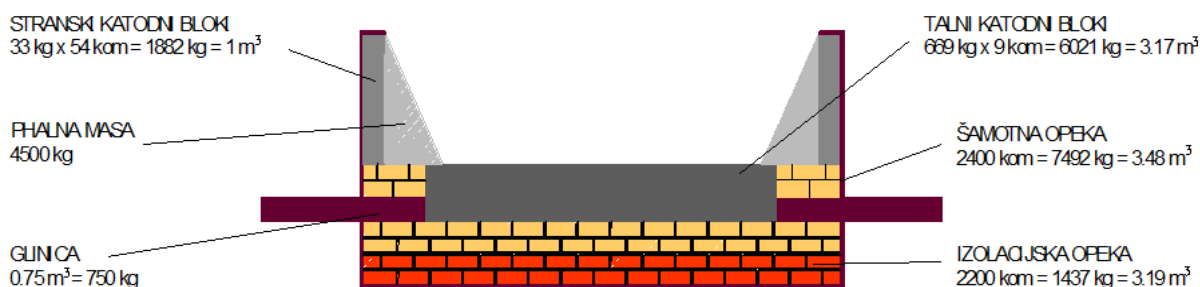
Elektroliza C (slika 4) je zelo sodobno zasnovan obrat z veliko produktivnostjo, nizko specifično porabo električne energije in visoko stopnjo avtomatizacije in računalniškega nadzora. Emisije snovi v okolje so strogo nadzorovane in v mejah zakonskih predpisov (Salihagić Hrenko, 2018).



Slika 4: Shematični prikaz vgrajenih vrst in količin katodnih materialov v elektrolizni celici - Elektroliza C

Vir: (Talum d. d., 2019)

Elektroliza B (slika 5) predstavlja relativno zastarelo tehnologijo z nizko produktivnostjo in nizko stopnjo nadzora in avtomatizacije. Z uvajanjem sodobnih tehnoloških sredstev se potrebe po delovni sili zmanjšujejo. Zaradi določenih omejitev je elektrolizo B brez ogromnih vlaganj ekološko nemogoče popolnoma sanirati, kar pomeni, da bo proizvodnja v tej elektrolizi v bližnji prihodnosti zaustavljena (Salihagić Hrenko, 2018).



Slika 5: Shematični prikaz vgrajenih vrst in količin katodnih materialov v elektrolizni celici – Elektroliza B

Vir: (Talum d. d., 2019)

Elektrolizi tipa C in B se razlikujeta v jakosti toka, proizvodnji, tokovnem izkoristku in porabi električne energije, kar je razvidno v tabeli 1.

Tabela 1: Osnovni tehnološki podatki elektroliz

	ELEKTROLIZA C	ELEKTROLIZA B
Jakost toka (kA)	180	76
Proizvodnja (ton/leto)	80.000	35.000
Tokovni izkoristek (%)	94	87
Poraba el. energije (kWh/t)	13.200	14.200

Vir: (Salihagić Hrenko, 2018)

Glede na tehnološke podatke vidimo, da se pri proizvodnji v elektrolizni celici tipa B porabi večja količina električne energije, se pa proizvode manj ton na leto, tokovni izkoristek pa je tudi nižji kot v primerjavi z elektrolizo tipa C.

Elektrolizne celice tipov B in C se razlikujeta tudi glede na količino vgrajenih materialov, kar je razvidno v tabeli 2.

Tabela 2: Količine vgrajenih materialov v elektrolizni celici tipov B, C

	Elektroliza C		Elektroliza B	
	kg	m³	kg	m³
Ogljikov material	25.508	11	12.403	6,67
Obzidava	14.372	10,6	8.929	6,6
Skupaj	39.880	21,6	21.332	13,2

Vir: (Lastni vir)

Katodno železno korito je med obratovanjem elektrolizne celice izpostavljeno velikim deformacijskim silam zaradi visokih temperatur in ostalih mehanskih obremenitev. Da se izognemo prevelikim deformacijam, se konstruiranje običajno izvede z matematičnimi modeli, s katerimi simuliramo dejansko stanje sil in napetosti. Toplotna izolacija je izredno pomembna, saj vpliva na toplotno ravnovesje v celici in pravilno razporeditev toplotnih izoterm v katodnih blokih, kar preprečuje lokalna pregretja in zagotavlja dolgo obratovalno dobo (Salihagić Hrenko, 2014).

Elektrolizne celice so med seboj v tokovnem smislu povezane zaporedno. Tokovodniki so iz aluminija. Moderna zasnova postavitve celic z daljšimi stranicami druga ob drugi zagotavlja manjše negativne vplive magnetnih polj. Starejše elektrolize imajo drugačno postavitve (kratke stranice druga ob drugi).

Ko posamezno elektrolizno celico zaustavimo, jo izločimo iz električnega tokokroga z vstavitvijo posebnih zagozdnih stikal. Iz elektrolizne celice se izčrpa aluminij, odstranijo se elektrolit, glinica, ogljikovi katodni bloki, opeka in tokovodniki. Celotna elektrolizna celica se obnovi, ostane zgolj jekleno ohišje. Povprečna eksploatacijska doba moderno zasnovanih elektroliznih celic znaša od pet do osem let. V povprečju nastane 20 kilogramov na tono proizvedenega aluminija izrabljenih odpadnih katod, imenovanih tudi SPL (spent pot lining). Pod izrazom katodni odpadki govorimo le o odpadkih, ki jih v proizvodnji aluminija ni možno reciklirati.

To so (Salihagić Hrenko, Termodinamični vidik proizvodnje elektroliznega aluminija, 2014):

- ogljikove obloge,
- šamotna opeka,
- izolacijska opeka.

Sorazmerno z rastjo proizvodnje aluminija v svetu narašča tudi količina katodnega odpada. Za doseganje optimalnega delovanja elektrolizne celice je zelo pomemben način gradnje elektrolizne celice. Zagotavljanje zelenih lastnosti celice je v veliki meri odvisno od uporabljenih materialov (Salihagić Hrenko, Termodinamični vidik proizvodnje elektroliznega aluminija, 2014).

3.3 Uporaba aluminija v gradbeništvu

Aluminij je danes druga najbolj uporabljana kovina v svetu (za železom). To je posledica lastnosti, ki jih aluminij ima, in sicer (Salihagić Hrenko, 2018):

- nizke specifične teže (2,5-krat lažji od železa),
- ugodnega razmerja med nizko težo in mehanskimi lastnostmi,
- dobre električne prevodnosti,
- korozijske obstojnosti,
- zdravstvene neoporečnosti,
- dobrih preoblikovalnih lastnosti,
- primernosti za recikliranje.

Uporablja se v transportu, embalaži, elektro sektorju, gradbeništvu in drugo. Transportni sektor predstavlja največjega končnega porabnika aluminijevih polproizvodov. Največji delež porabe odpade na sektor osebnih motornih vozil, uporablja pa se še v gradnji tovornih vozil, letalo-gradnji, ladjedelništvu in vlako-gradnji. Zelo razširjena je uporaba aluminija za zaščito, skladiščenje in pripravo hrane in pijač (različne vrste folij, pločevinke). Aluminij zelo dobro prevaja toploto (priprava hladne in tople hrane), je zelo lahek, kar znižuje transportne stroške. Je tudi zelo učinkovit pri preprečevanju dostopa svetlobe, zraka in vode. Al-embalaža je varna, nepokvarljiva, higienska in enostavna za reciklažo. V komercialnem smislu je zaradi nizke specifične teže in visoke prevodnosti edini primeren metal za prenos električne energije. Druga

področja uporabe aluminija so še kemična in prehrabna industrija, telekomunikacije, gospodinski in ostali tehnični predmeti, ipd. (Salihagić Hrenko, 2018).

V gradbeništvu se uporabi kar 20 odstotkov vse svetovne proizvodnje aluminija, saj redko najdemo zgradbo, v kateri ni aluminija. Razlog leži v tem, da se je aluminij izkazal kot dober konstrukciji material, ki ima nizko specifično težo, veliko vzdržljivost in je odporen proti koroziji (Časnik Finance, 2011). Uporablja se lahko v iztisnjeni, valjani ali odliti obliki za okvirje oken in vrat, obloge fasad in strehe, konstrukcije... (prav tam). Aluminijski okenski okvirji predstavljajo trajen material, medtem ko leseni okenski okvirji zelo hitro propadajo (prav tam).

Aluminij ima več kot stoletno zgodovino, prvotno je zamenjal material, kot so baker, želelo, jeklo in bron, kasneje se je začel uporabljati kot konstrukciji material pri gradnji stavb. Danes se aluminij uporablja skoraj povsod pri gradnji: za izdelavo stropov in sten, senčil, strešnih kritin, stavbnega pohištva, stopnic in kot konstrukcijska podlaga za velike objekte, kot so stadioni, mostovi in trgovski centri. Na sodobnih stavbah ga vidimo tudi v kombinaciji s steklom (Časnik Finance, 2011). Uporaba aluminija v gradbeništvu je tudi okolju prijazna saj je vse izdelke iz aluminija, ki se uporabljajo v gradbeništvu, mogoče reciklirati.

3.4 Materiali uporabljeni pri obzidavi korita

Pri obzidavi korita se uporabljajo ogljene obloge iz aluminijevih elektrolitskih celic, ki delujejo kot ognje odporna posoda za staljeno kovino in elektrolit in prenaša elektriko iz celice (Vasshaug, 2008). Poleg vodljivosti so pomembne lastnosti katodnih blokov tudi mehanska stabilnost za zadrževanje tekočih kovin na katodi in odpornost na kemikalije v elektrolitu. Narava in kristalografska struktura ogljikovega materiala imata ključno vlogo pri lastnostih in obnašanju blokov. Tako je grafitna struktura pomemben dejavnik za ogljikove katode. Ta struktura je pridobljena naravno ali s pomočjo grafitizacijske toplotne obdelave. Grafitizacija je trdna transformacija termodinamično nestabilnega grafita v grafit s toplotno energijo pri visoki temperaturi. Karbonska katoda kot pred-pečeni bloki se proizvaja iz različnih treh virov; ogljika, antracita, grafitni material in grafitiran material (Nobakhtghalati, 2014).

Materiali uporabljeni pri obzidavi korita:

- **lahka izolacijska opeka** dimenzij 220 x 110 x 60 mm in dimenzij 500 x 250 x 120 mm. Izolacijska opeka ali »mehka« opeka je izdelana iz materiala, odpornega na visoke temperature, ki je bil penjen med vlaženjem. Ko je ta material izdelan v opeke, znotraj

teh ujeti zrak zagotavlja dobro izolacijo. Perlit je vrsta vulkanske kamnine, ki jo miniramo, drobimo, segrevamo in jo tako razširimo (4 do 20 krat prvotnemu volumnu), da nastane izolacijski material. Se pravi, da lastnosti izolacijskih opek temeljijo na ekspanziranem perlitu in se odlikujejo po nizki gostoti materiala, ki zagotavlja dobre izolacijske lastnosti. Tako so razni obrati, ki se ukvarjajo z izolacijskimi opekami, razvili cele palete različnih izolacijskih opek, primernih za posamezne proizvodnje. Običajno so uporabljene v lončarskih in drugih pečarskih industrijah. Pri nas uporabljamo opeke italijanskega proizvajalca Mosconi in so dobavljive v večjih različnih dimenzijah s pripadajočimi specifičnimi lastnostmi. Primerne za našo proizvodnjo imajo specifično maso 437.1 kg/m^3 , tlačne trdnosti $1,62 \text{ Mpa}$, toplotno prevodnost pri $600 \text{ }^\circ\text{C} = 0,14 \text{ W/mK}$, maksimalna vzdržljivostna temperatura $900 \text{ }^\circ\text{C}$, linearno krčenje manj ko 1% , toplotno raztezanje od 20 do $750 \text{ }^\circ\text{C} = 0,4 \%$, ognjevzdržnost do $1140 \text{ }^\circ\text{C}$, skupne poroznosti 82% .

- **glinica** ali aluminijev oksid se pridobiva iz boksita, rude ki jo pridobivajo v različnih tropskih in subtropskih regijah iz tal. Ko se rafinira iz boksita je glinica videti kot bel prah. Z elektroliznim procesom iz glinice pridelujemo primarni aluminij. Pri obzidavi ga uporabljamo za izravnavo talne površine in kot fugirno sredstvo za boljše spoje med opekami.
- **Ognje-odporna (šamotna) opeka** dimenzij $220 \times 110 \times 60 \text{ mm}$ in $750 \times 500 \times 60 \text{ mm}$. Ta opeka je narejena z namenom da prenese visoke temperaturne obremenitve, ima nizko toplotno prevodnost za doseganje boljše energetske učinkovitosti. Ognje-odporne opeke so narejene iz ognje-odporne gline, ki vsebuje preko 60% kremena in več kot 20% glinice, ter je žgana v peči dokler ne postane delno steklena. V našem podjetju uporabljamo ognje-odporne opeke $220 \times 110 \times 60 \text{ mm}$, prodajalca Simonsen. Specifična masa šamotnih opek je 2150 kg/m^3 , maksimalna uporabnostna temperatura do $1100 \text{ }^\circ\text{C}$, tlačne trdnosti 60 MPa , poroznosti 14% , termalno raztezanje pri $1000 \text{ }^\circ\text{C} = 0,60 \%$, toplotna prevodnost pri $1000^\circ\text{C} = 1,5 \text{ W/mK}$.
- **Fugirni cement**, služi za spajanje posameznih opek med obzidavo. Pri polaganju opek s fugirnim cementom dosežemo, da je položen sloj neprepusten (ne pronica med fugami). Obenem, pa mora imeti podobne ognje-odporne lastnosti kot šamot. Ima specifično maso 750 kg/m^3 , maksimalna uporabna temperatura $= 1100^\circ\text{C}$, ognje-odpornost do $1200 \text{ }^\circ\text{C}$. Sestava fugirnega cementa je 62% SiO_2 , 22% $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ in 3% Fe_2O_3 in ga zmešamo z vodo (50 l vode na 100 kg cementa).

- **Katodni bloki** so izdelani iz ogljika in grafita ter zahtevajo nizko upornost in odpornost na erozijo tekočega aluminija v elektrolizni celici. Kakovostni katodni materiali lahko zmanjšajo napetost katode in s tem zmanjšajo porabo električne energije, ter izboljšajo življenjsko dobo elektrolizne celice. Ogljikove bloke proizvedemo tako z določenim receptom, mešanico materialov in surovino ter oblikovanjem pod visoko temperaturo, kjer oblikujemo blok, ki ga nato pečemo v posebni peči in na koncu grafitiziramo blok. Katodni bloki sestavljeni samo iz ogljika imajo boljšo električno prevodnost, a imajo slabše mehanske lastnosti in so manj odporni na erozijo, medtem ko so bloki z visokim deležem vsebnosti grafita bolj obstojni na erozijo, imajo pa slabšo prevodnost. Zato se v proizvodnji primarnega aluminija običajno uporablja ogljikove katodne bloke z 70-85 % vsebnostjo ogljika in 30-15 % vsebnostjo grafita.
- **Ognje-odporni beton**, se uporablja pri zalitju odprtih okoli katodnih odvodnikov in zgornje obzidave. Ima specifično maso 2100 kg/m³, maksimalno uporabna temperatura =1350°C, glavna komponenta je izolativni šamot, ima hidravlični tip vezave, za 100 kg suhe mešanice se uporabi 7-8,5 l vode
- **stranski bloki**, imajo funkcijo toplotne prevodnosti med notranjostjo korita in zunanjim Fe plaščem korita. Sestavljeni so iz ogljika.
- **phalna masa**, je namenjena za tesnjenje prostora med spodnjimi katodnimi bloki in stranskimi bloki. Maso vgrajujemo s phalnim strojem, ki maso v več slojih vgradi (zbije), med špranje, da ta čim bolj tesni. Kvalitetna phalna masa in pravilno vgrajevanje je zelo pomembno, saj lahko podaljša obratovalni čas same elektrolizne celice. Phalna masa je sestavljena iz kalciniranega petrolkoksa, kalciniranega antracita in drugih vezivnih materialov. Možnosti poškodb phalne mase po vgraditvi, predstavljajo: mehanske obremenitve, zaradi širjenja drugih materialov (bočnih sten, katodnih blokov), moč stiskanja ni prenizka niti previsoka, oksidacija površja velikega šiva, infiltracija kovine v razpoko paste.

4 KLASIČNA OBZIDAVA KORITA

Obzidava korita je sestavljena iz treh posameznih skupin obzidave, in sicer:

- spodnja obzidava,
- polaganje katodnih blokov,
- zgornja obzidava in phanje.

4.1 Spodnja obzidava

Korito je obzidano iz dveh slojev lahke izolacijske opeke in dveh slojev šamotne opeke in specifičnimi maltami. Dimenzije opek pri klasični metodi so enake za lahke izolacijske opeke in šamotno opeko, 220 mm x 110 mm x 60 mm. Spodnja obzidava katodnega korita običajno traja 5 dni.



Slika 6: Polaganje opek

Vir: (Lastni vir)

Preden začnemo polagati prvo plast opek, najprej preverimo če je korito ravno ali je potrebno poravnati izbokline na koritu in korito očistimo. Ob straneh korita položimo toplotno izolacijo (mineralno ali stekleno volno) širine 5 cm in višine cca 25 cm oziroma do končne višine zadnje, četrte plasti. Nato z glinico in s pomočjo 3900 mm dolge aluminijaste late izravnamo površino v debelini približno 25 mm. Prvo plast opek polagamo brez uporabe lepila, uporabljamo lahke izolacijske opeke (Mosconi) dimenzij 220 mm x 110 mm x 60 mm. Začnemo na čelni strani vzdolž daljše strani korita. Precizno položimo prvo vrsto opek in jo poravnamo z vrvico. Polaganje opek poteka previdno, opeke polagamo eno poleg druge (slika 6) in pri tem pazimo, da uporabimo četrtinke in tri četrtinke. Na koncu pa se opeke odreže, da lepo zapolnijo prostor. Na koncu polaganja prvega sloja previdno naneseemo glinico, da zapolnimo fuge med opekami.

Po končanju polaganja prvega sloja preverimo, da je površina ravna, v nasprotnem primeru opeke odstranimo in jih položimo pravilno. Vodoravnost preverimo po vsakem položenem sloju posebej.

Na enak način položimo naslednjo plast. Sedaj mora biti glavna os opeke pravokotno na glavno os prejšnje plasti (slika 7), tako upoštevamo princip križanja fug.



Slika 7: Druga vrsta opek

Vir: (Lastni vir)

Tretjo vrsto pa zazidamo tako, da je obod sezidan iz izolacijske opeke, znotraj pa iz ognje-odporne opeke (šamot), ki jo zalepimo z lepilom (Vindiš, 2017). Na suho položimo vrsto izolacijskih opek in sicer ob rob korita, pravokotno na stranske stene. Znotraj tega obročja položimo šamotno opeko vzporedno z glavno osjo korita. Fugirni cement pripravimo v zidarskih posodah. Tanko namažemo cement na dve strani opeke, ki bosta v stiku s prej položenimi opekami (na spodnjo stran ne nanašamo cementa). Ko ročno položimo opeko jo previdno udarimo s kladivom ob straneh, da odstranimo odvečni cement izmed opek. Ko se začne odvečni cement strjevati, z zidarsko žlico postrgamo grebene. Odstranjenega cementa ne uporabljamo ponovno.

Četrto, zadnjo plast opeke pri spodnji obzidavi položimo pravokotno prejšnjemu sloju. Se pravi, vrsta izolacijskih opek okoli korita je položena vzporedno s stranskimi stenami, šamotna opeka pa je položena pravokotno na vzdolžno os korita (slika 8). Opeko premažemo s fugirnim cementom na robovih, kakor tudi na spodnji strani. Opeko položimo in rahlo potolčemo s kladivom, ter kasneje odstranimo strjeni odvečni cement.



Slika 8: Zadnja vrsta opek

Vir: (Lastni vir)

4.2 Polaganje katodnih blokov

Za spodnjo obzidavo sledi postavljanje katodnih blokov (slika 9) izdelanih iz ogljika. Najprej se vsak blok opremi z jeklenim nosilcem, se zalije s sivo litino in ob straneh in na sredini bloka zabetonira (Vindiš, 2017). Na površino obzidanega korita nanesemo glinico in jo poravnamo v višini od 25 mm do 30 mm s pomočjo aluminijaste late, pred položitvijo vsakega katodnega bloka posebej. Z žerjavom in s pomočjo dveh jeklenih plošč ter dveh jeklenih valčkov, počasi in precizno položimo katodni blok z zlitimi Fe vodniki v katodno korito. V eno katodno korito položimo 12 katodnih blokov. Po pravilni postavitvi, morajo vsi vrhi blokov, biti na isti višini.



Slika 9: Polaganje katodnih blokov (foto Aleksandra Jelušič)

Vir: (Lastni vir)

Jekleni nosilec, ki štrli iz katodnega korita je namenjen temu, da se pri vgradnji korita priklopijo tokovniki, preko katerih poteka enosmerni električni tok.

4.3 Zgornja obzidava

Pri zgornji obzidavi v bistvu najprej sezidamo do višine tokovodnikov, ter med njimi zabetoniramo z ognje-odpornim betonom, potem pa dozidamo še tri vrste nad tokovodniki (Vindiš, 2017).

Prostor okoli vodnikov zapolnimo s papirjem. S tem preprečimo, da bi toplotna ekspanzija vodnikov poškodovala obzidavo ali povzročila odprtje velike fuge. Vodnike obložimo takoj po polaganju blokov, še preden začnemo z zgornjo obzidavo.

Zgornja obzidava je obzidana iz treh različnih vrst opek: lahka izolacijska opeka (BIL), ognje-odporna opeka (BRO) in odporne izolacijske opeke (BIR), vse enakih dimenzij 220 mm x 110 mm x 60 mm. Prvi del zgornje obzidave sestavlja obzidava čelnih strani korita z lahko izolacijsko opeko pravokotno in vzporedno po slojih izmenično do devetega sloja (5 slojev). Nato s šamotno opeko na čelni strani, pravokotno na katodno korito na strani katodnega bloka položimo naslednje tri sloje. Na daljši strani korita pa položimo odporno izolacijsko opeko vzporedno z in ob koritu naslednje tri sloje. Šamotno opeko pa na daljši strani korita položimo izmenično pravokotno in vzporedno s koritom na strani katodnih blokov naslednje tri sloje. Sledi zapolnitev praznega prostora pod in okoli vodnikov z ognje-odpornim betonom. Pri ognje-odpornem betonu moramo upoštevati specificirano količino vode. S pomočjo modelov prekrijemo celotne vodnike znotraj betonskega stranskega zida in zapolnimo spodnje strani vodnikov. Na strani korita in pod vodniki izvedemo tesnenje (jeklene sponse in keramična vlakna). Z ognje-odpornim betonom zapolnimo prostor, ki so ga zavzemali modeli. Beton obdelamo s pnevmatsko »vibrirno iglo«.

Drugi del zgornje obzidave pa poteka na čelni strani korita z obzidavo šamotnih opek vzporedno s katodnim koritom 1 sloja in nato 2 sloja šamotnih opek pravokotno na katodno korito. Na daljši strani korita pa poteka obzidava z odporno izolacijsko opeko 1 sloj pravokotno na in ob koritu in 1 sloj vzporedno s in ob koritu. Ob daljši strani korita položimo še šamotno opeko 1 sloj vzporedno s koritom in 1 sloj pravokotno na korito oboje na strani katodnih blokov. Na daljši strani položimo še 1 sloj šamota pravokotno na in ob koritu.

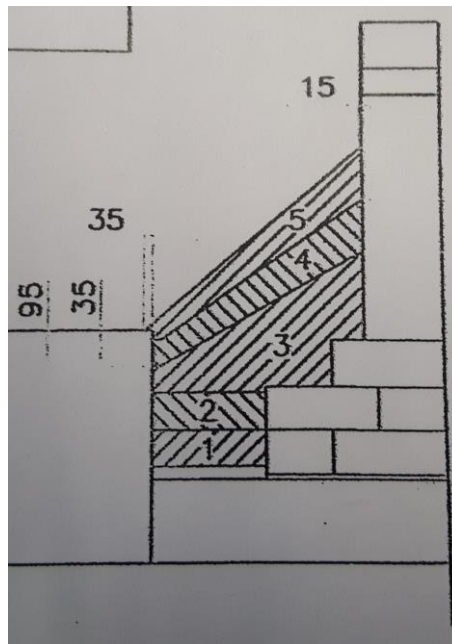
Polaganje stranskih blokov (slika 10): stranske bloke položimo navpično ob notranjo steno katodnega korita. Za eno peč potrebujemo 87 stranskih blokov. Najprej položimo 31 blokov na obe daljši strani, zadnji blok se odreže na mero. Za vsako čelo potrebujemo 12,5 stranskih blokov, zadnje prav tako odrežemo na mero. Bloke pričvrstimo na korito s fugirnim cementom, rahlo potolčemo s kladivom in kasneje postrgamo cementne madeže.



Slika 10: Polaganje stranskih blokov (foto: Aleksandra Jelušič)

Vir: (Lastni vir)

Tretja faza obzidave korita oziroma zgornja obzidava traja tri dni. Po tem sledi phanje. Phanje pomeni, da zafhamo s phalno maso in posebnim strojem v fuge med katodnimi bloki v petih plasteh (Vindiš, 2017). Najprej vakuumsko očistimo vse fuge, da se phalna masa bolje zbije. Temperatura katodnih blokov mora biti nad 15°C (enako kot temperatura zmešane phalne mase), sicer je potrebno katodne bloke zagreti. Za nanašanje paste je potrebno uporabljati namenska orodja (lijak za fuge, ki je za vsako plast različnih višin,...). Vsak sloj nanašamo in phemo posebej ter poračunamo razmerje stiskanja. Pri manjših šivih nanesemo 4 do 5 plasti, vsaj 100 mm debeline ne zbite mase (običajno med 180 in 200 mm). Zagotoviti moramo dober nivo zgoščevanja, da dobimo ustrezen volumen razširitve v fugah in s tem zagotovimo tesnost in zmanjšanje tveganja infiltracije kovine. Pri stranskem phanju, nanesemo pasto s pomočjo širokega lijaka, da je enakomerno nanešena, ter jo najprej delno utrdimo z valjem, da pri kasnejšem phanju ne brizga mase naokrog. Po phanju korito ustrezno opremimo z ostalimi deli in jo zmontiramo v elektrolizno celico ali pa ga shranimo za maksimalno 1. leto v skladišče, kjer moramo preprečiti vdor zraka in vlage, tako da maso zaščitimo s slojem zdrobljene kopeli ali glinico. V naši proizvodnji poteka phanje strojno s strojem BROCHOT.



Slika 11: Plasti phanja

Vir: (Talum d. d., 2019)

Po phanju zabetoniramo še odprtine okrog tokovodnika na zunanji strani korit, in sicer tako, da z betonom zalijemo železni okvir, kjer bomo kasneje priklopili tokovnike. Pri obnovi katodnega korita je tudi potrebno v celoti obnoviti anodno nadgradnjo (Vindiš, 2017). Pri popravilu anodne nadgradnje upoštevamo navodila za delo ND 1513.006, obnova anodne nadgradnje za HC in ND 1513.003, uporaba priprave za obdelavo anodne deske. Na katodo napravimo s posebnim okvirjem pod vsakim blokom 10 mm debelo posteljico iz koksa, ki mora biti granulacije med 2 in 5 mm s povprečkom 3 mm. Anode za zagon morajo biti nove. Na vsaki anodi moramo preveriti navpičnost anodne palice, zalitje anode, morebitne razpoke na anodi in vare. Anode namestimo s posebno pozornostjo med ušesa spone in pustimo na 5 mm distance med anodno desko in anodnimi palicami, kamor vstavimo izolacijski prešpan (Jošt, 2006).

S tem je katodno korito pripravljeno za vgradnjo v celico. Do celice se korito transportira s posebnim žerjavom in se ga nato vgradi (Vindiš, 2017). Ko je korito dokončno na svojem prostoru, ga pokrijemo z betonskimi ploščami, odstranimo opozorilno vrvico in okolico očistimo (Jošt, 2006).

Klasična obzidava traja tako približno 5 dni za spodnjo obzidavo, plus 1 dan za polaganje katodnih blokov, plus 1,5 dni za zgornjo obzidavo, plus 0,5 dni za strojno phanje. Skupaj traja obzidava korita 8 delovnih dni, plus morebitna montaža nadgradnje na korito in postavitve elektrolizne celice, vsega skupaj približno 10 delovnih dni.

4.4 Prednosti in slabosti klasične obzidave korita

Prednosti klasične obzidave korita so: uporabljajo se klasični (standardni) zidaki in ostali materiali in obzidava je enostavna, saj ni potrebno znanje za upravljanje posebnih strojev.

Slabosti pa so:

- dolgotrajna obzidava,
- potrebnih je več spojev, kar pomeni več možnosti za nepravilnosti,
- potrebno je več fizične delovne sile,
- nepredvidena dela,
- krajša življenjska doba korita.

5 OBZIDAVA KORITA Z NOVO TEHNOLOGIJO – BIM

5.1 Veliki lahko-izolacijski bloki

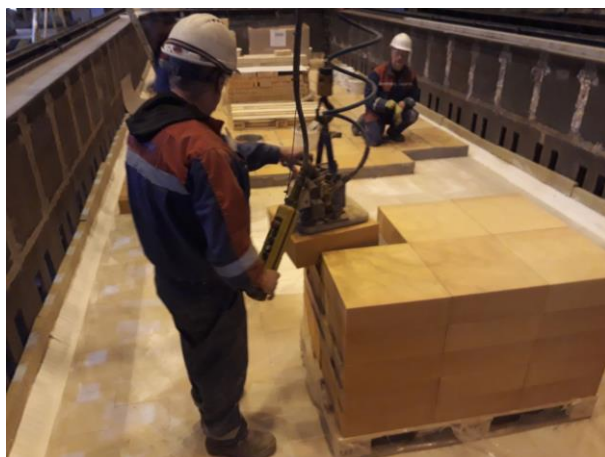
Pri obzidavi korita z novo tehnologijo bom skušal dokazati, da je delo z velikimi bloki hitrejše in cenejše, napram stari klasični obzidavi. Za uporabo nove tehnologije sem kontaktiral proizvajalca lahkih izolacijskih opek Mosconi in pridobil informacijo, da izdelujejo tudi večje bloke. Primerni za našo katodno korito so bili formata 500 mm x 250 mm x 120 mm. Ta opeka je tako po kvadraturi 5,2 x večja od klasičnega zidaka dimenzij 220 mm x 110 mm x 60 mm. Je pa tudi 2 x debelejši, kar pomeni, da ne rabimo polagat 2 slojev po 60 mm ampak samo 1 sloj po 120mm. En takšen blok tehta 6,5 kg, tako da bi ga lahko eventualno polagali tudi ročno, ampak glede na to, da za večje šamotne bloke rabimo vakuumsko dvigalo, bi bilo smotrno, le tega uporabljati tudi za izolacijske bloke in s tem zmanjšamo število potrebnih delavcev.

Priprava korita je enaka kot pri klasični obzidavi, enako tudi izravnava dna korita z glinico debeline 25 mm in 5cm trakom toplotne izolacije ob robu korita. Obzidavo korita z velikimi izolacijskimi bloki, bi tako začeli pravokotno na vzdolžno os katodnega korita. Bloke položimo tako, da se fuge ne prekrivajo – polovični zamik, ter se bloki na koncu korita režejo na mero. Ker je debelina teh blokov 120 mm zadostuje le 1 sloj. Po končani položitvi nanesemo glinico v fuge.

5.2 Veliki šamotni bloki

Tudi ognje-odporni (šamotni) bloki, so dobavljivi v večjih dimenzijah. V našem podjetju smo pred časom imeli na testiranju večje šamotne bloke Alubar 1100XL dimenzij 750 mm x 500 mm x 60 mm, proizvajalca Melle-Buer. Tale šamotni blok je za 15,6 x večji od klasičnega zidaka dimenzij 220 mm x 110 mm x 60 mm. Ampak tale blok je enake debeline – 60 mm, tako da sta potrebna 2 sloja obzidave. Ker 1 blok tehta približno 49,5 kg, rabimo vakuumsko dvigalo za lažjo vgradnjo (slika 12).

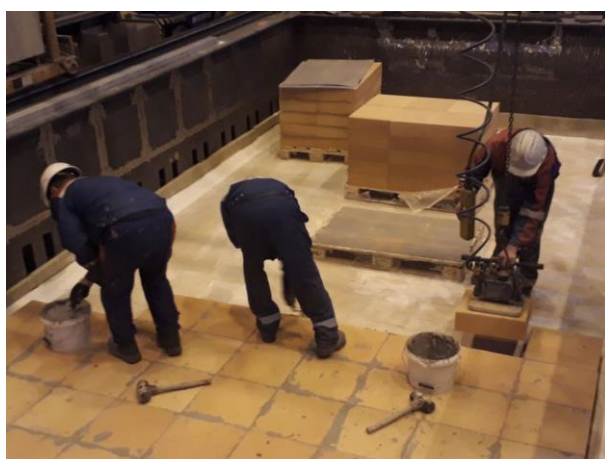
Na očiščeni sloj izolacijske opeke tako najprej položimo okvir iz klasične izolacijske opeke enako kot pri klasični obzidavi. Znotraj tega obroča pa položimo šamotne bloke s pomočjo vakuumskega dvigala, vzporedno z daljšo stranico korita s polovičnim zamikom fug. Na koncu korita režemo bloke na mero. Fugirnim cementom namažemo 2 stranici bloka in ga vgradimo v vrsto, potolčemo s kladivom in odstranimo odvečni fugirno cement, ko se ta posuši (slika 13).



Slika 12: Vakuumsko dvigalo

Vir: (Talum d. d., 2019)

Pri zadnjem sloju izvedemo okvir iz izolacijske opeke enako kot pri klasični obzidavi. Znotraj okvirja pa položimo šamotne bloke pravokotno na vzdolžno os korita in jih s fugirnim cementom namažemo na 2 stranici spodaj, ter jih vgradimo v korito, potolčemo s kladivom in očistimo fuge.



Slika 13: Postavljanje velikih šamotnih blokov

Vir: (Talum d. d., 2019)

Kot lahko opazimo pri sami obzidavi z novo tehnologijo ni nekih posebnih sprememb, je pa zelo pomembno to, da je potrebne manj delovne sile, tudi ročnega dela je manj zaradi dvigala, prav tako je manj slojev in manj samih stikov med opekami/bloki, kar je zelo pomembno pri uporabi dobi korita. Korito je zaradi večjih blokov tudi časovno obzidano prej. Časovno in stroškovno prednost bom podrobneje predstavil v zaključku.

Pri polaganju katodnih blokov v korito in zgornji obzidavi korita, tako ni praktičnih sprememb.

5.3 Vacuum lifter (dvigalo)

Vakuumska dvigala so v gradbeništvu prinesla bolj varno delo za ljudi, saj ni več potrebno ročno dvigovanje težkih bremen, obenem pa tudi preprečila poškodbe, do katerih prihaja pri ravnanju z gradbenimi elementi (Podjetje Viavac, 2019). Zagotavljajo ergonomsko delovno okolje. Pomagajo preprečiti zdravstvene težave, ki jih povzročajo dvigovanje in premikanje težkih bremen, prav tako se zmanjša tveganje za poškodbe materialov. Poleg tega pa so dvigala usklajena s sistemi žerjavov iz aluminijastih komponent. To pomeni, da so sistemi žerjavov posebej odzivni in podpirajo ergonomsko delo z vakuumskimi dvigali (Podjetje Schmalz, 2019).

Za boljšo predstavo o vakuumskih dvigalih sem vzpostavil stik s kanadskim podjetjem TAWI, ki se ukvarja s proizvodnjo raznih dvigal in žerjavov, namenjenih za specifične industrijske obrate. Primerno za naše podjetje bi bilo njihovo vakuumsko dvigalo namenjeno dvigovanju kamnitih in cementnih blokov. Zagotavljajo, da je delo z njihovim dvigalom enostavno in brez napora. Dvigalo previdno prime blok z gumijastim tesnilom, ki izravna morebitne nepravilnosti na površini tovara in tako zagotavlja zrakotesno dviganje. Ploščo ali blok lahko tako dvignemo in ga postavimo točno tja kot želimo ter ga varno odložimo. Ergonomski ročaj nam omogoča udobno nadziranje dvižne višine s konicami prstov ter enostavno prijemanje in sprostitve tovara z eno roko. Dviganje tovara z TAWI vakuumskim dvigalom zagotavlja pravilno (ergonomsko) držo delavca med izvajanjem operacij z dvigalom ter tako zaposlene varuje pred bolečimi hrbti in rameni. Dvigalo omogoča vsakomur, da brez težav prenese težke tovore, kar prihrani čas in trud pri naših obzidavah. S tem, ko omogočimo vsakemu delavcu, da lahko dviga težke tovore, in z njimi operira, zagotovimo tudi enakovredno delovno okolje za vse delavce. Z izborom standardnih dvigal, ki temeljijo na desetletjih izkušenj z dvigali, lahko po naročilu strank izvedejo tudi dopolnjene dvižne sisteme za individualne potrebe in pogoje. Dvigala lahko opremijo tudi s posebnimi sesalnimi nogami, ki so zasnovane posebej za naš tip blaga. Tako dvigalo zagotavlja tudi optimalni razpon gibanja, se pravi lahko prenašamo tovor po celotni delovni površini.

Na razpolago imajo več vrst dvigal kot so: mostni žerjavi, dvigala z roko idr. Za naš primer bi bil naj primeren mostni žerjav oziroma dvigalo, ker bi se tako brez težav premikal in uporabljal vakuumski transporter po celotnem koritu.

Tako dvigalo je sestavljeno iz kovinskega ogrodja, ki se lahko premika naprej in nazaj, dosežne roke, vakuumске črpalke, sesalne cevi premera 160 mm, določenega ročaja za upravljanje in »sesalne noge«, ki je posebej namenjena oprijemu vrste tovara, ki ga prenašamo.

5.4 Prednosti in slabosti obzidave z novo tehnologijo

Prednosti obzidave z novo tehnologijo so:

- uporabljajo se večji zidaki, ki se vgrajujejo s strojem,
- pri obzidavi potrebujemo manj fizične sile (ljudi),
- potrebnih je manj spojev, kar pomeni manj možnosti za nepravilnosti oz. slabo izdelavo),
- obzidava je hitrejša od klasične.

Tudi obzidava korita z novo tehnologijo ima nekaj slabosti, te so predvsem:

- zelo drag stroj, ki je skoraj neuporaben za druga dela v proizvodnji, ki izdelava premalo korit, zato ni rentabilen,
- prihaja lahko do stroškov povezanih s okvaro stroja.

6 PRIMERJAVA KLASIČNE OBZIDAVE Z NOVO OBZIDAVO Z BIM-OM

6.1 Opis BIM-a

BIM (ang »Building information modeling«) predstavlja informacijsko modeliranje objektov, kar predstavlja najsodobnejši način načrtovanja, izvedbe in upravljanja investicijskih projektov, s katerim se dviguje produktivnost in optimizacija gradbenih procesov (Podjetje Lineal, 2018). BIM kratica pomeni informacijsko modeliranje objektov. To je proces, ki omogoča, da več zainteresiranih strani in strokovnjakov na področju arhitekture, inženiringa in gradbeništva sodelujejo pri načrtovanju, oblikovanju in gradnji stavbe znotraj 3D modela (Lorek, 2018).

BIM ni nov, saj se je pojavil že leta 1962, ko je Douglas Engelbart napisal svoj prispevek »Povečevanje človekovega razuma: konceptualni okvir.« in opisal, da arhitekt vnaša specifikacije in podatke v konstrukcijo zgradbe in gleda na strukturo, ki je zelo podobna modernemu parametričnemu modeliranju. Izraz »BIM« je bil prvič uporabljen že v devetdesetih letih, vendar se je začel množično uporabljati veliko kasneje. Zadnja leta se uporablja BIM programska oprema za 3D oblikovanje in modeliranje. BIM je uporaba 3D virtualnih modelov stavb, kot tudi proces upravljanja in zbiranja podatkov o stavbah. Uporaba metodologije BIM izboljšuje sodelovanje in zagotavlja novo raven nadzora nad projekti vseh velikosti. Boljši rezultati projekta se dosežejo s popolnim pretokom informacij med aplikacijami in med porazdeljenimi projektnimi skupinami za večjo natančnost v celotni dobavni verigi (Green, 2016).

Poznamo več ponudnikov BIM programske opreme, kot so Autodesk, Graphisoft in Bentley Systems. Autodesk je izdelovalec priljubljenih programskih platform BIM, kot so Revit in AutoCAD Civil 3D. Graphisoft je izdelovalec ArchiCAD-a, ene izmed prvih platform BIM, ki se je pojavil na trgu. Bentley Systems pa izdeluje programsko opremo za modeliranje in izvedbo projektov, kot sta AECOsim Building Designer in ProjectWise (Green, 2016).

6.2 Prednosti in slabosti BIM-a

Najpomembnejše prednosti BIM-a so (Hall, 2018):

- boljše sodelovanje in komunikacija – Digitalni modeli BIM omogočajo souporabo in sodelovanje. Z orodji, ki temeljijo na oblaku, kot je BIM 360 Autodesk, se lahko sodelovanje BIM brez težav pojavi v vseh disciplinah projekta. Ekosistem BIM 360

omogoča skupinam, da si delijo modele projektov in usklajujejo načrtovanje, pri čemer zagotovijo, da imajo vse zainteresirane strani vpogled v projekt. Dostop v oblak omogoča tudi projektnim skupinam, da prevzamejo pisarno na terenu;

- ocena stroškov na podlagi modela – uporaba orodij BIM, kot sta Autodesk Revit in BIM 360 Docs, avtomatizira dolgotrajno nalogo kvantificiranja in uporabe stroškov, kar omogoča ocenjevalcem, da se osredotočijo na dejavnike višje vrednosti, kot so identifikacija gradbenih sklopov in faktorjev tveganja (Hall, 2018);
- vizualizacija pred konstrukcijskega projekta – Z uporabo BIM lahko načrtujete in vizualizirate celoten projekt, pred konstrukcijo, pred gradnjo. Simulacije prostorske uporabe in 3D vizualizacije strankam omogočajo, da izkusijo, kakšen bo objekt pred začetkom gradnje (prav tam);
- izboljšana koordinacija in odkrivanje napak – BIM vam omogoča boljše usklajevanje trgovcev in podizvajalcev, odkrivanje napak pred začetkom gradnje. Ali se električni vodi spopadajo z jeklenim nosilcem? Ali imajo vrata dovolj prostora? Z izogibanjem napak zmanjšamo količino popravkov, ki so potrebni za katero koli določeno delo (prav tam);
- nižji stroški in nižje tveganje – BIM vam lahko prihrani denar na nešteto načinov, če ga izkoristite. Tesnejše sodelovanje z izvajalci lahko vodi do zmanjšanja premij za tveganje ponudb, nižjih stroškov zavarovanja, manj splošnih variacij in manj možnosti za zahteve. Boljši pregled projekta pred začetkom omogoča več prefabrikacije in zmanjšanje odpadkov na neuporabljenih materialih. Stroški dela, ki se porabijo za dokumentacijsko delo in napake, se zmanjšajo (prav tam);
- prihranek časa – Na enak način, kot je veliko teh koristi, prihranite čas, saj skrajšajo čas projektnih ciklov in odpravijo zastoje pri načrtovanju gradnje. BIM omogoča hkratno izvedbo zasnove in dokumentacije ter preprosto spremembo dokumentacije, da se prilagodi novim informacijam, kot so pogoji na lokaciji. Razporede je mogoče natančneje načrtovati in natančno sporočati, izboljšano usklajevanje pa pomaga projektom, da bodo verjetno končani pravočasno ali zgodaj (prav tam);
- povečana produktivnost – Podatki BIM se lahko uporabijo za takojšnjo izdelavo proizvodnih risb ali podatkovnih baz za proizvodne namene, kar omogoča večjo uporabo montažne in modularne tehnologije gradnje. Z oblikovanjem, podrobnim

opisovanjem in gradnjo (offsite) v nadzorovanem okolju lahko zmanjšate odpadke, povečate učinkovitost in zmanjšate stroške dela in materiala (Hall, 2018);

- varnejša gradbena območja - BIM lahko pomaga izboljšati varnost gradnje z natančno določitvijo nevarnosti, tako se lahko izognemo fizičnim tveganjem. Analiza vizualnega tveganja in ocene varnosti lahko pomaga zagotoviti varnost v času izvajanja projekta (prav tam);
- bolj kakovostna gradnja – Večja zanesljivost usklajenega modela vodi neposredno k večji kakovosti gradnje. Z deljenjem skupnih orodij BIM, bolj izkušeni člani ekipe sodelujejo z gradbeniki v vseh fazah projekta, kar zagotavlja boljši nadzor nad tehničnimi odločitvami glede izvedbe projekta. Optimalne načine za izgradnjo projekta je mogoče preizkusiti in izbrati že v začetku projekta, strukturne pomanjkljivosti pa je mogoče ugotoviti pred gradnjo. Z uporabo vizualizacij je lažje izbrati boljšo oblikovno estetiko, kot je modeliranje pretoka naravne svetlobe v zgradbo. Na to lahko med gradnjo uporabimo tehnologijo za zajemanje realnosti za izboljšanje natančnosti (prav tam);
- močnejše upravljanje objektov in gradnja - Informacije v modelu prav tako omogočajo delovanje stavbe po zaključku gradnje. Z uporabo programske opreme za gradnjo je natančen in stalen digitalni zapis informacij o stavbah dragocen za upravljanje objektov in obnovitelje celotnega življenjskega cikla stavbe. Informacijsko modeliranje zgradb je postalo neprecenljivo orodje z obilico koristi za gradbeno industrijo. Projekti, ki uporabljajo BIM, imajo večje možnosti za uspeh in povečajo učinkovitost za vsako fazo življenjskega cikla projekta in naprej (prav tam).

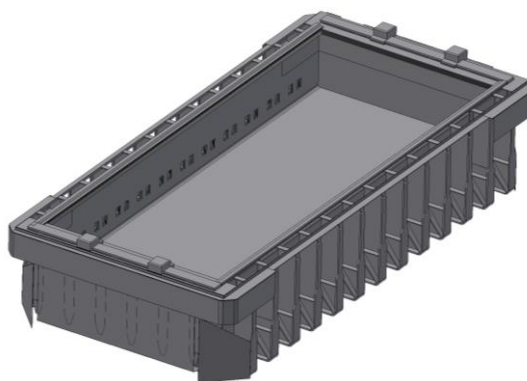
Poleg prednosti ima BIM tudi nekaj slabosti oziroma pomanjkljivosti. Te so (Allan, 2019):

- BIM nima univerzalnih ali združljivih standardov. Če kateri od vaših podizvajalcev ali partnerjev ne uporablja BIM, ne bo mogel uporabiti vašega modela;
- stroški programske opreme so upravičeni le, če se uporabljajo s polno zmogljivostjo.

6.3 Izdelava BIM modela katodnega korita, klasične obzidave in nove obzidave katodnega korita

Program Revit 2019 sem pridobil na Autodeskovi spletni strani, kjer sem se registriral kot študent in dobil dovoljenje da si naložim program. Mere za katodno korito so bile pridobljene v podjetju Talum, kjer sem zaposlen. Od mentorice sem dobil nekaj skic in priporočil za

obzidavo. Same mere pa sem preveril tudi na dejanskem koritu. Korito je zavarjeno skupaj iz več velikih 5 cm debelih železnih stranic. Posebnost korita je, da ima puščene luknje na določeni višini in določenih razmakov, za Fe vodnike, ki gredo skozi katodne bloke. Po uspešni namestitvi sem za risanje modela peči uporabil novo arhitekturno podlogo, kjer sem najprej uredil merske enote v centimetre. Nato sem v zavihku »arhitektura« odprl področje »tla« in izbral željeno vrsto tal. Ker gre za kovinsko korito sem seveda izbral kovinska tla in izbral debelino 5 cm. Označil sem površino tal na dolžine 9,340 cm in širino 4,030 cm. Tako sem dobil osnovne mere mojega korita. Nadaljeval sem z zavihkom »stene«, kjer sem izbral tip stene (kovina debeline 5 cm) in označil možnost vnosa pravokotne oblike in s tem izrisal vse 4 stene naenkrat. Ko sem imel definirane vse osnovne parametre korita sem preklopil pogled na 3D in nato določil višine sten na 1 m. S pomočjo zavihka »okna« sem dodal odprtine za katodne odvodnike na višini 30 cm od tal z razmakom 40 cm med odprtinama enega bloka in 60 cm med odprtinama sosednjega bloka. Okoli zgornjega roba korita sem dodal še pohodno rešetko ob daljši stranici korita, ki je namenjena odvajanju toplotne energije iz korita v višje sloje ozračja, in kovinski prag obzidan s šamotom, na katerega so kasneje postavljena vrata s prve strani korita in sesalni vod odpadnih plinov iz zadnje strani, ob krajši stranici korita. Na spodnjem delu korita in straneh sem dodal še kovinske nosilce, ki omogočajo stabilno pozicijo korita v elektrolizni celici.

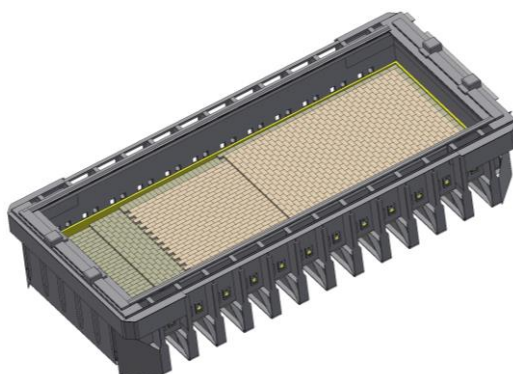


Slika 14: Model katodnega korita

Vir: (Lastni vir)

Nato sem v istem programu izdelal model klasične obzidave v 4 slojih (slika 15). Obzidava s klasičnimi zidaki je že bila opisana, s pomočjo 3D modela pa je tudi lažje razumljiva. Model je nastavljen tako, da zajema vse 4 sloje, ki se prekrivajo pravokotno, glede na posamični sloj. Bolj pregleden je tudi obod iz opek v 3. in 4. sloju, ki je zaradi boljših izolativnih lastnosti sestavljen iz lahkih izolacijskih opek in ne šamota. Ta preprečuje, da bi se železni plašč korita

preveč zagrel. Pri izrisu klasične obzidave sem uporabil prej opisano že izdelano kovinsko korito. Nanj sem najprej s pomočjo področja »stene« izbral toplotno izolacijsko oblogo v debelini 5 cm in višini 25 cm, in jo označil na vse 4 stene korita. Nato sem v področju »tla« izbral opečna tla, dodal novo ime – izolacijska opeka in jih najprej dimenzioniral na velikost posamezne opeke dolžine 22 cm, širine 11 cm in debeline 6 cm, ter jim določil barvo in strukturo. Pozicioniral sem lego prve opeke in nato skopiral ostale opeke po celotni površini korita. Tako sem dobil prvi sloj obzidave. Enake korake sem storil za drugi sloj, le da sem opeke pozicioniral pravokotno na prvi sloj. Pri tretjem sloju sem moral posebej izrisati obod, kjer sem najprej izdelal daljši stranici oboda, kjer so opeke položene vzporedno s prejšnjim slojem in prilagodil krajši stranici oboda, kjer so opeke položene pravokotno na prejšnji sloj. Površino oboda sem zapolnil z opeko, ki sem jo ponovno definiral z enakimi merami kot prej, le da sem dodal novo ime – šamotna opeka in ji določil drugačno barvo. Za zadnji sloj sem imel že izdelani obe varianti opeke, tako da sem izrisal obod iz izolacijske opeke, ki sem ga moral določiti pravokotno na prejšnji obod in ga zapolnil s šamotno opeko pravokotne lege na prejšnji sloj.

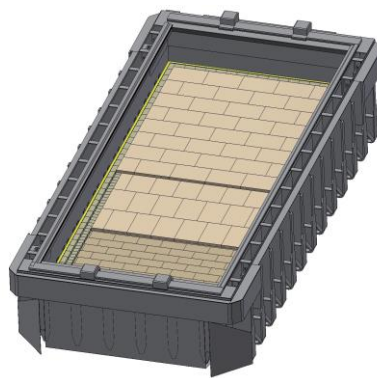


Slika 15: Model klasične obzidave korita

Vir: (Lastni vir)

Na zadnje sem izdelal še model obzidave z velikimi bloki (slika 16). Tudi ta model je izdelan z namenom, da lažje vidimo razliko med obzidavo s klasičnimi zidaki in obzidavo z velikimi bloki. Ker so bloki med sabo različnih velikosti (izolacijski in šamotni), pride do različne simetrije in križanja fug. Pri tem modelu sem prav tako uporabil prej izrisano kovinsko korito in nanj vnesel izolacijo ob stenah korita. Nato sem z ukazi pod področjem »tla« izbral opečna tla in dimenzioniral novo izolacijsko opeko z imenom – veliki izolacijski bloki, dolžine 50 cm, širine 25 cm in debeline 12 cm ter jim določil barvo. Določil sem prečni položaj opeke na vzdolžno os korita in skopiral opeke po ostalem polju znotraj korita. Pri naslednjem sloju sem

najprej uporabil male izolacijske opeke, ki sem jih dimenzioniral za uporabo izrisa klasičnega korita in iz njih izrisal obod po istem principu kot pri tretjem sloju klasičnega korita. Notranjo površino pa zapolnil z novo šamotno opeko, ki sem ji dodal ime – šamotni bloki in jim določil dimenzije dolžine 75 cm, širine 50 cm in debeline 6 cm ter določil barvo. Položaj lege sem določil vzporedno na daljšo os korita in skopiral ostale bloke. Za zadnjo plast sem prav tako uporabil male izolacijske opeke in iz njih sestavil obod po enakem principu kot obod četrtega sloja klasičnega korita, notranjost korita pa zapolnil s prej določenimi »šamotnimi bloki« pozicioniranimi pravokotno na prejšnji sloj.



Slika 16: Model obzidave z velikimi bloki

Vir: (Lastni vir)

6.4 Primerjava modelov obeh obzidav

Sedaj, ko imamo modele obeh obzidav lahko opravimo podrobnejšo primerjavo. Takoj je razvidno, da je pri klasični metodi uporabljenih veliko več zidakov, kar posledično pomeni več porabljenega časa, več delovne sile in več materiala za obzidavo. Pomeni tudi da je veliko več stikov, ki vplivajo na življenjsko dobo korita in elektrolizne celice.

6.4.1 Primerjava števila stikov med opekami

Da bi izračunal število stikov za posamezno metodo obzidave, bom najprej izračunal površino korita in posameznega zidaka in tako prišel do števila zidakov v enem sloju. In ker se vsak zidak stika z ostalimi na vseh štirih stranicah, pomnožimo število zidakov s številom stranic in dobimo skupno število stikov v enem sloju obzidave. Torej dolžina notranje strani korita je 9,240 m in širine 3,930 m, če odbijemo še 5 cm toplotne izolacije, ki mora biti položena okrog korita ja tako dolžina korita 9,140 m in širine 9,830 m.

Ploščina korita je torej:

$$9,140 \text{ m} * 3,830 \text{ m} = 35,006 \text{ m}^2.$$

Ploščina 1 klasične izolacijske opeke je: $0,220\text{ m} \cdot 0,110\text{ m} = 0,024\text{ m}^2$.

Če površino korita delimo z površino 1 opeke dobimo število opek v enem sloju klasične obzidave.

$35,006\text{ m}^2 / 0,024\text{ m}^2 = 1459$ opek (opomba – to ni dejansko število opek na sloj, ker ni poračunan še razrez, ki je potreben na koncu korita).

Število opek pomnožimo s 5 stranicami (zgoraj, levo, desno, spredaj, zadaj) in dobimo $1459 \cdot 5$ stranic = 7295 stikov.

Ugotovili smo, da je v enem sloju klasične obzidave 7295 stikov med izolacijskimi opekami. Ker je 2 sloj enak, le da je položen pravokotno, bomo upoštevali isto število opek in jih pomnožili s 6 stranicami – še spodnja in tako dobili $1459 \text{ opek} \cdot 6 \text{ stranic} = \underline{8754 \text{ stikov}}$.

V 3 sloju je obod iz izolacijske opeke, ki ga sestavlja:

$9,140\text{ m} / 0,110\text{ m} = 84$ kom po dolgi stranici $\cdot 2 = 168$ opek,

$3,39\text{ m} / 0,110\text{ m} = 31$ kom po krajši stranici $\cdot 2 = 62$ opek,

Obod 3 sloja je sestavljen iz skupaj $230 \text{ opek} \cdot 6 \text{ stranic}$, kar = 1380 stikov.

Znotraj oboda je uporabljenih:

$8,700\text{ m} \cdot 3,390\text{ m} = 29,493\text{ m}^2$; $29,493\text{ m}^2 / 0,024\text{ m}^2 = 1229 \text{ opek} \cdot 6 \text{ stranic} = 7374 \text{ stikov} + 1380 \text{ stikov (obod)} = \underline{8754 \text{ stikov}}$ skupaj.

V 4. sloju so opeke za obod položene po dolgem torej je:

$9,140\text{ m} / 0,22\text{ m} = 42$ kom po dolgi stranici $\cdot 2 = 84$ opek

$3,610\text{ m} / 0,22\text{ m} = 17$ kom po krajši stranici $\cdot 2 = 34$ opek

Obod 4 sloja je sestavljen iz skupaj $118 \text{ opek} \cdot 5 \text{ stranic} = 590 \text{ stikov}$. Znotraj oboda pa je površina $8,920\text{ m} \cdot 3,610\text{ m} = 32,201\text{ m}^2$; $32,201\text{ m}^2 / 0,024\text{ m}^2 = 1342 \text{ opek} \cdot 5 \text{ stranic} = 6710 \text{ stikov} + 590 \text{ stikov (obod)} = \underline{7300 \text{ stikov}}$.

Enako izračunamo za obzidavo z velikimi bloki: Prvi sloj je sestavljen iz blokov dimenzij $0,5\text{ m} \times 0,25\text{ m}$, ker je debeline $0,12\text{ cm}$ se polaga samo 1 sloj. Izračunamo da je število stikov v 1 sloju: $35,006\text{ m}^2 / 0,125\text{ m}^2 = 281 \text{ blokov} \cdot 5 \text{ stranic} = \underline{1405 \text{ stikov}}$

V 2. in 3. sloju so uporabljene izolacijske opeke dimenzij $0,22\text{ m} \times 0,11\text{ m}$ za obod in šamotni bloki dimenzij $0,75\text{ m} \times 0,50\text{ m}$ znotraj oboda. Torej stike za 2 sloj preračunamo:

Obod = 230 opek * 6 stranic = 1380 stikov

Znotraj oboda pa je $29,493 \text{ m}^2 / 0,375 = 79$ blokov * 6 stranic = 474 stikov

Skupaj v 2. sloju = 1854 stikov

V 3. sloju je obod iz 118 opek * 5 stranic = 590 stikov

Znotraj oboda pa je $32,201 \text{ m}^2 / 0,375 = 86$ blokov * 5 stranic = 430 stikov,

Skupaj v 3 sloju = 1020 stikov

Pri obzidavi z velikimi bloki je tako v 3 slojih skupno 4279 stikov.

Tabela 3: Prikaz stikov med opekami po slojih

Sloji	Kl. obzidava	Veliki bloki	Razlika	Količnik
1.	7.295	1.405	5.890	5,2
2.	8.754	0	8.754	
3.	8.754	1.854	6.900	4,7
4.	7.300	1.020	6.280	7,2
Skupaj:	32.103	4.279	27.824	7,5

Vir: (Lastni vir)

V tabeli zgoraj smo prikazali število stikov med opekami. Najbolj izstopa skupno število stikov med opekami, ki je po klasični metodi 7,5 krat večje od obzidave z velikimi bloki oziroma je 27.824 več stikov pri klasični obzidavi. Kot sem zapisal že prej, stiki neposredno vplivajo na dolgotrajnost katodnega korita ko je ta v funkciji. Z obzidavo z velikimi bloki bi definitivno podaljšali življenjsko dobo katodnega korita kar precej.

6.4.2 Primerjava predračunskih vrednosti obeh obzidav

Za izdelavo predračunskih vrednoti sem se odločil, da jih izvedem klasično, v programu **Excel**, ker je v programu Revit težje predstaviti vsako postavko posebej. Namreč moj namen je, da se jasno vidi kje pride do razlike v vrednostih. Konkretno izdelan predračun je v prilogi, tukaj bom izpostavil le najpomembnejše reči. Najpomembnejši vrednosti pri primerjavi sta skupna razlika v finančni vrednosti in pa razlika v času potrebnem za obzidavo korita po posamezni metodi. Če bi primerjali samo cene materialov, bi bila vrednost klasične obzidave (priloga 1) cenejša, namreč vsi veliki bloki, tako izolacijski 500 mm x 250 mm x 120 mm kot šamotni 750 mm x 500 mm x 60 mm, so gledano po volumnu 15 % dražji od klasičnih zidakov 220 mm x 110 mm x 60 mm. Se pravi 1m³ velikih blokov je 15 % dražji kot 1m³ klasičnih zidakov. Pri sami fugirni

masi se zmanjša poraba pri obzidavi z veliki bloki (priloga 2), približno za 40 %, zaradi manjšega števila zidakov se seveda porabi manj fugirnega cementa. Največja razlika pa je v času potrebnem za obzidavo korita. Z velikimi bloki tako spodnja obzidava traja približno 3 delovne dni in 2 uri, medtem ko pri obzidavi s klasičnimi zidaki traja 5 delovnih dni (za 1 delovni dan sem obračunal 8 delovnih ur). S tem, ko pri klasični obzidavi potrebujemo več ljudi, (primerno je nekje 6 ljudi, da se delo razporedi), jih pri obzidavi z velikimi bloki potrebujemo 2 do 3 ljudi in seveda vakuumsko dvigalo (amortizacija ni všteta v predračun). Skupna razlika pri obzidavi enega korita je skupno 783 €. To je seveda predračunska vrednost in bi pri sami izvedbi lahko prišlo do manjših odstopanj.

Za ustrezno primerjavo sem izdelal predračunsko tabelo tudi v programu **Revit**. Izdelal sem predračunsko vrednost samo za obzidavo z velikimi bloki, ker je ta primerjava pomembnejša za moje diplomsko delo. Prednost izdelave predračunske vrednosti v tem programu, je ta, da imaš že vse potrebne podatke v samem projektu in samo označiš področje za katerega bi rad izdelal kalkulacijo. Ko sem izdelal modele korita v Revitu, sem se lotil izdelave predračuna na sledeči način. Najprej sem na izrisanem koritu označil območja posameznih materialov v določenem nivoju in jih definiral. Tako sem v prvem nivoju označil celotno površino korita, ki jo program sam izračuna, dodal ime materiala - izolacijski bloki 50 x 25 x 12cm in pod opcijo »edit« v tabeli podatkov dodal vrednost (cost) 63,68 € (vrednost izolacijskih blokov z delom na m²). V drugem nivoju sem najprej označil območje oboda, mu uredil ime – izolacijska opeka 22 x 11 x 6 cm ter mu dodal vrednost 28,79 € na m². Notranjost oboda sem označil in dodal ime – šamotni bloki 75 x 50 x 6 cm ter dodal vrednost 55,20 € na m². Enako sem storil v tretjem nivoju, kjer je razlika le v kvadraturi, ker je obod položen vzdolžno, cena materialov z delom pa je za izolacijsko opeko 22 x 11 x 6 cm 32,79 € na m² in 58,20 € na m² za šamotne bloke. Cena materialov z delom je v tretjem sloju dražja, ker je upoštevana še fugirna malta. Pod zavihkom »Schedule«, kar pomeni tabela ali urnik, sem najprej moral izbrati področje, za katerega želim izdelati predračun. Glede na to, da se spodnja obzidava nanaša zgolj na polaganje opek na tla sem izbral opcijo »Floors« (tla). V naslednjem koraku sem moral izbrati parametre, ki jih želim v moji tabeli. Pomembno je, da jih razvrstiš v željenem vrstnem redu, kajti tako so kasneje podatki prikazani v tabeli. Kot prvi podatek sem izbral »Family and type«, ki so v bistvu materiali posameznega področja, ki jih ima program v svojem naboru. Kot drugo sem izbral »Level«, se pravi nivo v katerem se nahaja določeni material. Za tretji podatek sem izbral »Area« ali površino ki jo želim obračunavati za posamezni nivo.

Naslednji parameter je »Cost« ali strošek določenega materiala in kot zadnji parameter sem moral označiti skupni seštevek ali »Total Cost«. V istem zavihku sem moral urediti še formulo s katero program izvede kalkulacijo posameznega nivoja in skupni seštevek. V formulo sem torej vnesel $\text{Area} * \text{Cost} / 1$ (zmnožek je potrebno deliti z 1, drugače program ne naredi kalkulacije). V istem zavihku sem uredil še način sortiranja po nivoju in vse skupaj potrdil. Končni rezultat je tabela 4 spodaj, ki sem jo moral za uporabo diplomskega dela iz programa izvoziti v Excel. Opomniti moram, da v ta predračun nista vključeni prvi dve postavki Excelovega predračuna (popravilo korita in polaganje toplotne izolacije), ker te vrednosti ostanejo enake.

Tabela 4: Izračun predračunske vrednosti obzidave korita z velikimi bloki v programu Revit

< Floor Schedule 1 >				
A	B	C	D	E
Family and type	Level	Area	Cost	Total Cost
Level 1				
Floor: izolacijska opeka 50 x 25 x 12 cm	Level 1	33.85 m ²	63.68€	2155.38€
Level 2				
Floor: izolacijska opeka 22x11x6cm-2sloj	Level 2	5.43 m ²	29.79€	161.88€
Floor: šamotni bloki 75x50x6 cm -2.sloj	Level 2	28.38 m ²	55.20€	1566.58€
Level 3				
Floor: izolacijska opeka 22x11x6cm - 3.sloj	Level 3	2.77 m ²	32.79€	90.68€
Floor: šamotni bloki 75x50x6cm - 3. sloj	Level 3	31.08 m ²	58.20€	1808.95€
Grand total: 5				5783.46€

Vir: (Lastni vir)

Kot je razvidno so za vsak sloj prikazani podatki za površine in vrednosti določenih materialov ter izračun skupnih vrednosti za vsak sloj in celotno korito skupaj. Izdelava predračuna v Revitu je bila bistveno lažja in hitrejša kot predračun po postavkah v Excelu. Ugotovil sem tudi, da skupna predračunska vrednost v Excelu (brez prvih dveh postavk) znaša 6099,00 €, v Revitu pa 5783,46 €, kar pomeni, da je vrednost v Revitu cenejša za 5,2 %. Na prvi pogled se ne zdi velika razlika, a je treba vedeti, da obračunavanje po urah (Excel) ni tako zanesljivo oziroma natančno. Izračun v Revitu je vsekakor realnejši, obenem pa ima prednost tudi v tem, da se pri vsaki spremembi projekta, sinhrono spremeni tudi predračunska tabela.

6.5 Sistem vzdrževanja objekta s pomočjo BIM-a

Ena izmed velikih prednosti BIM programov je tudi ta, da lahko v programu za izdelan projekt izdelam tudi tabelo s sistemom vzdrževanja. To pomeni, da lahko za posamezne dele objekta npr. tla, določim vrsto talne obloge za vsako sobo posebej in kasneje določim življenjsko dobo posameznega materiala in predviden strošek na m². S temi podatki ti program izdelam tabelo, v kateri je prikazano vzdrževanje za vsako posamezno leto s pripadajočimi stroški obnove. Za svoj projekt sem izdelal podobno tabelo s sistemom vzdrževalnih del v programu Revit.

Pri tej izdelavi vzdrževalnega sistema sem lahko delno uporabil predračunsko tabelo, ki sem jo že izdelal. Pod okencem »Manage« sem izbral »Project Parameters« in najprej dodal parameter »Floor instalation year«, ta parameter, označuje leto vgradnje posameznega materiala. Naslednji parameter sem dodal »Floor Lifecycle«, kar pomeni označitev življenjske dobe posameznega materiala. Nato sem dodal še »Floor cost per m²« ali strošek materiala na m² in parameter »Floor replacement year« ali leto zamenjave materiala. Kot zadnji parameter sem dodal še »Floor replacement cost« ali stroški zamenjave celotne površine materiala. Zatem sem odprl obstoječo predračunsko tabelo in ji najprej spremenil naslov v »Floor replacement Planing Schedule«. Nato sem odstranil nepotrebne stolpce tako, da sem obdržal le »Family and type«, »Level« in »Area« ter dodane prej ustvarjene parametre. Za stolpec »Floor replacement cost« sem uredil še enačbo, in sicer $\text{»Floor cost per m}^2\text{«} * \text{»Area«} / 1\text{m}^2$. S to enačbo program izračuna vrednosti menjave materiala. Po urejanju teh stolpcev mi je program ponudil tabelo, ki sem jo dopolnil s podatki za leto vgradnje (2020) materiala in predvideno življenjsko dobo materiala (8 let – povprečna življenjska doba elektrolizne celice) za vsak nivo posebej. Za podatke o ceni materiala na m² z delom sem uporabil enake vrednosti kot pri predračunu. Program mi je izračunal ostale parametre, ki so razvidni na tabeli 5.

Tabela 5: Sistem vzdrževanja obzidave korita v programu Revit

<Floor Replacement Planing Schedule>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Family and Type	Level	Area	Floor instalation year	Floor lifecycle	Floor cost per m ²	Floor replacement year	Floor replacement cost
Level 1							
Floor: izolacijska opeka 50x25x12cm	Level 1	33.85 m ²	2020	8	63.68€	2028	2155.38€
Level 2							
Floor: izolacijska opeka 22x11x6cm-2sloj	Level 2	5.43 m ²	2020	8	29.79€	2028	161.88€
Floor: šamotni bloki 75x50x6 cm -2.sloj	Level 2	28.38 m ²	2020	8	55.20€	2028	1566.58€
Level 3							
Floor: izolacijska opeka 22x11x6cm - 3.sloj	Level 3	2.77 m ²	2020	8	32.79€	2028	90.68€
Floor: šamotni bloki 75x50x6cm - 3. sloj	Level 3	31.08 m ²	2020	8	58.20€	2028	1808.95€

Vir: (Lastni vir)

Ta funkcija za izdelavo sistema vzdrževanja je zelo priročna še posebej za večje projekte. Omogoča natančno vodenje evidence vzdrževalnih del na objektu za posamezne segmente objekta. V mojem primeru ni prišla do izraza saj je vnesenih manj materialov in kar je najpomembnejše, vsi so vezani na celotno elektrolizno celico kot celoto. Se pravi za svoj projekt ne morem upoštevati dejanske življenjske dobe izolacijske opeke in šamotne opeke, ki lahko v normalnih okoliščinah zdržijo tudi do 100 let, saj je povprečna življenjska doba elektrolizne celice od 8 do 10 let. Namreč celico običajno izklopimo iz proizvodnje zaradi povečanih vrednosti vsebnosti Fe in Si v tekočem aluminiju, kar je posledica erozije na katodnih blokih. V nekaterih primerih, lahko zaradi slabe obzidave, tekoči aluminij predre železno školjko korita in začne uhajati iz korita (tudi razlog za izklop elektrolizne celice). Bistvo je, da lahko iz tabele razberemo kdaj je bil posamezni material vgrajen, kolikšna je njegova življenjska doba, kdaj ga bo potrebno zamenjati in kolikšni bodo stroški menjave tega materiala.

7 SKLEP

V diplomskem delu sem ugotovil, da obzidava korita z novo tehnologijo ima več prednosti v primerjavi s klasično obzidavo korita. Kljub temu, da ima nova tehnologija nekaj slabosti, omogoča prednosti, s katerimi se prihrani na napakah, ter omogoča boljšo varnost zaposlenim.

Ugotovil sem, da informacijsko modeliranje objektov z BIM ima veliko prednosti, saj nudi vpogled v gradnjo, čas, stroške, sistem vzdrževanja ipd.

V diplomskem delu sem si zastavil tri hipoteze, ki jih v tem delu preverjam.

H1: ki se glasi: »Nov način obzidave korita elektrolizne celice s pomočjo BIM-a ima prednosti v primerjavi s tradicionalnim, saj je bolj učinkovit. Z njim sledimo projektu od načrtovanega preko izvedbe do vzdrževanja« **potrjujem**, saj je res, da je nov način obzidave hitrejši, produktivnejši in ga s pomočjo BIM-a lahko tudi vzdržujemo. To sem dokazal z izdelavo obeh modelov katodnega korita v BIM programu in ju primerjal. Ugotovil sem, da ima obzidava z velikimi bloki več prednosti. Ključne ugotovitve so: obzidava z velikimi bloki je kvalitetnejša saj ima kar 7,5 krat manj stikov od klasične obzidave, kar pomeni, da je možnost poroznosti tekočega aluminija skozi opeke veliko manjša, kar je ključnega pomena za osnovno funkcijo katodnega korita. Z izdelanim predračunom sem dokazal, da je obzidava z velikimi bloki cenejša. Izdelal sem tudi sistem vzdrževalnih del v BIM programu, ki nam omogoča, da smo seznanjeni z bodočimi vzdrževalnimi deli za posamezni segment, saj lahko s programom sledimo življenjski dobi posameznega materiala, kdaj ga bo potrebno zamenjati in kakšen bo strošek menjave tega materiala.

Kljub temu se naše podjetje ni odločilo za to potezo iz sledečih razlogov. V elektrolizi C se nahaja 160 elektroliznih celic, ki proizvajajo primarni aluminij. Vsaka celica (peč) ima svojo katodno korito, ki je obzidano z namenom, da zadrži tekoči aluminij. Povprečna življenjska doba ene celice je 8 do 10 let. Na leto se tako med normalnimi obratovalnimi pogoji menja 16 do 20 elektroliznih celic (peči). Glede na to, da sama obzidava z nadgradnjo traja približno 10 dni, nimamo in tudi ne potrebujemo skupine delavcev, ki bi opravljali samo dela povezana z obnovo korita. Tako se nam tudi ne splača kupiti svojega vakuumskega dvigala, ki stane 15.000 €, ker je predrago, da bi upravičilo strošek. Imeli smo ga na preizkušnji, takrat smo poizkusili tudi obzidavo z velikimi šamotnimi bloki 750 mm x 500 mm x 60 mm, in bi dvigalo tudi nabavili če bi ga lahko uporabljali še za kakšna druga opravila, oziroma če bi v elektrolizi imeli več peči in s tem tudi letno več menjav, tako pa zadeva ni rentabilna.

H2: ki se glasi »Z BIM bom dokazal, da je predračunska vrednost za izvedbo natančnejša in izvedba obzidave korita časovno hitrejša.«, **potrjujem**. Za obe verziji obzidave sem izdelal predračun v programu Excel in ugotovil, da je obzidava z velikimi bloki cenejša, nakar sem izdelal še predračun za obzidavo z velikimi bloki še v BIM programu in ugotovil sledeče. Izdelava samega predračuna v BIM programu je lažja, saj imaš vse potrebne podatke o projektu že v programu in le označiš segment za katerega bi rad izdelal predračun, kar pomeni, da je izdelava tudi veliko hitrejša. Najvažnejše pa je, da je predračunska vrednost v BIM programu natančnejša, ker ima vsak projektiran material dodeljeno ocenjeno vrednost s katero program izračunava skupne stroške. Predračunska vrednost se ob vsaki spremembi projekta avtomatsko sinhronizira, kar pomeni, da ne rabimo popravljati predračuna ob vsaki spremembi v projektu.

Izvedba klasične spodnje obzidave zahteva vsaj 6 delavcev in traja 5 delovnih dni. Obzidava korita z novo tehnologijo velikih izolacijskih in šamotnih blokov ter uporabo vakuumskega dvigala pa zahteva zgolj 3 delavce in skrajša čas obzidave na 3 delovne dni. Pomembno je tudi, da je delo z novo tehnologijo človeku bolj udobno, saj zaradi del z dvigalom zmanjšamo fizične napore delavcev pri obzidavi.

H3: ki se glasi »S pomočjo BIM-a bo vzpostavljen tudi sistem vzdrževanja del.« lahko tudi **potrdim**. Sistem vzdrževanja sem izdelal v programu Revit in postopek tudi opisal. Sistem vzdrževanja je namenjen boljši kontroli ali evidenci, ki nam beleži morebitno dotrajanost posameznih materialov, ki jih je potrebno zamenjati. S tem smo seznanjeni tudi s stroški rednega vzdrževanja in trajnostjo objekta. Takšna izdelava vzdrževalnega plana ne vzame veliko časa in je zelo koristna za samo obratovanje objekta, v mojem primeru – elektrolizne celice, saj smo že v naprej seznanjeni z manjšimi in večjimi vzdrževalnimi deli, ki nas čakajo v prihodnosti in si s tem tudi lažje finančno planiramo menjavo določenih materialov. Tabele je možno izvoziti tudi v druge BIM programe ali klasične tabelarične programe kot so Excel. Kljub temu, da moja tabela sistema vzdrževanja zgleda enostavna, ker imajo materiali življenjsko dobo zgolj 8 let in so vsi stroški menjave vezani na isto leto, je moj cilj dosežen. Namreč, elektrolizna peč ima življenjsko dobo med 8 do 10 obratovalnih let, glavni razlog, da je elektrolizna peč dotrajana, oziroma jo je treba izključiti iz obratovanja je povišana vsebnost Fe v aluminiju. To pa ne pomeni, da je bila slabo obzidana, ampak se skozi leta obratovanja, poškodujejo katodni bloki, ki niso tako odporni na erozijo. V katodi se naredi razpoka, ki jo zalije aluminij in ta pride do železnega katodnega odvodnika. V aluminiju se poveča vsebnost železa, tudi silicija in še nekaterih ostalih snovi, ker pa to ni več dovolj kvaliteten aluminij, peč ugasnemo in jo zamenjamo. Razlogi, za ustavitev peči so lahko tudi pronicanje aluminija, ko

se ta prebije skozi »sivo litino«, ob železnih katodnih vodnikih, in drugi. V glavnem, glavni krivec za dotrajanost elektrolizne celice je katoda, ker enostavno ni dovolj odporna.

Za boljše in dolgotrajnejše delovanje peči se vsak dan jemljejo vzorci aluminija in se opravi podrobnejša kemična analiza, (med samim črpanjem aluminija se opravijo tudi meritve topila - temperatura, ALF3, Calf, ...) posamezne elektrolizne celice. Moramo pa tudi vedeti, da posredovanje v obzidavo medtem, ko peč obratuje ni možno in je tudi težko predvideti kaj bo s pečjo narobe in kdaj.

8 LITERATURA IN VIRI

Allan, L. (18. februar 2019). *What are the disadvantages of BIM?* Pridobljeno iz Quora: <https://www.quora.com/What-are-the-disadvantages-of-BIM/answer/Lica-Allan>

Cherkaoui, H. (23. april 2014). *How to improve teamwork and team building in the construction site.* Pridobljeno iz LetsBuild News: <https://www.letsbuild.com/blog/how-to-increase-the-team-work-and-team-building-in-the-construction-site>

Časnik Finance. (29. maj 2011). *Aluminij v gradbeništvu.* Pridobljeno iz Finance - nepremičnine in gradbeništvo: <https://gradbenistvo.finance.si/313622?cctest&&cookietime=1556574231>

Green, E. (3. februar 2016). *BIM 101: What is Building Information Modeling?* Pridobljeno iz Engineering: <https://www.engineering.com/BIM/ArticleID/11436/BIM-101-What-is-Building-Information-Modeling.aspx>

Hall, J. (27. julij 2018). *Top 10 Benefits of BIM in Construction.* Pridobljeno iz Autodesk BIM 360: <https://connect.bim360.autodesk.com/benefits-of-bim-in-construction>

Jošt, K. (2006). Navodilo za delo obnove el. Peči v HC. *Interno gradivo podjetja.* Kidričevo: Talum d. d.

Lorek, S. (17. julij 2018). *What is BIM (Building Information Modeling).* Pridobljeno iz Constructible: <https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-bim-building-information-modeling>

Nobakhtghalati, S. (2014). *Wear of carbon cathode lining in aluminium electrolysis cell: The effect of rotation speed in laboratory test cell.* Pridobljeno iz NTNU Open: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/249639>

Podjetje Lineal. (2018). *Informacijsko modeliranje objektov (BIM).* Pridobljeno iz Lineal: <https://www.lineal.si/bim/>

Podjetje Schmalz. (2019). *Vacuum Lifters and Crane Systems.* Pridobljeno iz Schmalz: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-lifters-and-crane-systems>

Podjetje State Fund. (31. december 2014). *Teamwork in Construction Activities*. Pridobljeno iz Statefundca:

<https://content.statefundca.com/safety/safetymeeting/SafetyMeetingArticle.aspx?ArticleID=794>

Podjetje Viavac. (2019). *Smart solutions for installing sandwich panels*. Pridobljeno iz Viavac: <https://www.viavac.com/>

Salihagić Hrenko, H. (2014). *Termodinamični vidik proizvodnje elektroliznega aluminija*. Ptuj: Talum d. d.

Salihagić Hrenko, H. (2018). *Opis elektrolize*. Kidričevo: Talum d. d.

Vasshaug, K. (2008). *The influence of the formation and dissolution of aluminium carbide on the cathode wear in aluminium electrolysis cells*, PhD Thesis. Norway: Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.

Vindiš, N. (2017). Remont elektroliznih peči. *Aluminij*, 54 (5), 17-18.

9 PRILOGE

Priloga 1: Klasična obzidava

Priloga 2: Obzidava z velikimi bloki

Priloga 1: Klasična obzidava

A./ GRADBENA DELA - KLASIČNA OBZIDAVA			
I. Obzidava korita	material	delo	skupaj
1. Popravilo - ravnanje vseh nepravilnosti na jeklenem koritu . Delo: 3 de.. X 8€/h x 5h			
kpl		120,00	120,00 €
2. Polaganje sloja tervolnih plošč(izolacije iz kamene volne Knauf insulation Power tek) ob straneh korita v višini 25cm in širini 5cm: 10,42€/m2 x 6m2 =62,52€. Delo 2h x 8€/h =16€			
kpl	64,00	16,00	80,00 €
3. Izravnavo tal z glinico (s pomočjo 390cm šablone) in polaganje sloja lahke izolacijske opeke vzdolž korita, ter fugiranje položenih opek z glinico. Cena opeke: 0,6 €/kom x 1465kom =879€. Delo: 6 del. X 8€/h x 6h =290€			
m²	879,00	290,00	1.169,00
4. Polaganje druge vrste lahke izolacijske opeke BIL (220x110x60mm) pravokotno na korito, ter fugiranje položenih opek z glinico. Material: 0,6€ x 1465kom = 879€. Delo: 6del. X 8€/h x 5h = 240			
m²	879,00	240,00	1.119,00 €
5. Polaganje okvirja iz izolacijske opeke ter polaganje prvega sloja šamotne opeke BRO /220x110x60mm) s sprotim fugiranjem z specifično fugirno maso ob straneh opek. Material: 140kg x 0,91€/kg =130€, izolacijska opeka 0,6€/kom x 230kom = 140€, šamot 1,1€ x 1229kom =1352€. Delo: 6del. x 8€/h x 10h =480€			
kpl	1.622,00	480,00	2.102,00 €
6 polaganje okvirja iz izolacijske opeke (pravokotno na prejšnji okvir) ter polaganje drugega sloja šamotne opeke BRO (220x110x60mm) s sprotim fugiranjem s specifično fugirno maso ob straneh in na spodnji strani opek. Material: fugirni cement 400kg x 0,91€/kg =364€, izolacijska opeka 0,6€/kom x 118kom =71€, šamot 1,1€/kom x 1342kom = 1477€. Delo 6del. x 8€/h x 12h =580€.			
kpl	1.912,00	580,00	2.492,00 €
Skupaj EUR			7.082,00 €
* Opomba: Predračun zajema samo spodnjo obzidavo katodnega korita.			

Priloga 2: Obzidava z velikimi bloki

A./ GRADBENA DELA-OBZIDAVA Z VELIKIMI BLOKI			
I. Obzidava korita	material	delo	skupaj
1. Popravilo - ravnanje vseh nepravilnosti na jeklenem koritu . Delo: 3 del. X 8€/h x 5h= 120e			
kpl		120,00	120,00 €
2. Polaganje sloja tervolnih plošč(izolacije iz kamene volne Knauf insulation Power tek) ob straneh korita v višini 25cm in širini 5cm: 10,42€/m ² x 6m ² =62,52€. Delo 2h x 8€/h =16€			
kpl	64,00	16,00	80,00 €
3. Izravnava tal z glinico (s pomočjo 390cm šablone) in polaganje sloja lahke izolacijske opeke vzdolž korita, ter fugiranje položenih opek z glinico. Cena velikega bloka: 7,4 €/kom x 281kom =2079€. Delo: 2 del. X 8€/h x 5h =80€. Polagamo z vakuumskim dvigalom.			
m ²	2.079,00	80,00	2.159,00
5. Polaganje okvirja iz izolacijske opeke ter polaganje prvega sloja šamotnih blokov 750x500x60mm s sprotim fugiranjem z specifično fugirno maso ob straneh opek. Material: fugirni cement:80kg x 0,91€/kg =73€, izolacijska opeka 0,6€/kom x 230kom = 140€, šamotni bloki 18,8€ x 79kom =1485€. Delo: 3del. x 8€/h x 6h =144€. Polaganje z vakuumskim dvigalom.			
kpl	1.698,00	144,00	1.842,00 €
6 polaganje okvirja iz izolacijske opeke (pravokotno na prejšnji okvir) ter polaganje drugega sloja šamotnih blokov s sprotim fugiranjem s specifično fugirno maso ob straneh in na spodnji strani opek. Material: fugirni cement 240kg x 0,91€/kg =219€, izolacijska opeka 0,6€/kom x 118kom =71€, šamotni bloki 18,8€/kom x 86kom = 1616€. Delo 3Del. x 8€/h x 8h =192€. Polagamo z vakuumskim dvigalom.			
kpl	1.906,00	192,00	2.098,00 €
Skupaj EUR			6.299,00 €
* Opomba: Predračun zajema samo spodnjo obzidavo katodnega korita.			