

# Metode rušenja dimnjaka miniranjem - primjeri potresom oštećenih dimnjaka

---

Čančar, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:966851>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij rudarstva

**METODE RUŠENJA DIMNJAKA MINIRANJEM – PRIMJERI POTRESOM  
OŠTEĆENIH DIMNJAKA**

Diplomski rad

Luka Čančar  
R244

Zagreb, 2021.

METODE RUŠENJA DIMNJAKA MINIRANJEM – PRIMJERI POTRESOM OŠTEĆENIH DIMNJAKA

LUKA ČANČAR

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Cilj ovog diplomskog rada je izrada 3D modela rušenja industrijskih dimnjaka rotacijom, analiza nestabilnosti uslijed djelovanja vjetra te pozicija veličina pukotina i geometrije dimnjaka. Izrađeni 3D model korišten je u svrhu izrade animacije rušenja rotacijom te isti može služiti za izradu simulacije rušenja i u edukativne svrhe. Korišteni programi za izradu 3D modela i animacije su SolidWorks, Fusion 360 te AutoCAD-a koji je služio za izradu 2D nacрта prikaza geometrije dimnjaka i rasporeda, položaja i veličine bušotina.

Ključne riječi: rušenje, rotacija, 3D model

Diplomski rad sadrži: 28 stranice, 1 tablica, 30 slika i 29 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski i Engleski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Mario Dobrilović, redoviti profesor RGNF  
Dr. sc. Vječislav Bohanek, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Izv. prof. dr. sc. Vječislav Bohanek,  
Prof. dr. sc. Mario Dobrilović  
Doc. dr. sc. Vinko Škrlec

METHODS OF CHIMNEY DEMOLITION BY BLASTING - EXAMPLES OF EARTHQUAKE DAMAGED  
CHIMNEYS

LUKA ČANČAR

Thesis completed in: University of Zagreb Faculty of Mining, Geology and Petroleum  
engineering  
Department of Mining and Geotechnics  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The aim of this thesis is to create a 3D model representing demolition of industrial chimneys by rotation, analysis its instability due to wind and the position of crack, crack sizes and chimney geometry. The created 3D model was used for the purpose of creating a demolition animation by rotation, and it can also be used to create a demolition simulation for educational purposes. The programs used to create 3D models and animations are SolidWorks, Fusion 360 and AutoCAD, which was used to create 2D drawings of the chimney geometry and bore hole placement, layout, and depth.

Keywords: demolition, rotation, 3D model

Thesis contains: 28 pages, 1 table and 29 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Mario Dobrilović, Full Professor  
PhD Vječislav Bohanek, Associate professor

Reviewers: PhD Mario Dobrilović, Full Professor  
PhD Vječislav Bohanek, Associate professor  
PhD Vinko Škrlec, Assistant

Defence date: September 16th, 2021, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>2</b>
<b>2. POLOŽAJ I GEOLOGIJA TERENA DIMNJAKA .....</b>	<b>3</b>
2.1. CIGLANA ČRNOMEREC .....	3
2.2. ŽELJEZARA SISAK .....	5
<b>3. METODE RUŠENJA INDUSTRIJSKIH DIMNJAKA .....</b>	<b>7</b>
3.1. REZANJE DIJAMANTNOM ŽICOM.....	7
3.2. KRAN S KLIJEŠTIMA .....	7
3.3. RUŠENJE POMOĆU IZGRAĐENE PLATFORME NA VRHU DIMNJAKA .....	8
3.4. RUŠENJE POMOĆU EKSPLOZIVA .....	9
<b>4. OSNOVNE KOMPONENTE IZRADE PRIPREME BUŠENJA.....</b>	<b>10</b>
4.1. UTVRĐIVANJE NESTABILNOSTI OBJEKTA .....	10
4.2. GEOMETRIJA DIMNJAKA.....	10
4.3. OPTEREĆENJA KOJA DJELUJU NA DIMNJAK.....	16
<b>5. METODA I PRORAČUN MINIRANJA .....</b>	<b>19</b>
5.1. 3D MODEL DIMNJAKA .....	22
<b>6. PRIPREMNE RADNJE I SANACIJA .....</b>	<b>25</b>
6.1. TEHNIČKE PRIPREMNE RADNJE .....	25
6.2. SANACIJA MINIRANOG PODRUČJA .....	26
<b>7. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>28</b>
<b>8. LITERATURA.....</b>	<b>29</b>
<b>PRILOG CD ( s animacijom rušenja).....</b>	<b>31</b>

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2-1-1.</b> Prikaz ciglane Črnomerec (Google Earth).....	2
<b>Slika 1-1-2.</b> Satelitski prikaz područja Črnomerec (Google Earth).....	3
<b>Slika 2-1-3.</b> Isječak ogleadne geološke karte Zagreb na području Črnomerec (Šikić i dr., 1978).....	3
<b>Slika 2-2-1.</b> Prikaz dimnjaka ABS Željezare Sisak (Google Earth).....	4
<b>Slika 2-2-2.</b> Isječak OGK Sisak na području ABS Željezare Sisak (Pikija, 1987).....	5
<b>Slika 2-2-3.</b> Satelitski prikaz terena na području ABS Željezare Sisak (Google Earth).....	5
<b>Slika 3-1-1.</b> Rušenje dimnjaka dijamantnom žicom (IAS Group).....	6
<b>Slika 3-2-1.</b> Rušenje dimnjaka pomoću hidrauličnih kliješta kрана (Consuegra, 2021).....	7
<b>Slika 3-3-1.</b> Rušenje dimnjaka pomoću izgrađene platforme (Consuegra, 2021) .....	7
<b>Slika 3-4-1.</b> Rušenje dimnjaka pomoću eksploziva (Martin-Consuegra, 2021).....	8
<b>Slika 4-1-1.</b> Primjeri oštećenja na dimnjacima ciglane Črnomerec (Stanzi, 2021).....	9
<b>Slika 2-1.</b> Nacrt položaja dimnjaka ABS Željezare Sisak (vlastiti nacrt).....	10
<b>Slika 4-2-2.</b> Dimnjak od cigle (vlastiti nacrt).....	11
<b>Slika 4-2-3.</b> Betonski dimnjak (vlastiti nacrt).....	12
<b>Slika 4-2-4.</b> Smjer pada dimnjaka ABS Željezare Sisak (vlastiti nacrt).....	13
<b>Slika 4-2-5.</b> Istočni dimnjak Ciglane Zagreb (vlastiti nacrt).....	13
<b>Slika 4-2-6.</b> Smjer pada istočnog dimnjaka (vlastiti nacrt).....	14
<b>Slika 4-2-7.</b> Zapadni dimnjak Ciglane Črnomerec (vlastiti nacrt).....	14
<b>Slika 4-2-8.</b> Smjer pada zapadnog dimnjaka (vlastiti nacrt).....	15
<b>Slika 4-3-1.</b> Dijagramski prikaz omjera tlaka vjetra i visine dimnjaka (Taylor, 2015).....	16
<b>Slika 4.3.2.</b> Presjek dimnjaka na mjestu pukotine (Taylor, 2015).....	17
<b>Slika 5-1.</b> Shema rotacijske metode ( Ester i Dobrilović, 2016.).....	20
<b>Slika 5-2.</b> Rušenje rotacijom dimnjaka ciglane Zagreb (Stanzi, 2021).....	20
<b>Slika 5-1-1.</b> Cigleni dimnjak Ciglane Zagreb (vlastiti model).....	21
<b>Slika 5-1-2.</b> 3D model bušotina na dimnjaku Ciglane Zagreb (vlastiti model).....	21
<b>Slika 5-1-3.</b> Shematski prikaz pada dimnjaka rotacijom (vlastiti nacrt).....	22
<b>Slika 5-1-4.</b> Model izrade zaloma (vlastiti model).....	22
<b>Slika 5-1-5.</b> Model izrade vlačnih pukotina dimnjaka pri padu (vlastiti model).....	23

**Slika 6-1-1** Skela dimnjaka Ciglane Zagreb (Pandžić, 2021).....25

## POPIS TABLICA

TABLICA 1 PRORAČUN PUNJENJA MINSKIH BUŠOTINA .....	20
--	----

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SI JEDINICA

A – Ukupna površina poprečnog presjeka ( $m^2$ )

$\sigma_h$  – Horizontalno naprezanje ( $N/m^2$ )

$\sigma_v$  – Vertikalno naprezanje ( $N/m^2$ )

G – Težina (N)

$L_s$  – Duljina (m)

D – Promjer (m)

Q – Eksplozivno punjenje minske bušotine (kg)

Q – specifično eksplozivno punjenje minske bušotine ( $kg/m^3$ )

w – izbojnica (m)

## POPIS KORIŠTENIH RAČUNALNIH PROGRAMA

- SolidWorks 2022
- AutoCAD 2021
- Blender 2021
- Adobe Fusion 360 2021

## POPIS PRILOGA

Prilog 1 Predložak omota za CD



## 1. UVOD

Rušenje dimnjaka metodom rotacije jedna je od najprimjenjivanijih metoda rušenja industrijskih dimnjaka, ali to nije i jedina metoda. Postoje druge metode rušenja dimnjaka opisane ovim diplomskim radom. Posebnost ove metode je primjena eksploziva i određivanje kuta rotacije dimnjaka pri padu kako bi se izbjeglo oštećenje okolnih građevina kad se ruši u urbanoj sredini kao u navedenim primjerima. Cilj rada je izraditi 3D model dimnjaka kojim prethodi izrada 2D nacrti koji se modeliraju. Sa izrađenim 3D modelom, u mjerilu, mogu se provesti simulacije opterećenja na unutarnju i vanjsku stijenku dimnjaka, a time se može i odrediti potrebna količina eksplozivne tvari za potrebe stvaranja zaloma.

Navedene simulacije mogu se provoditi pomoću računalnog programa Fusion 360, gdje se na izrađenom modelu dodjeljuju karakteristike materijala (beton ili cigla) te pozicije aktivnih sila koje će djelovati na dimnjak.

Izrađeni 3D model također služi za edukativne svrhe i svrhe izrade animacija tijekom rušenja.

## 2. POLOŽAJ I GEOLOGIJA TERENA DIMNJAKA

### 2.1. CIGLANA ČRNOMEREC

Ciglana Črnomerec (slika 2.1.1) izgrađena je 1885. godine te se nalazi na jugozapadu gradske četvrti Črnomerec. Njezin utemeljitelj je Adolf Muller (Miljuš, 2021). Sama ciglana smještena je na urbanom području grada Zagreba u blizini trgovačkih centara, gustih prometnica i tramvajskih trasa, što je vidljivo i na satelitskom prikazu na slici 2-1-2.

Ciglana službeno ne radi od 2006 godine, ali njezin prostor i uređenje nije mijenjano prestankom rada. Teren na kojem je smještena ciglana formiran je u pliocenu te ga karakterizira izmjena šljunka, pijeska i gline. Također, u blizini ciglane smješten je rasjed nedefinirane starosti i značajne aktivnosti koji je ujedno i doprinio aktivnosti potresa te narušavanju statičke stabilnosti dimnjaka čime je i dovedena odluka o rušenju zapadnog i istočnog dimnjaka ciglane.

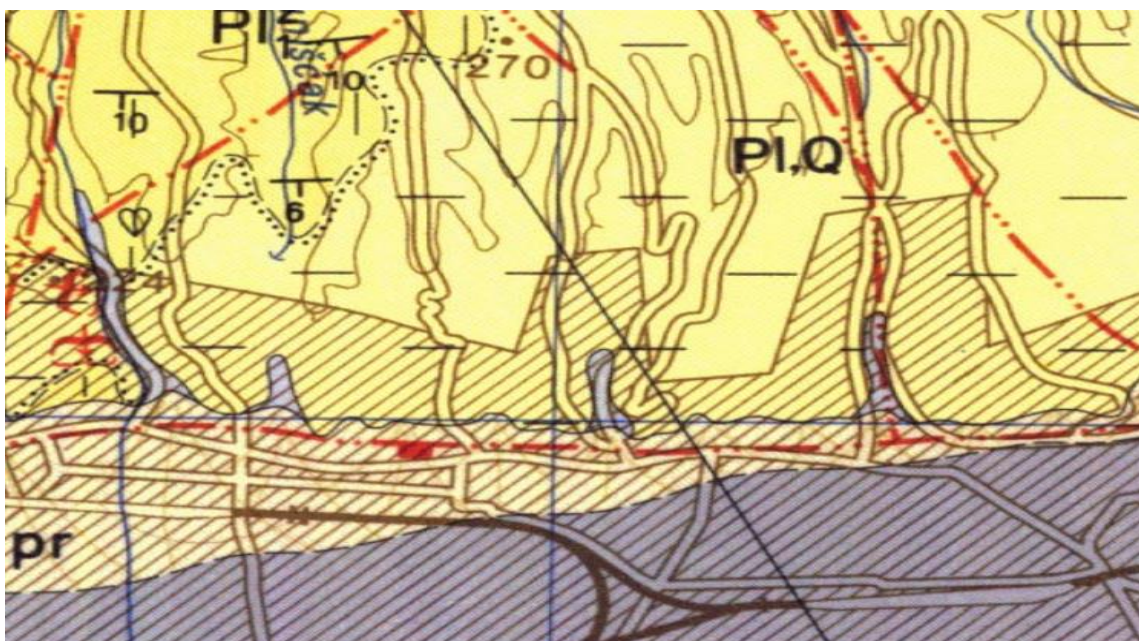


Slika 2-1-1. Prikaz ciglane Črnomerec (Google Earth)



Slika 3-1-2. Satelitski prikaz područja Črnomerec (Google Earth)

Na slici 3 prikazana je geološka struktura područja Črnomerec. Oznaka **PI,Q** na slici - 2-1-3. označava strukturu nastalu u tercijaru, dok oznaka **PI<sub>1</sub>** označava strukturu nastalu u pliocenu. Područje se sastoji od izmjena šljunka, pijeska i gline te rijetkim ulošcima ugljena i pješčenjaka. Uočljive crvene isprekidane linije predstavljaju rasjede koji su nedefinirane starosti sa značajnom aktivnosti koji su bili aktivni tijekom potresa koji se dogodio u prosincu prošle godine.



Slika 2-1-3. Isječak ogledne geološke karte Zagreb na području Črnomerec (Šikić i sur., 1978)

## 2.2 ŽELJEZARA SISAK

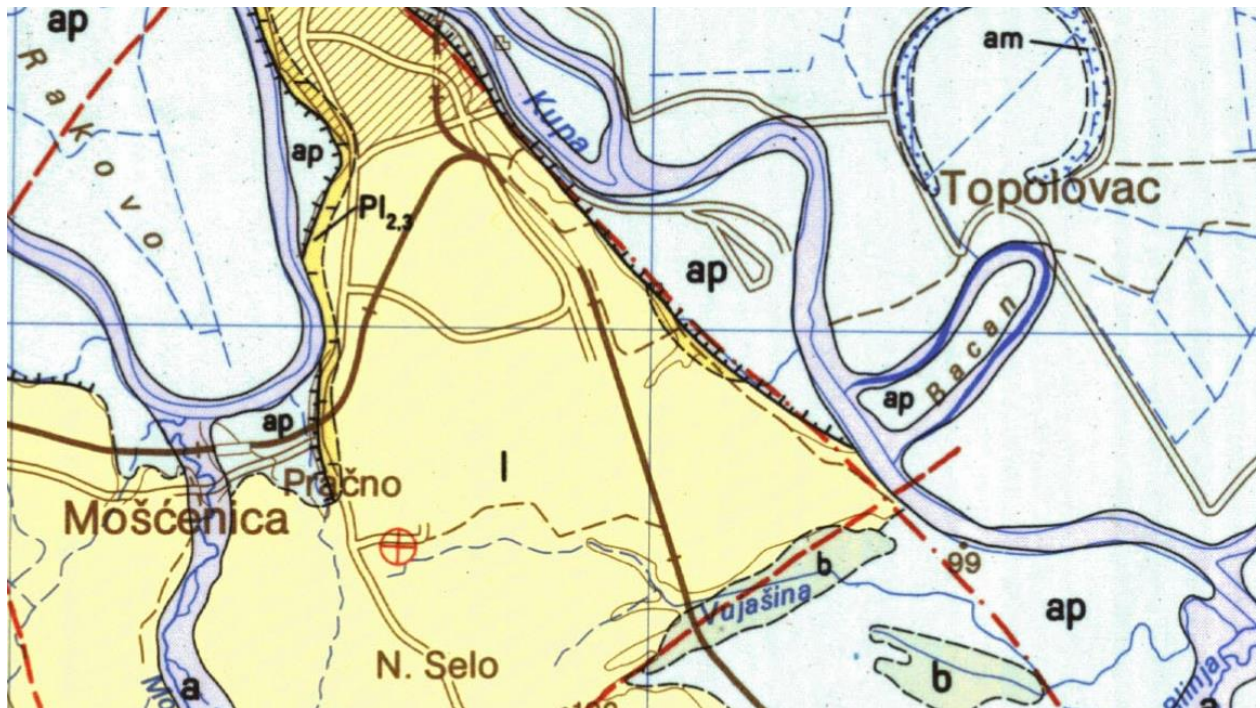
ABS Željezara Sisak nalazi se u blizini željezničkog kolodvora Sisak- Caprag i rijeke Save (slika 2-2-3.). Dva dimnjaka koja se nalaze u sklopu ABS Željezare Sisak visine 43 metra također su oštećena u razornom potresu 29. prosinca 2020 godine te su morali biti uklonjeni zbog neposredne blizine proizvodnih hala navedene željezare. Vlasnik firme ABS Sisak unajmio je specijaliziranu tvrtku iz Karlovca koja je obavila rušenje uz pomoć stručnog tima RGN fakulteta.

Na slici 2-2-1. prikazana su dva dimnjaka visine 43 metra. Lijevo na slici prikazani dimnjak izgrađen je od šamotne cigle, dok je desni izgrađen od armiranog betona. Prilikom rušenja dimnjaka, cigleni dimnjak pri padu je udario betonski i tako se već raspao na sitne dijelove prije samog kontakta s tlom. Dimnjaci su bili statički nestabilni te time narušavali sigurnost proizvodnih hala ABS Željezare Sisak u kojima se nalaze radnici.

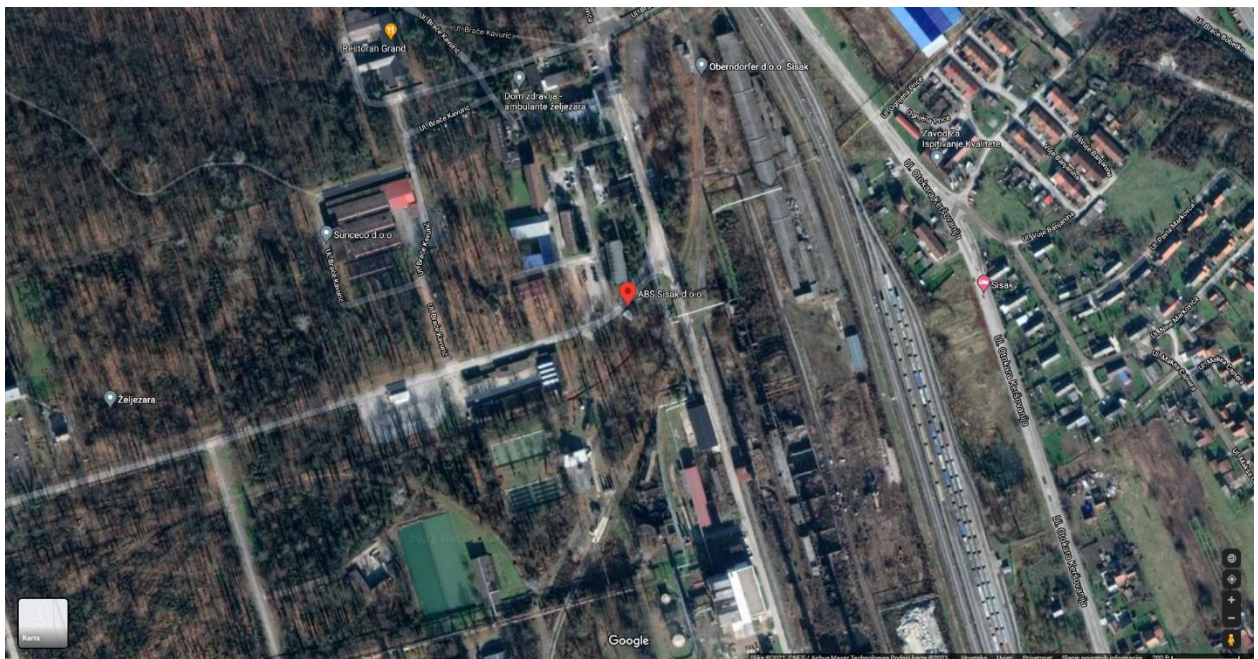


**Slika 2-2-1.** Prikaz dimnjaka ABS Željezare Sisak (Google Earth)

Na slici 2-2-2. prikazana je geološka struktura područja ABS Željezare Sisak gdje oznaka **ap** predstavlja siltove i pješčenjake koji su česta pojava na tom području. Oznaka **I** predstavlja stijene kvartarne geološke starosti, dok **P<sub>2,3</sub>** predstavlja gline, pijeske, pješčenjake i rijetke tanke slojeve ugljena koji se prostiru na dubini od 200 do 400 metara. Isprekidana crvena crta predstavlja rasjed bez oznake karaktera, pokriven foto geološki.



Slika 2-2-2. Isječak OGK Sisak na području ABS Željezare Sisak (Pikija, 1987)



Slika 2-2-3. Satelitski prikaz terena na području ABS Željezare Sisak (Google Earth)

### 3. METODE RUŠENJA INDUSTRIJSKIH DIMNJAKA

Metode rušenja industrijskih dimnjaka mogu se podijeliti na četiri skupine: rezanjem dijamantnom žicom, pomoću kрана i „mačke“ kрана, pomoću platforme koja se gradi na vrhu dimnjaka i eksplozivima. (Martin-Consuegra, 2021)

#### 3.1. REZANJE DIJAMANTNOM ŽICOM

Jedna od poznatijih metoda rezanja kamenih blokova je rezanjem dijamantnom žicom (slika 3-1-1.), a koristi se i kod rušenja industrijskih dimnjaka izgrađenih od cigle, betona pa čak i konstrukcijskog željeza.

Kolut dijamantne žice montira se na kran zajedno sa zatezačima. Kranista upravlja rukom dizalice koja nosi rezač s dijamantnom žicom. Na rezaču se nalaze kliješta koja se stisnu na dimnjak, a na svakoj strani rezača nalazi se po jedan španer koji radeći skupa drže žicu zaptom. (Martin-Consuegra, 2021)



**Slika 3-1-1.** Rušenje dimnjaka dijamantnom žicom (IAS Group)

#### 3.2. KRAN S KLIJEŠTIMA

Rušenje dimnjaka pomoću kрана izvedivo je pomoću hidrauličnih kliješta (slika 3-2-1.). Hidraulična kliješta težine do 5t koja se montiraju na pomičnu „mačku“ kрана. Kliješta rade pomoću hidraulike.

Potrebna oprema sastoji se od: mobilne ili fiksne dizalice, hidrauličnog ulja, daljinskog upravljača i kliješta za rušenje koja se montiraju na ruku dizalice (Martin-Consuegra, 2021)



**Slika 3-2-1.** Rušenje dimnjaka pomoću hidrauličnih kliješta kрана (Martin-Consuegra, 2021)

### 3.3.RUŠENJE POMOĆU IZGRAĐENE PLATFORME NA VRHU DIMNJAKA

Prednost metode rušenja pomoću izgrađene platforme na vrhu dimnjaka (slika 3-3-1.) je izgradnja šupljine na bazi dimnjaka preko koje se šuta i ostali odlomljeni komadi dimnjaka mogu maknuti prateći tako rušenje dimnjaka.

Prvo se montira platforma na vrh dimnjaka, a zatim se montira i kran koji lomi komade unutrašnjeg plašta dimnjaka i te komade transportira kroz šuplju bazu. Poslije toga, vanjski plašt dimnjaka se ruši.

Ova metoda se rjeđe primjenjuje spram ostalih navedenih metoda rušenja. Prednost ove metode je kontinuirano micanje otpada sa mjesta rušenja. (Martin-Consuegra, 2021)



**Slika 3-3-1.** Rušenje dimnjaka pomoću izgrađene platforme na vrhu dimnjaka (Martin-Consuegra, 2021)

### 3.4. RUŠENJE POMOĆU EKSPLOZIVA

Metoda rušenja pomoću eksploziva (slika 3-4-1.) bazira se na postavljanju eksploziva na ključna mjesta građevine. Ključna mjesta su ona bez kojih građevina gubi statičku stabilnost. Na ključna mjesta rade se bušotine koje se ispunjavaju eksplozivima. Bušotine se rade na način da njihovo aktiviranje rade zalomne konture, tj. slobodne površine koje naruše statiku građevine. Postoje razne zalomne površine pri rušenju dimnjaka, ali najčešće su trokutaste i dijamentne. Eksplozivi u bušotinama iniciraju se s međusobnim usporenjima tako da se stvara slobodna površina od centralnih bušotina prema vanjskim. (Jose Manuel Martin-Consuegra, 2021.)



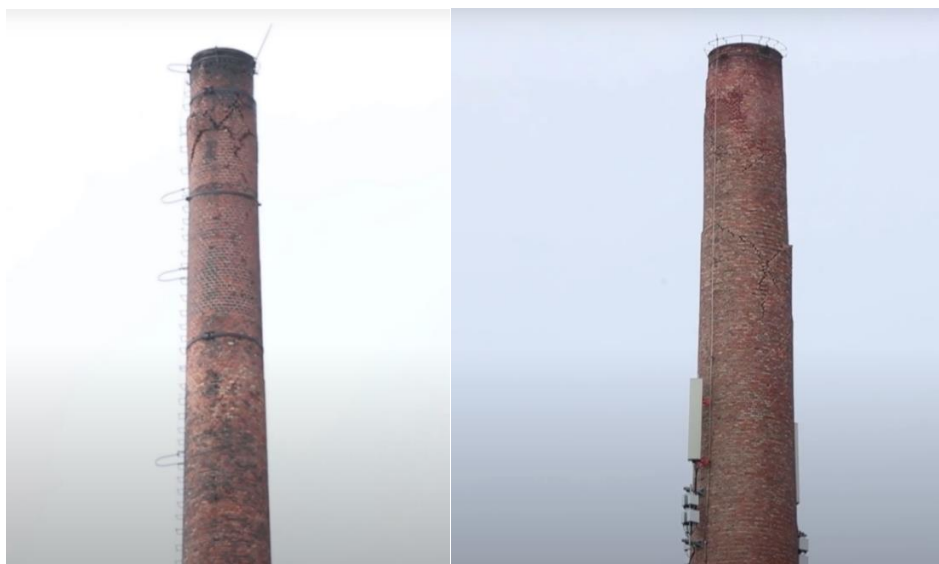
**Slika 3-4-1.** Rušenje dimnjaka pomoću eksploziva (Martin-Consuegra, 2021)



## 4. OSNOVNE KOMPONENTE IZRADE PRIPREME BUŠENJA

### 4.1.UTVRĐIVANJE NESTABILNOSTI OBJEKTA

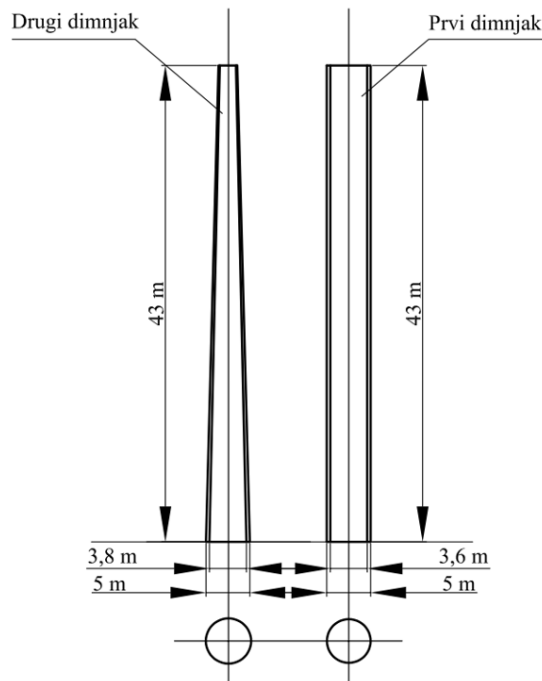
Prije provođenja rušenja, potrebno je dokazati da je objekt prijetnja okolini. U slučaju ciglane i željezare, vizualno je jasno kako su objekti dovedeni u stanje nestabilnosti kao produkt potresa jačine 5,5 po Richteru koji se dogodio u Zagrebu te 6,2 po Richteru koji se pojavio u Petrinji. Na lokaciji ciglane došlo je do vidljivog oštećenja vanjskog plašta dimnjaka (slika 4-1-1.)



**Slika 4-1-1.**Primjeri oštećenja na dimnjacima ciglane Črnomerec (Stanzi, 2021)

### 4.2.GEOMETRIJA DIMNJAKA

U željezari ABS Sisak nalaze se dva tornja smještena jedan pokraj drugog. Tornjevi su visine 43 metra te je dno oba tornja ukupnog promjera 5 metara. Unutarnja ukruta dimnjaka na dnu ima promjer 3,6 metara što je čini 30 centimetara udaljenom od vanjskog plašta dimnjaka. Osnovna razlika ova dva dimnjaka je materijal izgrade. Na slici 4-2-1. prikazan je relativni položaj dimnjaka u međusobnom odnosu. Prvi dimnjak izgrađen je od betona , dok je drugi izgrađen od cigle , gledano od strane smjera pada dimnjaka. (vlastiti nacrt)



**Slika 4-1.** Nacrt položaja dimnjaka ABS Željezare Sisak (prema projektu rušenja dimnjaka ABS Željezare Sisak)

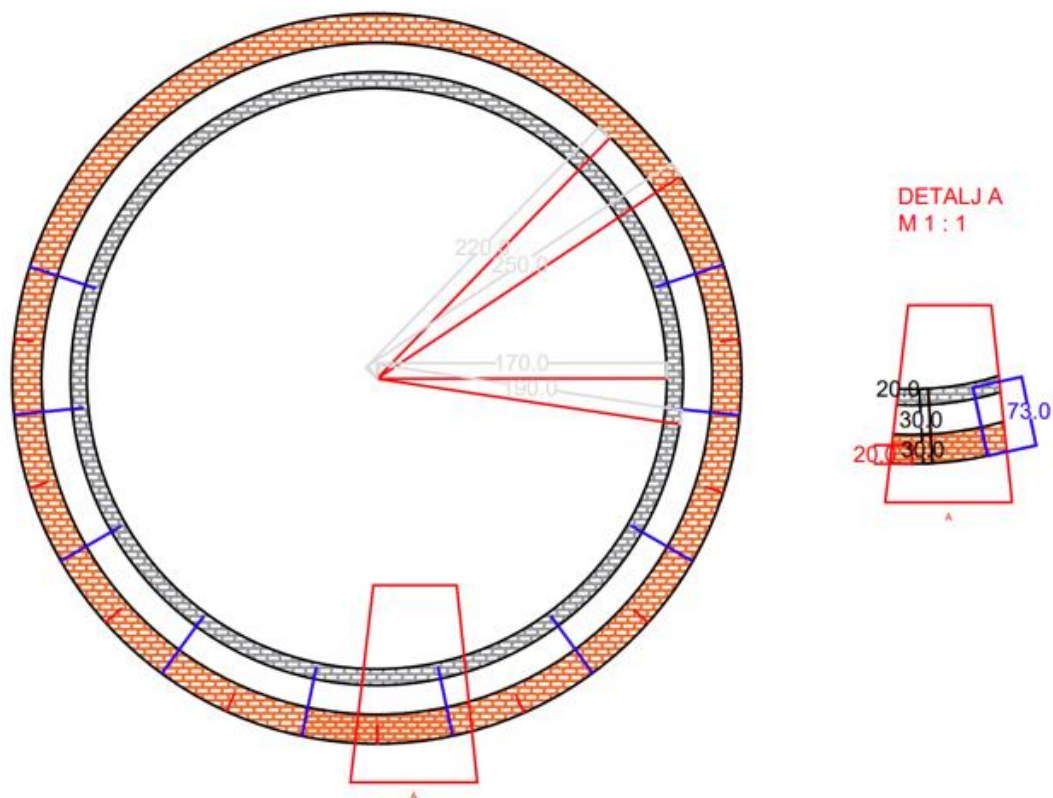
Na slici 4-2-2. prikazan je dimnjak izgrađen od obične cigle. Vanjski promjer mjeran od vanjske strane plašta do centra dimnjaka iznosi 500 centimetara, dok mjeran sa unutarnje strane plašta iznosi 440 centimetara. Promjer vanjskog djela ukrute do centra dimnjaka iznosi 380 centimetara, dok unutarnji promjer ukrute iznosi 340 centimetara.

Iz ovih mjera može se izračunati debljina cigle koja iznosi 30 centimetara, prazni prostor između plašta i ukrute koji također iznosi 30 centimetara te debljina ukrute od 20 centimetara.

Također, tlocrtni prikaz bušotina prikazuje međusobnu udaljenost glavnih i pomoćnih bušotina u iznosu od 30 centimetara, tj. udaljenost glavne i pomoćne bušotine jednaka je debljini cigle kroz koju prolaze. Ukupno je 16 glavnih bušotina međusobnog razmaka 60 centimetara i 17 pomoćnih bušotina međusobne razdaljine 60 centimetara.

Međusobne udaljenosti bušotina ostaju iste rastom broja redova bušotina koji prate visinu dimnjaka, dok se broj tih bušotina smanjuje sa visinom reda.

Ukupna duljina pomoćne bušotine iznosi 73 centimetara, dok ukupna duljine glavne bušotine iznosi 20 centimetara. Pomoćne bušotine napravljene su duže tako da spajaju plašt s ukrutom.

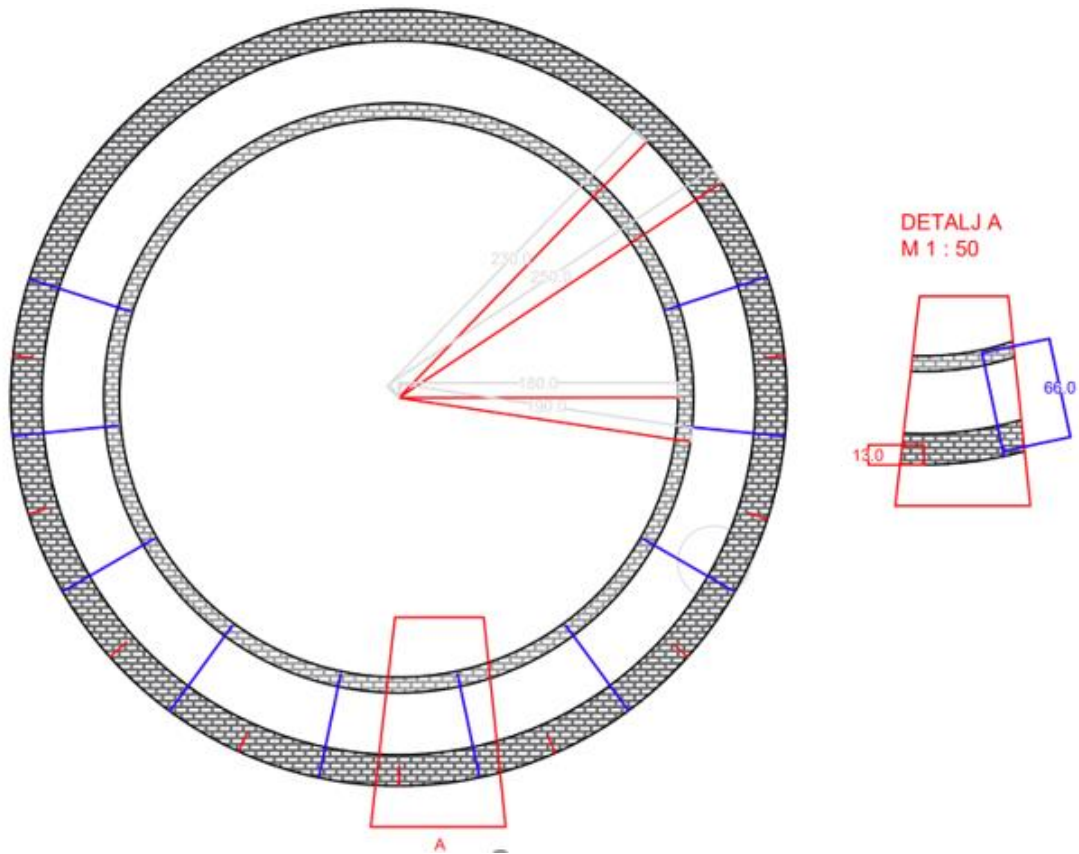


**Slika 4-2-2..** Dimnjak od cigle (prema projektu rušenja dimnjaka ABS Željezare Sisak)

Na slici 4-2-3. prikazan je betonski dimnjak. Vanjski promjer mjeran od vanjske strane plašta do centra dimnjaka iznosi 500 centimetara , dok mjeran sa unutarnje strane plašta iznosi 460 centimetara. Promjer vanjskog djela ukrute do centra dimnjaka iznosi 380 centimetara , dok unutarnji promjer ukrute iznosi 360 centimetara.

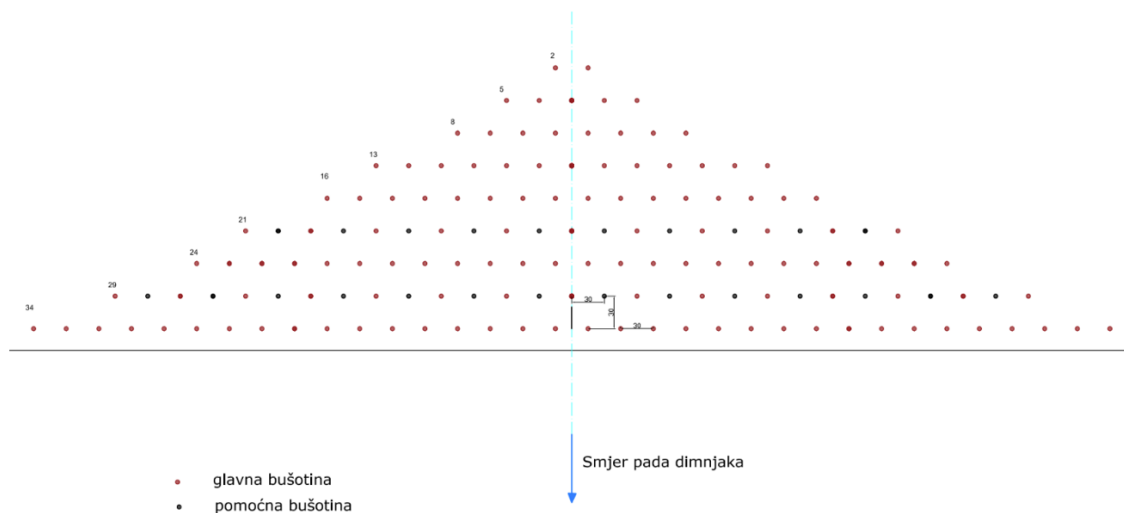
Iz ovih mjera može se izračunati debljina betona koja iznosi 20 centimetara , prazni prostor između plašta i ukrute koji iznosi 40 centimetara te debljina ukrute od 20 centimetara.

Geometrijski parametri glavnih i pomoćnih bušotina su isti kao kod dimnjaka izgrađenog od obične cigle prikazanog na slici 4-2-2., jedina razlika je u ukupnoj duljini glavne bušotine od 13 centimetara i ukupnoj duljini pomoćne bušotine od 66 centimetara koja spaja plašt s ukrutom.



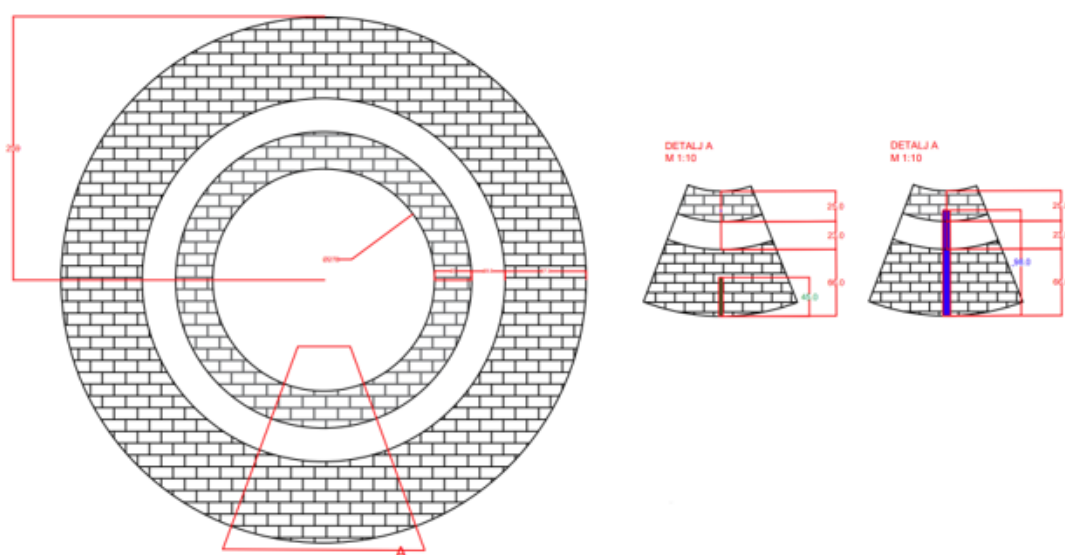
**Slika 4-2-3.** Betonski dimnjak (prema projektu rušenja dimnjaka ABS Željezare Sisak)

Na slici 4-2-4 prikazan je nacrti raspored minskih bušotina s razvijenim plaštom dimnjaka. Raspored bušotina sastoji se od 9 redova. Visinska razlika redova je 30 centimetara. Pomoćne bušotine pojavljuju se u 2. i 4. redu bušotina gledano odozdo, dok ostale redove bušotina sačinjavaju samo glavne bušotine. Ukupan broj bušotina je 152, od kojih je 24 pomoćnih i 128 glavnih.

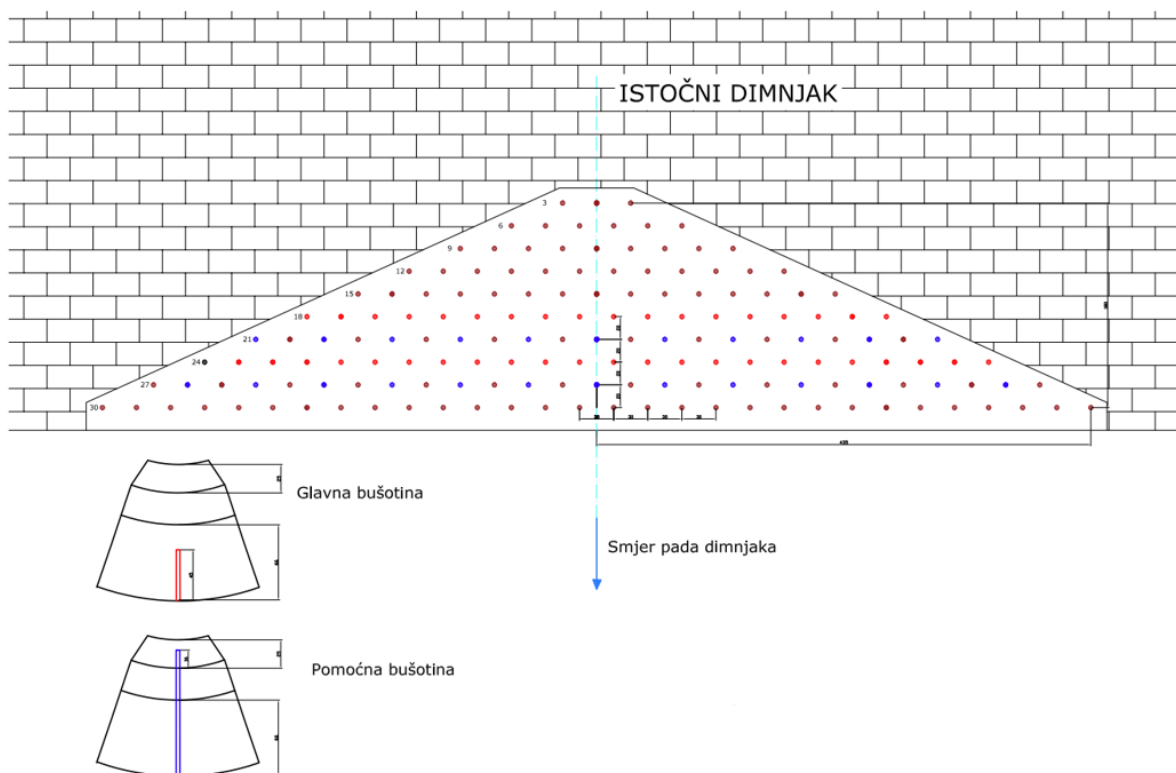


**Slika 4-2-4.** Smjer pada dimnjaka ABS Željezare Sisak (prema projektu rušenja dimnjaka Željezare ABS Sisak)

Na slici 4-2-5. prikazan je istočni dimnjak Ciglane Zagreb. Tlocrtni presjek dimnjaka pokazuje 14 glavnih bušotina dužine 45 centimetara i 15 pomoćnih bušotina koje ulaze 13 centimetara u ukrutu dimnjaka. Na razvijenom plaštu dimnjaka prikazan je raspored minskih bušotina. Bušotine su međusobno udaljene 30 centimetara u horizontalu i vertikalnu. Raspored bušotina sastoji se od 10 redova i 155 bušotina od kojih je 130 glavnih i 25 pomoćnih. Unutarnji radijus iznosi 278 centimetara.

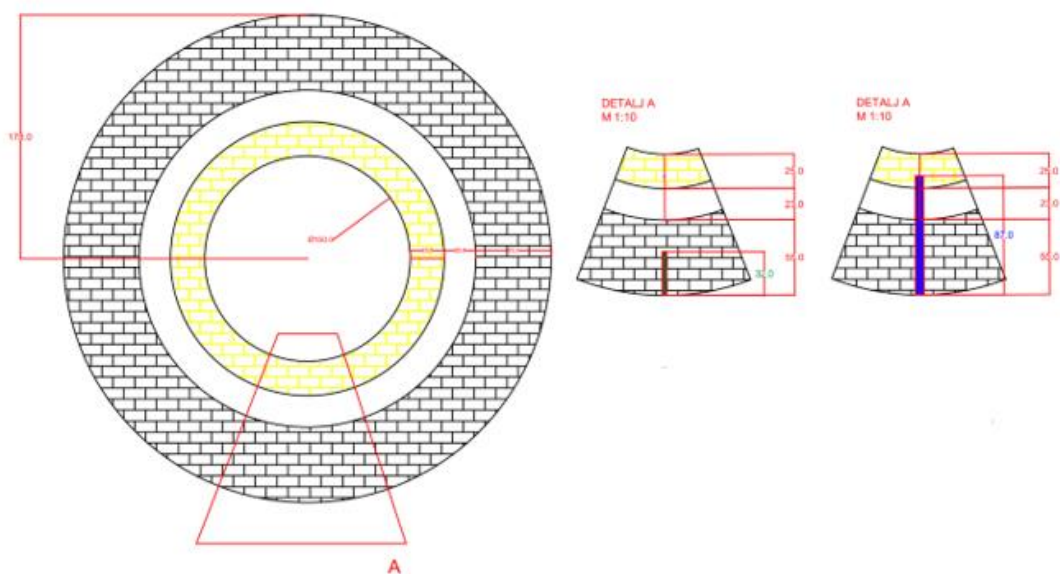


**Slika 4-2-5.** Istočni dimnjak Ciglane Zagreb (prema projektu rušenja dimnjaka Ciglane Zagreb)

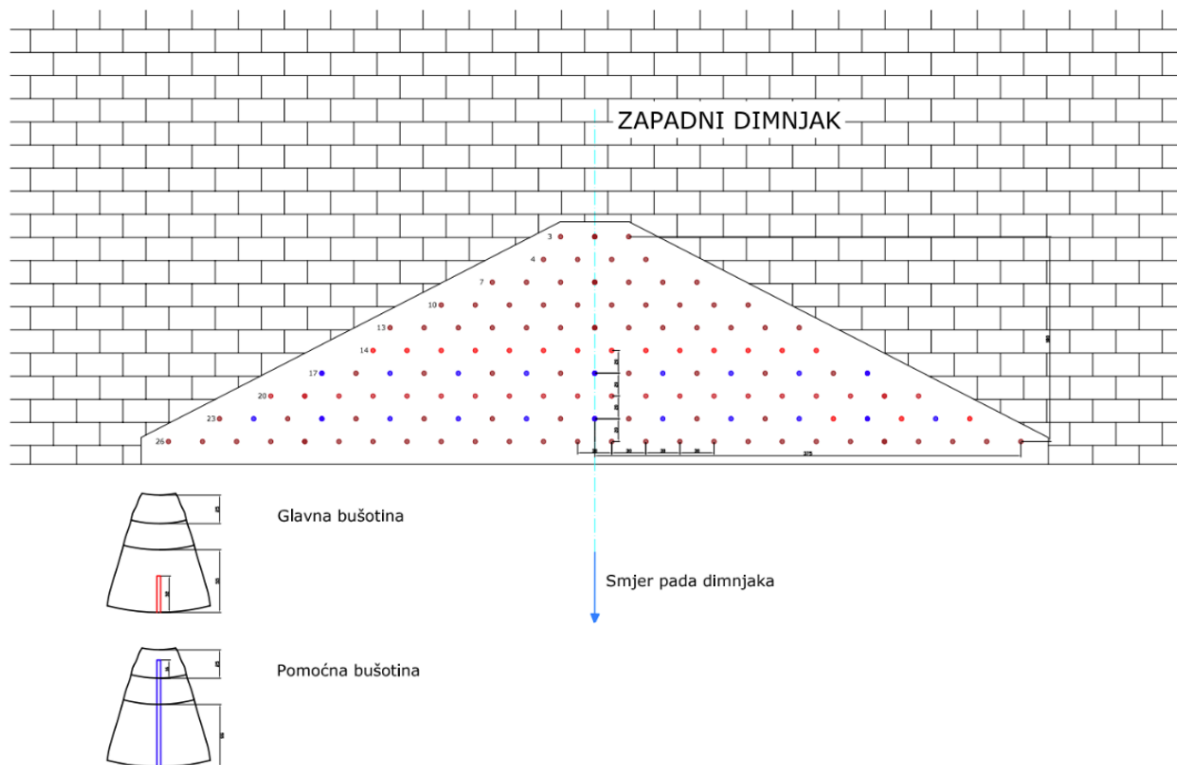


Slika 4-2-6. Smjer pada istočnog dimnjaka (prema projektu rušenja dimnjaka Ciglane Zagreb)

Na slici 4-2-7. prikazan je zapadni dimnjak Ciglane Zagreb s istim rasporedom bušotina kao istočni dimnjak. Razlika ova dva dimnjaka je duljina pomoćnih i glavnih bušotina i manji unutarnji radijus zapadnog dimnjaka koji iznosi 175 centimetara. Broj bušotina je isti kao kod istočnog dimnjaka.



Slika 4-2-7. Zapadni dimnjak Ciglane Črnomerec (prema projektu rušenja dimnjaka Ciglane Zagreb)



Slika 4-2-8.. Smjer pada zapadnog dimnjaka (prema projektu rušenja dimnjaka Ciglane Zagreb)

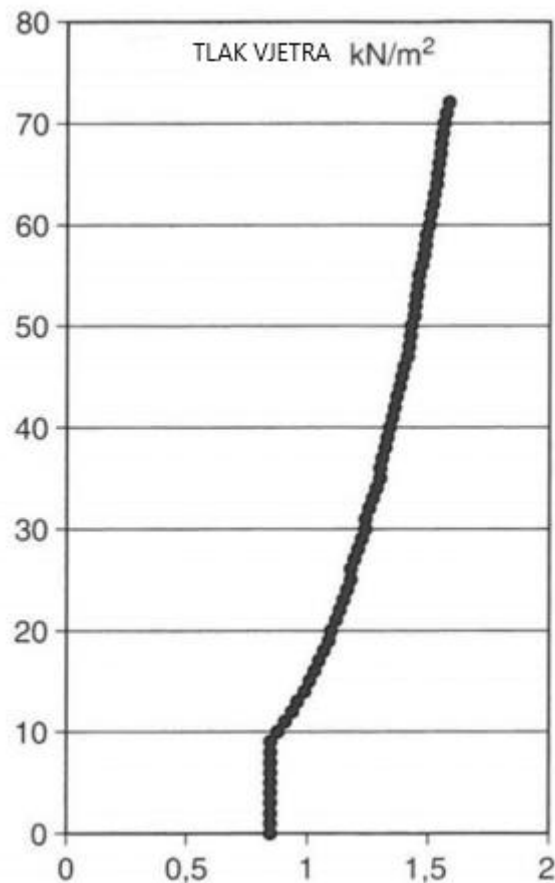
#### 4.3.OPTEREĆENJA KOJA DJELUJU NA DIMNJAK

U pogledu razrade sila , dimnjak se ponaša kao šuplja cijev čvrstog oslonca na jednom kraju. Glavno opterećenje dimnjaka je vjetar. Vjetar stvara potisnu silu koja djeluje na plašt dimnjaka mijenjajući mu tako poziciju centra teže. Težina samog dimnjaka djeluje kao protusila vjetru, a njihova rezultanta sila označena je sa „e“ i izražava se faktorom ekscentriteta. M je moment sile kojeg stvara vjetar, a N je težina dimnjaka.

Ekscentritet mora biti manji od vanjskog radijusa dimnjaka pri uzimanju faktora sigurnosti „f“ koji po preporukama

Iznosi  $R/e= 2.3$ .

Na slici 4-3-1. prikazan je rast tlaka vjetra s porastom visine dimnjaka.



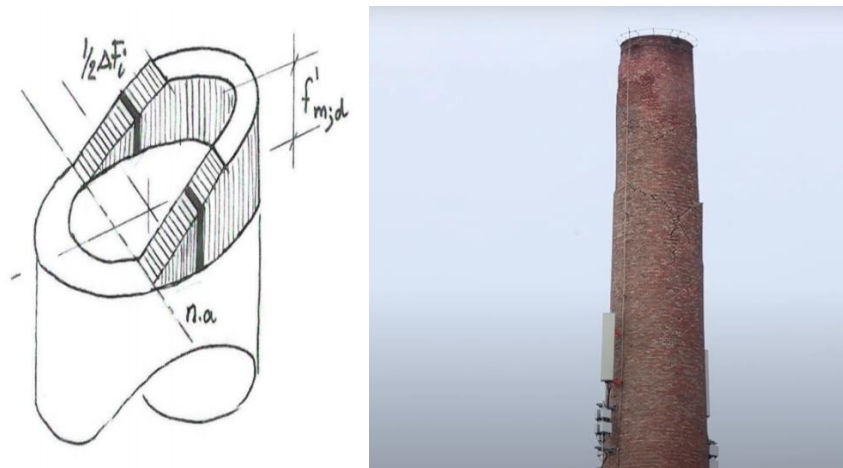
**Slika 4-3-1.** Dijagramski prikaz omjera tlaka vjetra i visine dimnjaka u metrima (Taylor, 2017.)

Pukotine imaju značajnu ulogu pri utvrđivanju nestabilnosti. Visina pojavljivanja pukotine i njena dubina imaju veliki faktor. Dimnjaci su najslabiji pri vrhu zbog vremenskih utjecaja i malog utjecaja vlastite težine. Dubina pukotine trebala bi biti manja od debljine zida dimnjaka. U pravilu dubina pukotine veća od 60 posto debljine zida smatra se opasnom za stabilnost istog. (Slika 4-3-3)



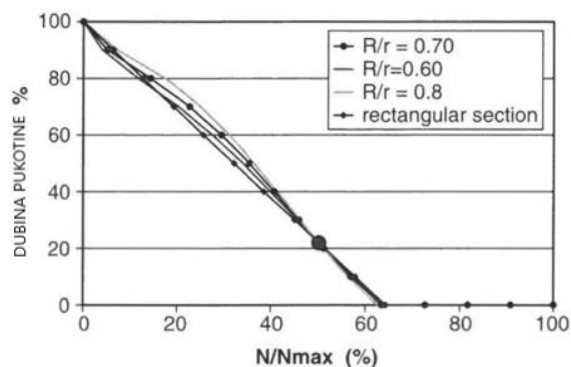
Na slici 4-3-2. pravac „n.a“ je granica pojavljivanja pukotine. S desne strane te granice dimnjak je podijeljen na više segmenata na kojima su prikazani sile  $F$  i momenti  $M$ .  $N$  je suma svih sila  $F$  prikazanih segmenata s desne strane granice pojavljivanja pukotina.

Dodatne sile djelovanja izazvanih slijeganjem terena i nagnjanjem dimnjaka treba uzeti u obzir kao i zagrijavanje jedne strane dimnjaka djelovanjem Sunca što uzrokuje širenje grijanje strane i izvijanje dimnjaka po uzdužnoj osi skupa sa rezonancijom terena ukoliko se nalazi u zoni tramvaja poput dimnjaka Ciglane Zagreb. (Taylor, 2021)



**Slika 4.3.2.** Presjek dimnjaka na mjestu pukotine (Taylor, 2015)

Ukoliko je pukotina na dimnjaku jednake dubine kao i debljine tog zida taj dimnjak se smatra statički nestabilnim pod utjecajem sile vjetra. Pojava točke dijagramu desno od  $R/r$  krivulje označava nestabilnost segmenta.  $N/N_{max}$  je bezdimenzionalna jedinica funkcije ovisnosti površinskog presjeka sloja dimnjaka i težine dimnjaka iznad tog presjeka (slika 4-3-3.).



**Slika 4-3-3.** Dijagram omjera dubine pukotine spram nosivosti sloja dimnjaka (Taylor, 2015)

## 5. METODA I PRORAČUN MINIRANJA

Metoda rotacije je najsigurnija i najjednostavnija metoda rušenja objekata u slučaju kad ti objekti imaju dovoljno slobodnog prostora za pad. Korištenjem ove metode, kontrola smjera pada dimnjaka je vrlo kvalitetna, a energija rušenja velika zato što u rušenju sudjeluje cijela masa objekta. ( Ester i Dobrilović, 2016.)

Po dužini dimnjaka izrađuje se zalom u obliku slova V (slika 28) sa određenom visinom H čime se osigurava dovoljna energija kojom se postiže rušenje. Ukupna energija rušenja prikazana je u jednadžbi 1 kao zbroj potencijalne i kinetičke energije koja mora biti konstantna. Ona glasi :

$$E_p + E_k = \sum mgh + \sum \frac{mv * v}{2} = konst.$$

Gdje je :

$E_p$  = potencijalna energija (J)

$E_k$  = kinetička energija (J)

$m$  = masa objekta (kg)

$h$  = visina težišta objekta (m)

Uvjet za ovu metodu je istovremeno otpucavanje cijelog zaloma rotacijom oko određene fiksne točke. Nedostatak metode rotacije je taj da je pri velikoj visini zaloma, veliki udar prilikom pada, pa samim time i velike oscilacije tla. Dok pri maloj visini zaloma postoji mogućnost neuspješnog i nepotpunog rušenja zbog premale ukupne energije rušenja (Ester i Dobrilović, 2016.). Rotacija je postignuta upotrebom milisekundnih usporivača u iznosu od 100 do 200 ms. ( Ester i Dobrilović, 2016.)

Prednost korištenja usporivača je ta da objekt ne pada na tlo cijelom masom u isto vrijeme, već se težište mase pomiče kako napreduju faze otpucavanja.

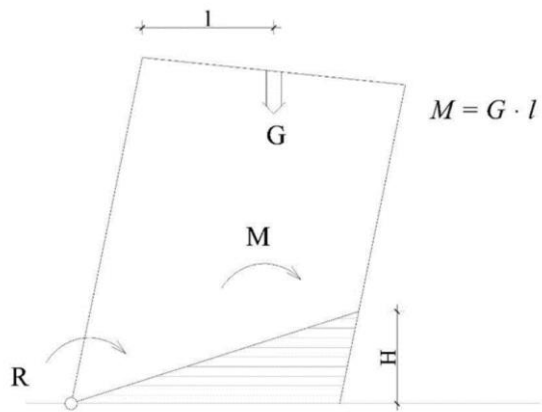
*PRIMJER PRORAČUNA KOLIČINE EKSPLOZIVNOG PUNJENJA ZA BETONSKI DIMNJAK*

Tablica 1 Proračun punjenja minskih bušotina

<b>Izbojnica</b>
$w = k \cdot d_z = 1,76 \cdot 0,17 \approx 0,3 \text{ m}$
<b>Razmak bušotina</b>
$a = k_1 \cdot w = 1,0 \cdot 0,3 \approx 0,3 \text{ m}$
<b>Duljina bušotina</b>
$l_b = 0,66 \cdot d_z = 0,66 \cdot 0,17 \approx 0,12 \text{ m}$
<b>Eksplozivno punjenje bušotine</b>
$Q = q \cdot d_z \cdot a \cdot w = 2,5 \cdot 0,17 \cdot 0,3 \cdot 0,3 \approx 0,038 \text{ kg}$
<b>q- specifična potrošnja eksploziva za miniranje zidova od betona <math>q = 2,5 \text{ kg/m}^3</math></b>
$q = 38 \text{ g/buš.}$

Na slici 5-1. prikazana je shema rotacijske metode rušenja.

Na slici 5-2. prikazano je rušenje rotacijom dimnjaka ciglane Zagreb pri čemu je korišteno 35kg eksploziva.



**Slika 5-1.** Shema rotacijske metode ( Ester i Dobrilović, 2016.)



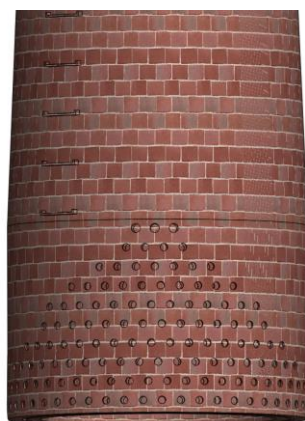
**Slika 5-2.** Rušenje rotacijom dimnjaka ciglane Zagreb (Stanzi, 2021)

## 5.1. 3D MODEL DIMNJAKA

Na slici 5-1-1. prikazan je cigleni dimnjak Ciglane Zagreb, dok je na slici 5.1.2. prikazan 3D model bušotina na dimnjaku Ciglane Zagreb

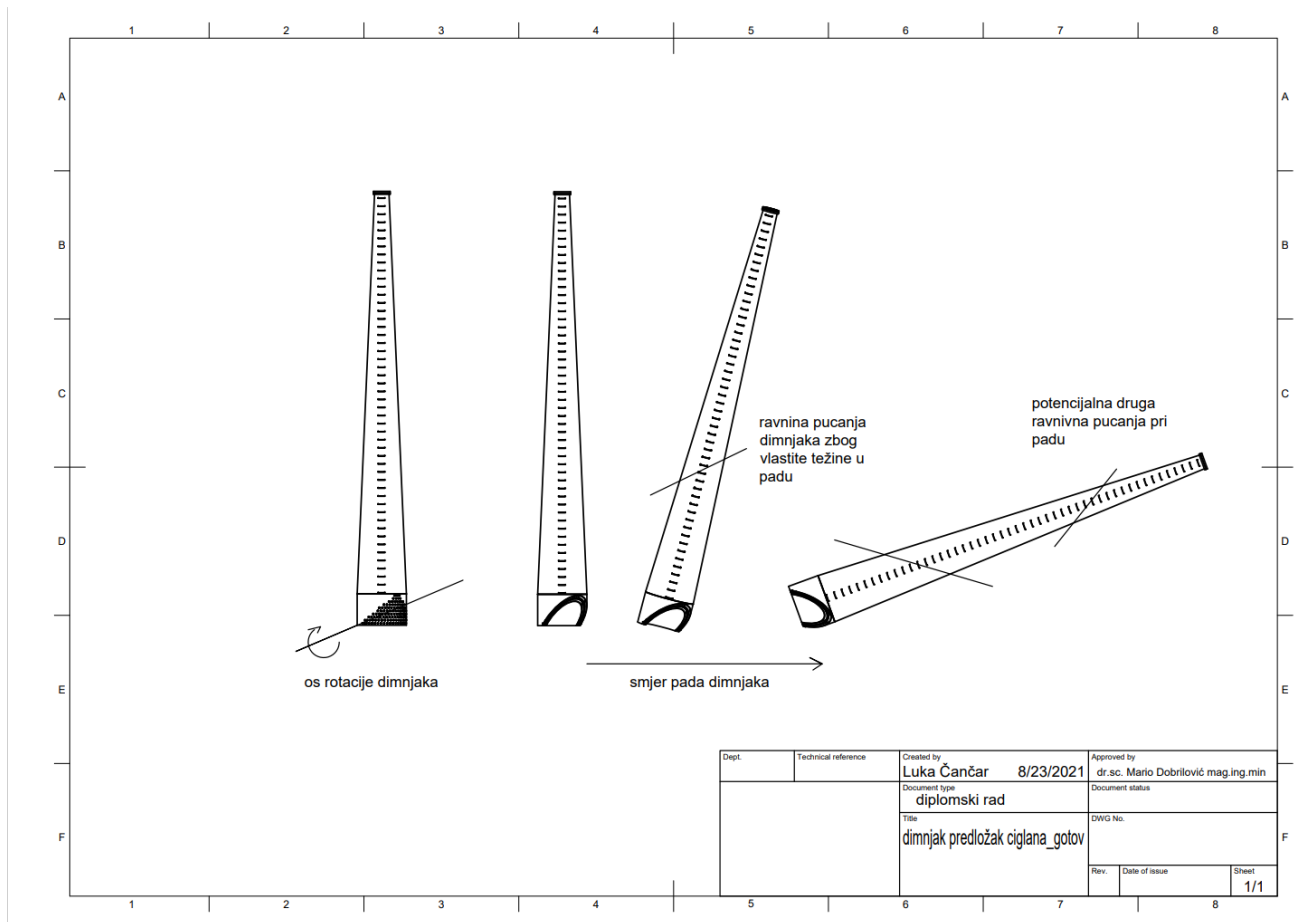


**Slika 5-1-1.** Cigleni dimnjak Ciglane Zagreb (vlastiti model)



**Slika 5-1-2.** 3D model bušotina na dimnjaku Ciglane Zagreb (vlastiti model)

Na slici 5-1-3. prikazan je shematski prikaz pada dimnjaka rotacijom. Na slici 5-1-4. model izrade zaloma, dok je na slici 5-1-5. model izrade vlačnih pukotina dimnjaka pri padu.



Slika 5-1-3. Shematski prikaz pada dimnjaka rotacijom (vlastiti nacrt)



Slika 5-1-4. Model izrade zaloma (vlastiti model)



**Slika 5-1-5.** Model izrade vlačnih pukotina dimnjaka pri padu (vlastiti model)

## 6. PRIPREMNE RADNJE I SANACIJA

### 6.1. TEHNIČKE PRIPREMNE RADNJE

Tehničke pripremne radnje koje se provode prije izrade bušotina sastoje se od ishođenja dozvole miniranja, izrade skele pomoću koje će radnici pristupiti objektu na visini i osiguravanju područja izvođenja radova.

Uvjeti za izdavanje rješenja o dozvoli za jedno ili više vrste miniranja propisani su člankom 69. Zakona o eksplozivnim tvarima te proizvodnji i prometu oružja.

*„Dokumentacija koju je potrebno priložiti uz zahtjev za dozvolu za nadzemna miniranja propisana je stavkom 1., za dozvolu miniranja pri protuminskom djelovanju stavkom 3. , za dozvolu za specijalna miniranja stavkom 5. te dozvolu za podzemna miniranja stavkom 7. navedenog članka.*

*Upravna pristojba za izdavanje dozvole za jedno ili više vrsta miniranja u iznosu od 70,00 kn uplaćuje se na račun br.: HR121001005-1863000160, model HR 64, poziv na br. odobrenja: 5002 –713-OIB pravne osobe ili obrtnika ili fizičke osobe.*

*Naknada za izradu iskaznice u iznosu od 105,00 kn uplaćuje se na račun HR121001005-1863000160, model HR 63, poziv na br. odobrenja: 7005 –713-21849“*

Upute za provedbu mjera sigurnosti i zaštite zdravlja na radu prilikom izvođenja građevinskih radova na sanaciji objekata nalažu da sve skele moraju biti projektirane, ispravno postavljene i održavane radi sprječavanja njihovog urušavanja, prevrtanja ili pomicanja Skela koja se izrađuje sastoji se od aluminijskih elemenata ograde , drvene građe u obliku dasaka te anker vijaka kojima se pričvršćuje za dimnjak. Radne platforme, prolazi i ljestve na skelama moraju biti postavljene, dimenzionirane, osigurane i korištene tako da osobe ne mogu s njih pasti niti biti izložene riziku od padajućih predmeta. Takva skela prikazana je na slici 6-1-1.





**Slika 6-1-1** Skela dimnjaka Ciglane Zagreb (Pandžić, 2021)

Pri radu na visini treba koristiti pripadajuću sigurnosnu opremu poput usporivača pada, konektora, opasača i sidrišta.

## 6.2.SANACIJA MINIRANOG PODRUČJA

Okoliš gradilišta, tj. mjesta rušenja potrebno je sanirati.

Potrebno je ukloniti sve privremeno izgrađene nastambe što su služile za uskladištenje materijala, alata i opreme kao i sve privremene objekte izgrađene za potrebe gradilišta (objekti za boravak i prehranu radnika, za garderobu itd).

- ukloniti sve privremene priključke gradilišta na komunalne objekte i instalacije kao i privremene elektroenergetske priključke te mjesta radova urediti, očistiti i dovesti u stanje ispravnosti kakvo je bilo prije početka izvođenja radova.

- svu privremenu prometnu signalizaciju montiranu radi potreba funkcioniranja gradilišta i reguliranja prometa je potrebno u potpunosti ukloniti nakon završetka radova te vratiti u funkciju prijašnji režim prometa.

- asfaltne prometne površine što su prekopane i oštećene prilikom izvođenja radova treba u skladu s projektom obnoviti novom asfaltnom masom i slojevima uz pravilno strojno zasijecanje postojećeg asfalta na spojevima s novim asfaltom.
- nakon završenih radova i pojedinih faza radova gradilište treba potpuno očistiti od sveg otpadnog i građevinskog materijala (drvena građa, armatura, oplata itd) te ostalih otpadaka.

Također je potrebno ukloniti sve privremene skele, prepreke i zaštitne ograde i preostale građevinske alate, opremu i strojeve. - svi navedeni radovi, kao i ostali eventualno potrebni radovi na sanaciji okoliša se ne obračunavaju kao posebne stavke troškovnika, već se smatraju troškovima koje izvođač treba uračunati u jedinične cijene radova (Zekić, 2015.)

## 7. ZAKLJUČAK

Ovaj rad prikazuje općenite metode rušenja industrijskih dimnjaka i obrađuje rušenje dimnjaka ciglane Zagreb i ABS Sisak sa izradom 3D modela rušenja dimnjaka. U navedenim primjerima ciglane Zagreb i dimnjaka ABS Sisak, metoda rušenja dimnjaka rotacijom pokazala se najučinkovitijom zbog mogućnosti određivanja smjera pada dimnjaka, Sama metoda zasniva se na izradi zaloma minskim bušotinama pri dnu dimnjaka tako stvarajući preduvjete za rotaciju dimnjaka oko osi baze dimnjaka. Postupak proračuna punjenja minskih bušotina sastoji se od izračuna izbojnice, razmaka bušotina, duljine bušotina i eksplozivnog punjenja bušotina, a osnovni parametri za proračun istih su : debljina zida, materijal izgrade, ukupna težina dimnjaka i njegov polumjer za proračun sile momenta rušenja.

Izrada 3D modela provela se u programu „SOLIDWORKS“ i „FUSION 360“ prilikom koje su korišteni svi tehnički parametri zapadnog dimnjaka Ciglane Zagreb. 3D modeli služe nam za vizualnu inspekciju odabrane metode rušenja te se može dalje koristiti za statičke i dinamičke simulacije/proračune i proračune miniranja korištenjem drugih vrsta eksploziva, vrsta zaloma i promjenom svojstava materijala izgrade građevine. Izrađeni 3D model također može služiti za edukativne svrhe prikaza metode u nastavi na fakultetu.

## 8. LITERATURA

ESTER, Z., DOBRILOVIĆ M., 2016., Rušenje objekata, Rudarsko-geološko-naftni fakultet u Zagrebu

European Commission: Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2001/45/EC (Work at a height), Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007 — 82 pp. — 21 x 29.7 cm, ISBN 978-92-79-06511-8

Miljuš, D. (2021) Duga povijest Müllerova brijega: Od voćnjaka i ciglane do projekta luksuznih vila, <<https://www.jutarnji.hr/vijesti/zagreb/duga-povijest-muellerova-brijega-od-voćnjaka-i-ciglane-do-projekta-luksuznih-vila-15052635>>, Pristupljeno 15. srpnja 2021.

Pravilnik o zaštiti na radu na privremenim gradilištima (NN, br. 48/18)

Pravilnik o zaštiti na radu pri uporabi radne opreme (NN, br. 18/2017)

Pravilnik o zaštiti na radu pri utovaru i istovaru tereta (NN, br. 49/86)

Pravilnik o poslovima s posebnim uvjetima rada (NN, br. 5/84)

NARODNE NOVINE BR.71/14 *Zakon o zaštiti na radu* (NN, br. 71/14, 118/14, 94/18 i 96/18)

### **OGK Zagreb**

Karta: Šikić, K., Basch, O. & Šimunić, A. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Zagreb L33–80. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1972); Savezni geološki institut, Beograd (1977).

Tumač: Šikić, K., Basch, O. & Šimunić, A. (1979): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Zgreb L33–80. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1972); Savezni geološki institut, Beograd, 81 str.

## **OGK Sisak**

Karta: Pikija, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Sisak L33–93. – Geološki zavod, Zagreb (1975–1986); Savezni geološki institut, Beograd.

Tumač: Pikija, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Sisak L33–93. – Geološki zavod, Zagreb (1986); Savezni geološki institut, Beograd, 55 str.

Izvori s interneta:

Goran Stanzi (2021) URL : <https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/u-podne-se-ruse-dimnjaci-ciglane-crnomerec-evo-sto-trebate-znati-foto-20210221> (Pristupljeno 15.srpanja 2021)

Taylor (2017) URL : [https://www.researchgate.net/publication/329361120\\_Implosive\\_de\\_molition\\_of\\_tall\\_masonry\\_and\\_concrete\\_chimney\\_stacks\\_within\\_a\\_designed\\_footprint](https://www.researchgate.net/publication/329361120_Implosive_de_molition_of_tall_masonry_and_concrete_chimney_stacks_within_a_designed_footprint) (Pristupljeno 15.srpanja 2021)

Ivan Pandžić (2021) URL: <https://www.24sata.hr/news/minirali-su-dimnjake-u-sisku-a-danas-u-zagrebu-svaka-greska-moze-imati-velike-posljedice-746757> (Pristupljeno 15.srpanja 2021)

S 0203 PROJEKT SANACIJE OKOLIŠA GRADILIŠTA : (<http://zupa-dubrovacka.hr/wp-content/uploads/2017/02/0203-projekt-sanacije-okolisa-gradilista.pdf>)

Taylor (2015) URL : <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.hms.civil.uminho.pt%2Fsahe%2F2004%2F1413.pdf&psig=AOvVaw3DJTYZztKQ7TCA-IOdVGuF&ust=1631119631749000&source=images&cd=vfe&ved=0CAwQjhxFwoTCJjRg6Wo7fICFQAAAAAdAAAAABAD> (Pristupljeno 15.srpanja 2021)

PRILOG CD ( s animacijom rušenja)



KLASA: 602-04/21-01/205  
URBROJ: 251-70-11-21-2  
U Zagrebu, 13.09.2021.

Luka Čančar, student

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/205, URBROJ: 251-70-11-21-1 od 1.05.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### METODE RUŠENJA DIMNJAKA MINIRANJEM – PRIMJERI POTRESOM OŠTEĆENIH DIMNJAKA

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Prof.dr.sc. Mario Dobrilović nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i suvoditeljicu Izv.prof.dr.sc. Vječislav Bohanek.

Voditelj

(potpis)

Prof.dr.sc. Mario Dobrilović

(titula, ime i prezime)

Suvoditeljica

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Vječislav Bohanek

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc.dr.sc. Dubravko  
Domitrović

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)