

# Projektiranje skladišta nisko i srednje radioaktivnog otpada

---

**Milling, Anni**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

*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:169:725311>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

**PROJEKTIRANJE SKLADIŠTA NISKO I SREDNJE RADIOAKTIVNOG  
OTPADA**

**Diplomski rad**

**Anni Milling**

**GI 235**

Zagreb, 2017.

## **PROJEKTIRANJE SKLADIŠTA NISKO I SREDNJE RADIOAKTIVNOG OTPADA**

ANNI MILLING

Diplomski rad je izrađen na: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

### Sažetak:

Ovaj diplomski rad sastoji se od preliminarnog proračuna skladišta srednje i nisko radioaktivnog otpada na lokaciji Čerkezovac, Banija (Hrvatska), koji je napravljen u programskim alatima ETABS i SAFE. Navedene su geološke značajke Trgovske gore što je prikazano topografskom kartom. Opisane su tehnologije zbrinjavanja, skladištenje i odlaganje te klasifikacija radioaktivnog otpada. Osim toga, navedeni su zakoni i propisi koji se odnose na zbrinjavanje i skladištenje radioaktivnog otpada.

Ključne riječi: Preliminarni proračun, skladište, nisko i srednje radioaktivni otpad,  
Čerkezovac, Trgovska gora, ETABS, SAFE, geološke značajke.

Diplomski rad sadrži: 70 stranica, 8 tablica, 35 slika i 32 reference.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Mentor: Doc. dr. sc. Antonia Jaguljnjak-Lazarević

Pomoć pri izradi: Dr. sc. Tanja Mališ, dipl. ing. građ.

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Antonia Jaguljnjak-Lazarević

Doc. dr. sc. Želimir Veinović

Doc. dr. sc. Dario Perković

Datum obrane: 17. veljače 2017.

University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology  
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

## **DESIGN OF STORAGE FACILITY FOR LOW AND INTERMEDIATE RADIOACTIVE WASTE**

ANNI MILLING

Thesis completed at: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Mining and Geotechnics  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Abstract

This thesis contains preliminary storage calculations of low and intermediate radioactive waste on Čerkezovac in Banija (Croatia). The calculations were made using ETABS and SAFE programs. Also listed are the geological features of Trgovska gora as shown on the topographic map. The thesis also describes waste disposal and storage technologies, including the classification of radioactive waste. Besides that, included are the laws and regulations of regarding radioactive storage and waste disposal.

Keywords: preliminary storage, storage, low and intermediate radioactive waste,  
Čerkezovac, Trgovska gora, ETABS, SAFE, geological features.

Thesis contains: 70 pages, 8 tables, 35 figures and 32 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: Assistant Professor, Antonia Jaguljnjak-Lazarević, PhD

Technical support and assistance: Tanja Mališ, PhD

Reviewers: Assistant Professor, Antonia Jaguljnjak-Lazarević, PhD  
Assistant Professor, Želimir Veinović, PhD  
Assistant Professor, Dario Perković, PhD

Date of defense: February 17, 2017.

**ZAHVALJUJEM:**

*... mentorici dr.sc. Antoniji Jaguljnjak-Lazarević,*

*... docentu dr.sc Želimiru Veinoviću i dr. sc. Tanji Mališ,*

*... kolegama s Građevinskog fakulteta,*

*... kolegama s RGN-fakulteta i svojim najboljim prijateljima,*

*... baki Danici,*

*... svom zlatu, sestri Marie,*

*... i na kraju najveće hvala mojim najboljim prijateljima, najboljim učiteljima i uzorima.  
Mojim roditeljima, Grozdani i Robertu. Hvala im za sve.*

## SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
2. RADIOAKTIVNOST I RADIOAKTIVNI OTPAD.....	2
2.1. Klasifikacija radioaktivnog otpada .....	4
2.2. Nisko i srednje radioaktivni otpad .....	6
2.3. Tehnologija zbrinjavanja radioaktivnog otpada.....	7
3. SKLADIŠTENJE .....	9
3.1. Skladištenje iskorištenog goriva .....	9
3.2. Odlaganje radioaktivnog otpada .....	10
4. PROPISI .....	12
4.1. Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti .....	12
4.2. Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva .....	14
4.3. Pravilnik o uvjetima nuklearne sigurnosti za davanje suglasnosti za gradnju postrojenja.....	15
4.4. Eurokodovi ( EN 1991, EN 1998) .....	17
4.4.1. Eurokod 1 - Djelovanja na konstrukciju – djelovanje snijega .....	17
4.4.2. Eurokod 8 – Projektiranje građevina u potresnim područjima .....	21
5. LOKACIJA SKLADIŠTA RAO .....	25
5.1. Hidrološke značajke lokacije .....	26
5.2. Hidrogeološke značajke lokacije .....	28
5.3. Litostratigrafske značajke lokacije .....	29
5.4. Inženjerskogeološke značajke lokacije .....	31
5.5. Seizmotektonske i seizmičke značajke lokacije .....	32
6. PRELIMINARNI PRORAČUN KONSTRUKCIJE SKLADIŠTA .....	34
6.1. Tehnički opis.....	34
6.2. Analiza opterećenja.....	39

6.2.1. Stalno opterećenje – Vlastita težina .....	39
6.2.2. Stalno opterećenje – Dodatno stalno opterećenje .....	39
6.2.3. Pokretno opterećenje – Korisno/uporabno opterećenje .....	40
6.2.4. Pokretno opterećenje – Snijeg.....	40
6.2.5. Pokretno opterećenje – Potres .....	41
6.2.6. Kombinacije opterećenja.....	43
6.2.7 Prikaz konstrukcije.....	45
6.2.8. Pomaci kod potresnog opterećenja.....	49
6.2.9. Dijagrami unutarnjih sila.....	50
6.3. DIMENZIONIRANJE NOSIVIH ELEMENATA GLAVNOG OKVIRA.....	54
6.3.1. Dimezioniranje greda i stupova.....	55
6.3.2. Dimenzioniranje zidova .....	57
6.3.3. Dimenzioniranje temeljne ploče.....	60
6.3.4. Dimenzioniranje krovne ploče .....	62
7. ZAKLJUČAK.....	64
8. LITERATURA .....	67

## **POPIS TABLICA:**

Tablica 4-1. Koeficijenti za kut nagiba krova .....	18
Tablica 4-2. Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine ..	20
Tablica 4-3. Kategorije tla prema Eurokodu 8 .....	22
Tablica 4-4. Vrijednosti perioda i faktora tla ovisno o tipu temeljnog tla.....	24
Tablica 5-1. Inženjerskogeološke skupine stijena i tala .....	31
Tablica 6-1. Osnovna (mjerodavna) opterećenja.....	43
Tablica 6-2. Slučajevi opterećenja.....	43
Tablica 6-3. Mjerodavne kombinacije opterećenja .....	44



## POPIS SLIKA:

Slika 2-1. Modificirana klasifikacijska shema radioaktivnog otpada .....	5
Slika 2-2. Presjek bačve sa radioaktivnim materijalom zalivenim betonom.....	8
Slika 4-1. Karta snježnih područja Republike Hrvatske.....	19
Slika 4-2. Karta potresnih područja za povratno razdoblje od 475 godina .....	23
Slika 5-1. Predmetna lokacija prikazana na topografskoj karti RH 1:35 000. ....	27
Slika 5-2. Ubrzanja tla za lokaciju Čerkezovac na Karti potresnih područja RH .....	33
Slika 6-1. Pogledi na skladište.....	1
Slika 6-2. Presjek skladišta kroz stupove i položaj krovnih ploča .....	2
Slika 6-3. Presjeci skladišta u profilima A – A i B – B.....	1
Slika 6-4. Prikaz presjeka bačvi različitog sadržaja radioaktivnog otpada .....	39
Slika 6-5. Prikaz ulaznih parametara za dobivanje spektralne krivulje.....	41
Slika 6-6. Spektralna krivulja. ....	42
Slika 6-7. Pogledi na model konstrukcije s istaknutim nosivim elementima.....	45
Slika 6-8. Položaj okvira (stupova i krovnih greda).....	46
Slika 6-9. a) Temeljna ploča, b) krovna ploča (omnia ploče), c) uzdužni zid.....	47
Slika 6-10. Prednji poprečni zid (s ulazom u objekt), stražnji poprečni zid.....	48
Slika 6-11. Poprečni presjek s pomacima za potresno djelovanje.....	49
Slika 6-12. Dijagram uzdužnih sila - vertikalno opterećenje .....	50
Slika 6-13. Dijagram poprečnih sila - vertikalno opterećenje .....	51
Slika 6-14. Dijagram momenta savijanja - vertikalno opterećenje .....	51
Slika 6-15. Dijagram uzdužnih sila - potresno opterećenje.....	52
Slika 6-16. Dijagram poprečnih sila - potresno opterećenje .....	52
Slika 6-17. Dijagram momenta savijanja - potresno opterećenje.....	53
Slika 6-18. Potrebna uzdužna armatura u gredi i stupu okvira.....	54
Slika 6-19. Potrebna poprečna armatura u gredi i stupu okvira .....	55

Slika 6-20. Prikaz armature potrebne za gredu T-presjeka .....	56
Slika 6-21. Prikaz armature potrebne za stupove .....	56
Slika 6-22. Iskorištenje pretpostavljene uzdužne armature u zidu presjeka 1 .....	57
Slika 6-23. Potrebna poprečna armatura u zidovima u presjeku 1 .....	58
Slika 6-24. Potrebna uzdužna armatura u gredi.....	59
Slika 6-25. Potrebna poprečna armatura u gredi .....	59
Slika 6-26. Moment savijanja u temeljnoj ploči za vertikalno opterećenje [kNm/m].....	60
Slika 6-27. Progibi temeljne ploče za vertikalno opterećenje [m] .....	61
Slika 6-28. Pritisci temeljne ploče na tlo za vertikalno opterećenje.....	61
Slika 6-29. Dimenzioniranje Omnia ploče .....	63

## **POPIS KRATICA:**

<b>AB</b>	armirani beton
<b>APO</b>	Agencija za posebni otpad
<b>DGU</b>	Državna geodetska uprava
<b>G</b>	dodatno stalno opterećenje
<b>GSN</b>	granično stanje nosivosti
<b>GSU</b>	granično stanje uporabljivosti
<b>IAEA</b>	International Atomic Energy Agency
<b>II</b>	iskorišteni izvor
<b>ING</b>	istrošeno nuklearno gorivo
<b>MCS</b>	Mercalli – Cancani – Siebergova ljestvica
<b>NEK</b>	Nuklearna elektrana Krško
<b>NN</b>	Narodne novine
<b>NORM</b>	Naturally Occurring Radioactive Materials
<b>NRAO</b>	nisko radioaktivni otpad
<b>NSRAO</b>	nisko i srednje radioaktivni otpad
<b>RAO</b>	radioaktivni otpad
<b>RH</b>	Republika Hrvatska
<b>RS</b>	Republika Slovenija
<b>VRAO</b>	visokoradioaktivni otpad
<b>VT</b>	vlastita težina
<b>Q</b>	pokretno opterećenje (korisno + snijeg)

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SI JEDINICA:

<b>Simbol</b>	<b>Značenje</b>	<b>Jedinica</b>
Bq	bekereel	1 atom/s
G	dodatno stalno opterećenje	kN/m <sup>2</sup>
Gy	grej	J/kg
eV	elektronvolt	J
Sv	sievert	J/kg
$\gamma_{AB}$	specifična težina	kN/m <sup>3</sup>
Q	korisno/uporabno opterećenje	kN/m <sup>2</sup>
$\mu_i$	koeficijent oblika za kut nagiba krova	—
$C_e$	koeficijent izloženosti	—
$C_t$	temperaturni koeficijent	—
g	ubrzanje/akceleracija	m/s <sup>2</sup>
$a_g$	proračunsko ubrzanje tla	m/s <sup>2</sup>
$T_{NC}$	povratni period	godina
$T_B, T_C$ i $T_D$	vrijednosti perioda	—

## 1. UVOD

U ovom diplomskom radu proveden je preliminarni proračun jednoetažne konstrukcije. Riječ je o potencijalnom skladištu nisko i srednje radioaktivnog otpada koje bi se sagradilo na lokaciji Čerkezovac na Trgovskoj gori.

Zbog zajedničkog jugoslavenskog projekta, izgradnje nuklearne elektrane Krško (NEK), u kojem je sudjelovala Republika Hrvatska (RH) zajedno sa Republikom Slovenijom (RS), RH je zakonski obvezna skladištiti dio otpada nastalog radom NEK. Do danas realizacija skladišta nije zaživjela, a budući da je kraj radnog vijeka NEK 2023. godina, problematika zbrinjavanja radioaktivnog otpada (RAO) mora se riješiti što prije.

Projekt odabira lokacije u RH započeo je 1988. godine, a do danas odabrana lokacija je Trgovska gora. U radu su prikazane geološke karakteristike lokacije odnosno hidrogeološke, hidrološke, litostratigrafske, inženjerskogeološke te seizmičke i seizmotektonske karakteristike.

U skladu sa Zakonom o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, Strategijom zbrinjavanja radioaktivnog otpada (RAO), iskorištenih izvora (II) i istrošenog nuklearnog goriva (ING) i Pravilnikom o uvjetima nuklearne sigurnosti za davanje suglasnosti za gradnju postrojenja, napravljen je statički proračun skladišta u programskim paketima ETABS (engl. *Integrated Analysis, Design and Drafting of Building System*) i SAFE (*Integrated Designs of Slabs, Mats and Footings*). Cjelokupni proračun konstrukcije i dimenzioniranje provedeno je prema trenutno važećim europskim normama za projektiranje konstrukcija (eurokodovi).

## 2. RADIOAKTIVNOST I RADIOAKTIVNI OTPAD

Radioaktivnost je svojstvo nekih vrsta atoma da im se jezgre spontano mijenjaju pri čemu emitiraju energiju u obliku zračenja. Ta se promjena jezgre naziva radioaktivnim raspadom. Nestabilni atomi nazivaju se radioaktivnim atomima odnosno radionuklidima te se dijele na prirodne i umjetne radionuklide. Pod pojmom prirodna radioaktivnost smatra se radioaktivnost povezana s nastankom zemlje koja je za vrijeme Zemljina postanka bila puno veća. Prema tome, čovječanstvo je od samog početka izloženo ionizirajućem zračenju. Tisuće pogodaka subatomske čestice i gama zračenja svake sekunde čini se dojmljivo, ali tek mali dio procesa izazvanih zračenjem završava nepopravljivim oštećenjem ljudskog genetskog materijala. Procjenjuje se da čovjek godišnje primi efektivnu dozu od 2,5 mSv prirodnog zračenja (Krašić i Živković, 2016).

Ionizirajuće zračenje koje stigne do Zemlje sastoji se od tzv. Galaktičkog kozmičkog zračenja i Sunčevog zračenja. Jedan dio zračenja skrene u Zemljino elektromagnetno polje, a većina preostalog zračenja gubi energiju u sudarima prilikom prolaska kroz atmosferu. Nastaju kozmogeni radionuklidi i sekundarna zračenja od kojih dio stigne do Zemljine površine. Galaktičko kozmičko zračenje stiže na Zemlju iz svih smjerova izvan Sunčeva sustava. Uobičajena energija tog zračenja je od 100 do 10 000 MeV. Primarno galaktičko zračenje sastoji se uglavnom od protona. Elektron i alfa-čestica ima oko 5% dok gama-zraka još manje. Sunčevo zračenje se sastoji pretežno od protona, i to u ciklusima od 11 godina. Energija ionizirajućih zraka sa Sunca obično je ispod 1 MeV, a prilikom pojačane aktivnosti prelazi 100 MeV.

Obzirom da je Zemlja nastala prije 4,6 milijardi godina do danas su ostali radionuklidi s najduljim vremenom poluraspada. Najviše se ozračenja dobiva od uranovog niza koji potječe od urana 238 i sadrži radij 226 i radon 222 čije je vrijeme poluraspada 4,47 milijardi godina. Nakon njega slijede kalij 40 sa vremenom poluraspada od 1,27 milijardi godina, torij 232 s 14,7 milijardi godina, uran 235 sa 0,704 milijardi godina te rubidij s vremenom poluraspada od 48,7 milijardi godina. Uz gama-zračenje čije je godišnje ozračenje 0,46 mSv, najveće je ozračenje od radioaktivnog plina radona koje iznosi 220 mSv, i njegovih kratkoživućih potomaka (Krašić i Živković, 2016).

Vrijeme tijekom kojeg se raspadne polovina početnog broja atoma naziva se vrijeme poluraspada odnosno poluživota. Ta polovina dalje se raspada za isto toliko vrijeme pa

četvrtina za još toliko vremena itd. Osim po vremenu poluraspada, radionuklidi se razlikuju po energiji i vrsti koju oslobađaju prilikom raspada. Energija zračenja sastoji se od pozitivnih čestica – alfa zračenja pri kojemu ionizirajuće zračenje može zaustaviti običan list papira ili odjeća, elektrona – beta zračenja koje može zaustaviti aluminijska folija te elektromagnetskih valova – gama zračenja koje ima najveću moć prodiranja. Kako bi se spriječilo prodiranje takvog zračenja potrebni su određeni predmeti poput štita i oklopa. Debljina štitova ovisi o materijalu i o vrsti zračenja.

Mjerna jedinica kojom se mjeri radioaktivnost je bekerel (Bq) i prikazuje aktivnost jednog raspada u sekundi. Specifična aktivnost izražava se u Bq/kg ili Bq/m<sup>3</sup>. Apsorbirana količina označava količinu energije po kilogramu mase tijela nastale od ionizirajućeg zračenja. Mjerna jedinica kojom se označava apsorbirana doza je grej (Gy). Različite vrste zračenja različito djeluju pri istoj apsorpciji pa se za procjenu rizika koristi ekvivalentna doza. Jedinica ekvivalentne doze je svert (Sv) a najčešće se mjeri u milisivertima (mSv) (Krašić i Živković, 2016).

Gospodarenje radioaktivnog otpada (RAO) predstavlja završnu fazu u primjeni nuklearne energije. RAO u Republici Hrvatskoj nastaje uglavnom iz medicine, istraživanja, dojavljivača dima i radioaktivnih gromobrana te nuklearne elektrane Krško (NEK). Prema evidenciji iz 1991. godine u Republici Hrvatskoj je registrirano 510 institucija i organizacija koje ovlašteno koriste izvore ionizirajućeg zračenja (Subašić i dr., 2011).

Cjelokupni RAO koji nastaje u Republici Hrvatskoj zbrinjava se na tri načina. Prvi način primjenjuje se u bolnicama i istraživačkim institutima gdje se privremeno čuva u tankovima sve dok se radioaktivnost ne spusti na prirodnu razinu te se zbrinjava kao i otpad u ostalim institucijama. Drugi način je zbrinjavanje u privremena skladišta. Dva su takva skladišta u Republici Hrvatskoj a to su Institut za medicinska istraživanja i Institut „Ruđer Bošković“ u Zagrebu. Ovaj način primjenjuje se za sve vrste radioaktivnog otpada koji sadrže radioizotope s dugim vremenom polurazgradnje. Treći način podrazumijeva ponovno korištenje radioaktivnih izvora u iste ili druge svrhe (Subašić i dr., 2011).

## 2.1. Klasifikacija radioaktivnog otpada

Na razlikama u radioaktivnim svojstvima temelje se najvažnije klasifikacije RAO. Radi lakše komunikacije, poglavito na međunarodnoj razini zatim i u svrhu planiranja odlagališta, opće je prihvaćena jednostavna klasifikacija radioaktivnog otpada prema aktivnosti i poluživotu radionuklida koje sadrži (Levanat, 1997).

IAEA (engl. International Atomic Energy Agency) kao kriterij za kategorizaciju otpada koristi vrijeme poluraspada radionuklida, brzinu kontaktne doze, razinu toplinske snage u otpadu i intenzitet zračenja koji bitno utječe na vrstu i debljinu štitova i barijera koji su potrebni kako bi se sigurno rukovalo s otpadom i kako bi se izolirao otpad (IAEA, 1994).

Prema Uredbi o uvjetima te načinu zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih i zatvorenih radioaktivnih izvora i izvora ionizirajućeg zračenja koji se ne namjeravaju dalje koristiti (NN 44/08) klasifikacija RAO je u skladu s klasifikacijom Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) a koji razlikuje šest klasa radioaktivnog otpada. Radioaktivni otpad, s obzirom na koncentraciju aktivnosti ili ukupnu aktivnost i vrijeme poluraspada radionuklida sadržanih u radioaktivnom otpadu, svrstava se u sljedeće razrede:

**Izuzeti i otpušteni radioaktivni otpad (IRAO)** predstavlja koncentraciju aktivnosti ili ukupnu aktivnost u radioaktivnom otpadu koja je jednaka ili niža od propisanih razina izuzimanja ili otpuštanja. Tu spadaju materijali koji su izuzeti od obveze regulatornog nadzora za potrebe zaštite od zračenja, a nakon što je izuzeti otpad izuzet iz regulatornog nadzora, ne smatra se više radioaktivnim otpadom.

**Vrlo kratkoživi radioaktivni otpad (VKRAO)** sadrži radionuklide vrlo kratkog vremena poluraspada a korišten je u istraživanjima i u medicinske svrhe. Odlaze se na određeno vrijeme nakon čega se izdvaja iz regulatornog nadzora a potom odlaze, koristi ili ispušta bez nadzora.

**Vrlo nisko radioaktivni otpad (VNRAO)** je radioaktivni otpad koji sadrži zanemarivu specifičnu aktivnost pa nije opasan za okoliš i zdravlje pučanstva i može se zbrinjavati na isti način kao i standardni komunalni otpad.

**Nisko radioaktivni otpad (NRAO)** sadrži radionukline s kratkim vremenom poluraspada, male specifične aktivnosti i zanemariv udjel radionuklida s dugim vremenom poluraspada. Zbrinjava se na površinskim odlagalištima.

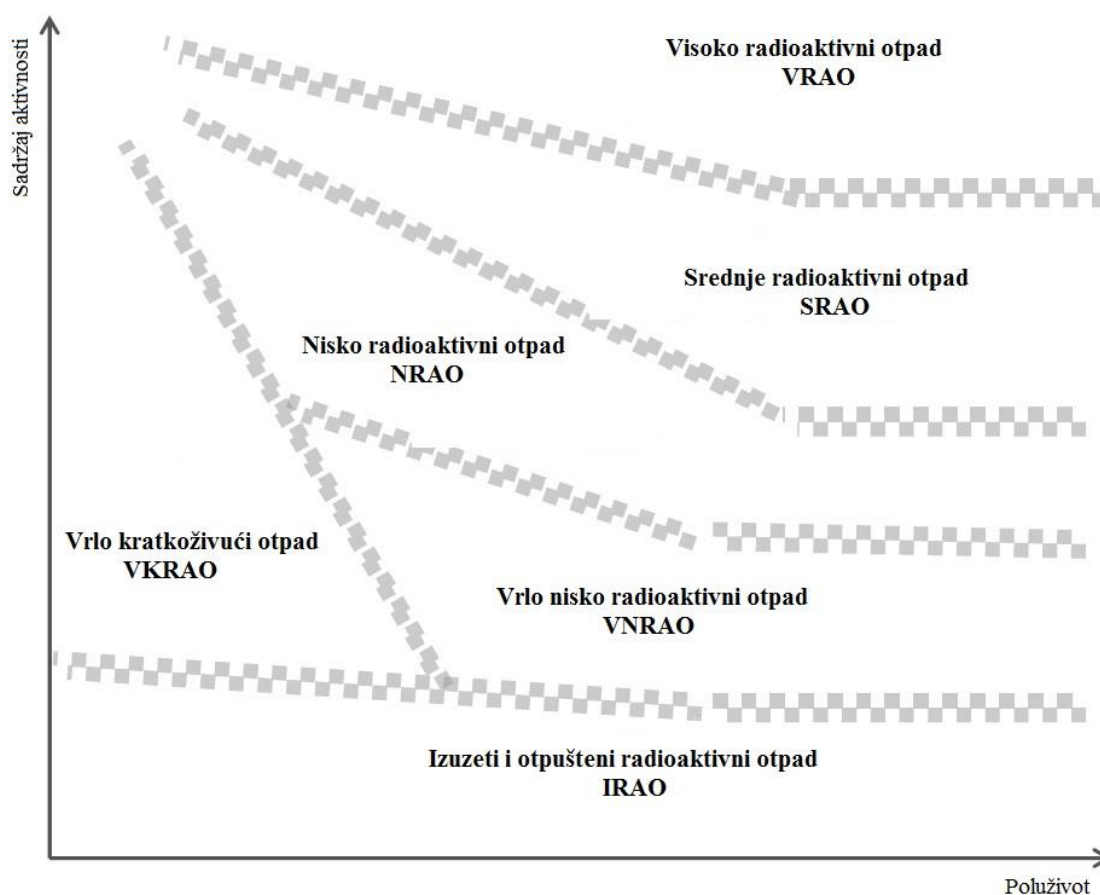
**Srednje radioaktivni otpad (SRAO)** sadrži radionuklide s vremenom poluraspada kraćim od 30 godina i koncentracijom aktivnosti ili ukupnom aktivnosti koja će poslije 3 godine biti iznad propisanih razina izuzimanja ili otpuštanja, a proizvodnja topline u



radioaktivnom otpadu je niža od  $2 \text{ kW/m}^3$ . Otpad koji sadrži radionuklide s kratkim vremenom poluraspada zbrinjava se u površinskom odlagalištu, dok se otpad koji sadrži radionuklide s dugim vremenom poluraspada zbrinjava u (plitkim ili dubokim) podzemnim odlagalištima.

**Visoko radioaktivni otpad (VRAO)** sadrži veliki udjel radionuklida u obliku fisijskih produkata i transuranijskih (dugoživućih) elemenata koji se stvaraju u jezgri reaktora, a zbrinjava se u dubokim podzemnim odlagalištima.

Konceptualna ilustracija klasifikacijske sheme prikazana je na Slici 2-1. Os ordinata predstavlja sadržaj aktivnosti otpada dok os apscisa predstavlja poluraspad radionuklida u otpadu.



Slika 2-1. Modificirana klasifikacijska shema radioaktivnog otpada (IAEA, 2009b)

## 2.2. Nisko i srednje radioaktivni otpad

Najveći dio radioaktivnog otpada čini nisko i srednje radioaktivni otpad (NSRAO). Takav otpad karakterizira činjenica da mu radioaktivnost neće ostati značajno povišena duže od nekoliko stoljeća. Razlog tomu je što radioaktivnost takvog otpada nije od početka bila naročito visoka i što ne sadrži velike koncentracije dugoživućih radionuklida. Vrijeme poluraspada manja je od 30 godina. Zbog toga nema potrebe da se takav otpad odlaže stotinama metara duboko pod zemljom u stabilnim i nepropusnim geološkim slojevima i strukturama. Tako se odlagališta NSRAO grade pri samoj površini tla ili u zemlju na dubinu od svega nekoliko metara (Levanat i Lokner, 2000).

Niskoradioaktivni otpad uglavnom čine zaštitna odjeća, rukavice, alat, krpe i materijal za čišćenje odnosno sve što sadržava malu količinu kratkoživućih izotopa. Ovaj otpad čini 90% volumena cjelokupnog radioaktivnog otpada, dok je udio u radioaktivnosti 1%. U Nuklearnoj elektrani Krško godišnje nastaje 60 m<sup>3</sup> ovakvog otpada koji se skladišti u krugu elektrane. Rukovanje nije komplicirano ali je ipak odlaganje drugačije nego sa običnim otpadom. NRAO se sprema u bačve koje se zatim komprimiraju s ciljem smanjenja volumena.

Srednje radioaktivni otpad sadrži veću količinu radioaktivnosti i zahtjeva posebno tretiranje. U njemu su sadržane smole iz ionoizmjenjivačkih filtera, kemijski talozi kontaminirani materijali nastali dekomisijom. Čini 7 % ukupnog volumena radioaktivnog otpada i 4% radioaktivnosti. Odlagalište SRAO može biti površinsko ili podzemno odnosno tunelsko.

Nisko radioaktivni otpad i srednje radioaktivni otpad nekad su činili dvije posebne grupe, danas je to ujedinjena klasa koja obuhvaća širi raspon radioaktivnosti od granice izuzimanja do visokoradioaktivnog otpada. Razlikuju se dvije vrste nisko i srednjeaktivnog otpada, kratkovječni i dugovječni otpad.

Kratkovječni sadrži male koncentracije dugovječnih radionuklida. Zbog mogućih velikih razlika u aktivnosti ne može se odrediti najadekvatniji način odlaganja iako je jasno da nema potrebe za odlaganjima u dubokim geološkim strukturama.

Dugovječni otpad sadrži tako veliku količinu dugovječnih radionuklida da je prijeko potrebna izolacija od biosfere za duže vremensko razdoblje. Jasno je da se takva odlagališta planiraju u dubljim slojevima zemlje.

Materijali koji su izloženi radioaktivnom učinku nakon nekog vremena postaju radioaktivni i potpuno ili djelomično neupotrebljivi. Ako nemaju mogućnost prerade za daljnju uporabu, postaju radioaktivni otpad. Radioaktivnost im se s vremenom smanjuje, a može potrajati od nekoliko mjeseci pa i do nekoliko tisuća godina ovisno o raspadu radionuklida.

Pojam koji obuhvaća radioaktivne materijale koji se mogu pronaći u prirodi naziva se NORM (*Naturally Occurring Radioactive Materials*). Dije se u dvije skupine, zemljine izvore i kozmičke izvore. Zemljini izvori čine većinu ove skupine i u njih su svrstani minerali koji sadrže uran, torij, cirkon i elemente rijetkih zemalja. U kozmičke izvore spada radioaktivno zračenje odnosno pozadinsko zračenje iz svemira, kod kojeg se dio radioaktivnih zraka odbija (reflektira) od Zemljinog magnetskog polja pri čemu samo mali dio uspije prodrijeti na površinu Zemlje (Žlimen, 2014).

### 2.3. Tehnologija zbrinjavanja radioaktivnog otpada

Pri odlaganju otpada potrebno je držati se niza provjerenih tehnoloških postupaka kojima se radioaktivni otpad priređuje za odlaganje. Niz tehnoloških postupaka sačinjavaju predobrada, obrada, kondicioniranje, skladištenje i odlaganje.

**Predobrada** uključuje sakupljanje i razvrstavanje otpada, uklanjanje škodljivih čestica i kemijsko prilagođavanje te ponekad uključuje privremeno skladištenje. Ovaj proces važan je prilikom izdvajanja otpada za recikliranje od otpada koji se smatra radioaktivnim.

**Obrada** se sastoji od operacija kojima je svrha povećati sigurnost ili ekonomičnost pohranjivanja otpada promjenom njegovih svojstava. Proces uključuje smanjivanje obujma otpada, uklanjanje radionuklida i promjenu sastava otpada. Operacije kojima se to postiže su spaljivanje gorivog otpada ili prešanje suhog otpada, isparavanje ili propuštanje tekućeg otpada kroz filtere i ionske izmjenjivače te izdvajanje kemijskim sastojaka precipitacijom ili flokulacijom (promjena sastava).

**Kondicioniranje** RAO čine procesi kojima se otpad prevodi u oblik prikladniji za rukovanje, prijevoz, skladištenje i odlaganje. To su procesi imobiliziranja i pakiranja. Postupci imobilizacije tekućeg otpada manje radioaktivnosti uključuju zalijevanje u bitumensku ili betonsku matricu (Slika 2-2.) odnosno staklenu matricu za otpad veće radioaktivnosti (Levant, 1997).



*Slika 2-2. Presjek bačve sa radioaktivnim materijalom zalivenim betonom (IAEA, 1998)*

### **3. SKLADIŠTENJE**

Skladištenje je četvrto u nizu tehnoloških postupaka. Podrazumijeva privremeno čuvanje radioaktivnog otpada pri čemu se radioaktivnost s vremenom smanjuje, pa je transport i rukovanje lakše i sigurnije. (Levanat, 1997) Određeni radioaktivni otpad se ne odlaže odmah, nego se neko vrijeme čuva odnosno privremeno skladišti. Radioaktivnost mu se tako s vremenom smanjuje, pa je i transport i rukovanje lakše i sigurnije. Primjer je reaktorsko gorivo kojemu radioaktivnost nakon vađenja značajno opada (Šabović i dr. 2011).

Međunarodna agencija za atomsku energiju IAEA definira skladište kao pričuvu iskorištenog goriva ili radioaktivnog otpada u objektu koji služi da spriječi njegovo štetno djelovanje na okolinu. Svrha je raspravljati o pitanjima koja se odnose na skladištenje a ne na privremeno skladištenje. Jedna važna činjenica je jasna – sve je veće oslanjanje na skladištenje otpada zbog napretka tehnologije u svijetu. Dugoročno skladištenje nije jednostavan niti jeftin proces. To zahtjeva institucionalnu kontrolu od strane tijela s potrebnim znanjem i stručnošću te pozamašne financijske resurse. Istraživanja su pokazala da se skladištenje na nekoliko desetljeća može nastaviti uz adekvatnu kontrolu. Međutim, čak i ako tehnološki napredak omogućava da bi skladište na duže vrijeme bilo održivo, dovodi se do problema institucionalnih tijela koja bi to onemogućila. Odgoda zbrinjavanja zaliha istrošenog goriva i radioaktivnog otpada koji zahtijevaju sigurno i učinkovito upravljanje samo se gomilaju. To je ključni problem u održivom korištenju nuklearne energije (IAEA, 2002).

#### **3.1. Skladištenje iskorištenog goriva**

Mnogi skladišni objekti diljem svijeta morali su proširiti svoje kapacitete ili osigurati dodatni prostor za pohranu. Razlikujemo dva tipa skladištenja a to su mokro skladištenje i suho skladištenje.

Mokro skladištenje podrazumijeva najrašireniji način privremenog odlaganja. Vršiti se tako da se iskorišteni elementi drže u bazenima s vodom u krugu nuklearne elektrane. Glavni uvjet za ovakvo skladištenje je da u svakom trenutku mora biti mjesta za ispuštanje odnosno pražnjenje cijelog reaktora u slučaju izvanrednih situacija. Nakon iskorištenja u nuklearnom reaktoru dio gorivih elemenata vadi se iz jezgara reaktora i odlaže u bazen za

iskorišteno gorivo. Nakon vađenja to gorivo još uvijek emitira toplinsku energiju i veoma je radioaktivno. Upravo zbog toga, hlađenje u bazenu jedan je od osnovnih tehnoloških zahtjeva koji se pojavljuju unutar postupaka gorivom u nuklearnoj elektrani.

U suho skladište pohranjuju se gorivi elementi koji su proveli dovoljno dugo vremena, najmanje pet godina u bazenima za hlađenje. To su skladišta u kojima je istrošeno gorivo u plinovitom agregatnom stanju npr. u inertnom plinu ili zraku. Odlaganje je moguće u masivnim kontejnerima odnosno nezavisnim skladištima ili u bunkerima. Gorivo se tako pohranjuje u metalne ili betonske kontejnere. Suho skladište u metalnim kontejnerima predviđeno je za manje kapacitete, modularnog je tipa i vrlo je jednostavno što mu daje prednost (Šabović i dr., 2011).

Skladišta NSRAO obično su čvrste zgrade, obično prizemnice ili djelomično ukopane zgrade koje se nalaze na prikladnoj lokaciji gdje se ne očekuju poplave, velika ispiranja od padalina ili podzemnih voda, značajni erozivni i tektonsko – seizmički procesi te gdje se očekuje što manja propusnost matične stijene. U njima se radioaktivni otpad čuva od nekoliko desetljeća pa i do stotinjak godina prije konačnog spremanja u odlagalište.

### **3.2. Odlaganje radioaktivnog otpada**

Za trajno pohranjivanje – odlaganje radioaktivnog otpada grade se objekti za odlaganje na manjoj ili većoj dubini u čvrstom tlu ili na samoj površini. Pod pojmom odlaganje podrazumijeva se kako ne postoji namjera da se otpad ikada vadi ili premješta iz odlagališta, kao niti namjera da se otpad i dalje aktivno nadzire nakon zatvaranja odlagališta. Svrha odlaganja je da budući naraštaji ne budu opterećeni problemima koje nisu sami prouzročili. Projektiranje odlagališta vrši se s ciljem da se spriječi da u okolinu prodiru nedopustive količine ili koncentracije radionuklida iz otpada, koje bi štetno mogle djelovati na ljudsko zdravlje.

Izolacija odlagališta postiže se preprekama odnosno prirodnim ili umjetno izgrađenim barijerama koje sprečavaju širenje radionuklida izvan odlagališta. Postoje izgrađene barijere koje osiguravaju potpunu izolaciju otpada kao što su npr. metalne posude i barijere koje dugoročno usporavaju prodor radionuklida u okoliš kao što su materijali za popunjavanje.

Odlagališta ne čine samo posude s otpadom i ostali materijali u odlagalištu već i dio zemljišta u kojem se takvo postrojenje nalazi. Ne može se očekivati da će se radionuklidi dugoročno zadržati u posudama ili unutar jedinica za odlaganje već je za njihovo izoliranje od okoliša predviđeno ukupno područje odlagališta. Čak ni tada nije moguće jamčiti da ni najmanje količine radionuklida neće prodrijeti izvan opsega odlagališta. Pri tom, moguće je sa sigurnošću pokazati potencijalne rizike od ozračenja.

## 4. PROPISI

Sve aktivnosti vezane za sigurnost izvora ionizirajućeg zračenja u Republici Hrvatskoj koordinira Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS). Temeljem Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN141/13, 39/15) Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost između ostalog:

- koordinira poslove tehničke suradnje s Međunarodnom agencijom za atomsku energiju (IAEA) za sve sudionike iz Republike Hrvatske;
- provodi obveze koje je Republika Hrvatska preuzela prema međunarodnim konvencijama, ugovorima i sporazumima, a odnose se na zaštitu od ionizirajućeg zračenja, nuklearnu sigurnost i primjenu mjera zaštite u svrhu neširenja nuklearnog oružja;
- surađuje s međunarodnim i domaćim organizacijama i društvima s područja zaštite od ionizirajućeg zračenja i nuklearne sigurnosti te imenuje svoje stručne predstavnike koji sudjeluju u radu tih organizacija i društava ili prate njihov rad.

Međunarodna agencija za atomsku energiju IAEA neovisna je organizacija Ujedinjenih naroda koja je specijalizirana za međunarodnu suradnju na nuklearnom području.

### 4.1. Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti

Hrvatski sabor je na temelju članka 89. Ustava Republike Hrvatske proglasio Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti na sjednici 15. studenoga 2013. godine, a Zakon je izmijenjen i dopunjen na sjednici 27. ožujka 2015. godine. Zakon sadrži odredbe koje su u skladu sa raznim aktima Europske unije. Tim se zakonom, između ostalog, određuju mjere zbrinjavanja radioaktivnog otpada.

Pojmovi korišteni u članku 4. ovog Zakona, a odnose se na projektiranje skladišta nisko i srednje radioaktivnog otpada jesu:

*Skladište* jest objekt za skladištenje radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora, ili istrošenog nuklearnog goriva za potrebe obavljanja djelatnosti zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva.



*Skladištenje* jest djelatnost kontroliranog smještanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva u građevinu namijenjenu skladištenju s namjerom da se taj radioaktivni otpad, istrošeno nuklearno gorivo i iskorišteni izvori ponovno uključe u neku od djelatnosti.

*Zbrinjavanje radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva* podrazumijeva sve administrativne i operativne postupke koji su uključeni u djelatnost obrade, kondicioniranja, manipuliranja, prijevoza, skladištenja i odlaganja, isključujući prijevoz izvan lokacije zbrinjavanja.

Prema članku 49. ovog Zakona, radioaktivni otpad i istrošeno nuklearno gorivo koji su nastali na teritoriju Republike Hrvatske moraju se zbrinuti na dugoročno održiv način na teritoriju Republike Hrvatske osim ako zbrinjavanje radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva na teritoriju druge države jamči jednaku ili veću sigurnost te ako su bilateralni ugovori sklopljeni prije dana stupanja na snagu ovog Zakona dozvoljavaju zbrinjavanje radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva na teritoriju druge države. Prouzročitelj potrošenog RAO mora osigurati propisno zbrinjavanje, izbjegavati prebacivanje tereta odlaganja RAO na buduće generacije i osigurati da otpadne radioaktivne tvari nastaju u najmanjim mogućim količinama kao i snositi troškove zbrinjavanja. Odlagalište u zemlji u kojoj se predviđa odlaganje mora biti ovlašteno za prihvata RAO kojeg se namjerava poslati, mora biti djelatno prije zahtjeva pošiljke RAO i njime se mora upravljati u skladu sa zahtjevima sadržanim u programu upravljanja i odlaganja RAO zemlje u kojoj se nalazi odlagalište.

Djelatnost zbrinjavanja RAO, ne smije se započeti obavljati prije nego što Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost (Zavod) izda odobrenje na rok od najduže 10 godina (članak 50).

Prema članku 51. centar za zbrinjavanje RAO osnovat će i njime upravljati Fond za financiranje razgradnje i zbrinjavanja RAO i istrošenog nuklearnog goriva Nuklearne elektrane Krško koji je za svoj rad odgovoran Vladi Republike Hrvatske. Fond za financiranje razgradnje i zbrinjavanja RAO smije započeti sa svojim radom tek nakon što se izda odobrenje iz članka 50. ovog zakona.

## **4.2. Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva**

Strategiju zbrinjavanja RAO, II i ING donosi Hrvatski sabor na prijedlog Vlade Republike Hrvatske kojeg mu predlaže Zavod. Zavod predlaže i koordinira obnove Strategije uzimajući u obzir najbolja tehnička i znanstvena dostignuća, preporuke i stečena iskustva u prethodnom razdoblju. (Članak 54. Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti)

Republika Hrvatska ima obvezu zbrinuti RAO i iskorištene izvore ionizirajućeg zračenja koji su nastali 60-godišnjom primjenom izvora ionizirajućeg zračenja u medicini, industriji, znanosti, vojnoj i javnoj upotrebi. Objekti u kojima se do sada privremeno skladištio navedeni otpad su zatvoreni. Stoga se mora što prije uspostaviti središnje skladište RAO-a kao što je u Zakonu i propisano. Nadalje, RH ima obvezu sanirati lokacije na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali za koje je potreban kontinuirani regulatorni nadzor. Također, RH je u skladu sa Zakonom o potvrđivanju Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško i Zajedničke izjave povodom potpisivanja Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju Nuklearne elektrane Krško («Narodne novine – Međunarodni ugovori», br. 9/02.) obvezna fizički preuzeti i zbrinuti polovicu RAO-a i ING-a koji se trenutačno skladište u NE Krško (Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, NN 125/14).

Članak 38. iz Uredbe o uvjetima te načinu zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih zatvorenih radioaktivnih izvora i izvora ionizirajućeg zračenja koji se ne namjeravaju dalje koristiti (NN 44/08) određuje da se RAO može ispustiti u okoliš samo ako su ispuštene količine u dozvoljenim količinama. U članku 40. napomenuto je da se aktivnosti i količine RAO koje se mogu ispustiti utvrđuju za svaku lokaciju posebno, uzimajući u obzir transportne putove i ponašanje radionuklida u okolišu.

Materijali koji se odlikuju povećanom koncentracijom aktivnosti mogu se odlagati isključivo u građevinu izgrađenu i uređenu kao odlagalište za tu namjenu, a za koju je izdana uporabna dozvola prema posebnim propisima, prije puštanja u pogon. Građevine za odlaganje otpada ovog članka podliježu izradi studije utjecaja na okoliš prema posebnim

propisima uz obvezno sudjelovanje predstavnika Zavoda u radu komisije za procjenu utjecaja na okoliš (Članak 41. Uredbe o uvjetima te načinu zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih zatvorenih radioaktivnih izvora i izvora ionizirajućeg zračenja koji se ne namjeravaju dalje koristiti NN 44/08).

#### **4.3. Pravilnik o uvjetima nuklearne sigurnosti za davanje suglasnosti za gradnju postrojenja**

Uz zahtjev za odobrenje za gradnju skladišta za istrošeno nuklearno gorivo i za skladište radioaktivnog otpada po članku 47. prilažu se:

- a) opći projekt za postrojenje;
- b) izvješće o sigurnosnoj analizi izrađeno u skladu s Pravilnikom o izvješću o sigurnosnoj analizi za nuklearna postrojenja;
- c) izvješće o sigurnosnoj analizi za odlagalište koje pokriva razdoblje nakon njegovog zatvaranja, sadržaj koji treba biti naveden od strane Zavoda kao dio postupka specifikacije uvjeta za odobrenje zaštite okoliša. Ovo izvješće o sigurnosnoj analizi može biti dio izvješća sigurnosne analize iz prethodne točke;
- d) plan za dugoročni nadzor odlagališta;
- e) program razgradnje, napravljen u skladu s Pravilnikom;
- f) prijedlog za opseg i trajanje predoperacijskog praćenja radioaktivnosti u skladu s odredbama propisa kojima se utvrđuje praćenje radioaktivnosti;
- g) sustav upravljanja dokumentacijom u skladu s Pravilnicima o sigurnosti i upravljanju kvalitetom nuklearnog postrojenja;
- h) program upravljanja radioaktivnim otpadom ili istrošenim gorivom u skladu s odredbama propisa kojim se utvrđuje upravljanje radioaktivnim otpadom ili potrošenim materijalom;

i) mišljenje od strane ovlaštenog stručnjaka nuklearne sigurnosti postrojenja sastavljeno na temelju dokumentacije navedene u točkama ovog stavka od točke 1. do točke 8.;

j) instrument financijske sigurnosti za obavljanje svih radova sve do zatvaranja skladišta;

k) instrument financijske sigurnosti za pokriće svih dugoročnih troškova nadzora za skladište nakon njegovog zatvaranja;

l) plan fizičke zaštite u skladu sa zahtjevima propisanim zakonom za radiološku i nuklearnu sigurnost, te Pravilnikom o fizičkoj sigurnosti radioaktivnih izvora, nuklearnog materijala i nuklearnih postrojenja, kao zaseban i povjerljiv dokument u skladu s propisima koji reguliraju tajnost podataka.

U prilogu 3 stoji:

(1) Potrebno je osigurati sustave i objekte za gospodarenje radioaktivnim otpadom i njegovo skladištenje na lokaciji nuklearne elektrane u razdoblju koje je u skladu s raspoloživosti relevantne opcije za odlaganje.

(2) Projekt elektrane treba uključivati odgovarajuće značajke kako bi se olakšalo kretanje, prijevoz i zbrinjavanje radioaktivnog otpada. Pozornost je potrebno usmjeriti na pružanje pristupa objektima te mogućnostima za podizanje i pakiranje.

(3) Prilikom projektiranja SSK namijenjenih rukovanju spremnicima radioaktivnog otpada potrebno je uzeti u obzir zaštitu od ionizirajućeg zračenja, jednostavno održavanje i smanjivanje rizika i posljedica od događaja i nesreća.

(4) U skladištu je potrebno osigurati dodatni kapacitet za skladištenje kako bi se mogla neometano odvijati inspekcija, dohvat otpada iz skladišta, održavanje ili dodatni radovi na otpadu u skladištu, te kako bi se mogao pohraniti otpad nastao tijekom izvanredne situacije. U svakom je trenutku potrebno osigurati dovoljno dodatnog kapaciteta kako bi se mogao pohraniti sav dohvaćeni otpad i spremnici s istrošenim gorivom ili istrošeni gorivni elementi.

(5) Projektom je potrebno osigurati odgovarajuću opremu i spremnike kako bi se oštećeni gorivni elementi ili spremnici radioaktivnog otpada mogli zbrinuti u razumnom vremenskom roku nakon otkrivanja oštećenja.

(6) Nositelj odobrenja treba implementirati proceduru za upravljanje anomalijama vezanim s gubitkom integriteta spremnika ili propadanja spremnika do razine gdje više ne ispunjava uvjete za odlaganje ili skladištenje.

(7) Skladište je potrebno projektirati kako bi se omogućilo premještanje svog otpada ili istrošenog goriva u razumnom vremenskom roku nakon prestanka rada postrojenja ili u okviru interventnih mjera.

(8) Nositelj odobrenja treba napraviti pisane procedure koje definiraju kriterije prihvaćanja istrošenog goriva ili radioaktivnog otpada u skladište te metode potvrđivanja da istrošeno gorivo ili radioaktivni otpad ispunjavaju tražene kriterije. Te procedure trebaju sadržavati i naputke za sigurno rukovanje istrošenim gorivom ili radioaktivnim otpadom koje ne ispunjava kriterije za prihvaćanje u skladište.

#### **4.4. Eurokodovi ( EN 1991, EN 1998)**

##### **4.4.1. Eurokod 1 - Djelovanja na konstrukciju – djelovanje snijega**

Eurokod 1 (EC1) opisuje djelovanja na konstrukcije kao što su gradnja, padanje snijega na građevinu, utjecaj vjetrova, prolaz vozila preko mosta, promjena temperature okoliša te pojave potresa i požara. Djelovanja mogu biti neovisna ili ovisna o samoj konstrukciji. Proračuni djelovanja dobivaju se na temelju promatranja (opterećenja snijegom i vjetrom), proračunima uporabom zakona fizike (vlastita težina), izborom (maksimalna težina vozila na mostu) i procjenom (izvanredna djelovanja). Prikupljeni podaci o djelovanjima dobiveni promatranjem ili prema zakonima fizike obrađuju se stohastičkim metodama (EN 1991, 2002).

Za potrebe ovog rada opisan je proračun prema EN 1991-1-3 odnosno djelovanje snijega na krov konstrukcije. Ova komponenta prikazuje najveće opterećenje koje mora podnijeti krov neke građevine. Veoma je važno pravilno procijeniti opterećenje kako bi se izbjegle materijalne i ljudske štete koje bi mogle nastati uslijed rušenja konstrukcija radi

podcijenjenog opterećenja i kako bi se izbjegli nepotrebni troškovi gradnje ukoliko se precijeni opterećenje.

Utjecaj snijega na krov konstrukcije ovisi o obliku krova konstrukcije, njegovim toplinskim svojstvima, hrapavosti površine, toplini ispod krova, blizini okolnih objekata, lokalnoj klimi, temperaturi i vjerojatnosti padalina. Nanosi snijega na krovovima determiniraju se po izrazu:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (4-1)$$

gdje su:  $\mu_i$  – koeficijent oblika za kut nagiba krova,

$C_e$  – koeficijent izloženosti,

$C_t$  – temperaturni koeficijent,

$s_k$  – karakteristična vrijednost opterećenja snijega na tlu.

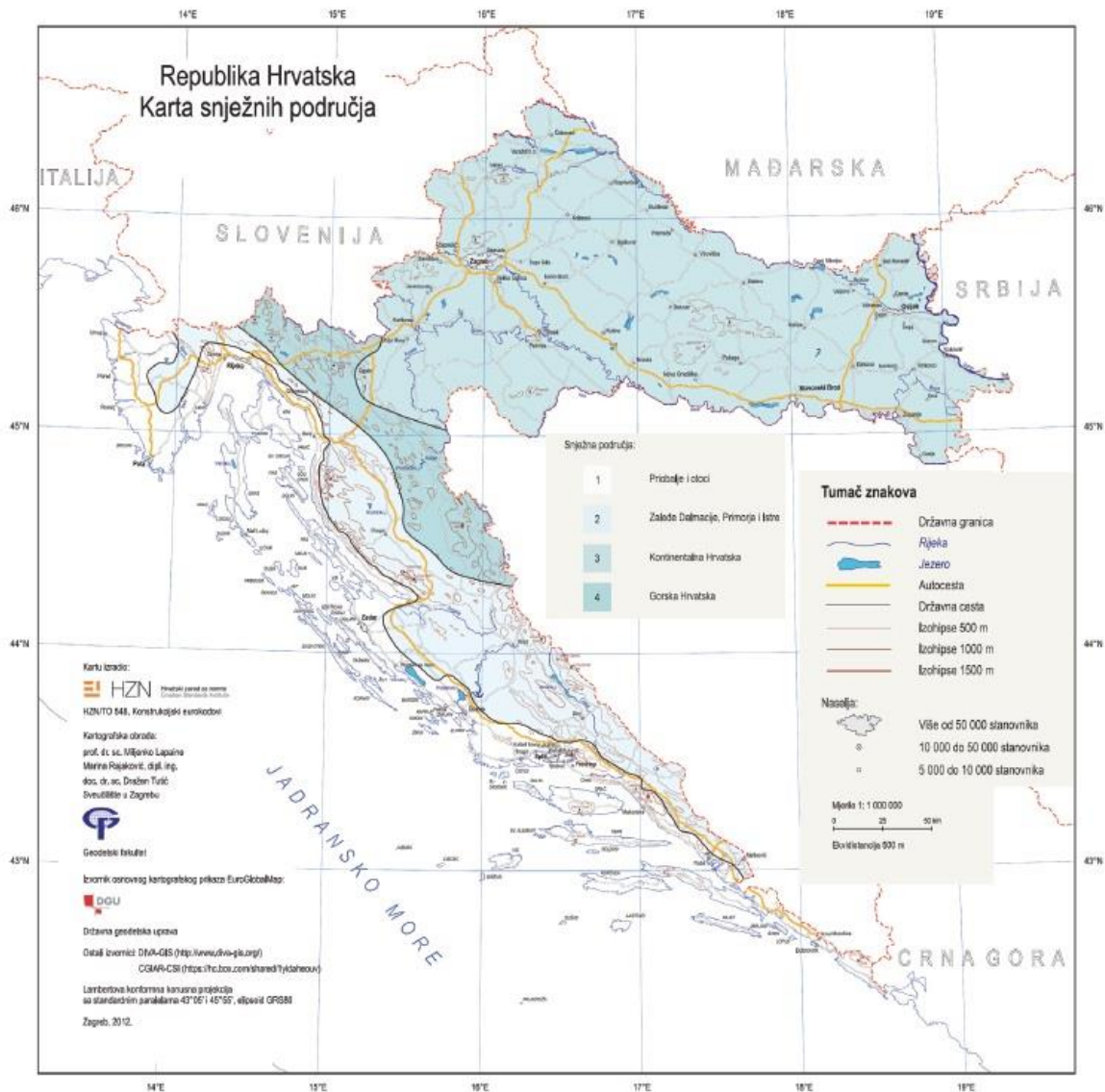
Pretpostavka je da opterećenje djeluje vertikalno na horizontalnu površinu krova. U područjima s mogućim kišama koje padaju na krovove već opterećene snijegom te mogućnošću topljenja i smrzavanja, potrebno je povećati karakterističnu vrijednost opterećenja snijega, pogotovo u slučajevima kada snijeg i led mogu blokirati sustav odvodnje vode s krovova. Vrijednost koja se uzima za koeficijent izloženosti  $C_e$  za normalnu topografiju iznosi 1,0 osim ako drugačije nije određeno. Koeficijent  $C_t$  uvrštava se u izraz kako bi se smanjilo opterećenje snijegom s visokim koeficijentima prolaska topline što je posebno važno za staklene krovove. Koeficijent oblika za kut nagiba krova  $\mu_i$  koristi se radi utjecaja vanjske geometrije krova koja može dovesti do povećanja opterećenja. Koeficijent oblika za kut nagiba krova određuje se prema Tablici 1 (EN 1991-1-3, 2003).

Tablica 4-1. Koeficijenti za kut nagiba krova (EN 1991-1-3, 2003)

Kut nagiba krova $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_i$	0,8	$0,8 (60 - \alpha)/30$	0,0

Republika Hrvatska mjeri gustoću snijega na 13 postaja diljem države dok visinu snijega mjeri na 118 postaja. Podaci se obrađuju linearnom regresijom. Karakteristična vrijednost opterećenja snijega na tlu  $s_k$  se određuje prema Nacionalnom dodatku

predmetnoj normi, HRN EN 1991-1-3:2012/NA:2016. Na Slici 4-1. prikazana je karta snježnih područja Republike Hrvatske prema kojoj se, ovisno o području i nadmorskoj visini, u Tablici 2 očitava karakteristično opterećenje snijega na tlu  $s_k$ .



Slika 4-1. Karta snježnih područja Republike Hrvatske (HRN EN 1991-1-3:2012/NA:2016)

Tablica 4-2. Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine (HRN EN 1991-1-3:2012/NA:2016)

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m <sup>2</sup> ]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m <sup>2</sup> ]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
1000	2,00	4,00	3,50	5,00
1100	3,00	5,00	4,00	5,50
1200	4,00	6,00	4,50	6,00
1300	5,00	7,00		7,00
1400	6,00	8,00		8,00
1500		9,00		9,00
1600		10,00		10,00
1700		11,00		11,00
1800		12,00		



#### 4.4.2. Eurokod 8 – Projektiranje građevina u potresnim područjima

Norme Eurokoda 8 (EC8) donose proširenje seizmičkih djelovanja i konstruktivnih pravila. One pokrivaju uobičajene građevine te su njihove odredbe općenite dok je za posebne objekte kao što su nuklearne elektrane ili velike brane potrebno zadovoljiti dodatne zahtjeve i učiniti dodatne provjere.

Konstrukcije treba projektirati tako da imaju dostatna svojstva nosivosti i duktilnost potrebnu za apsorpciju seizmičke energije kako bi se mogle proračunavati na reducirane sile potresa. Pretpostavlja se da tijekom izrade ili tijekom uporabe građevine neće doći do promjene nosive konstrukcije. Ukoliko se takvo što dogodi, potrebno je provesti provjeru. Ova norma se primjenjuje kod proračuna i kod gradnje zgrada i inženjerskih građevina u potresnim područjima pri čemu se u slučaju potresa nastoje osigurati ljudski životi, velike štete te funkcionalnost konstrukcija važnih za civilnu zaštitu (EN 1998-1, 2004).

Europsku normu EN 1998 čini više odvojenih dijelova:

EN 1998-1 – Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade

EN 1998-2 – Odredbe za mostove

EN 1998-3 – Odredbe za potresno ocjenjivanje i obnovu postojećih zgrada

EN 1998-4 – Posebne odredbe za silose, spremnike tekućina i cjevovode

EN 1998-5 – Posebne odredbe za temelje, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja

EN 1998-6 – Posebne odredbe za tornjeve, jarbole i dimnjake.

Djelovanje potresa, uz djelovanje vjetra, čini dominantno horizontalno djelovanje kojem su izloženi građevinski objekti u svom vijeku trajanja. Posebni značaj ovog dinamičkog opterećenja je što je ono promjenjivo u vremenu (Bajić, 2014).

Područje cijele Hrvatske seizmički je vrlo aktivno, stoga je u fazi projektiranja potrebno računati na prirodnu katastrofu kao što su potresi. Propisi za građenje objekata visokogradnje na lokacijama sa izraženom seizmičkom aktivnošću kao glavni cilj imaju očuvanje ljudskih života i izbjegavanje ekonomskih gubitaka (Sigmund i dr., 2000).

Eurokod 8 definira 5 kategorija tla prema kojima se modificira spektralna krivulja te su prikazane obzirom na geotehničke profile u Tablici 3:

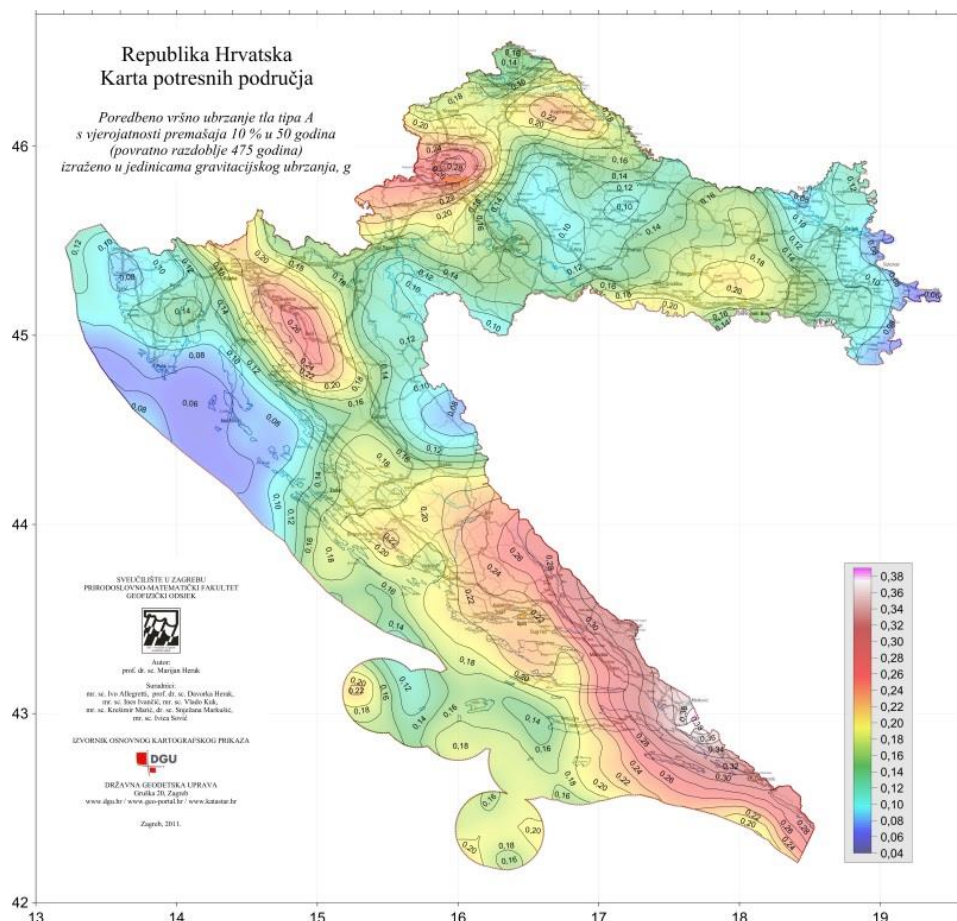
Tablica 4-3. Kategorije tla prema Eurokodu 8 (Jolić, 2014)

<b>VRSTA TLA</b>	<b>Opis geomehaničkog profila</b>
<b>A</b>	Stijena ili druga geološka formacija uključujući najmanje 5 m slabijeg materijala na površini i brzinom širenja poprečnih valova $v_s > 800$ m/s
<b>B</b>	Nanosi vrlo zbijenoga pijeska, šljunka ili vrlo krute gline debljine najmanje nekoliko desetaka metara, s postupnim povećanjem mehaničkih svojstava s dubinom i brzinom širenja poprečnih valova $v_s = 260-280$ m/s.
<b>C</b>	Debeli nanosi srednje zbijenoga pijeska, šljunka ili srednje krute gline debljine od nekoliko desetaka do više stotina metara, s $v_s = 180-360$ m/s.
<b>D</b>	Naslage rastresitog tla s mekim koherentnim slojevima ili bez njih s $v_s \leq 180$ m/s u gornjih 20 m. Naslage s mekim do srednje krutim koherentnim tlima s $v_s \leq 180$ m/s u gornjih 20 m.
<b>E</b>	Profili koji sadrže površinski sloj koji karakterizira brzina $v_s$ za tipove tla C i D i debljine od 5 m do 20 m, a ispod njih je kruti materijal $v_s > 800$ m/s.

U pravilu su područja pojedine zemlje podijeljena u potresne zone na temelju analiza prirodnih okolnosti te povijesnih i iskustvenih podataka s obzirom na maksimalni intenzitet očekivanog potresa u nekom povratnom periodu na što se onda proračunavaju građevine u toj potresnoj zoni (EN 1998-1, 2004).

Za primjenu EC8 bilo je nužno u *Nacionalnom dodatku* definirati osnovnu razinu potresnog hazarda, koja tada služi kao osnova za sve detaljnije proračune. Napredovanjem tehnologije, većom prekrivenošću seizmološkim postajama, te promjeni standarda i regulativa Europe, nužno je bilo izraditi novu kartu. Za preciznu procjenu potresne opasnosti treba postojati što potpuniji katalog potresa koji sadrži velike povijesne potrese te mikropotrese. Uz to važno je dobro poznavati geologiju odnosno tektoniku i strukturne odnose predmetne lokacije.

Najnovija karta potresnih područja koja je prihvaćena 2011. godine od strane Nacionalnog dodatka Eurokodu 8 prikazana je na Slici 4-2. Ubrzanja su prikazana jedinicama ubrzanja Zemljine sile teže, gdje je  $1g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , a odnose se na temeljno tlo tipa A (stijenu) (Jolić, 2014).



Slika 4-2. Karta potresnih područja za povratno razdoblje od 475 godina (Herak i dr., 2011)

Prema odredbama EC8 za proračun idealno simetričnih konstrukcija na djelovanje potresa koristi se spektralna analiza. Pri odabiru potresnog djelovanja razmatraju se dvije komponente horizontalnog i jedna komponenta vertikalnog seizmičkog djelovanja (Jolić, J., 2014).

Potresno djelovanje određuje se preko proračunskog ubrzanja tla  $a_g$  koji predstavlja konstantnu vrijednost maksimalnog ubrzanja u stjenovitom ili dobro zbijenom tlu. Proračunsko ubrzanje tla  $a_g$  za svaku seizmičku zonu odgovara povratnom periodu  $T_{NC}$  koji je određen od strane vlasti a Eurokodom se preporuča na razdoblje od 475 godina.

Vrijednosti perioda  $T_B$ ,  $T_C$  i  $T_D$  i faktora tla  $S$  koje opisuju oblik elastičnog spektra odziva ovise o tipu temeljnog tla (Tablica 4).

Tablica 4-4. Vrijednosti perioda i faktora tla ovisno o tipu temeljnog tla (EN 1998-1,2004)

<b>TIP TLA</b>	<b>S</b>	<b>T<sub>B</sub> (s)</b>	<b>T<sub>C</sub> (s)</b>	<b>T<sub>D</sub> (s)</b>
<b>A</b>	1,0	0,15	0,4	2,0
<b>B</b>	1,2	0,15	0,5	2,0
<b>C</b>	1,15	0,20	0,6	2,0
<b>D</b>	1,35	0,20	0,8	2,0
<b>E</b>	1,4	0,15	0,5	2,0

## 5. LOKACIJA SKLADIŠTA RAO

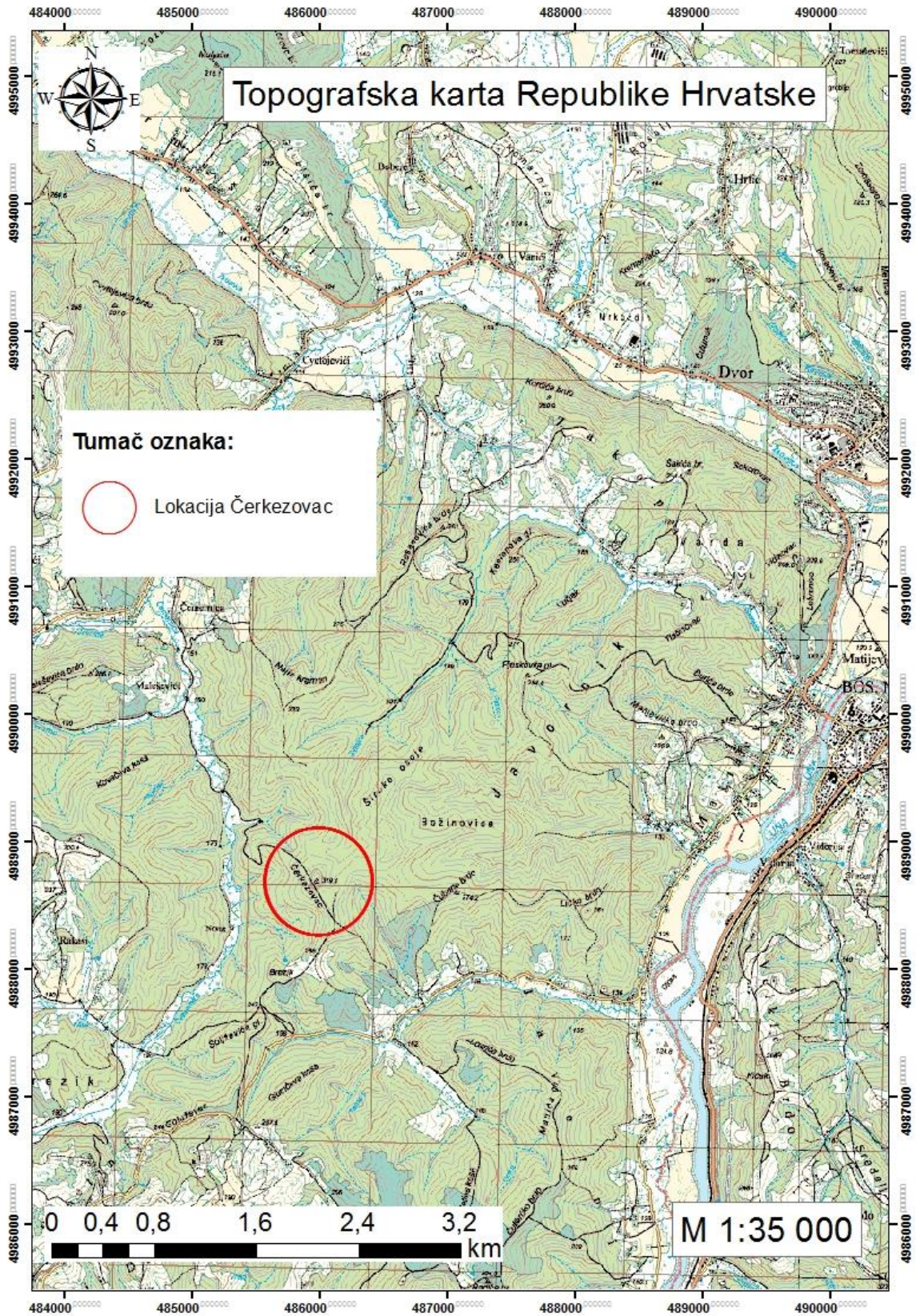
Potencijalne lokacije odlagališta RAO odabrane su primjenom višekriterijske analize. Pri izboru korišteno je deset kriterija, a to su: sigurnost od plavljenja, seizmotektonika (utjecaj potresa), neotektonika (udaljenost od aktivnih rasjeda), litološke i geomorfološke karakteristike, hidrogeologija, gustoća naseljenosti, područja posebne namjene (zahtjevi nacionalne obrane), eksploatacija ruda i minerala, zaštita prirodne baštine i zaštita kulturne baštine. Na temelju ovih kriterija izdvojena su područja koja omogućuju sigurni smještaj odlagališta RAO a to su: Petrova gora, Trgovska i Zrinska gora, Moslavačka gora, Bilogora, Papuk i Krndija te Pšunj i Požeška gora. Dodatno ocjenjivanje spomenutih kriterija rezultiralo je uspostavljanjem usporednih kriterija koji su podijeljeni u šest skupina a čine ih prijevoz RAO, meteorologija i hidrologija, geologija i seizmologija, demografija, namjena i korištenje prostora i zaštita okoliša. Kvantitativnom analizom ističu se četiri posebno perspektivne lokacije: Moslavačka gora, Trgovska gora, Papuk i Pšunj. Dvije od tih lokacija, Papuk i Pšunj odbačene su iz daljnjeg postupka izbora snagom amandmana skupine zastupnika Hrvatskog Sabora, bez valjanih argumenata. Tako su kandidati za utvrđivanje jednog, konačnog mjesta odlagališta Trgovska gora i Moslavačka gora (Schaller i Lokner, 1998).

Odabrana lokacija je vojna lokacija Čerkezovac koja se nalazi u općini Dvor u sastavu Sisačko-moslavačke županije. Stara vojarna odnosno vojno skladište smještena je na južnim obroncima Trgovske gore na nadmorskoj visini od oko 300 m te zauzima površinu od 0,6 km<sup>2</sup>. Grad Dvor na rijeci Uni udaljen je oko 6 km zračne linije sjeveroistočno od vojarnje. Državna granica sa susjednom Bosnom i Hercegovinom koja se podudara sa tokom rijeke Une udaljena je oko 3 km istočno odnosno 4 km južno od vojarnje (Prijedlog nacionalnog programa provedbe strategije radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, 2016).

## 5.1. Hidrološke značajke lokacije

Prema Pravilniku o granicama područja podslivova, malih slivova i sektora (NN 097/2010, 31/2013) svi vodotoci na području Općine Dvor uključujući i lokaciju Čerkezovac, pripadaju vodnom području malog sliva „Banovina“ odnosno podslivu rijeke Save. Najvažniji vodotok čini rijeka Una koja je desni pritok rijeke Save, izvire podno planine Stražbenice, teče od zapada prema istoku i u Savu se ulijeva kod Jasenovca. Najveći lijevi pritok Save čini Žirovnica s nizom lepezastih pritoka te utječe u Unu kod naselja Dvor. Ove dvije rijeke, Una i Žirovnica, su poplavni vodotoci bujičnog karaktera koji poplavljuju okolno nizinsko područje pri čemu se voda dugo zadržava, što predstavlja ograničavajući faktor poljoprivrednog razvoja porječja (Prijedlog nacionalnog programa provedbe strategije radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, 2016).

Lokacija Čerkezovac predstavlja najvišu točku od 319,4 m n.m istočnog dijela Trgovske gore (Slika 5-1.) što otežava mogućnost plavljenja od strane rijeka. Tako lokacija zadovoljava hidrološke aspekte o sigurnosti od plavljenja, izvan je dosega gorskih tekućica i nalazi se na području s odsutnošću odnosno slabijim razvojem ili rizikom erozijskih procesa. Unatoč tomu, rijeke Una i Žirovnica su sklone sezonskom plavljenju a hidrotehnički nisu regulirane pa je o tome potrebno voditi računa. Glavne ceste koje vode do vojarne Čerkezovac trasirane su uz ove dvije rijeke pa bi problem za vrijeme velikih kiša mogao predstavljati transport RAO (Prijedlog nacionalnog programa provedbe strategije radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, 2016).



Slika 5-1. Predmetna lokacija prikazana na topografskoj karti RH 1:35 000.

## 5.2. Hidrogeološke značajke lokacije

Na području općine Dvor razlikuju se tri hidrogeološke cjeline. Središnji dio Trgovske gore, lokacija Čerkezovac i 80% površine općine Dvor čini prvu hidrogeološku cjelinu koju izgrađuju klastične naslage paleozoika, trijasa, jure i tercijara. Cjelina obuhvaća veoma značajno područje za korištenje pitke vode u posebnim uvjetima. U nju spada veliki broj izvora malih slivova pa je to područje koje je nemoguće onečistiti u vrlo kratkom roku. Drugu cjelinu čine karbonatne naslage trijasa u koju spadaju krajnji zapadni i jugozapadni rub općine Dvor, Dobretina i zapadni dio Žirovca. Prisutnost dolomita i vapnenaca trijasa na potezu Zakopa – Gornji Žirovac upućuje na vrlo povoljne recipijente vode. Cjelinu karakterizira mogućnost postojanja kvalitetnih izvora podzemne vode uz već postojeće jače izvore izdašnosti do 8 l/s. U treću cjelinu svrstavaju se holocenske aluvijalne naslage u dolinama rijeka Une i Žirovnice. Šljunkoviti nanosi veoma su vodopropusni te omogućuju primanje podzemne vode za vodoopskrbu. Naslage poplavnih ravnica su slabo propusne ali ne omogućuju zaštitu podzemnih voda (Prijedlog nacionalnog programa provedbe strategije radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, 2016).

Za vjerodostojniji prikaz prihvatljivosti lokacije obzirom na hidrogeologiju potrebno je provesti detaljnija istraživanja odabrane lokacije čime bi se preciznije utvrdila dubina vodonosnika, povezanost hidrološke mreže te utjecaji litologije, tektonike, geokemije i sl. (Prijedlog nacionalnog programa provedbe strategije radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, 2016).



### 5.3. Litostratigrafske značajke lokacije

Trgovska gora pripada strukturnoj odnosno tektonskoj jedinici Kladaša – Grmeč – Majdan planina (Schaller, 2015).

Po geološkoj strukturi, Trgovska gora ima značajke horsta pružanja sjeverozapad – jugoistok. Prevladavaju stare magmatske stijene paleozojske starosti. Osnovnu građu Trgovske gore čine gornjopaleozojske naslage pružanja SZ-JI. Protežu se od Gornjeg Žirovca prema jugoistoku do rijeke Une sve do Bosne i Hercegovine gdje zahvaćaju Sansko-unske paleozojske jedinice. Rasjedi su izraženi uz sjeverozapadne, zapadne i sjeveroistočne rubove gdje odvajaju paleozojski masiv od Dinarske ofiolitne zone (Prijedlog nacionalnog programa provedbe strategije radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, 2016).

Unutar paleozojskih naslaga razlikuju se dvije serije. Stariju seriju čine naslage šejlova s alteracijama sitnozrnatih pješčenjaka, subgrauvaka i grauvara starosti devon-karbon (prijedlog). Devonski i donje karbonski klastiti Trgovske gore su marine naslage taložene na padini prema paleotetiskom dubokom bazenu, koja je u to vrijeme egzistirala na sjeveroistočnom pasivnom rubu Gondwane. Tijekom srednjeg i gornjeg karbona to područje se postupno izdiže restrukturiranjem u šelfni okoliš i pliće okoliše što ukazuje na prisustvo pjeskovite komponente u gornjem dijelu sukcesije karbonatnih naslaga (Sremac, 2012). Drugu, mlađu seriju predstavljaju naslage donjopermske starosti gdje se razlikuju razne vrste pješčenjaka sa proslojcima šejlova (Prijedlog nacionalnog programa provedbe strategije radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, 2016).

Geološka istraživanja obavljena za potrebe izrade Osnovne geološke karte lista Bosanski novi L33-105, M 1:100 000 s pripadnim tumačem koji obuhvaćaju područje Trgovske gore, za sada nisu štampani. Ti su se podaci nadalje koristili pri izradi Geološke karte Republike Hrvatske M 1:300 000 te prikazuju kako područje Trgovske gore izgrađuju stijene paleozojske starosti. Prema tumaču Geološke karte Republike Hrvatske (Šikić, 2009) pretežiti dio Trgovske gore grade klastične naslage šejlovi, siliti i pješčenjaci, rjeđe karbonatne naslage devonske i karbonske starosti.

Konkretno područje vojnog objekta Čerkezovac prekriveno je karbonskim naslagama paleozoika na kojima nisu učinjena detaljnija istraživanja u svrhu ovog projekta. Obzirom na veliku prekrivenost terena geolozi su na rijetkim izdancima utvrdili trošne krupnozrnaste pješčenjake, rjeđe silitite i sitnozrnaste pješčenjake u izmjeni te prisutnost pukotinskih sustava koje ukazuju na tektonsku poremećenost naslaga (Schaller, 2015).

Bez obzira na nemogućnosti procjene litoloških jedinica samo na temelju geoloških karata, granice rasprostiranja klasičnih naslaga paleozoika na kartama prividnih otpora po svim dubinskim zahvatima, ukazuju na znatnu debljinu naslaga paleozoika (do 2000 m) što je povoljan čimbenik za moguću realizaciju zahvata na lokaciji Čerkezovac.

## 5.4. Inženjerskogeološke značajke lokacije

Čvrste stijene poput pješčenjaka te nešto manje čvrste stijene kao što su šejlovi, siliti i sitnozrnasti pješenjaci prekrivene su slabo vezanim tлом s varijabilnim udjelom gine, praha, pijeska i ponegdje šljunka. Na temelju multikriterijske analize izdvojeno je devet kategorija reljefa – od vrlo nepogodnih (kategorija 1) do najvrjednijih (kategorija 9). Padine užeg područja vojnog objekta Čerkezovac svrstane su u kategoriju uglavnom nepogodnih padina (kategorija 3). Vulkanogena – sedimentna formacija Trgovske gore nalazi se u pojasu širokom 3 km koji je sklon snažnoj eroziji i intenzivnom jaružanju zbog čega je relativno velika mogućnost formiranja klizišta.

Na temelju litoloških i inženjerskogeoloških značajki, izdvojene su očekivane inženjerskogeološke skupine stijena i tala te su prikazane u Tablici 5:

Tablica 5-1. Inženjerskogeološke skupine stijena i tala (Strateška studija za nacionalni program provedbe strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, 2016).

SKUPINA	PODSKUPINA	RAZRED	PODRAZRED	INŽENJERSKO GEOLOŠKE JEDINICE	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST
Nevezane	Sitnozrnaste	Rastresite, slabo do srednje zbijene	Klastične, nevezane sedimentne stijene	Prah (silt), pijesak	Q (aluvij, proluvij na klastitima paleozoika)
	Krupnozrnaste	Zbijene		Pijesci i šljunci	Q (aluvij, proluvij na klastitima paleozoika)
Vezane	Slabo vezane	Gline, prahovite gline, pjeskovite i šljunkovite gline	Glinovite klastične sedimentne stijene	Gline s prahom i pijeskom, prah sa glinom i pijeskom	Q (kiselo ili distrično smeđe tlo na klastitima paleozoika)
	Čvrste slabo očvrslе	Sedimentne	Klastične fino-zrnate	Šejlovi (glineni škriljavci) siliti i sitnozrnasti pješčenjaci	D, C
			Karbonatne	Glinoviti vapnenci	D, C
	Slabe dobro očvrslе	Sedimentne	Klastične srednje do krupnozrnaste	Pješčenjaci i konglomerati	C
			Karbonatne	Vapnenci i dolomiti	C

Vršna zaravan na kojoj se nalazi vojni objekt uz pretpostavku da se nalazi na naslagama šejlova predstavlja povoljan teren za skladište RAO. Pokrivenost vegetacijskim pokrovom koji čini bjelogorična šuma također uvelike pogoduje stabilnosti kosina.

### **5.5. Seizmotektonske i seizmičke značajke lokacije**

Trgovska gora odlikuje se vrlo složenim tektonskim odnosima. U okviru regionalnog recentnog strukturnog sklopa kojem pripada i Trgovska gora razlikuju se četiri regionalne strukturne jedinice: Supradinarik, Zapadni rubni dio Panonskog bazena, Južni rubni dio Panonskog bazena i Središnji dio Panonskog Bazena duž čijih se granica pružaju jaki rasjedi ili uže i šire rasjedne zone. Trgovska gora pripada trećoj strukturnoj jedinici – Južni rubni dio Panonskog bazena koju definira na sjeveru Savski rasjed te rasjedi Fella-Sava-Karlovac-Kostajnica i Glina-Prijedor na jugu (Strateška studija za nacionalni program provedbe strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, 2016).

Recentni tektonski pokreti uzrokovani su kretanjima kontinentalnih ploča Euroazije i Afrike odnosno Jadranske karbonatne platforme, Dinarida i istočnih Alpi. Taj strukturni sklop pod djelovanjem je stalne kompresije s desnim pomakom duž rasjeda. Regionalni stres odlikuje se pravcem djelovanja sjever – jug te pomiče strukturne jedinice prema jugoistoku. Prema pravcu djelovanja regionalnog stresa glavni rasjedi protežu se dijagonalno. U suprotnom, dolazi do povećane kompresije stijenskih masa, pojave reversnih rasjeda te povećane seizmoaktivnosti.

Izvor podataka za seizmičnost je katalog potresa Republike Hrvatske i susjednih područja dopunjen podacima o potresima završno sa 2013. godinom. U promatranom razdoblju od 1323. – 2013. na odabranoj lokaciji zabilježeno je 892 potresa. Pretežno su potresi imali intenzitet do VI<sup>o</sup> prema MCS skali, dok tri prethodno zabilježena potresa imaju i veće vrijednosti. Najvažniji od triju potresa većeg intenziteta je najmlađi koji se dogodio u Banja Luci 1969. godine (Strateška studija za nacionalni program provedbe strategije zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, 2016).

Banja lučki potres dogodio se u noći sa 26. na 27. listopada 1969. godine s hipocentrom 20 km ispod Banja Luke. Potres je bio intenziteta VII<sup>o</sup> po MCS ljestvici, odnosno VI<sup>o</sup> po Richterovoj skali. Poginulo je desetak ljudi, razoreni su mnogi stanovi i javni objekti. Udaljenost lokaliteta Čerkezovac od epicentra u Banja Luci je 73 km. Takvi

potresi prema MCS ljestvici opisani su kao destruktivni s efektima kao što su rušenje dimnjaka i oštećenja objekata.

Općina Dvor u koju pripada odabrani vojni objekt Čerkezovac nalazi se u zoni potresa intenziteta VI° i VII° MCS ljestvice na seizmički aktivnim ili moguće aktivnim uzdužnim rasjedima te u zoni sa poprečnim i dijagonalnim rasjedima s horizontalnim smicanjem blokova i struktura (Prijedlog nacionalnog programa provedbe strategije radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, 2016).

Prema Karti potresnih područja Republike Hrvatske horizontalno vršno ubrzanje tla na lokaciji Čerkezovac za povratno razdoblje  $T_p = 95$  god iznosi  $a_g = 0,052 \cdot g \text{ m/s}^2$  dok za povratno razdoblje od  $T_p = 475$  god iznosi  $a_g = 0,102 \cdot g \text{ m/s}^2$  (Slika 5-2.)



Slika 5-2. Ubrzanja tla za lokaciju Čerkezovac na Karti potresnih područja RH (Internet izvor: <http://seizkarta.gfz.hr/karta.php>, 2016)

## 6. PRELIMINARNI PRORAČUN KONSTRUKCIJE SKLADIŠTA

### 6.1. Tehnički opis

U ovom diplomskom radu napravljen je statički proračun monolitne armiranobetonske (AB) građevine s funkcijom skladišta. Skladište je pravokutnog oblika tlocrtnih dimenzija 10,0 m x 30,0 m i visine 5,9 m.

Objekt se sastoji od jedne etaže armiranobetonske izvedbe, a namijenjen je skladištenju nisko i srednje radioaktivnog otpada.

Osnovni nosivi sustav konstrukcije izveden je na obodnim međusobno povezanim armiranobetonskim zidovima i sustavom okvira. Okviri se sastoje od stupova i greda T presjeka koje su slobodno oslonjene na stupove. Stropnu konstrukciju čine AB montažne Omnia ploče dimenzija 2 x 5 m i debljine 16 cm. Vertikalno opterećenje prenosi se preko Omnia ploča na grede i dalje se predaje uglavnom stupovima, a manjim dijelom i zidovima.

Skladište je temeljeno na armiranobetonskoj temeljnoj ploči debljine 40 cm. Krov skladišta je neprohodan. Konstrukcija je u tlocrtu i po visini pravilna. Dominantno horizontalno opterećenje (potres) preuzeto je AB zidovima i AB okvirima.

Proračun i dimenzioniranje elemenata konstrukcije provedeno je za stalno, dodatno stalno, korisno opterećenje, opterećenje snijegom i potresno opterećenje. Opterećenje vjetrom nije uzeto u obzir.

Svi elementi modelirane konstrukcije su izvedeni betonom klase C 30/37 i s armaturom šipki B500A. Zaštitni sloj AB elemenata je 4,0 (5,0) cm.

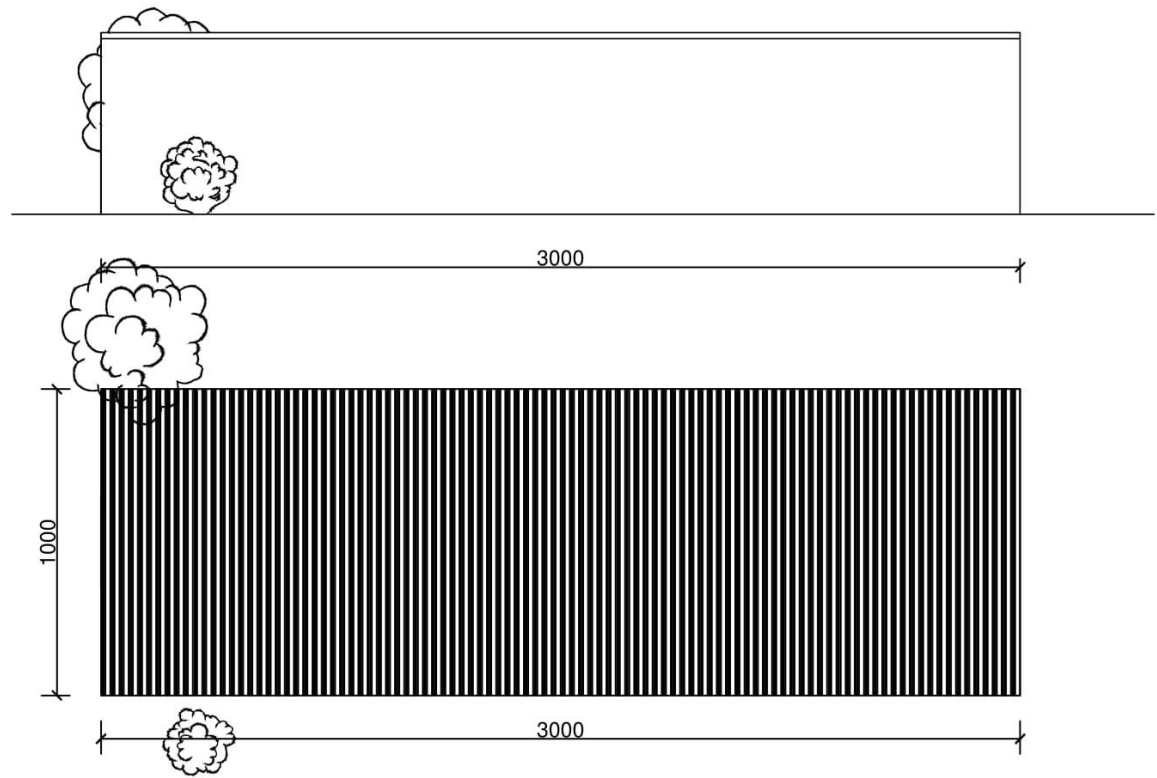
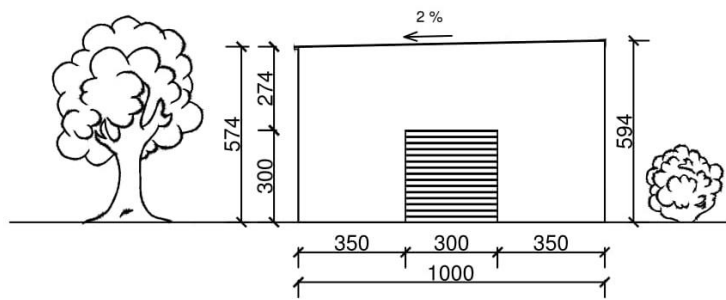
Cjelokupni proračun konstrukcije proveden je u programskim paketima ETABS i SAFE po važećim HRN EN propisima uključujući priznata pravila struke. Programski paket ETABS se koristi za prostorni model konstrukcije, dok je programski paket SAFE prilagođen za proračun ploča kao neovisnih ravninskih (XY) podmodela konstrukcije.

Vlastitu težinu nosivih dijelova konstrukcije programski paket sam uključuje u proračun. Preveden je proračun dodatnog stalnog opterećenja prema slojevima. Opterećenje snijegom je proračunato za područje lokacije. Mjerodavno horizontalno opterećenje je

potres. Konstrukcija se nalazi u području  $a_g = 0,102 \text{ m/s}^2$  (potpoglavlje 5.5.), te se za kategoriju tla B (Tablica 2., potpoglavlje 4.4.2.) i faktor ponašanja 1,5 formirao projektni spektar prema važećim propisima. Za sva opterećenja napravljeno je niz kombinacija opterećenja.

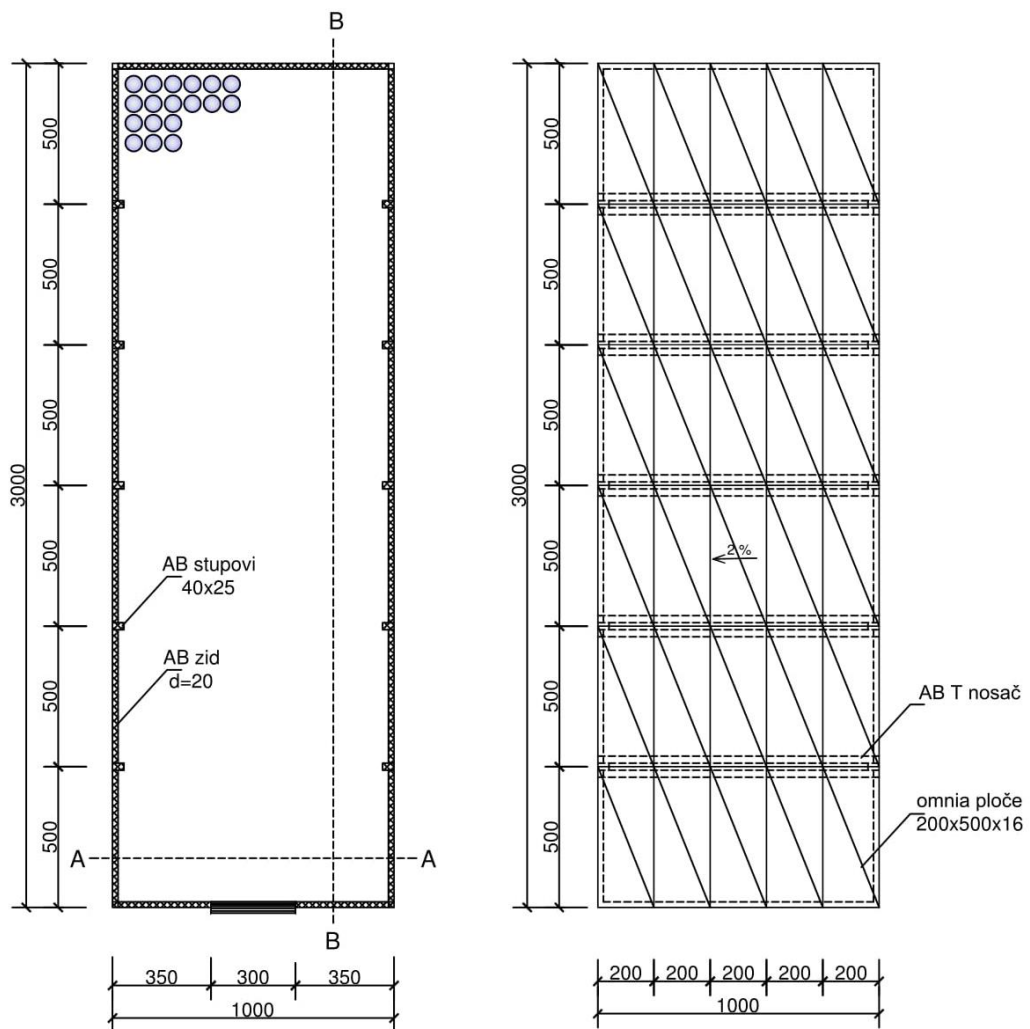
Krutost temeljnog tla je uključena u proračun preko Winklerovog modela elastičnih opruga koje djeluju na temeljnu ploču.

Skica skladišta napravljena je u AutoCAD-u i prikazana je na Slikama 6.1-3. Slika 6-1. prikazuje prikaz skladišta sa triju različitih pogleda, s prednje strane odnosno s ulaza u skladište (lijevo), s bočne strane (desno gore), i tlocrt skladišta (desno dolje). Slika 6-2. prikazuje presjek skladišta kroz stupove na kojem su označeni profili A-A i B-B (lijevo) i položaj krovnih ploča (desno). Slika 6-3. Prikazuje presjeke skladišta u profilu A-A (lijevo) i profilu B-B (desno).

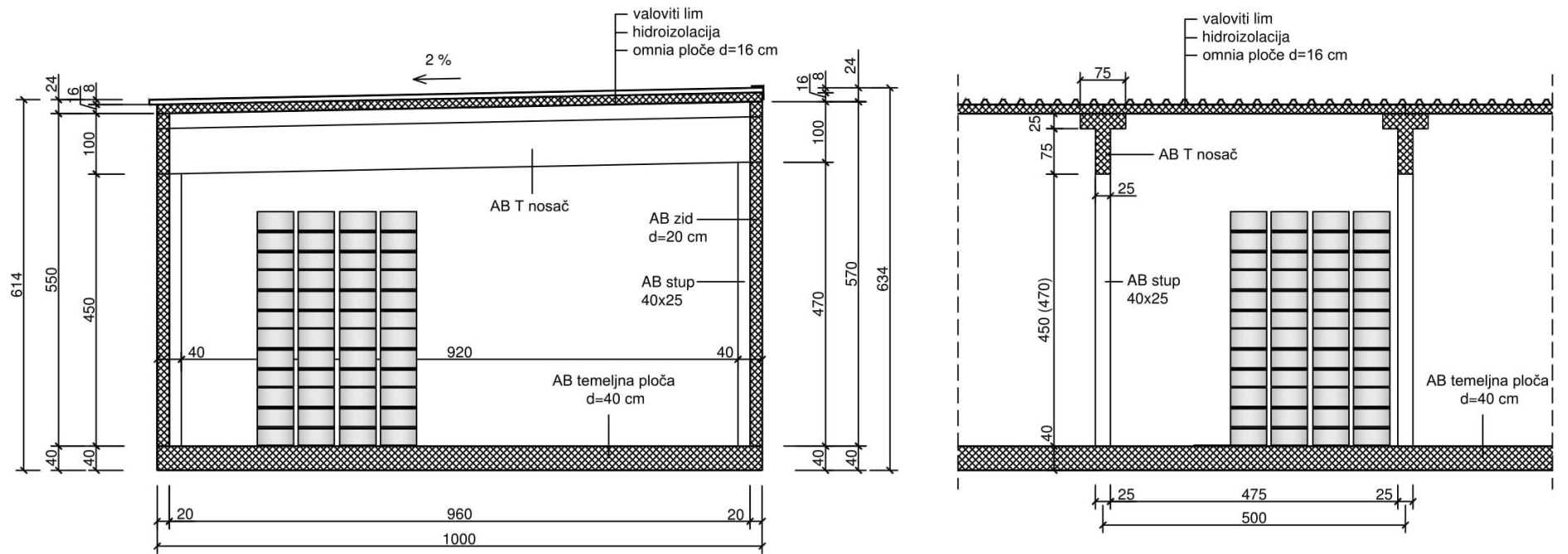


Slika 6-1. Pogledi na skladište





Slika 6-2. Presjek skladišta kroz stupove i položaj krovnih ploča



Slika 6-3. Presjeci skladišta u profilima A – A i B – B

## 6.2. Analiza opterećenja

### 6.2.1. Stalno opterećenje – Vlastita težina

Vlastita težina ( $VT$ ) objekata uzima se u obzir kao stalno djelovanje koje se proračunava na temelju specifičnih (obujamskih) težina i nazivnih dimenzija konstrukcije.

Za zadanu specifičnu težinu armiranog betona koja iznosi  $\gamma_{AB} = 25 \text{ kN/m}^3$  i dimenzije konstruktivnih elemenata (Slike 6.1-3.) programski paket proračunava težinu svih nosivih dijelova konstrukcije i automatski uzima u daljnji proračun.

### 6.2.2. Stalno opterećenje – Dodatno stalno opterećenje

Dodatno stalno opterećenje ( $G$ ) obuhvaća nepokretnu opremu koja će se nalaziti u pojedinom objektu. U ovu skupinu spadaju težine nepomičnih strojeva, elektroopreme, izolacija i sl. te imaju stalno djelovanje. Dodatno stalno opterećenje se razlikuje ovisno o namjeni objekta. U slučaju ovog skladišta u proračun ulaze težine bačvi u koje se skladišti radioaktivni otpad (Slika 6-4).



*Slika 6-4. Prikaz presjeka bačvi različitog sadržaja radioaktivnog otpada (IAEA, 1998)*

Prema IAEA, 1998., gustoća komprimiranog sadržaja kreće se u rasponu 1 – 3,5 t/m<sup>3</sup> iz čega slijedi da je težina bačve zapremnine od 200 l u rasponu 2 – 7 kN. Dobivena težina uzrokovat će pritisak odnosno opterećenje od 10 – 25 kN/m<sup>2</sup>.

Predviđeno je da se prema visini skladišta poslažu tri bačve jedna na drugu pa bi tako opterećenje iznosilo minimalno:

$$G = 30,00 \text{ kN/m}^2,$$

a maksimalno:

$$G = 75,00 \text{ kN/m}^2.$$

Uz uvjet da opterećenje slojeva krova iznosi 0,50 kN/m<sup>2</sup> maksimalna vrijednost ukupnog dodatnog opterećenja s kojim je proveden proračun iznosi:

$$G = 80,00 \text{ kN/m}^2.$$

### **6.2.3. Pokretno opterećenje – Korisno/uporabno opterećenje**

Prema EN 1991 – Eurokod 1 preporučena vrijednost korisnog opterećenja za skladište iznosi:

$$q_k = 7,50 \text{ kN/m}^2.$$

Ta se vrijednost može mijenjati budući da je  $q_k$  namijenjen za određivanje općih učinaka. Opterećenje (natovarenim) viličarom procijenjeno je na:

$$Q = 10,00 \text{ kN/m}^2.$$

### **6.2.4. Pokretno opterećenje – Snijeg**

Za područje Republike Hrvatske karta klimatskih snježnih zona izrađena je na temelju karte karakterističnog opterećenja snijegom DHMZ-a te se nalazi u *Nacionalnom dodatku*. Za lokaciju skladišta očitana je karakteristična vrijednost opterećenja snijega na tlu (potpoglavlje 4.4.1.) koja iznosi:

$$s_k = 1,50 \text{ kN/m}^2,$$

i u cijelosti je uzeta kao dio ukupnog pokretnog opterećenja.

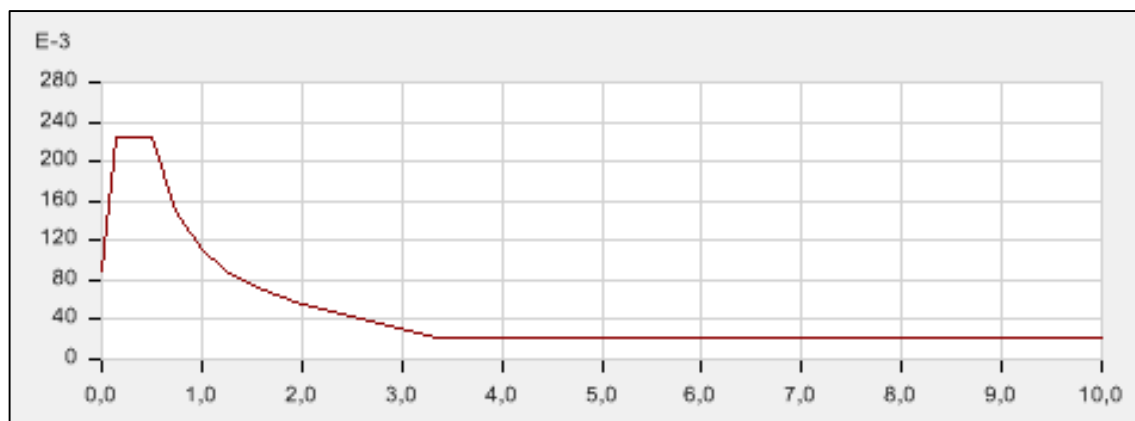
### 6.2.5. Pokretno opterećenje – Potres

Budući da je Eurokodom 8 – EN 1998 preporučeno računanje potresnog opterećenja za  $T_P = 475$  godišnji povratni period, odabrano ubrzanje tla iznosi  $a_g = 0,102 \text{ m/s}^2$  (potpoglavljje 5.5.). Seizmički proračun sačinjen je spektralnom analizom temeljem spektra odgovora za točnu lokaciju skladišta. Potresni proračun napravljen je za B kategoriju tla (Tablica 2., potpoglavljje 4.4.2.)

U proračunskom dijelu spektra odziva uključuje se faktor ponašanja  $q$  kako bi se izbjegao neelastičan proračun konstrukcije. Odabrani faktor ponašanja u proračunu iznosi  $q = 1,5$ . Vrijednosti perioda  $T_B$ ,  $T_C$  i  $T_D$  i faktora tla  $S$  odabrani su prema Tablici 4 (potpoglavljje 4.4.2.) te uneseni u računalni program (Slika 6-5.). Na kraju dobivena je spektralna krivulja (Slika 6-6.).

Country	CEN Default	▼
Direction	Horizontal	▼
Ground Acceleration, $a_g/g$	0,112	
Spectrum Type	1	▼
Ground Type	B	▼
Soil Factor, $S$	1,2	
Acceleration Ratio, $Avg/Ag$		
Spectrum Period, $T_b$	0,15	sec
Spectrum Period, $T_c$	0,5	sec
Spectrum Period, $T_d$	2	sec
Lower Bound Factor, $\beta$	0,2	
Behavior Factor, $q$	1,5	

Slika 6-5. Prikaz ulaznih parametara za dobivanje spektralne krivulje



*Slika 6-6. Spektralna krivulja.*

## 6.2.6. Kombinacije opterećenja

U programskim alatima definirani su sljedeći slučajevi opterećenja:

- stalno opterećenje – Dead (VT)
- dodatno stalno opterećenje – Superimposed Dead (G)
- pokretno opterećenje (korisno + snijeg) – Live (Q)
- potresno opterećenje s  $T_p = 475$  godina (potressp475)
- potresno opterećenje s  $T_p = 95$  godina (potressp95)

Tablica 6-1. Osnovna (mjerodavna) opterećenja

Naziv	Vrsta opterećenja	Množenje vlastite težine
VT	Stalno opterećenje	1
G	Dodatno stalno opterećenje	0
Q	Pokretno opterećenje	0

Tablica 6-2. Slučajevi opterećenja

Naziv	Vrsta opterećenja
VT	Linearno statičko
G	Linearno statičko
Q	Linearno statičko
potressp475	Spektar odgovora
potressp95	Spektar odgovora

Prema Eurokodu posebno se definiraju situacije djelovanja za krajnja granična stanja: granično stanje uporabivosti i granično stanje nosivosti. Pri čemu se kombinacije opterećenja množe prema unaprijed zadanim parametrima definiranim prema eurokodu.

Granično stanje uporabljivosti (GSU)

- $GSU_1: 1,0 \cdot VT + 1,0 \cdot G + 1,0 \cdot Q$
- $GSU_{SP}: 1,0 \cdot VT + 1,0 \cdot G + 0,3 \cdot Q + 1,0 \cdot potressp_{95}$

Granično stanje nosivosti (GSN)

- $GSN_1: 1,35 \cdot VT + 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q$
- $GSN_{SP}: 1,0 \cdot VT + 1,0 \cdot G + 0,3 \cdot Q + 1,0 \cdot potressp_{475}$
- $GSNSP_{min}: 0,9 \cdot VT + 0,9 \cdot G + 1,0 \cdot potressp_{475}$

Tablica 6-3. Mjerodavne kombinacije opterećenja

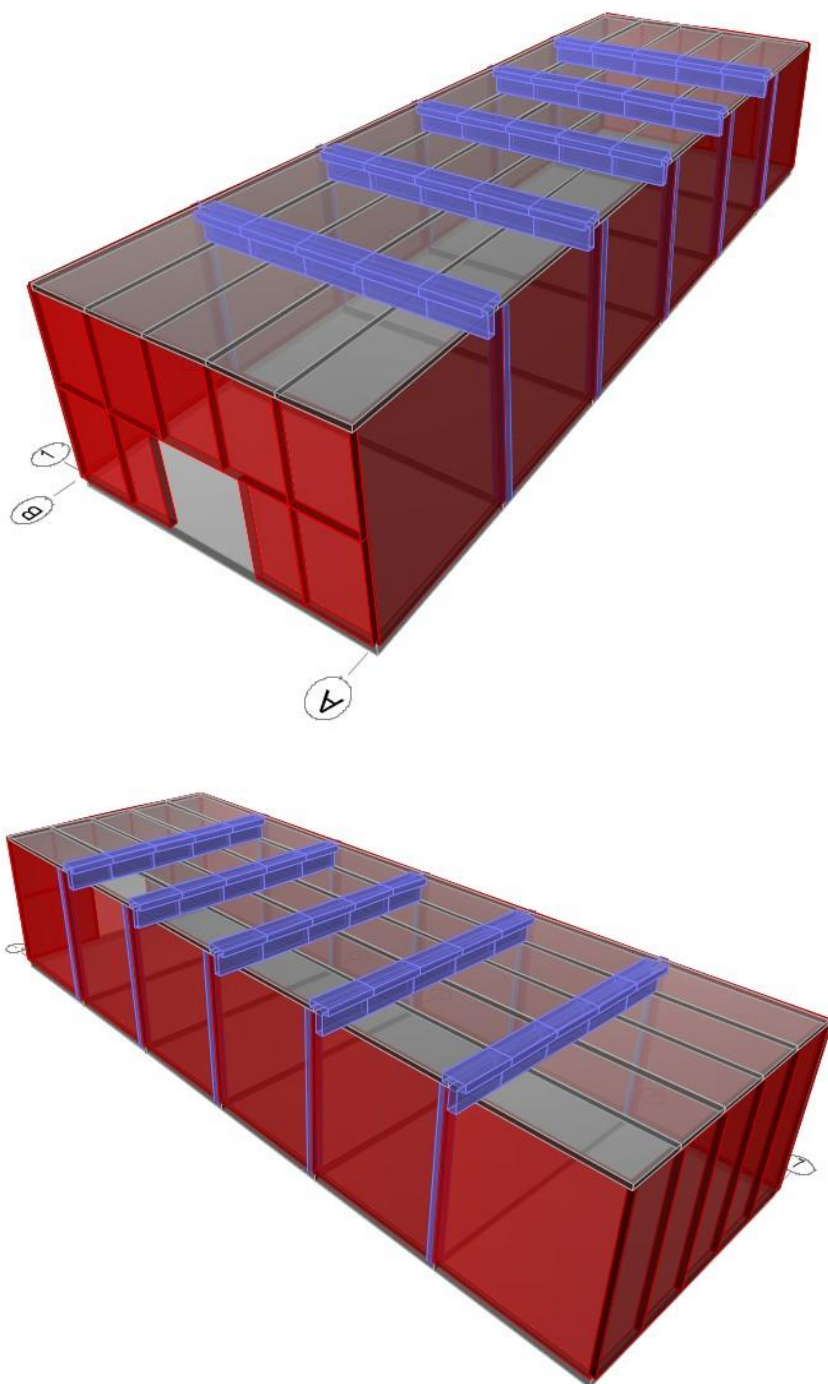
Naziv	Kombinacija opterećenja	Faktor množenja	Vrsta
GSN <sub>1</sub>	VT	1,35	Linearni dodatak
	G	1,35	
	Q	1,5	
GSU <sub>SP</sub>	VT	1	Linearni dodatak
	G	1	
	Q	0,3	
	potressp <sub>475</sub>	1	
GSN <sub>1</sub>	VT	1	Linearni dodatak
	G	1	
	Q	1	
GSU <sub>SP</sub>	VT	1	Linearni dodatak
	G	1	
	Q	0,3	
	potressp <sub>95</sub>	1	
GSNSP <sub>min</sub>	VT	0,9	Linearni dodatak
	G	0,9	
	potressp <sub>475</sub>	1	

Na temelju prikazanih kombinacija opterećenja, formirana je anvelopa djelovanja.

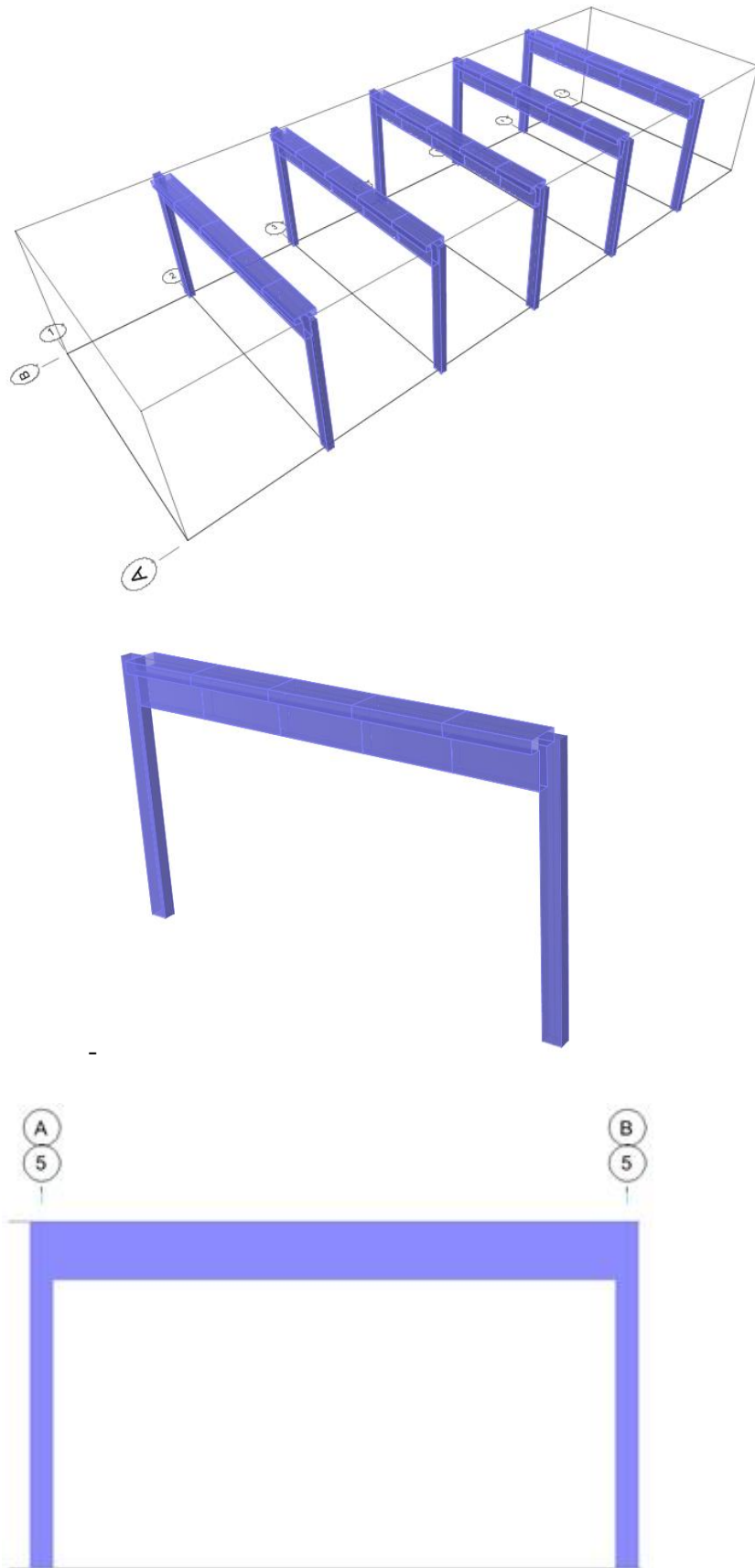


### 6.2.7. Prikaz konstrukcije

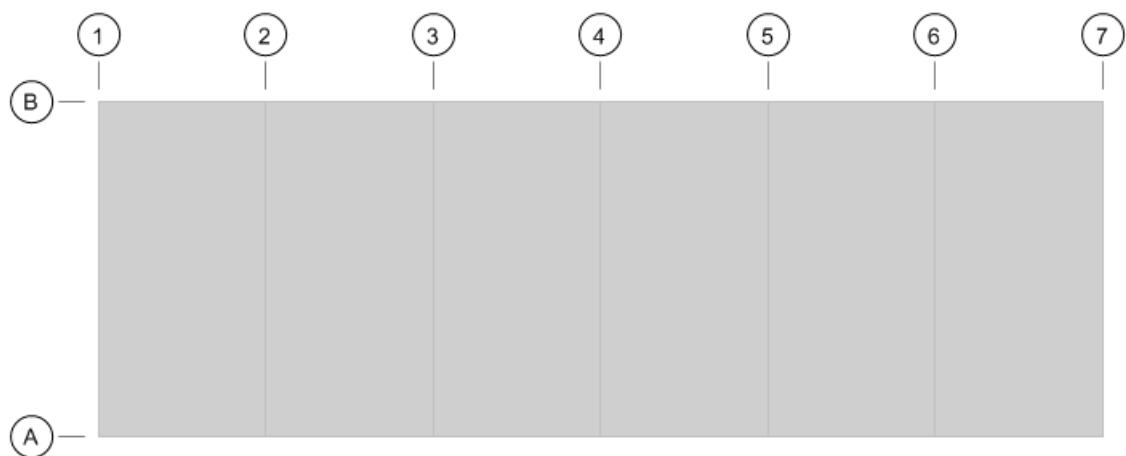
U ovom poglavlju prikazani su različiti dijelovi konstrukcije napravljeni u računalnom programu ETABS 2014.



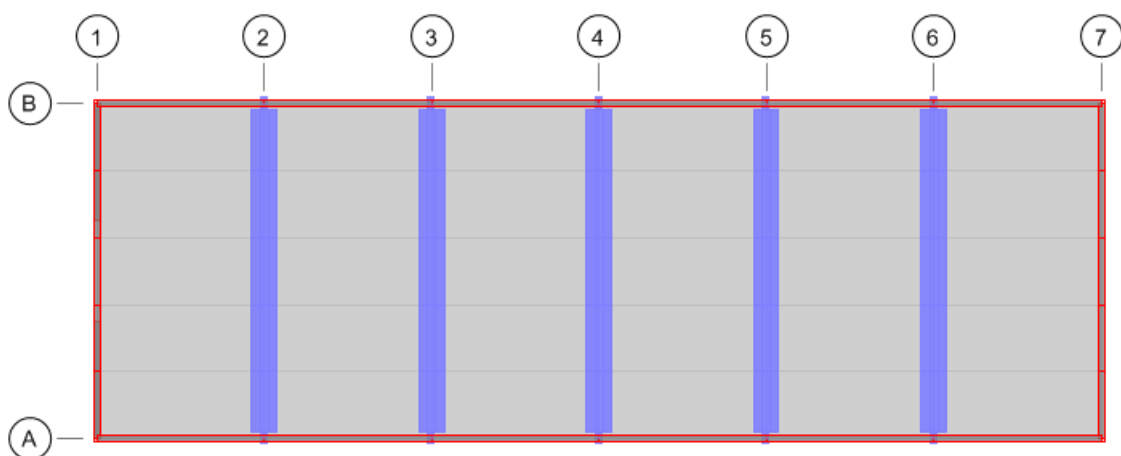
*Slika 6-7. Pogledi na model konstrukcije s istaknutim nosivim elementima*



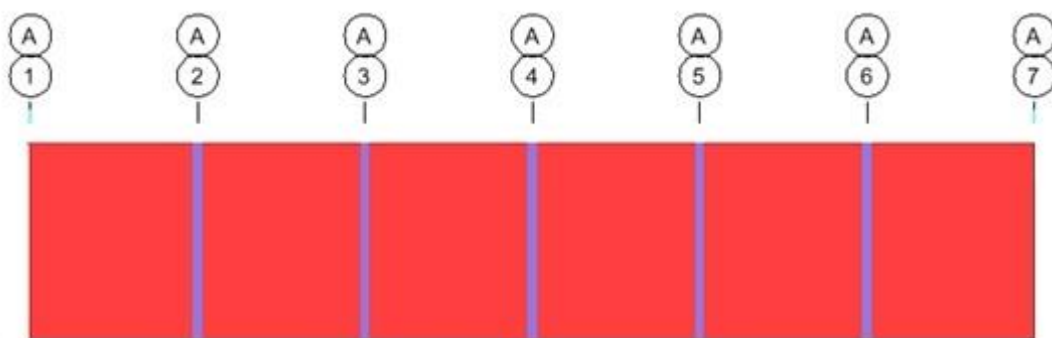
Slika 6-8. Položaj okvira (stupova i krovnih greda)



a)



b)



c)

Slika 6-9. a) Temeljna ploča, b) krovna ploča (omnia ploče), c) uzdužni zid



a)

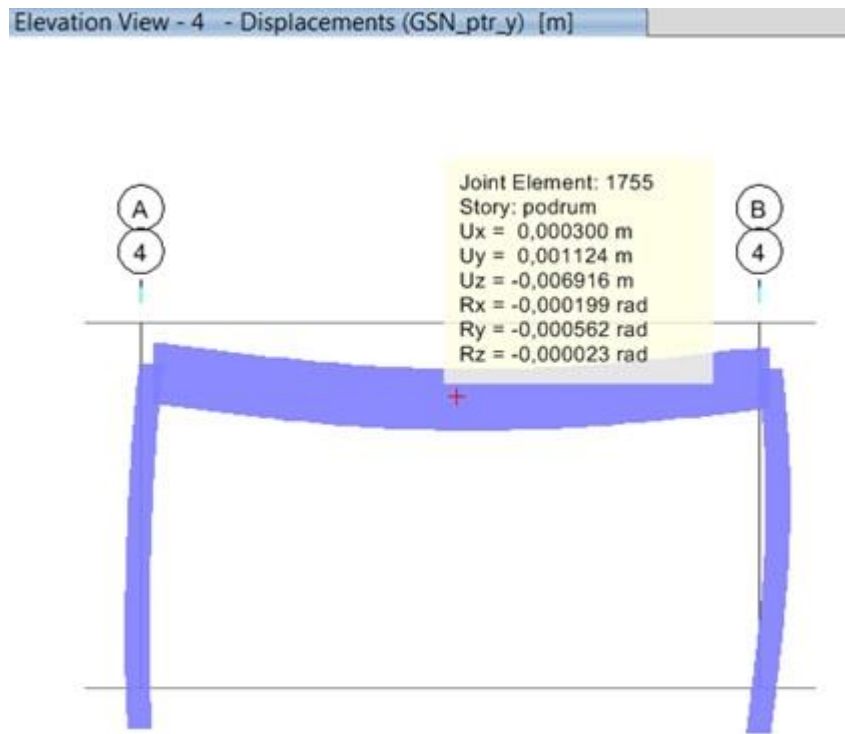


b)

*Slika 6-10. Prednji poprečni zid (s ulazom u objekt), stražnji poprečni zid*

### 6.2.8. Pomaci kod potresnog opterećenja

Prikazan je pogled na karakteristični poprečni presjek konstrukcije na Slici 6-11. Pomaci za potresno djelovanje za povratno razdoblje  $T_p = 95$  god zadovoljavaju uvjete.



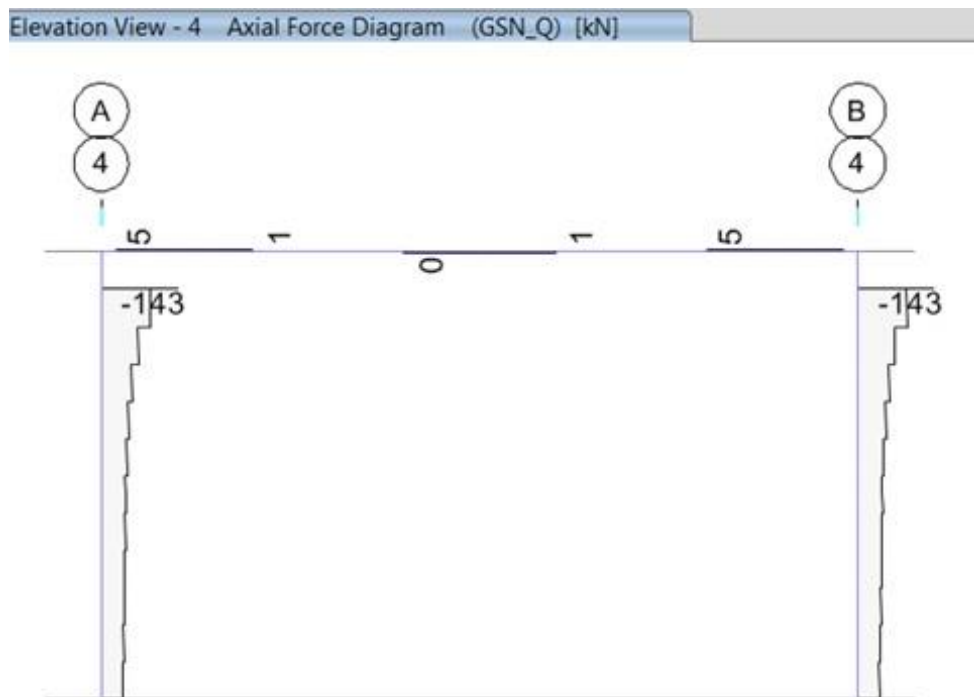
Slika 6-11. Poprečni presjek s pomacima za potresno djelovanje

Ograničavanje relativnog pomaka susjednih katnih ploča za granično stanje uporabljivosti kod potresa 95 godišnjeg povratnog perioda:

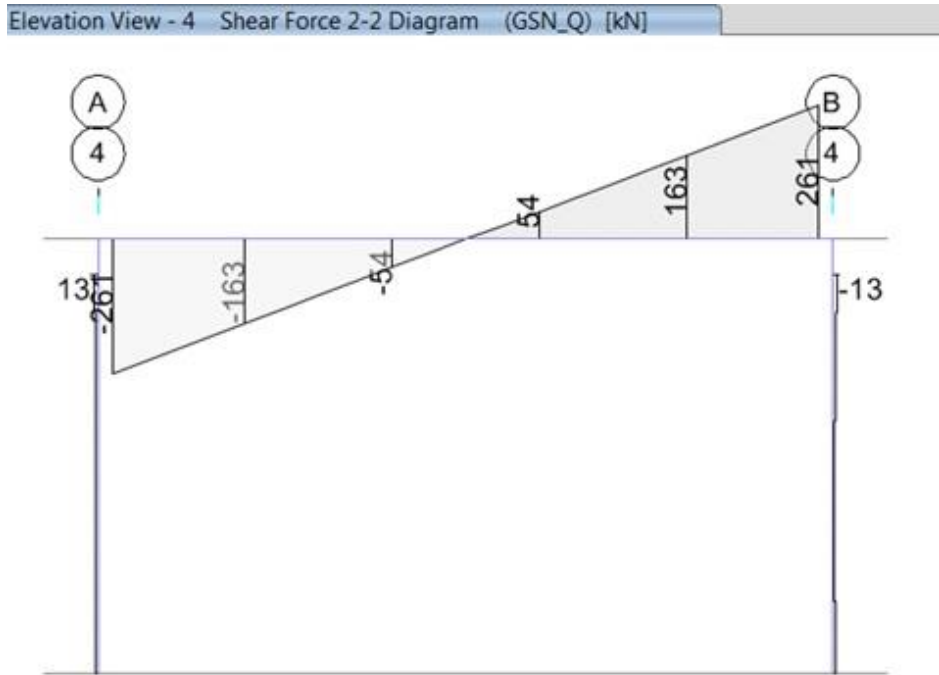
$$d_{kat} \leq 0,005 \cdot h = 2,50 \text{ cm}$$

### 6.2.9. Dijagrami unutarnjih sila

Računalnim programom dobiveni su i dijagrami unutarnjih sila. Prvi dijagram (Slika 6-12.) prikazuje uzdužne sile uzrokovane vertikalnim opterećenjem koje prikazuju da je najveće opterećenje u gornjem dijelu skladišta, odnosno na samim stupovima. Ono se postupno smanjuje prema temeljnoj ploči. Drugi dijagram prikazuje poprečne sile (Slika 6-13.).

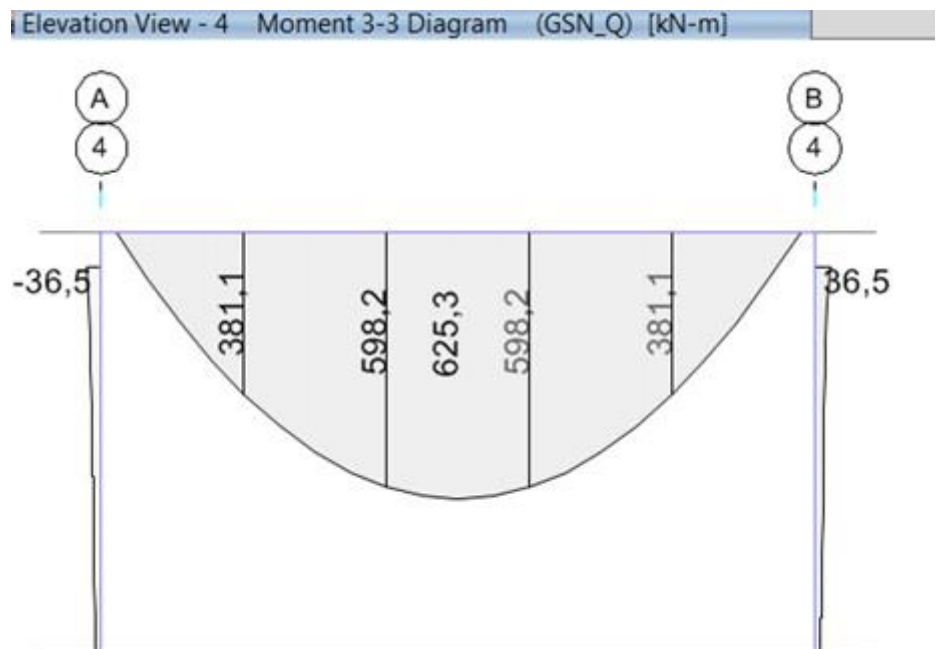


Slika 6-12. Dijagram uzdužnih sila - vertikalno opterećenje



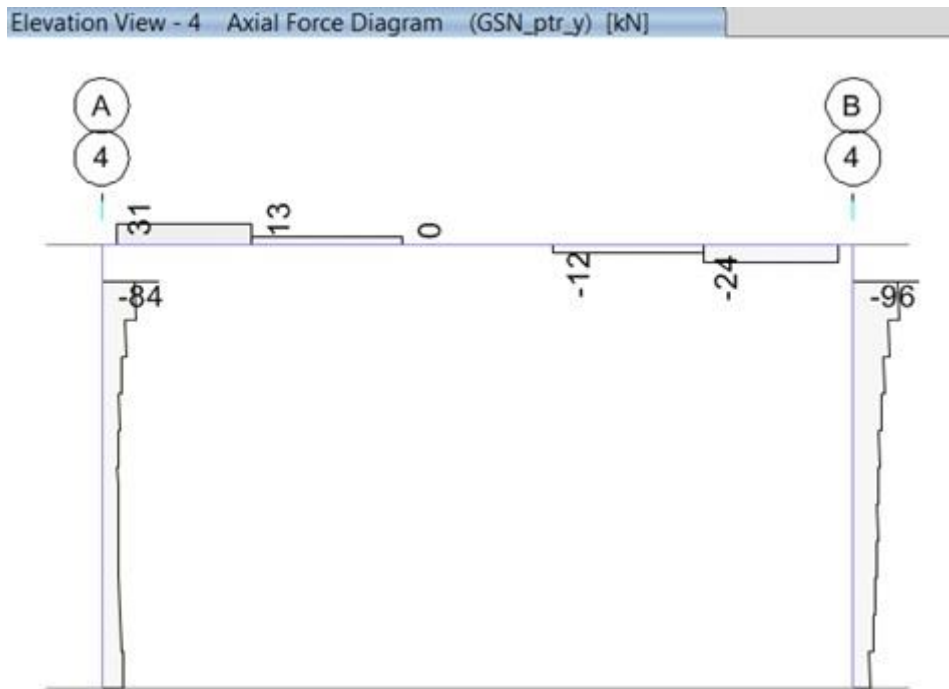
Slika 6-13. Dijagram poprečnih sila - vertikalno opterećenje

Prilikom različitih kombinacija opterećenja, najveći moment savijanja iznosi 625,3 kNm. Dijagram momenta savijanja prikazan je na Slici 6-14.

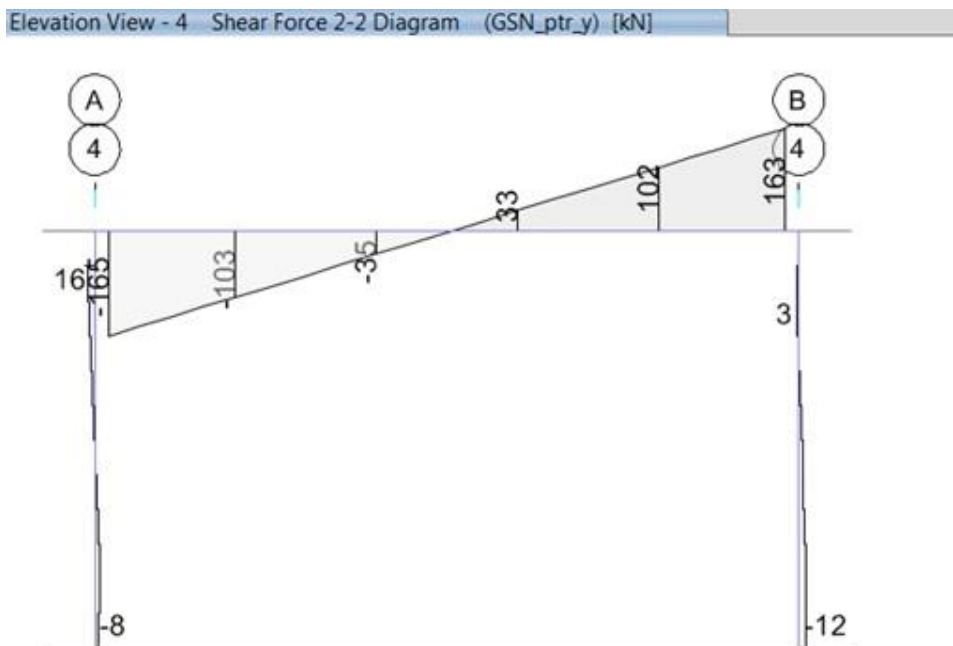


Slika 6-14. Dijagram momenta savijanja - vertikalno opterećenje

Potresi su prikazani zasebnim dijagramima - dijagramom uzdužnih (Slika 6-15.) i dijagram poprečnih sila (Slika 6-16.) te dijagramom momenta savijanja (Slika 6-17.). Vjerojatnost pojave je 95% fraktila.



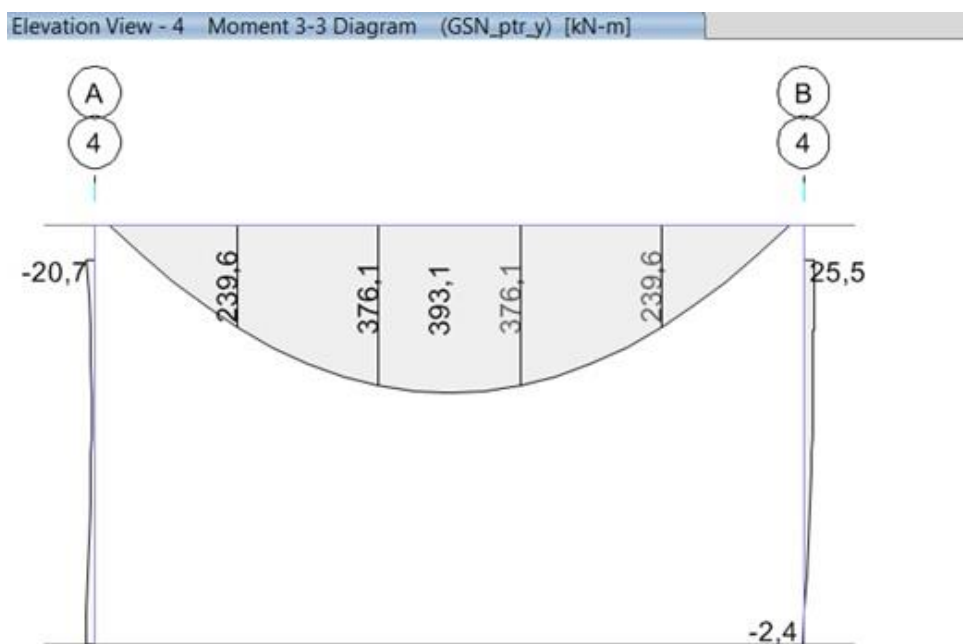
Slika 6-15. Dijagram uzdužnih sila - potresno opterećenje



Slika 6-16. Dijagram poprečnih sila - potresno opterećenje



Najveći moment savijanja za potresno opterećenje iznosi 393,1  $kNm$ .

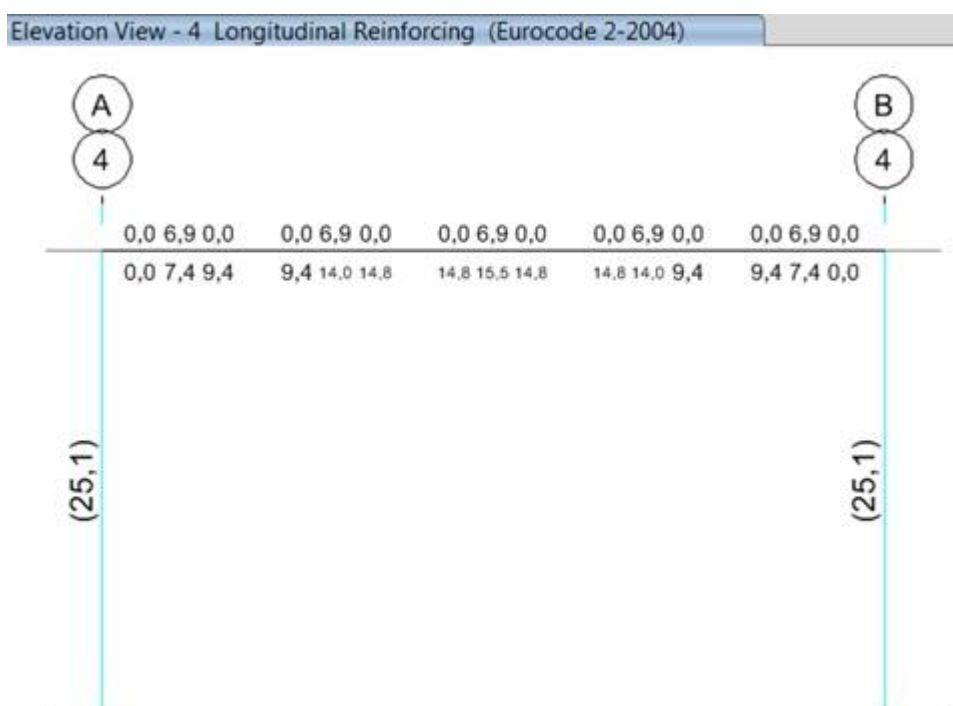


Slika 6-17. Dijagram momenta savijanja - potresno opterećenje

### 6.3. DIMENZIONIRANJE NOSIVIH ELEMENATA GLAVNOG OKVIRA

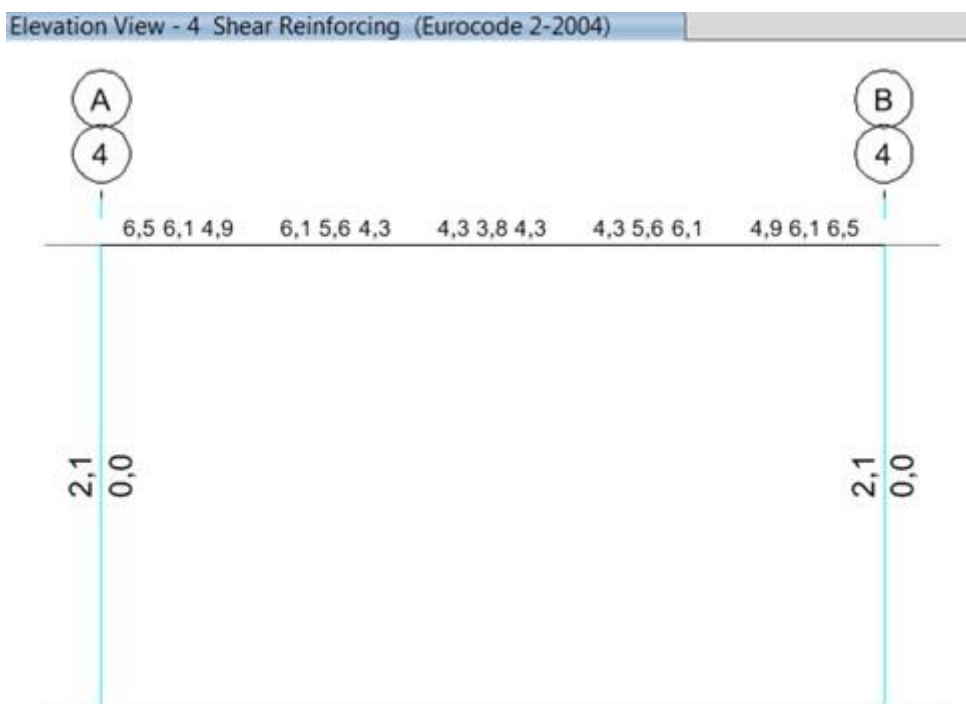
Za dimenzioniranje elemenata u presjeku korištene su mjerne jedinice  $cm$  i  $cm^2/m'$ . Izračunata je i prikazana minimalno potrebna uzdužna i poprečna armatura greda za kritičnu kombinaciju opterećenja. Za stupove je određena predviđena armatura u stupu za koju je provedena provjera.

Slika 6-18. prikazuje potrebnu uzdužnu armaturu u gredi i stupu okvira. Prema računalnom programu ona u tlačnom odnosno gornjem dijelu grede iznosi  $6,9 cm^2$  dok u donjem vlačnom dijelu iznosi  $15,5 cm^2$ . U stupovima iznosi  $25 cm^2$ .



Slika 6-18. Potrebna uzdužna armatura u gredi i stupu okvira

Potrebna poprečna (posmična) armatura u gredi i stupu okvira prikazana je na Slici 6-19. Pod posmičnu armaturu podrazumijevaju se vilice. Najveće površine dobivene su na krajevima grede ona iznose  $6,5 \text{ cm}^2$ . Za stupove potrebna poprečna armatura iznosi  $2,1 \text{ cm}^2$



Slika 6-19. Potrebna poprečna armatura u gredi i stupu okvira

### 6.3.1. Dimezioniranje greda i stupova

Poprečni presjek stupa:  $d = 40 \text{ cm}$

Klasa betona: C30/37

Armatura: B500

Zaštitni sloj betona:  $c = 5,0 \text{ cm}$

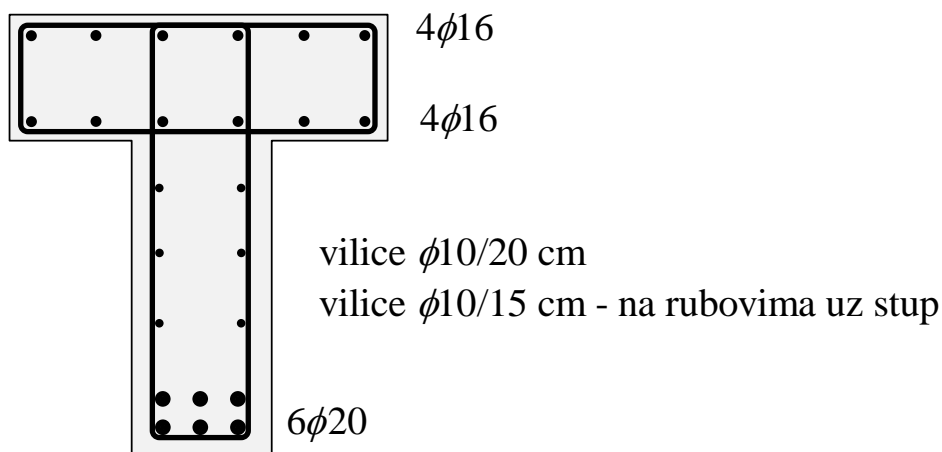
ODABRANO:

Rubove ploče armirati sa  $4\phi 14 = 4 \cdot 1,54 \text{ cm}^2 = 6,16 \text{ cm}^2$  i ojačati U-vilicama  $\phi 8/15 \text{ cm} = 0,5 \text{ cm}^2/15 \text{ cm}$ .

Armaturu zidova i stupova potrebno je propisno sidriti i saviti u ploču te poštivati preklopne armature.

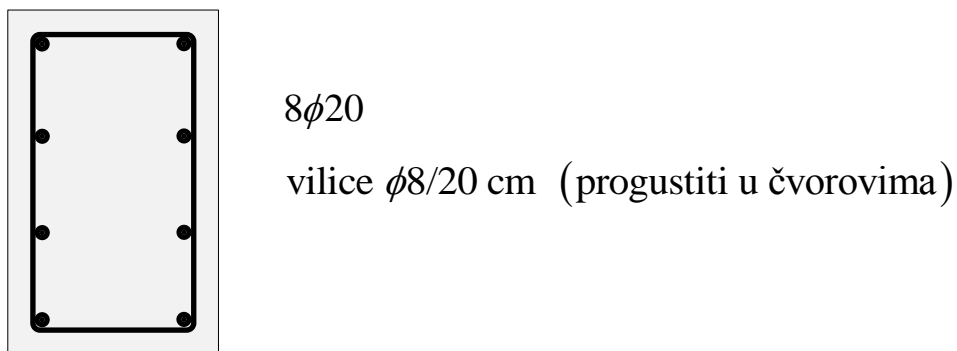
Ploču je potrebno armirati obostrano Q785 ( $\phi 10/10 \text{ cm} = 0,79 \text{ cm}^2/10 \text{ cm}$ ).

### armatura T greda okvira :



Slika 6-20. Prikaz armature potrebne za greda T-presjeka

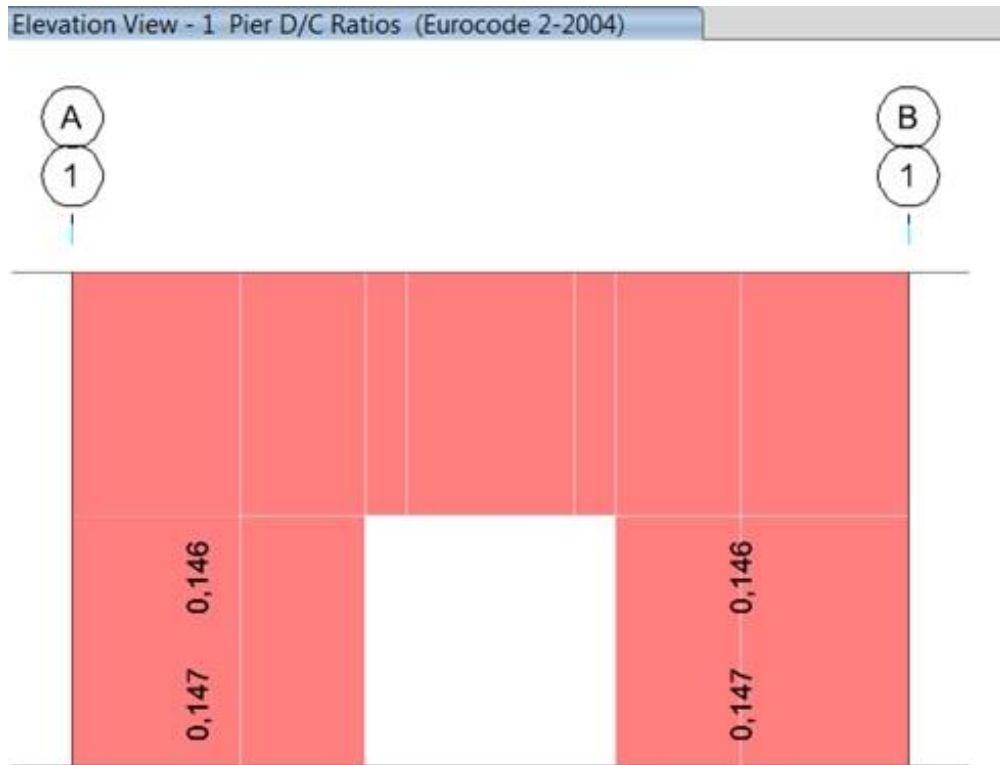
### armatura stupova S 40/25 :



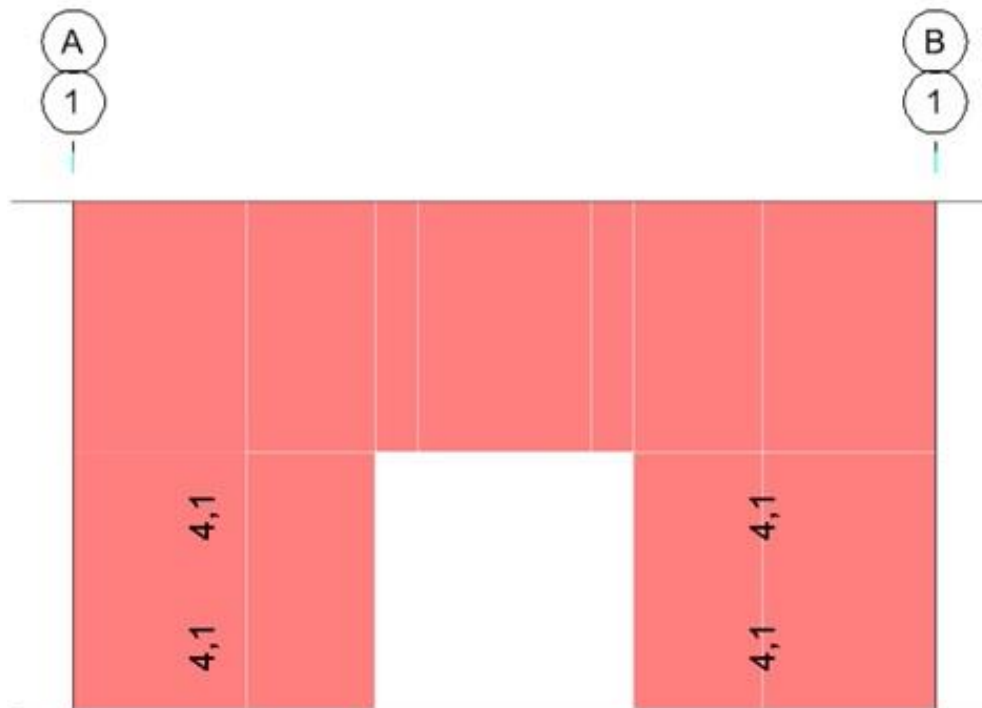
Slika 6-21. Prikaz armature potrebne za stupove

### 6.3.2. Dimenzioniranje zidova

Pri dimenzioniranju zidova korištene su mjerne jedinice  $cm$  i  $cm^2/m$ . Prikazana je minimalno potrebna uzdužna i poprečna armatura greda za kritičnu kombinaciju opterećenja dok je za stupove prikazana predviđena armatura u svakom stupu za koju je provedena kontrola.



Slika 6-22. Iskorištenje pretpostavljene uzdužne armature u zidu presjeka 1.



Slika 6-23. Potrebna poprečna armatura u zidovima u presjeku 1.

Prema Slici 6-23., minimalna potrebna poprečna armatura u zidovima u presjeku 1 iznosi 4,1 cm<sup>2</sup>. Odabrana armatura u zidovima iznosi:

$\phi 10/15\text{cm}(Q524)$  – obostrano

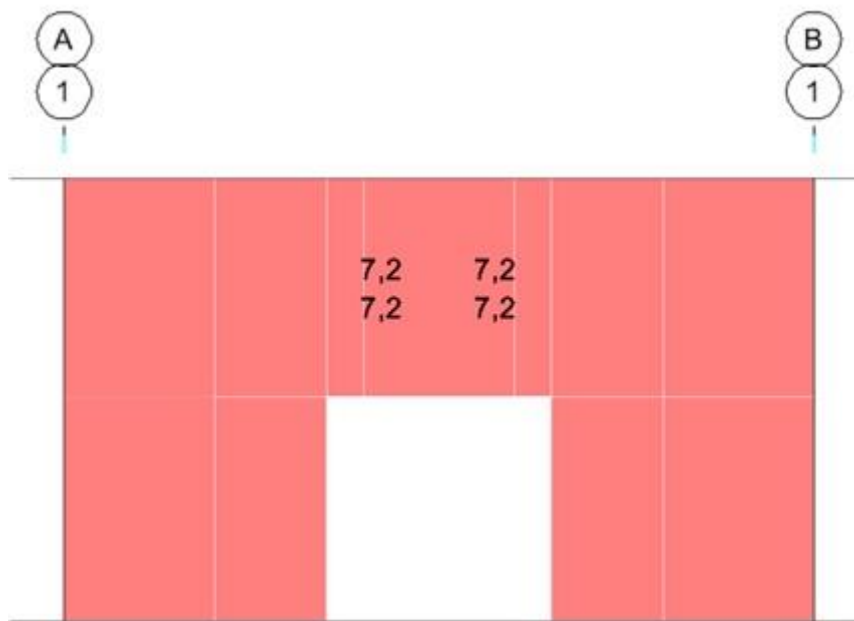
4 $\phi 14$  – šipke po rubovima

Potrebne poprečne i uzdužne armature u nadvoju prikazane su na Slikama 6-24. i 6-25. Za gredu (nadvoj iznad vrata) odabrano je:

4 $\phi 20$  – šipke na donjem rubu

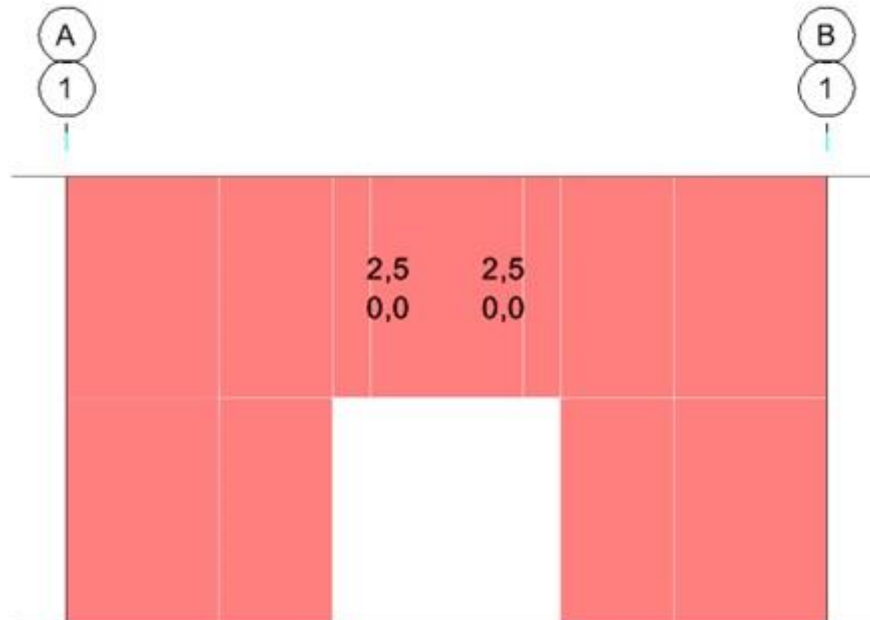
$\phi 10/15\text{cm}(Q52,4)$  - obostrano

Elevation View - 1 Spandrel Longitudinal Reinforcing (cm<sup>2</sup>) (Eurocode 2-2004)



Slika 6-24. Potrebna uzdužna armatura u gredi

Elevation View - 1 Spandrel Shear Reinforcing (cm<sup>2</sup>/m) (Eurocode 2-2004)



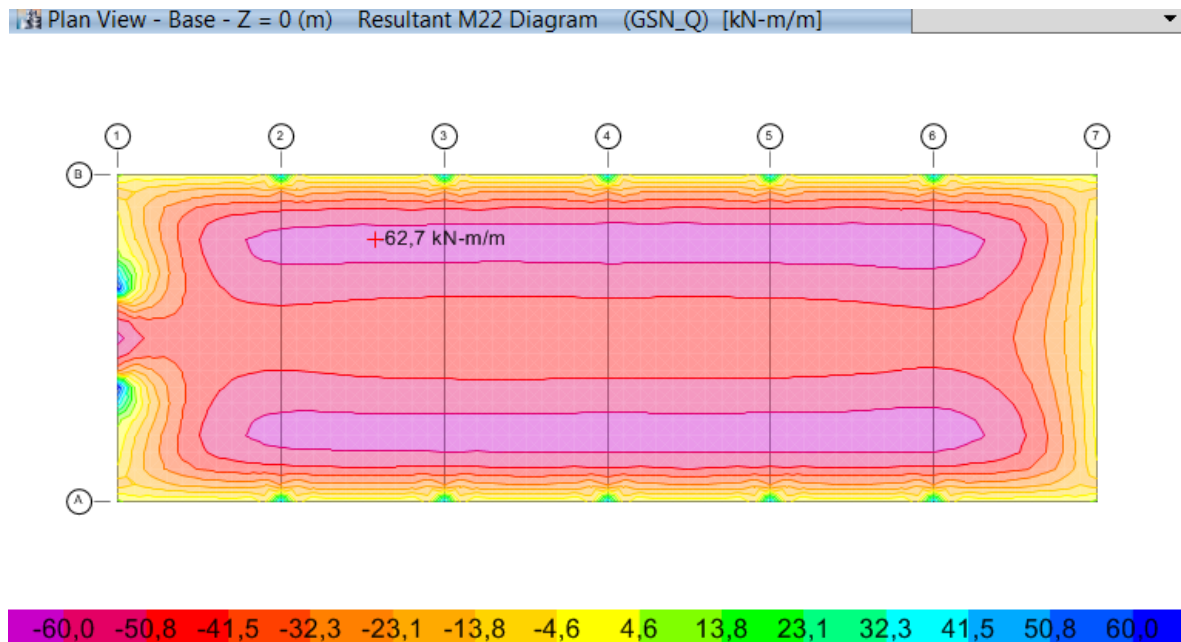
Slika 6-25. Potrebna poprečna armatura u gredi

### 6.3.3. Dimenzioniranje temeljne ploče

Proračun ploče proveden je programskim paketom SAFE prema sljedećim općim podacima:

- visina temeljne ploče:  $h = 40 \text{ cm}$
- klasa betona: C30/37
- zaštitni sloj betona:  $c = 5,0 \text{ cm}$

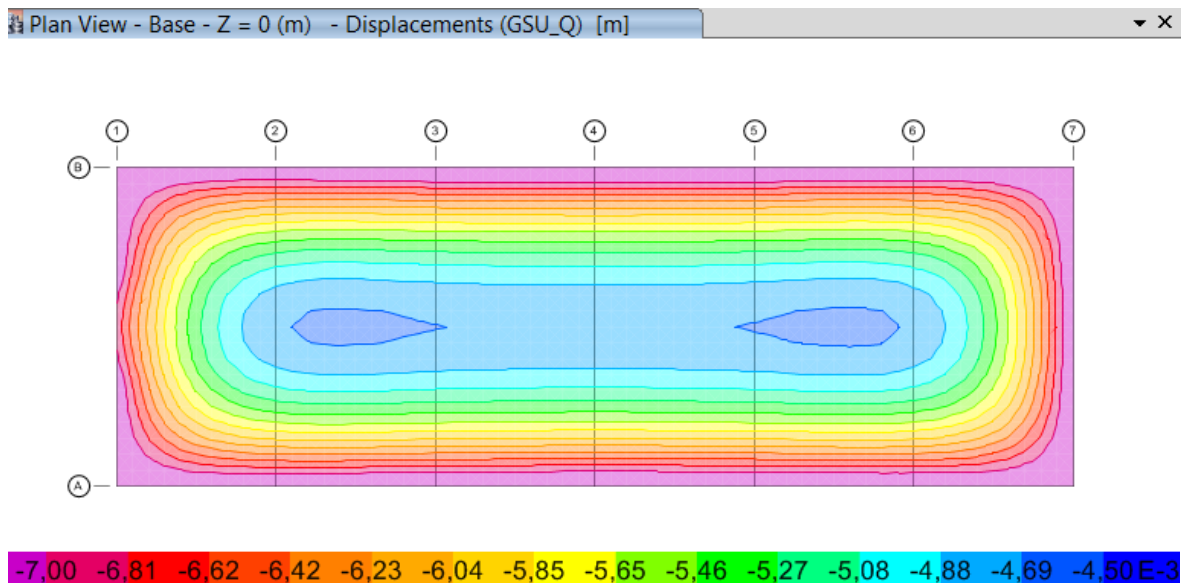
Koeficijent podloge  $k$  uzet je sa  $20000 \text{ kN/m}^2$  pri određivanju unutarnjih sila u temelju. Moment savijanja u temeljnoj ploči za vertikalno opterećenje prikazan je na Slici 6-26. Maksimalni moment iznosi  $62,7 \text{ kNm/m}$  i simetričan je s obje strane. Najmanje vrijednosti momenata su na rubovima ploče osim na mjestima stupova i ulaza u skladišta.



Slika 6-26. Moment savijanja u temeljnoj ploči za vertikalno opterećenje [kNm/m]

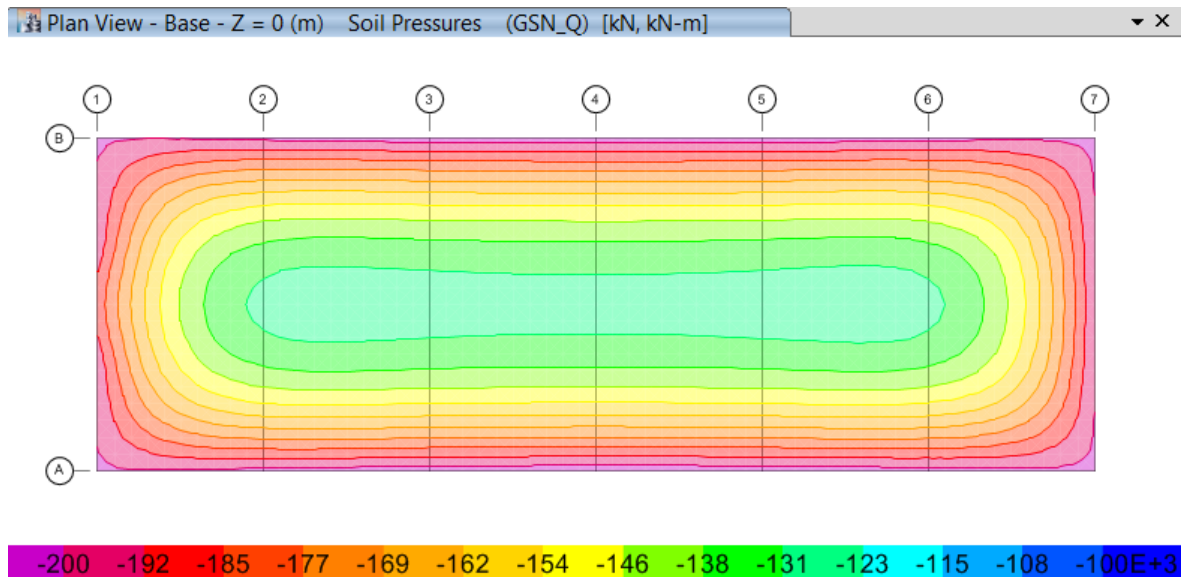
Progibi temeljne ploče prikazani su na Slici 6-27. Najveći progibi su uz rubove ploče zbog čega stupovi ne smiju završavati na samim rubovima temeljne ploče kako bi se spriječio slom iste. Minimalno slijeganje temelja je 7 mm za maksimalno vertikalno opterećenje.





Slika 6-27. Progibi temeljne ploče za vertikalno opterećenje [m]

Slika 6-28. prikazuje pritiske temeljne ploče na tlo za vertikalno opterećenje. Maksimalni pritisci dosežu  $200 \text{ kN/m}^2$  čime je zadovoljen kriterij sloma tla ako je pretpostavka da je nosivost tla  $300 \text{ kN/m}^2$ .



Slika 6-28. Pritisci temeljne ploče na tlo za vertikalno opterećenje

Osnovni podaci za armiranje temeljne ploče:

visina temeljne ploče:	$h = 40 \text{ cm}$
klasa betona:	C30/37
armatura:	B500
zaštitni sloj betona:	$c = 5,0 \text{ cm}$

Rubove ploče potrebno je armirati sa  $4\phi 14$ , te ojačati U-vilicama  $\phi 8/15 \text{ cm}$ . Armaturu zidova i stupova potrebno je propisno sidriti i saviti u temeljnu ploču uz poštivanje preklope armature. Ploču je potrebno armirati obostrano sa mrežom

$$Q = 785 (\phi 10/10 \text{ cm}).$$

#### 6.3.4. Dimenzioniranje krovne ploče

Omnia ploča je montažna ploča dimenzija  $5,0 \times 2,0$  i debljine 16 cm. Obostrano je oslonjena na grede okvira odnosno rubne zidove. Maksimalni moment je posljedica vlastite težine, dodatnog stalnog i pokretnog opterećenja i iznosi  $M_{maks} = 26 \text{ kNm/m}$ .

Dimenzioniranje Omnia ploče krova i uzdužna armatura određena je od strane proizvođača (Slika 6-29).

### BETON

C 30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{rd} = 0,34 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_c = 1,5$$



### UZDUŽNA ARMATURA

B 500/550

$$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_s = 1,15$$

### REZNE SILE

$$M_{y,sd} = 26 \text{ kN}$$

## UZDUŽNA ARMATURA

Y SMJER

$$\varepsilon_{s1} = 10 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{c2} = 1,79 \text{ ‰} \quad \xi = 0,152 \quad \zeta = 0,944$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0,090$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = 5,28 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,25 \text{ ‰} \cdot b \cdot h = 4,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,6 \text{ ‰} \cdot b \cdot d = 9,60 \text{ cm}^2$$

Slika 6-29. Dimenzioniranje Omnia ploče

## 7. ZAKLJUČAK

Gospodarenje radioaktivnog otpada (RAO) predstavlja završnu fazu u primjeni nuklearne energije. Osim što se Republika Hrvatska obavezala bilateralnim ugovorom sklopljenim s Republikom Slovenijom na zbrinjavanje dijela otpada iz NEK, dužna je i zbrinuti otpad koji je nastao iz medicine, istraživanja, dojavljivača dima i sl.

Najveći dio otpada čini nisko i srednje radioaktivni otpad. Takav otpad karakterizira činjenica da mu je vrijeme poluraspada manje od 30 godina pa nema potrebe za odlaganjem do stotinu metara ispod površine.

Dugoročno skladištenje nije jednostavan niti jeftin proces. To zahtjeva institucionalnu kontrolu od strane tijela s potrebnim znanjem i stručnošću te pozamašne financijske resurse. Odgoda zbrinjavanja zaliha istrošenog goriva i radioaktivnog otpada koji zahtijevaju sigurno i učinkovito upravljanje samo se gomilaju. To je ključni problem u održivom korištenju nuklearne energije.

Za trajno pohranjivanje – odlaganje radioaktivnog otpada grade se objekti za odlaganje na manjoj ili većoj dubini u čvrstom tlu ili na samoj površini. Projektiranje odlagališta vrši se s ciljem da se spriječi da u okolinu prodiru nedopustive količine ili koncentracije radionuklida iz otpada, koje bi štetno mogle djelovati na ljudsko zdravlje.

Kandidati za utvrđivanje jednog, konačnog mjesta odlagališta su Trgovska gora i Moslavačka gora pri čemu je odabrana Trgovska gora. Odabrana lokacija je vojna lokacija Čerkezovac koja se nalazi u općini Dvor u sastavu Sisačko-moslavačke županije. Stara vojarna odnosno vojno skladište smještena je na južnim obroncima Trgovske gore na nadmorskoj visini od oko 300 m te zauzima površinu od 0,6 km<sup>2</sup>.

Hidrološki lokacija pripada vodnom području malog sliva „Banovina“ odnosno podslivu rijeke Save. Lokacija Čerkezovac predstavlja najvišu točku istočnog dijela Trgovske gore što otežava mogućnost plavljenja od strane rijeka. Tako lokacija zadovoljava hidrološke aspekte o sigurnosti od plavljenja, izvan je dosega gorskih tekućica i nalazi se na području s odsutnošću odnosno slabijim razvojem ili rizikom erozijskih procesa.

Hidrogeološki, lokacija obuhvaća veoma značajno područje za korištenje pitke vode u posebnim uvjetima. U nju spada veliki broj izvora malih slivova pa je to područje koje je nemoguće onečistiti u vrlo kratkom roku. Također, postoji mogućnost postojanja kvalitetnih

izvora podzemne vode uz već postojeće jače izvore izdašnosti do 8 l/s. Za vjerodostojniji prikaz prihvatljivosti lokacije obzirom na hidrogeologiju potrebno je provesti detaljnija istraživanja odabrane lokacije čime bi se preciznije utvrdila dubina vodonosnika, povezanost hidrološke mreže te utjecaji litologije, tektonike, geokemije i sl.

Litološki, Trgovska gora pripada strukturnoj odnosno tektonskoj jedinici Kladaša – Grmeč – Majdan planina. Osnovnu građu čine gornjopaleozojske naslage pružanja SZ-JI. Protežu se od Gornjeg Žirovca prema jugoistoku do rijeke Une sve do Bosne i Hercegovine gdje zahvaćaju Sansko-unske paleozojske jedinice. Unutar paleozojskih naslaga razlikuju se dvije serije. Stariju seriju čine naslage šejlova s alteracijama sitnozrnatih pješčenjaka, subgrauvaka i grauvara starosti devon-karbon. Drugu, mlađu seriju predstavljaju naslage donjopermske starosti gdje se razlikuju razne vrste pješčenjaka sa proslojcima šejlova. Konkretno područje vojnog objekta Čerkezovac prekriveno je karbonskim naslagama paleozoika na kojima nisu učinjena detaljnija istraživanja.

Inženjerskogeološki, čvrste stijene poput pješčenjaka te nešto manje čvrste stijene kao što su šejlovi, siltiti i sitnozrnasti pješčenjaci prekrivene su slabo vezanim tlom s varijabilnim udjelom gline, praha, pijeska i ponegdje šljunka. Vršna zaravan na kojoj se nalazi vojni objekt uz pretpostavku da se nalazi na naslagama šejlova predstavlja povoljan teren za skladište RAO. Pokrivenost vegetacijskim pokrovom koji čini bjelogorična šuma također uvelike pogoduje stabilnosti kosina.

Seizmotektonski, Trgovska gora odlikuje se vrlo složenim tektonskim odnosima. U okviru regionalnog recentnog strukturnog sklopa kojem pripada i Trgovska gora razlikuju se četiri regionalne strukturne jedinice: Supradinarik, Zapadni rubni dio Panonskog bazena, Južni rubni dio Panonskog bazena i Središnji dio Panonskog Bazena duž čijih se granica pružaju jaki rasjedi ili uže i šire rasjedne zone. Recentni tektonski pokreti uzrokovani su kretanjima kontinentalnih ploča Euroazije i Afrike odnosno Jadranske karbonatne platforme, Dinarida i istočnih Alpi. Taj strukturni sklop pod djelovanjem je stalne kompresije s desnim pomakom duž rasjeda.

Seizmički, općina Dvor u koju pripada odabrani vojni objekt Čerkezovac nalazi se u zoni potresa intenziteta VI° i VII° MCS ljestvice na seizmički aktivnim ili moguće aktivnim uzdužnim rasjedima te u zoni sa poprečnim i dijagonalnim rasjedima s horizontalnim smicanjem blokova i struktura.

U skladu zakonima i propisima te europskim normama za izgradnju takvog objekta napravljen je preliminarni proračun skladišta. Radi se o monolitnoj armiranobetonskoj konstrukciji dimenzija 10,0 m x 30,0 m i visine 5,9 m. Osnovni nosivi sustav konstrukcije izveden je na obodnim međusobno povezanim armiranobetonskim zidovima i sustavom okvira. Stropnu konstrukciju čine AB montažne Omnia ploče dimenzija 2 x 5 m i debljine 16 cm. Skladište je temeljeno na armiranobetonskoj temeljnoj ploči debljine 40 cm. Proračun i dimenzioniranje elemenata konstrukcije provedeno je za stalno, dodatno stalno, korisno opterećenje, opterećenje snijegom i potresno opterećenje. Opterećenje vjetrom nije uzeto u obzir. Svi elementi modelirane konstrukcije su izvedeni betonom klase C 30/37 i s armaturom šipki B500A. Zaštitni sloj AB elemenata je 4,0 (5,0) cm. Cjelokupni proračun konstrukcije proveden je u programskim paketima ETABS i SAFE 2014 po važećim HRN EN propisima uključujući priznata pravila struke.

## 8. LITERATURA

**BAJIĆ, A., 2014.** Opterećenje građevinskih konstrukcija burom, Izvorni znanstveni rad, Hrvatski meteorološki časopis – Croatian Meteorological Journal, 48/49, 2013/14, 3-17, Zagreb 2014.

**CEN, HRN EN 1991-1-1:2012.** Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-1: Opća djelovanja -- Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada (EN 1991-1-1:2002+AC:2009), Zagreb: HZN, 2012.

**CEN, HRN EN 1991-1-3:2012.** Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-3: Opća djelovanja -- Opterećenja snijegom (EN 1991-1-3:2003+AC:2009) s dodatkom toj normi HRN EN 1991-1-3:2012/A1:2016 (EN 1991-1-3:2003/A1:2015), Zagreb: HZN, 2012./2016.

**CEN, HRN EN 1991-1-3:2012/NA:2016.** Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-3: Opća djelovanja -- Opterećenja snijegom -- Nacionalni dodatak, Zagreb: HZN, 2016.

**CEN, HRN EN 1998-1:2011, i.** Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - - 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004+AC:2009) s dodatkom toj normi HRN EN 1998-1:2011/A1:2014 (EN 1998-1:2004/A1:2013) i ispravkom HRN EN 1998-1:2011/Ispr.2:2015, Zagreb: HZN, 2011./2014./2015.

**HRN EN 1998-1:2011/NA:2011.** Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade -- Nacionalni dodatak, Zagreb: HZN, 2011.

**HERAK, M., ALLEGRETTI, I., HERAK D., MARIĆ, K., MARKUŠIĆ, S., SOVIĆ, I., 2011.** Karta potresnih područja Republike Hrvatske, Državna geodetska uprava (DGU), Zagreb, 2011.

**IAEA, 1998.** *Interim Storage of Radioactive Waste Packages, Technical reports series No.390, Vienna, 1998.*

**IAEA, 2009(b).** *IAEA safety standards: Classification of radioactive waste, Vienna, 2009.*

**JOLIĆ, J., 2014.** Proračun armiranobetonske višetažne zgrade radi procjene nosivosti zbog moguće nadogradnje, diplomski rad, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2014.

**KRASIĆ, D., ŽIVKOVIĆ, S.A., 2016.** Tehnika sigurnosti u rudarstvu – čvrste mineralne sirovine, udžbenik Sveučilišta u Zagrebu, KNJIGRA d.o.o., Zagreb, lipanj 2016.

**LEVANAT I., 1997.** Što učiniti s radioaktivnim otpadom : mogućnosti, Zagreb, APO, 1997.

**LEVANAT, I., LOKNER, V., 2000.** Kako se procjenjuje sigurnost odlagališta nisko i srednje radioaktivnog otpada, Zagreb, APO.

**PRAVILNIK O GRANICAMA PODRUČJA PODSLIVOVA, MALIH SLIVOVA I SEKTORA (NN 097/2010, 31/2013.), 2010./2013.**

**PRAVILNIK O UVJETIMA NUKLEARNE SIGURNOSTI ZA DAVANJE SUGLASNOSTI ZA GRADNJU POSTROJENJA (NN 36/2016, 79/2016), 2016.**

**PRIJEDLOG NACIONALNOG PROGRAMA PROVEDBE STRATEGIJE RADIOAKTIVNOG OTPADA, ISKORIŠTENIH IZVORA I ISTROŠENOG NUKLEARNOG GORIVA, 2016.** Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, Zagreb, 2016.

**SCHALLER, A., 2015.** Prethodna ocjena prihvatljivosti lokacije Čerkezovac na Trgovskog gori za smještaj radioaktivnog otpada, Centar za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, APO d.o.o., Zagreb 2015.

**SCHALLER, A., LOKNER, V., 1998.** Obilježja odabranih preferentnih lokacija relevantna za sigurnost odlagališta nisko i srednje radioaktivnog otpada, APO, IV. Simpozij HDZZ, Zagreb, 1998.



**SIGMUND, V., BOŠNJAK-KLEČINA, M., GULJAŠ, I., STANIĆ, A., 2000.** Usporedba primjene hrvatskih propisa i Eurokoda 8, Građevinar 52, 7, 379-388, Zagreb 2000.

**SREMAC, J. 2012.** *Influence of terrestrial sedimentation in Pennsylvanian rocks of Croatia, Geologia Croatica, 65/3, 273-282, Zagreb 2012.*

**STRATEGIJA ZBRINJAVANJA OTPADA I ISTROŠENOG NUKLEARNOG GORIVA REPUBLIKE HRVATSKE (NN 125/2014), 2014.**

**STRATEŠKA STUDIJA ZA NACIONALNI PROGRAM PROVEDBE STRATEGIJE ZBRINJAVANJA RADIOAKTIVNOG OTPADA, ISKORIŠTENIH IZVORA I ISTROŠENOG NUKLEARNOG GORIVA, 2016.** Prilozi, EKOENERG – Institut za energetiku i zaštitu okoliša d.o.o., Zagreb, 2016.

**SUBAŠIĆ, D., ŠKANATA, D., ŠALER, A., 1992.** Pretpostavke zbrinjavanja radioaktivnog otpada u Republici Hrvatskoj, Soc. Ekol. Vol 1, Zagreb, 1992.

**ŠABOVIĆ A., ISABEGOVIĆ J., OKIĆ A., 2011.** Obrada i model konačnog zbrinjavanja radioaktivnog otpada, Rudarski institut d.d., Tuzla, 2011.

**ŠIKIĆ, K, 2009.** Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000, str 69-70, Hrvatski geološki institut (HGI), Zagreb 2009.

**TOPOGRAFSKA KARTA REPUBLIKE HRVATSKE 1:25 000, 2000.** list Grmušani, 4516-2-4-3, Državna geodetska uprava – DGU, Zagreb, 2000.

**UREDBA O UVJETIMA TE NAČINU ZBRINJAVANJA RADIOAKTIVNOG OTPADA, ISKORIŠTENIH ZATVORENIH RADIOAKTIVNIH IZVORA I IZVORA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA KOJI SE NE NAMJERAVAJU DALJE KORISTITI (NN 044/2008), 2008.**

**ZAKON O RADIOLOŠKOJ I NUKLEARNOJ SIGURNOSTI (NN 141/2013, 39/2015), 2013. i 2015.**

**ŽLIMEN, M., 2014.** Korozija spremnika istrošenog nuklearnog goriva. Diplomski rad, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 2014.

Internet izvori :

URL: <http://seizkarta.gfz.hr/karta.php> , 2. studenog 2016.