

**VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA
MARIBOR**

**PRIMERJAVA GRADNJE OPORNEGA ZIDU V
PODJETJU GRADBENIŠTVO KUSTER NA
TRADICIONALEN NAČIN NAPRAM OFFSITE
GRADNJI**

Kandidatka: Sara Golob

Vrsta študija: Izredni študij

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor predavatelj: Bojan Dapčevič univ. dipl. inž. grad.

Mentor v podjetju: Danilo Kozlar, inž. grad.

Lektor: Ana Žagar, mag. prof. slov. j. in knj.

Maribor, 2019

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisana Sara Golob, sem avtorica diplomskega dela z naslovom PRIMERJAVA GRADNJE OPORNEGA ZIDU V PODJETJU GRADBENIŠTVO KUSTER NA TRADICIONALEN NAČIN NAPRAM OFFSITE GRADNJI, ki sem ga napisala pod mentorstvom Bojana Dapčeviča univ. dipl. inž. grad.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

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

Maribor, april 2019

Podpis študent

ZAHVALA

Predavatelju, Bojanu Dapčeviču, univ. dipl. inž. grad., se zahvaljujem, da me je sprejel pod mentorstvo, mi pomagal in me vodil skozi celoten proces izdelave diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi mentorju v podjetju, Danilu Kozlarju, inž. grad., za pomoč in svetovanje pri pripravi diplomskega dela.

POVZETEK

V praksi obstaja več primerov izvedb opornih zidov, a sem se v diplomskem delu osredotočila na tradicionalno zgrajen oporni zid (kamnito zložbo), ki ga je zgradilo podjetje KUSTER d. o. o., in offsite gradnjo opornega zidu iz prefabriciranih betonskih elementov (izdelanih v tovarni), ki bi po mojih izračunih lahko opravljal isto funkcijo, kot jo opravlja že zgrajen.

V prvem delu diplomskega dela sem podrobneje opisala proces gradnje tradicionalnega opornega zidu, ki je eden izmed projektov, ki jih je uspešno dokončalo podjetje KUSTER d. o. o. V začetnem delu sem opisala potek načrtovanja, umeščanje v prostor in proces grajenja opornega zidu (kamnite zložbe). Večina gradnje tradicionalno zgrajenega opornega zidu je potekala na gradbišču. Oporni zid se je dograjeval po kampadah maksimalnih dolžin do 3 m. Stiki so bili izvedeni neprekinjeno. Njegova sestava je 40 % betona in 60 % kamna. Višina in debelina sta spremenljivi v odvisnosti od prevzemanja aktivnega zemeljskega pritiska hribine, ki znaša 22 kN/m^3 v najbolj obremenjenem profilu opornega zidu.

V drugem delu diplomskega dela sem podrobneje opisala temo offsite gradnje – kako se razlikuje od tradicionalne in zakaj postaja vse pogostejši način gradnje. Navedla sem tudi nekaj primerov dobrih praks offsite gradenj.

V tretjem delu diplomskega dela sem primerjala celoten proces gradnje obeh različnih opornih zidov. Primerjala sem čas gradnje, količine uporabljenih materialov, količino proizvedenih emisij CO_2 in celotne stroške gradnje. Raziskala sem tudi vpliv offsite gradnje na zdravje in varnost ljudi, ki jo izvajajo, in vpliv na okolje (trajnostni razvoj planeta). Tradicionalen način gradnje opornega zidu je dolgotrajnejši. Zanj potrebujemo 96 % več časa kot pri offsite gradnji, kar posledično pomeni več zastojev na cestišču, večje količine povzročenih emisij, več vpliva hrupa na okolje in zmanjšano varnost zaposlenih (zaradi daljše izpostavljenosti nevarnostim gradbišča).

Z offsite gradnjo opornega zidu prihranimo tudi pri materialu (približno 86 %). Z materialom tradicionalne gradnje bi teoretično lahko zgradili sedem opornih zidov offsite gradnje in tako racionalno ravnali z naravnimi viri planeta Zemlja. Manj materiala pomeni tudi manj emisij za okolje, saj varčujemo z energijo v kamnolomih in zmanjšamo porabo fosilnih goriv (transport materiala).

Celotne emisije CO_2 offsite gradnje so drastično manjše od povzročenih emisij tradicionalne gradnje (za približno 80 %). Na delež emisij CO_2 obeh gradenj neposredno vplivajo uporaba cementa (globalno cement prispeva približno 5 % povzročenih emisij CO_2), čas gradnje

(zastoji na cestišču in uporaba gradbene mehanizacije) in transport prefabriciranih betonskih elementov in materiala na lokacijo gradbišča (vozila na fosilna goriva).

Stroškovno je offsite gradnja opornega zidu za 34 % cenejša od tradicionalne. Ugotovila sem, da je offsite gradnja cenejša zaradi časa gradnje. Elementi opornega zidu so vnaprej narejeni v tovarniškem okolju in vzporedna gradnja na gradbišču in v tovarni lahko drastično prihrani čas. Množična izdelava prefabriciranih betonskih elementov istih dimenzij vpliva tudi na znižanje cene posameznega elementa in posledično cene celotnega opornega zidu. Ena tovarna, ki deluje znotraj sistema offsite gradnje, lahko izdeluje elemente za številna gradbišča (številne projekte), če niso preveč oddaljena od nje. V naslednjih letih bo pocenitev transporta zaradi elektrifikacije še dodatno spodbudila uporabo offsite gradnje in omogočila še večje razdalje med tovarnimi prefabrikaže in lokacijami gradbišč.

Ključne besede: offsite gradnja, tradicionalna gradnja, prefabricirani betonski elementi, oporni zid, emisije CO₂, gradnja elementov v tovarni

ABSTRACT

COMPARISON BETWEEN TRADITIONAL CONSTRUCTION OF A RETAINING WALL AT COMPANY KUSTER D.O.O. AND OFFSITE CONSTRUCTION

In practice, there are several types of retaining walls; however, in the diploma thesis I focused on the traditionally built retaining wall (stone concrete wall), which was built by the company KUSTER d.o.o., and the offsite construction of a retaining wall made of prefabricated concrete elements (manufactured at the factory), which, according to my calculations, could serve the same function as the traditionally built one.

In the first part of my diploma thesis, I described in detail the process of constructing a traditional retaining wall, which is one of the projects that was successfully completed by the company KUSTER d.o.o. I described the design process, the positioning, and the process of building a retaining wall (stone concrete wall). Most of the construction of a traditionally built retaining wall was carried out on site. The retaining wall was built in sections of a maximum length of 3 m. the joints were executed continuously. The wall is composed of 40% concrete and 60% stone. Its height and thickness vary depending on the soil pressure of the rock acting on the wall; the pressure amounts to 22 kN/m³ in the profile of the retaining wall which is exposed to the highest loads.

In the second part of the diploma thesis, the topic of offsite construction is discussed in greater detail; namely, how it differs from the traditional construction, and why it is becoming an increasingly common building method. I have also cited a few examples of good practices in offsite construction.

In the third part of the diploma thesis, I compared the entire process of building two different retaining walls. I compared the duration of construction, the amount of materials used, the amount of CO₂ produced, and the total construction costs. I also researched the impact of offsite construction on the health and safety of employees, and its impact on our environment (sustainable development of the planet). The traditional way of constructing the retaining wall takes 96% more time than building it by means of offsite construction. Consequently, it causes more road traffic congestions, higher quantities of emissions, more noise pollution on the environment, and reduces the safety of employees (due to a longer exposure to hazardous construction sites).

With the offsite construction of the retaining wall we also save on material (around 86%). Theoretically, the material used for traditional construction could be used to build 7 retaining walls with offsite construction, thus rationally managing the natural resources of planet Earth. Less material also means less emissions into the environment, as we save energy in quarries and reduce the consumption of fossil fuels (transport of materials).

Total CO₂ emissions of offsite construction are drastically lower than the emissions of traditional construction (by some 80%). The share of CO₂ emissions of both construction methods is directly affected by the use of cement (globally, cement contributes approximately 5% of CO₂ emissions), the duration of construction (road traffic congestions and the use of construction machinery) and the transport of prefabricated concrete elements and materials to the location of the construction site (fossil fuel vehicles).

The offsite construction of the retaining wall was 34% cheaper than the traditional one. I have found that offsite construction was cheaper due to the duration of construction. The elements of the retaining wall were prefabricated in the factory environment. Parallel construction at the construction site and at the factory can drastically save time. Mass production of prefabricated concrete elements of the same dimensions also reduces the price of an individual element and, consequently, the price of the entire retaining wall. A single factory engaged in offsite construction can produce elements for many construction sites (many projects), provided they are not too far away. In the coming years, the decrease in transport costs due to its electrification will further encourage the use of offsite construction and allow for even greater distances between prefabrication factories and construction sites.

Keywords: offsite construction, traditional construction, retaining wall, prefabricated concrete elements, CO₂ emissions

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	13
1.1	Opis področja in opredelitev problema.....	13
1.2	Namen, cilji in osnovne trditve.....	14
1.3	Predpostavke in omejitve.....	15
1.4	Uporabljene raziskovalne metode.....	15
2	DELO V PROJEKTNi SKUPINI.....	17
3	SPLOŠNO O OPORNIH ZIDOVH	19
3.1	Oporni zid	19
3.2	Kaj je oporni zid in razlika s podpornim zidom?.....	19
3.3	Izvedba opornega zidu v primerjavi s podpornim zidom	19
3.4	Oporni zid glede na izvedbo	20
3.5	Kamnita zložba	23
3.6	(Armirano) betonski podporni zid	23
3.7	Cene opornih zidov	24
4	PRIKAZ GRADNJE OPORNEGA ZIDU PODJETJA KUSTER D.O.O.	25
4.1	Opis začetnega stanja.....	25
4.2	Geološko geotehnično poročilo	26
4.3	Statični izračun elementov objekta	29
4.3.1	Obtežbe in obremenitve.....	29
4.4	Izvedba opornega zidu	30
4.4.1	Pogoji za izvedbo elementov opornega zidu	32
4.4.2	Ureditev prometa med gradnjo	33
4.4.3	Arhitekturno oblikovanje objekta.....	33
4.4.4	Posebne zahteve med gradnjo	33
5	OFFSITE GRADNJA	34
5.1	Offsite betonska gradnja	35
5.2	Trajnostni prefabricirani betonski elementiv	36
5.3	Prednosti offsite gradnje	37
5.3.1	Boljša varnost in zaščita	37
5.3.2	Zmanjšan čas	37
5.3.3	Izboljšana kakovost	38

5.3.4	Zmanjšanje odpadkov	38
5.3.5	Zmanjšanje izpustov	39
5.3.6	Manj hrupa in odpadkov, večja varnost.....	39
5.3.7	Zmanjšanje števila zaposlenjih.....	39
6	PREDSTAVITEV PRIMEROV OFFSITE GRADENJ.....	40
6.1	JP Concrete je zgradil prefabricirani betnoski oporni zid za McDermott Homes	40
6.2	Most Goethals	41
7	PRIMERJAVA OPORNEGA ZIDU KOT TRADICIONALNE GRADNJE	
	NAPRAM OFFSITE GRADNJI	42
7.1	Betonski elementi opornega zidu podjetja JP Concrete, ki se sidranjo v betonski temelj ali ploščo	42
7.2	Prednosti betonskih elementov opornega zidu(prav tam).....	42
7.3	Tehnični podatki.....	43
7.4	Namestitev prefabriciranih betonskih elementov	44
7.4.1	Temelji	44
7.4.2	Stabilnost	44
8	PRIKAZ REZULTATOV PRIMERJALNE ANALIZE	45
8.1	Primerjava časa izgradnje	45
8.2	Primerjava porabljenega materiala	46
8.3	Primerjava količine emisij	47
8.3.1	Ali proizvodnja cementa ustvarja CO ₂ ?	47
8.3.2	Koliko CO ₂ je utelešenega v betonu?	47
8.3.3	Emisije povzročene z gradnjo na in ob cestišču	48
8.3.4	Emisije obeh načinov gradenj.....	48
8.4	Primerjava stroškov gradnje	49
8.5	Grafičen prikaz primerjave obeh načinov grajenje opornega zidu in zaključki	51
9	SKLEP.....	53
10	VIRI, LITERATURA.....	56
11	PRILOGE.....	58

KAZALO SLIK

Slika 1:	Primer offsite gradnje opornega zidu	17
Slika 2:	Shema opornega zidu s spremenljivo višino	18

Slika 3: Oporni in podporni zid glede na izvedbo	19
Slika 4: Osnovne količine za statično analizo težnostnih podpornih konstrukcij	20
Slika 5: Globalna stabilnost opornega zidu	21
Slika 6: Oporni zid; prevrnitev, zdrs, nosilnost temeljnih tal	21
Slika 7: Možne poškodbe opornih zidov	21
Slika 8: Sile in momenti, ki delujejo na težnosten oporni zid	23
Slika 9: Prikaz obnovljene ceste v cestnem omrežju.....	25
Slika 10: Gradbena situacija - potek opornega zidu od profila 64 do 69	26
Slika 11: Dotrajan oporni zid, ki se je porušil (levo ob cestišču)	28
Slika 12: Porušitev in odstranitev obstoječega zidu iz cementnega betona	28
Slika 13: Geološki profil in predpostavljene zemljine	30
Slika 14: Tradicionalno zgrajen oporni zid.....	31
Slika 15: Prikaz izgradnje opornega zidu podjetja KUSTER d.o.o.	32
Slika 16: Simbolična tovarna offsite gradnje	34
Slika 17: Shema prednosti offsite gradnje	37
Slika 18: Izdelovanje prefabriciranih betonskih elementov v tovarni	38
Slika 19: Prefabriciran oporni zid podjetja JP Concrete.....	40
Slika 20: Most Goethals zgrajen iz prefabriciranih elementov	41
Slika 22: Sidranje prefabriciranega betonskega opornega zidu v tla.....	42
Slika 23: Tehnični podatki prefabriciranih betonskih elementov opornega zidu	43
Slika 24: Prikaz namestitve prefabriciranih elementov opornega zidu podjetja JP Concrete ..	45
Slika 25: Sestava betona (okvirna)	47

KAZALO TABEL

Tabela 1: Količina materiala offsite gradnje opornega zidu	46
Tabela 2: CO2 emisije, ki jih povzročajo raznorazne gradnje na in ob cestišču glede na vrsto cestišča.....	48
Tabela 3: Končna cena opornega zidu brez temelja in ostalih predel	49
Tabela 4: Stroški gradnje opornega zidu kot offsite gradnje	50

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Grafična primerjava različnih področij tradicionalne in offsite gradnje	51
---	----

SEZNAM OKRAJŠAV

CL – Anorganska glina nizke plastičnosti

CO₂ – ogljikov dioksid

PZI – Projekt za izvedbo

GPS – Globalni sistem pozicioniranja

AB – armiran beton

1 UVOD

Dandanes se vremenski vzorci spreminjajo vedno bolj nepričakovano. Nekatera mesta so tako onesnažena, da ljudje nosijo maske. Ker je zemlja zaključen ekosistem, kjer vsak lokalni vpliv na okolje pomeni globalni vpliv, sem se odločila raziskati razvoj gradbeništva v smeri, ki bo ugodna (trajnostna) za ljudi, bitja, vegetacijo in nasploh celoten ekosistem zemlje, saj lahko, če ne bomo hitro zmanjšali trenutne stopnje onesnaževanja, po napovedih strokovnjakov pričakujemo uničenje na veliko večji ravni, kot smo ga videli kadar koli v preteklosti.

Naravni viri na zemlji obstajajo v omejeni količini in vse v naravi obstaja v določenem ravnovesju. Kadar človek s svojim vplivom začne rušiti to ravnovesje, si lahko predstavljamo, da pride do velikih sprememb, ki imajo večkrat neposreden vpliv na bivalno kakovost ljudi. Ko so gradbeni inženirji zgradili jez Aswan na reki Nil (Egipt), so državljani pridobili precej čist vir elektrike, a izgubili rodovitno zemljo. Nil je namreč večkrat poplavljal zemljo in za sabo puščal sedimente, ki jih je zdaj zadržal jez, in posledično povzročil opustošenje prej rodovite zemlje. Obstaja rek: »Vsaka rešitev prejšnjega problema ustvari nov problem.« Kadar ljudje rešujemo svoje probleme, moramo upoštevati rešitve, ki bodo koristile celotnemu človeštvu, bitjem in celotnemu ekosistemu zemlje, saj nam bodo le takšne rešitve omogočile trajnostno sobivanje. Gradbeništvo kot industrija ima z globalnega vidika velik vpliv na naše okolje in posledično nas, ljudi. Če gradbena industrija v eni državi onesnaži reko, ta teče naprej v naslednjo državo, saj reke niso omejene na državne meje. Ločenost ekosistemov obstaja samo kot teoretični model, a naše okolje je veliko bolj prepleteno in pravzaprav nimamo točne meje, kjer se konča reka in začne morje.

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Ker offsite gradnja (velik odstotek, tudi do 90 % gradnje) lahko poteka v tovarni, v svetu predstavlja vse večjo veljavo in prispeva svoj delež k trajnostnemu razvoju planeta Zemlja, sem se odločila v diplomskem delu primerjati tradicionalen način gradnje opornega zidu, ki ga je zgradilo podjetje KUSTER d. o. o., in offsite način gradnje opornega zidu, kjer so prefabricirani elementi opornega zidu zgrajeni v tovarni (digitalizirani in robotizirani) v zelo nadzorovanem okolju in nato pripeljani na lokacijo gradbišča, kjer so sidrani v betonski temelj, ki je bil vnaprej izveden ob cestišču.

Predpostavljam, da bo offsite način gradnje opornega zidu stroškovno veliko ugodnejši od tradicionalne gradnje. V diplomskem delu nisem upoštevala izgradnje tovarne za izdelavo prefabriciranih betonskih elementov opornega zidu, saj mi je njihove cene uspelo pridobiti od podjetja JP Concrete iz Anglije. Sklepala sem, da je že zajeta cena začetne investicije, kar je postavitev sodobne tovarne za izdelavo.

Del diplomskega dela je bolj teoretičen, kjer sem z uporabo raznoraznih virov (strokovne literature ...) okvirno opisala oporne zidove, offsite gradnjo in različne objekte, ki so bili zgrajeni v tem načinu. S pomočjo informacij, pridobljenih od podjetja JP Concrete, sem predstavila lastnosti prefabriciranih elementov betonskih opornih zidov. Projektna dokumentacija (projekt za izvedbo, popis končnih del, raznorazni načrti ...), ki je potrebna za izgradnjo opornega zidu, ki ga je zgradilo podjetje KUSTER d. o. o., mi je pomagala, da se lahko oporni zid (kamnito zložbo) podrobneje predstavila v diplomskem delu.

Del diplomskega dela, ki je pretežno bolj praktičen, zajema izračun in primerjavo časa tradicionalne in offsite gradnje opornega zidu, izračun in primerjavo porabljenih materialov, izračun sproščenih emisij CO₂ in izračun ter primerjavo stroškov obeh načinov gradenj. Skozi analizo in primerjavo tradicionalne in offsite gradnje se prišla do zanimivih ugotovitev, s pomočjo katerih sem lahko potrdila ali zavrgla začetne hipoteze.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Z raziskavo bi rada prikazala gradnjo opornega zidu na tradicionalen in offsite način ter razlike med obema načinoma. Natančneje, v diplomskem delu želim raziskati smiselnost uporabe offsite gradnje v podjetju, njen vpliv na okolje, zaposlene, njeno ekonomičnost in dostopnost (kaj pridobimo in kaj izgubimo). Prav tako me zanimajo avtomatizacija, odstotek dela, ki ga opravijo zaposleni, v primerjavi z delom, ki ga opravijo stroji, in povzročene emisije CO₂ tradicionalne in offsite gradnje. Zanima me tudi, pri kakšni velikosti in namembnosti objekta je offsite gradnja sploh mogoča oziroma smiselna. V ta namen sem postavila naslednje hipoteze:

H1. Offsite gradnja opornega zidu je cenejša kot tradicionalna gradnja.

H2. Offsite gradnja je mogoča le za določene objekte (po velikosti in namembnosti).

H3. Offsite gradnja opornega zidu je veliko bolj prijazna okolju kot tradicionalna gradnja.

1.3 Predpostavke in omejitve

Ena izmed omejitev pisanja projektnega dela je bila pridobitev cen prefabriciranih elementov opornega zidu. Večina podjetij, ki jih izdeluje, se nahaja v tujini in svojih cenikov ne objavlja na spletni strani, temveč ji deli le z resnimi strankami, s katerimi prej opravijo pogovor po telefonu. Cenik, s katerim sem opravila oceno stroškov opornega zidu offsite gradnje, sem pridobila šele po več tednih vztrajne komunikacije s podjetjem JP Concrete.

Pomanjkanje literature v slovenskem jeziku na temo offsite gradnje je prav tako ena izmed omejitev. Na temo offsite gradnje obstaja precej informacij v angleškem jeziku v obliki člankov, diplomskih del, raziskovalnih študij, statističnih podatkov in spletnih strani podjetij, ki izvajajo offsite gradnjo. A knjig, ki opisujejo področje offsite gradnje, ni veliko. Tiste, ki sem jih našla, so v veliki večini v angleškem jeziku.

Naslednja omejitev, na katero sem naletela pri pisanju diplomskega dela, je osredotočenost na prodajo, promocijo in prednosti offsite gradnje. Večina podjetij, ki so del offsite gradnje, jo opisuje kot gradnjo, ki je hitra, učinkovita, ugodna ... Njihov pristop je prodaja, zato so informacije, pridobljene od teh podjetij, večinoma enostranske, zato sem morala raziskati precej več virov, da sem lahko prišla do bolj objektivnih ugotovitev.

Del diplomskega dela je teoretičen, saj v Sloveniji nisem zasledila tovarne, ki bi izdelovala prefabricirane elemente opornih zidov, zato sem uporabila podatke podjetja JP CONCRETE iz Anglije. Prevoz prefabriciranih elementov iz tovarne na lokacijo gradnje lahko predstavlja velik strošek, če je razdalja med njima velika. V diplomskem delu sem predpostavila, da se tovarna nahaja v Sloveniji, saj ni bilo druge možnosti.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Kot obstoječe gradivo sem uporabila gradbeni projekt opornega zidu (kamnite zložbe), ki ga je v preteklosti zgradilo podjetje KUSTER d. o. o. V diplomskem delu so uporabljene tudi ugotovitve podjetja TRASA, d. o. o. (PZI projekt rekonstrukcije ceste) in podjetja za projektiranje in inženiring ARS, d. o. o. (PZI za oporni zid). Prečni in vzdolžni prerezi opornega zidu ter izračun njegove stabilnosti so delo podjetja ARS, d. o. o. iz Maribora. Gradbena situacija (tloris, kjer je mogoče videti potek opornega zidu) je delo podjetja TRASA, d. o. o. iz Maribora.

Najpomembnejše informacije o prefabriciranih elementih opornega zidu, ki se sidra v tla, sem pridobila z internetne strani podjetja JP Concrete (Langar, Anglija). Na podlagi vseh pomembnih informacij, kot so različne velikosti opornih zidov (zid se spreminja po višini na dolžini 106 m), obremenitve, ki jih vzdrži, cena za dolžinsko enoto m^1 in strošek polaganja betonskih prefabriciranih elementov, sem lahko ustvarila simulacije zidu kot offsite gradnjo. Ker je slovenska gradnja po statističnih podatkih cenovno 20 % ugodnejša od angleške, sem pridobljene cene zreducirala za faktor 0,8.

Na podlagi pridobljenih podatkov bom primerjala smiselno izgradnjo opornega zidu na tradicionalen in offsite način na šestih različnih področjih:

- čas gradnje,
- količina porabljenih materialov,
- količine emisij,
- stroški gradnje,
- vpliv na zdravje in varnost gradbenih delavcev.

2 DELO V PROJEKTNI SKUPINI

Predpriprave za pisanje diplomskega dela so potekale na sedežu Academia, kjer smo pod vodstvom vsi rešili Belbinov popis tima in Myers Briggsov test osebnosti. Nato smo se razdelili v projektne skupine (na podlagi rezultatov obeh testov), v katerih smo delovali v okviru svojih diplomskih del. Takšna skupina je zajemala vodjo projekta, projektanta, komercialista, kalkulanta in osebo za pripravo del. V skupini sem opravljala vlogo osebe, zadolžene za pripravo del, zaradi rezultata osebnostnih testov in podrobnega poznavanja projekta. Tako sem sodelovala na vseh področjih projekta.

Prvič, ko smo se srečali s skupino, sem vsem predstavila svoj projekt primerjave offsite gradnje opornega zidu (teoretična) s tradicionalno gradnjo (že izdelan projekt družinskega podjetja KUSTER d. o. o.). S skupino smo začeli proučevati, kakšne so možnosti opornega zidu kot offsite gradnje, kaj bi lahko s takšno gradnjo pridobili (v primerjavi s tradicionalno) in katera so potencialna podjetja, ki so zmožna izdelati prefabricirane betonske elemente opornega zidu.



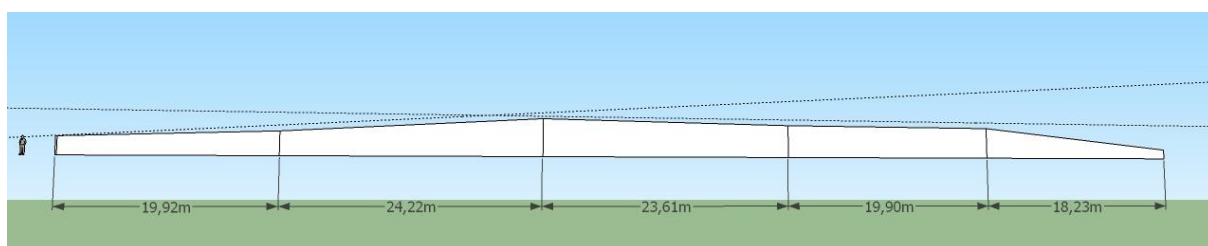
Slika 1: Primer offsite gradnje opornega zidu

Vir: (<https://www.jpconcrete.co.uk>)

Na spletu smo hitro našli podjetje JP Concrete, ki je zmožno izdelati prefabricirane betonske elemente za oporni zid kot offsite gradnjo. Od njih smo pridobili cenike za elemente opornega zidu, ki se sidra v armiran betonski temelj, in osnovne podatke, s katerimi smo lahko opravili simulacijo opornega zidu kot offsite gradnje. S podjetjem JP Concrete smo bila v stiku več tednov, da smo pridobili cenik za betonske elemente opornega zidu različnih dimenzij, cenik

priporočenih tesnilnih mas za stike med njimi in ceno za celotno postavitev opornega zidu kot offsite gradnje. Ker se podjetje nahaja v Angliji (v Sloveniji nisem zasledila podjetja takšne vrste), smo morali predpostaviti (teoretično), da se podjetje nahaja v Sloveniji.

S pomočjo vzdolžnih in prečnih prereзов tradicionalnega opornega zidu, tehničnega poročila in izračuna obremenitev, ki vplivajo nanj (iz PZI podjetja ARS, d. o. o.), je projektant iz naše skupine lahko izbral različne elemente opornega zidu offsite gradnje, ki bodo zadoščali enakim pogojem kot tradicionalno zgrajen oporni zid. Oporni zid se po višini linearno spreminja ob cestišču, kot se spreminjajo tudi obremenitve nanj, kar je prav tako vplivalo na izbor elementov.



Slika 2: Shema opornega zidu s spremenljivo višino

Vir: (Lastni)

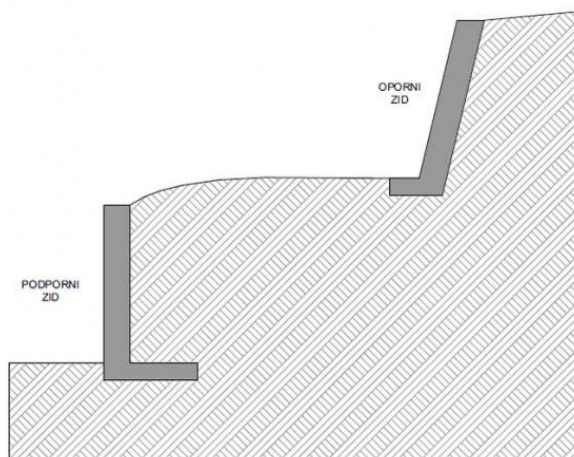
Z vsemi obstoječimi in novimi dokumenti smo lahko pripravili projektantski predračun, ki sem ga pozneje vključila v smiselno celoto diplomskega dela. Iz končnega popisa del m družinskega podjetja sem nato določile postavke, ki so bile potrebne za primerjavo obeh različnih načinov gradnje. Postavka za linijski betonski temelj recimo ni bila potrebna, saj oba načina gradenj opornega zidu potrebujeta vnaprej izdelan temelj AB.

Vsak večji gradbeni projekt je produkt večje skupine ljudi, kar sem lahko izkusila znotraj naše skupine. Znotraj skupine sem izkusila, da so dobra in jasna komunikacija, usklajenost delovanja znotraj skupine in hitro odpravljanje nastalih problemov lastnosti, ki so nujno potrebne za uspešno zaključen projekt. Rek »več glav več ve« se je potrdil v naši skupini, ko smo z debatami, lastnimi argumenti in raziskavami različnih virov prišli do ugotovitev in zaključkov, ki so osrednja tema diplomskega dela.

3 SPLOŠNO O OPORNIH ZIDOVIH

3.1 Oporni zid

Opisali bomo oporni zid, ki se od podpornega zidu razlikuje po načinu izvedbe temelja. Oporni zid spada med oporne konstrukcije in varuje vkopano brežino ter preprečuje zdrs zemlje (Mojmojster, Oporni zid ali škarpa, 2019).



Slika 3: Oporni in podporni zid glede na izvedbo

Vir: (www.mojmojster.net/clanek/757/Oporni_zid_ali_skarpa)

3.2 Kaj je oporni zid in razlika s podpornim zidom?

Oporni zid sodi med t. i. oporne konstrukcije, katerih glavna naloga je varovanje vkopanih brežin, da ne pride do zdrsa in posedanja terena. Poleg primarne naloge ima oporni zid še estetsko pomen. Razlika med opornim in podpornim zidom je v načinu izvedbe temelja. Podporni zid je namenjen varovanju oziroma podpiranju nasipa, zato je temelj izveden v zaledje zidu. Oporni zid pa je prvotno namenjen varovanju vkopanih brežin, kjer je temeljenje izvedeno s sprednje strani zidu (prav tam).

3.3 Izvedba opornega zidu v primerjavi s podpornim zidom

Izvedba opornega zidu se pravzaprav ne razlikuje od izvedbe podpornega zidu. Pri izvedbi opornega zidu je treba upoštevati pritisk zemlje na oporni zid, velikost temeljev, ustrezno armaturo in kakovost betonske mešanice oziroma primerno marko betona v primeru AB opornega zidu. Oporni zid je lahko iz armiranega betona, betonskih zidakov ali kamna (prav tam).

Najprej je treba izkopati gradbeno jamo s temelji. Na dno jame se nasuje gramoz, ki ga ustrezno utrdimo. Ko je podlaga dobro pripravljena in utrjena, jo betoniramo ter postavimo lesene opaže in vgradimo ustrezno armaturo. Armaturo predstavlja rebrasto železo, s stremeni povezano v t. i. armaturni koš. Sledi vlivanje betona v prej pripravljen opaž. Gradnjo opornega zidu lahko nadaljujemo, ko se beton ustrezno utrdi. Nekateri izvajalci gradbenih del se ne mudijo s pripravo lesenega opaža in v vnaprej pripravljeno gradbeno jamo preprosto vlijejo beton, kar pa velja za slabo izvedbo (Mojmojster, Oporni zid ali škarpa, 2019).

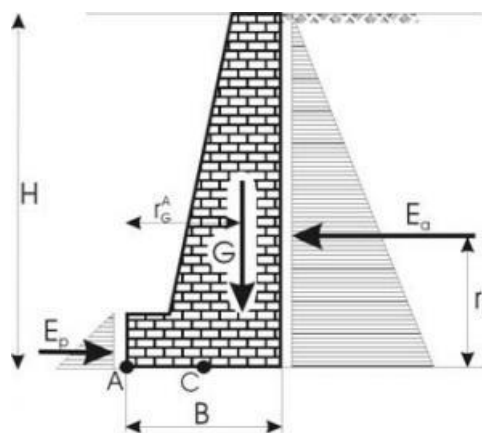
Po končani gradnji opornega zidu sledi postavitvev drenažne cevi s filtrom, po kateri odtekata padavinska in talna voda v ponikalnico ali meteorno kanalizacijo. Pri izvedbi opornega zidu ne smemo pozabiti na vgradnjo hidroizolacije, ki preprečuje vdor vode in posledično nastajanje raznih poškodb, korozije, rjavenja, pokanja in podobnih stvari (prav tam).

3.4 Oporni zid glede na izvedbo

Obremenitvi z zemeljskimi pritiski se zoperstavijo z lastno težo. So toge ali gibke in iz različnih materialov ter najrazličnejših oblik. V nadaljevanju bomo predstavili dve obliki, ki sta pomembni za to diplomsko delo (Logar, Oporne in podporne konstrukcije, 2019). To sta:

- kamnita zložba,
- armirano betonski podporni zid (zrcalna oblika črke L).

Bistveni sili, ki nastopata v statični obravnavi težnostnih podpornih konstrukcij, sta aktivni zemeljski pritisk in lastna teža konstrukcije. Na težnostno podporno konstrukcijo lahko vplivajo tudi druge ugodne ali neugodne obremenitve (prav tam).

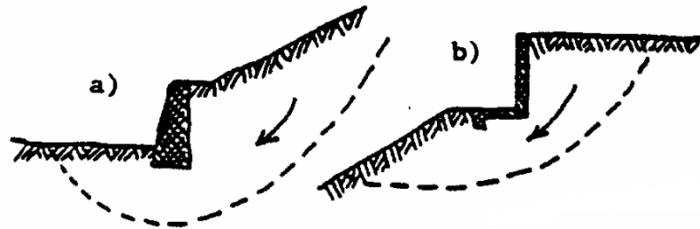


Slika 4: Osnovne količine za statično analizo težnostnih podpornih konstrukcij

Vir: (fgg-web.fgg.uni-lj.si)

Pri statični analizi podpornih konstrukcij moramo preveriti naslednja mejna stanja (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2019):

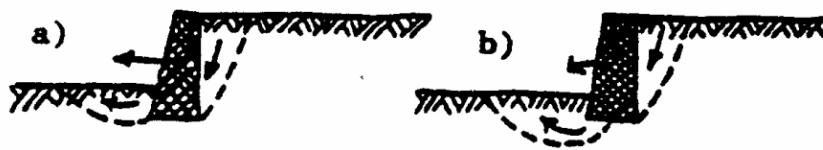
- globalno stabilnost,



Slika 5: Globalna stabilnost opornega zidu

Vir: (fgg-web.fgg.uni-lj.si)

- prevrnitev,
- lego rezultante v dnu temelja,
- zdrs pod temeljem,
- nosilnost temeljnih tal,



Slika 6: Oporni zid; prevrnitev, zdrs, nosilnost temeljnih tal

Vir: (fgg-web.fgg.uni-lj.si)

- mejna stanja zaradi strujanja talne vode,
- dimenzioniranje kritičnih prerezov opornih konstrukcij.



Slika 7: Možne poškodbe opornih zidov

Vir: (www.fgg.uni-lj.si)

Postopek statične presoje težnostnega podpornega zidu (Logar, Oporne in podporne konstrukcije, 2019):

1. Račun projektnega aktivnega zemeljskega pritiska ob upoštevanju predpisanih količnikov varnosti
2. Račun projektne vrednosti lastne teže konstrukcije
3. Račun preostalih obremenitev (pasivni zemeljski pritisk)
4. Statične kontrole

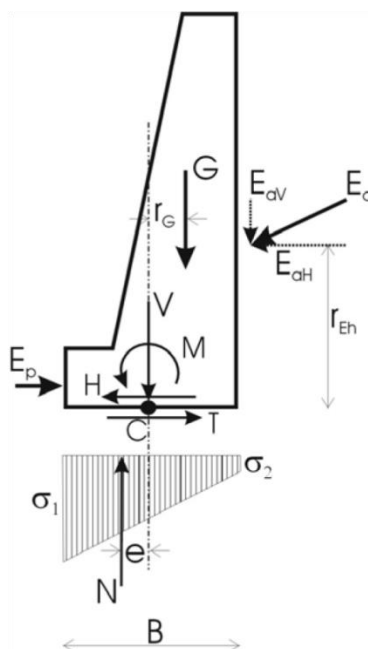
- Globalna stabilnost $\Rightarrow$ stabilnostna analiza
- Prevrnitev:

$$M_{prev} = E_a r_E$$

$$M_{odp} = Gr_G^A$$

$$M_{prev} \leq M_{odp}$$

- Lega rezultante v dnu temelja: Standardi zahtevajo, da je večji del prereza tlačni (od 60 % do 100 %). Ta pogoj vsebuje tudi kontrolo prevrnitve, saj je v trenutku prevrnitve rezultanta izven prereza, kar pomeni, da niti del prereza ni tlačni. Pri posameznih vrstah težnostnih podpornih konstrukcij so potrebne še dodatne kontrole, ki se nanašajo na dimenzioniranje prerezov podpornih konstrukcij. Kamnite zložbe običajno preverjamo z analizami globalne stabilnosti. Pri AB težnostnem zidu dimenzioniramo prerez zidu.



Slika 8: Sile in momenti, ki delujejo na težnosten oporni zid

Vir: (www.fgg.uni-lj.si)

Kritično vrednost ekscentričnosti predpisujejo standardi, običajno v deležu tlačnega temelja. Najstrožjemu merilu, da je cel temelj tlačen, za pravokoten temelj zadostimo z zahtevo, da je rezultanta v jedru prereza (Logar, Oporne in podporne konstrukcije, 2019):

$$e_{kr} = B/6$$

3.5 Kamnita zložba

Zložba je iz kamna nepravilnih oblik v betonu ali brez veziva. Pri večjem deležu kamna veljajo značilnosti kamnitega podpornega zidu, če prevladuje beton, pa tako konstrukcijo smatramo kot nearmiran betonski zid. Kamnite zložbe v ožjem pomenu besede so brez betona ali z minimalno količino betona, zato so gibke in tako primerne za sanacije manjših plazov. So tudi prepustne za vodo, zato jih voda ne obremenjuje s hidrostatskimi tlaki. Med kamni se sčasoma ustvari humus in požene rastlinje (prav tam).

3.6 (Armirano) betonski podporni zid

Večina težnostnih podpornih zidov je danes zgrajena v betonu. Zaradi potrebe po teži so taki zidovi masivni, zato so lahko minimalno armirani. Če zadoščajo zidovi manjših prereзов, jih je treba ustrezno armirati. Beton omogoča najrazličnejše oblikovanje zidov, kar lahko izkoristimo za optimiranje konstrukcije v statičnem smislu in tudi za arhitektonsko oblikovanje čela zidu. Betonski težnostni zidovi slabo sledijo deformacijam. Če je

uporabljena armatura, zid le redko razpoka, na dilatacijah pa pride do diferenčnih premikov. Taki zidovi so za vodo neprepustni, zato je nujno skrbno odvodnjavanje zalednih in površinskih vod (Logar, Oporne in podporne konstrukcije, 2019).

3.7 Cene opornih zidov

Cena za oporni zid je v osnovi odvisna od izvajalca, uporabljenih materialov opornega zidu in dimenzij opornega zidu ter se ne razlikuje v primerjavi s ceno podpornega zidu. Za oporni zid se v povprečju odšteje 135 €/m², saj se cene gibljejo od 120 do 150 €/m² (Mojmojster, Oporni zid ali škarpa, 2019).

4 PRIKAZ GRADNJE OPORNEGA ZIDU PODJETJA KUSTER D. O. O.

4.1 Opis začetnega stanja

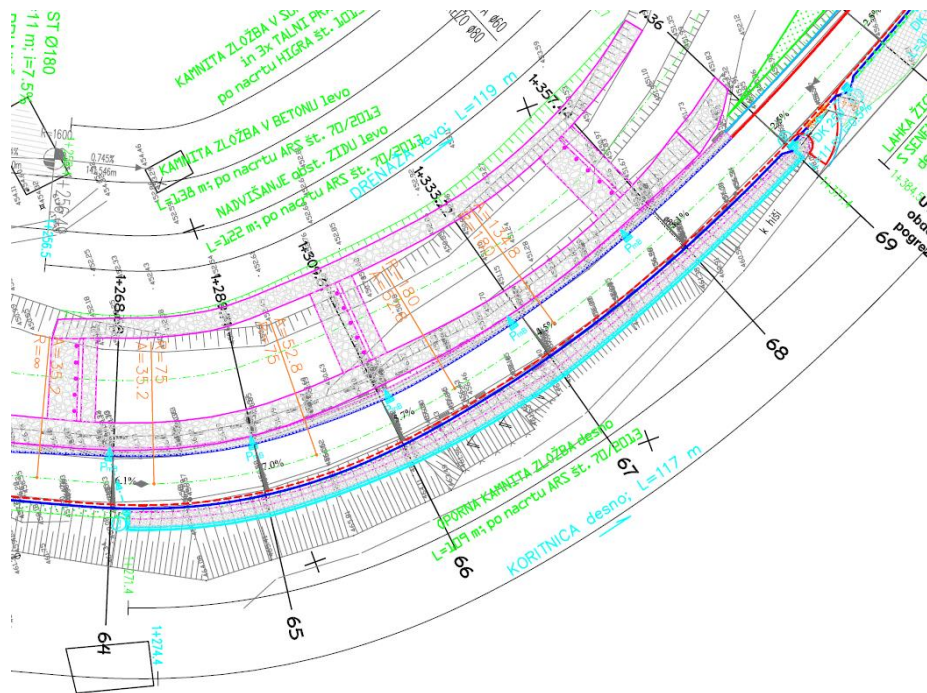
Ministrstvo za infrastrukturo in prostor (Direkcija Republike Slovenije za ceste) je 14. 11. 2012 izdalo projektno nalogo, katere cilj je obnova regionalne ceste R2-425/1265 Poljana–Šentvid od km 0 + 100 do km 1 + 580.



Slika 9: Prikaz obnovljene ceste v cestnem omrežju

Vir: (Lastni)

Oporni zid je lociran na delu glavne ceste od km 1 + 271,33 do km 1 + 377,36 in poteka od profila P64 do profila P69 v skupni dolžini 106,18 m. Obstoječ oporni zid je bil v zelo slabem stanju. Nov oporni zid (kamnita zložba) se je zgradil v sklopu rekonstrukcije regionalne ceste. Višinski potek vrha opornega zidu določa niveletni potek ceste in višino zalednega terena. Njegova variabilna višina se giblje od 1,73 do 3,60 m. Globino temeljev opornega zidu določa cestno telo.



Slika 10: Gradbena situacija – potek opornega zidu od profila 64 do 69

Vir: (Lastni)

Projekt novogradnje opornega zidu je bil pripravljen na osnovi podatkov o zatečeni in obnovljeni geometriji ceste, privzeti iz PZI projekta rekonstrukcije ceste, ki ga je pod št. 828/13 izdelalo podjetje TRASA, d. o. o. iz Maribora. Nadalje so se upoštevali podatki o geološko-geotehničnih preiskavah, ki jih je za potrebe temeljenja opornega zidu pod št. 828/13 pripravilo podjetje TRASA d. o. o. iz Maribora.

Pogoje za gradnjo so narekovali tehnični pogoji dispozicije glavne ceste in specifični pogoji na mikrolokaciji opornega zidu.

4.2 Geološko-geotehnično poročilo

Na obravnavani lokaciji so bile izvedene terenske preiskave z geodetskim posnetkom ter oceno hribinske sestave in njenih lastnosti. Geološko-geotehnične razmere so bile povzete po pregledu geološke karte obravnavanega območja in iz znanih podatkov za širše območje obravnavane lokacije. Obravnavano območje se nahaja na Osnovni geološki karti Ravne L33-54 in pripada tektonski enoti Vzhodne Alpe. Ozemlje tega območja je tektonsko razkosano s prelomi in nagubano. Hribino tvori temen filitoiden skrilavec (O, S) z vložki peščenjaka. Skrilavec je sestavljen iz kremenca, muskovita, drobcev kamenin in ponekod drobcev oksidiranih kovinskih mineralov. Skrilavec ponekod prehaja v peščen skrilavec in kremenov

peščenjak. Na površini filitoidni skrilavci preperevajo v deluvialno preperino (de). To je grušč primarnih kamnin z meljno peščenim, redkeje glinastim vezivom. Grušč je različno sprejet in je rjave do svetlo rjave barve. Hribinski pokrov tvorijo aluvialni sediment (al). Tvorijo ga drobnozrnata do srednjezrnata prodno peščena zemljina, pesek in peščeni melj s koščki grušča.

Tipična sestava tal v pobočju

0,00–0,10 m: humus

0,10–0,90 m: UN – zameljen drobir in grušč skrilavca, svetlo rjave barve

0,90–2,20 m: zaglinjen (CL) grušč hribine, rjave barve

2,20–2,50 m: samica skrilavca, sive barve

2,5–5,00 m: močno zaglinjen (CL) drobir in grušč hribine z vložki Sudr., rjave barve

5,00–5,50 m: zaglinjen drobir in grušč hribine z vložki Sudr., rjavo sive barve (MOKRO)

5,50–6,90 m: močno zaglinjen (CL) grušč, sivo rjave barve

6,90–7,10 m: CL, srednje g. kons., sive barve

7,10–7,40 m: Sudr., sive barve

7,40–7,80 m: grušč s peščeno glinastim vezivom, rjavo sive barve

7,80–8,10 m: skrilavec, sive barve

8,10–8,50 m: prepereli skrilavec z glinastimi vložki, sive barve

Pobočje, kjer se je gradil oporni zid, je stabilno. Cesta z razširitvami ne posega vanj. Na obravnavani lokaciji se je cesta razširila v pobočje. Obstoječ dotrajan oporni zid, ki je bil na obravnavani lokaciji, se je pred gradnjo novega zidu porušil.

Posedki konstrukcije so bili minimalni, saj se je temelj opornega zidu izvedel v hribinsko plast. Nasipi so se vgrajevali po slojih s sprotnim utrjevanjem, kjer so se upoštevali pogoje za cestne konstrukcije. Tako so bili posedki nasipa minimalni. Projektni odpor tal je bil izračunan po merilu SIST EN 1997-1-Eurocode 7. Globina temeljenja opornega zidu je 1,90 m z dopustno napetostjo v tleh 300 kap. Ker se je temeljenje izvedlo v sloj hribine, je bila dejanska nosilnost tal višja od podane, zato izvedba podpornih konstrukcij ni bila problematična z vidika dopustnih napetosti. Do konsolidacijskih posedkov ni prišlo.



Slika 11: Dotrajan oporni zid, ki se je porušil (levo ob cestišču)

Vir: (Lastni)

Pobočja so lokalno strma in stabilna, kar nakazuje visoko trdnost hribine v kompaktnem stanju. Mikrolokacija obravnavane ceste je definirana. Tla v območju ceste niso razmočena. Precejne vode so bile ugotovljene v malem obsegu. Na mikrolokaciji so bile izvedene predhodne in dodatne geološko geotehnične preiskave, s katerimi je bilo ugotovljeno, da zemljinski pokrov tvori prodno peščena zemljina, pesek in peščeni melj s koščki grušča.



Slika 12: Porušitev in odstranitev obstoječega zidu iz cementnega betona

Vir: (Lastni)

Obravnavava seizmične rajonizacije, katere cilji so karta seizmične prognoze, temelji na osnovi seizmometričnih in globalnih geoloških podatkov. Tako na karti dobimo izolinije, ki ločijo

območja z različno seizmičnostjo glede na jakost potresov, ki se lahko tam pojavijo. Karta je le približna ocena, saj temelji na podatkih, ki so časovno omejeni in obenem nezanesljivi. Na širjenje potresnih valov vplivajo tudi lokalne razmere, ki jih ni vedno mogoče predvideti.

Zasnova opornega zidu je prirejena prognozirani dovoljeni napetosti tal pod temeljno stopo $\sigma_{dov} = 0,30$ MPa. Preostale fizikalne karakteristike zemljin so $c = 14$ kN/m², $\phi = 30^\circ$, $\gamma = 20$ kN/m³ za zgornje sloje, ki ustrezajo temeljnemu polprostoru, sestavljenemu iz plasti zaglinjenega gruča, in spodnji nosilni sloj $c = 10$ kN/m², $\phi = 35^\circ$, $\gamma = 22$ kN/m³, ki ustreza temeljnemu polprostoru nosilne hribine skrilavca.

4.3 Statični izračun elementov objekta

4.3.1 Obtežbe in obremenitve

Oporni zid je dimenzioniran na vplive stalne, občasne in dopolnilne obtežbe. Stalno obtežbo predstavljajo gravitacijske sile in posledično zemeljski pritisk. Privzet je bil aktiven zemeljski pritisk zasipne zemljine s prostorninsko maso $\gamma = 20,0$ kN/m², kotom notranjega trenja $\phi = 30$ in kohezijo $c = 14$ kPa. Nad opornim zidom poteka lokalna dostopna cesta. V analizi je upoštevan obtežni primer s težkim vozilom $p = 16$ kN/m², kar ustreza obtežbi dostavnih in interventnih vozil. Obremenitve v konstrukciji opornega zidu oziroma statične količine, ki jih ponazarjajo, so prikazane v analizi konstrukcije, kjer je tudi podana analiza stabilnosti opornega zidu proti zdrsni in prevrnitvi. Oporni zid je dimenzioniran na mejno stanje nosilnosti, stabilnosti in uporabnosti.

Oporni zid bo ojačan z rebrasto ojačilno armaturo S 500 (B) visoke duktilnosti, tj. naravno trdno jeklo. V statičnem računu je za bistvene prereze oziroma elemente konstrukcij prikazan princip armiranja. V projektu so bila upoštevana pravila za konstruiranje armature, prikaz potrebne količine armature vzdolž posameznih elementov opornega zidu in armature v detajlih. Upoštevana so bila tudi pravila za armiranje elementov konstruiranih po principu »bele kadi«.

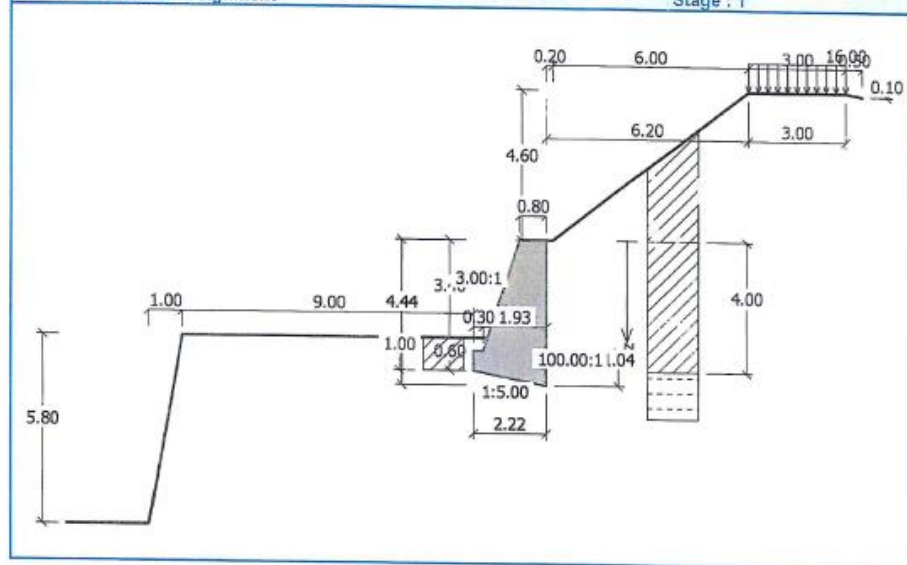
Angle of friction struc.-soil : $\delta = 23,00^\circ$
 Soil : cohesionless
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 22,00 \text{ kN/m}^3$

Geological profile and assigned soils

No.	Layer [m]	Assigned soil	Pattern
1	4.00	zaglinjan grusc	
2	-	prepereli skrilavec	

Name : Profile and assignment

Stage : 1



Slika 13: Geološki profil in predpostavljene zemljine

Vir: (Lastni)

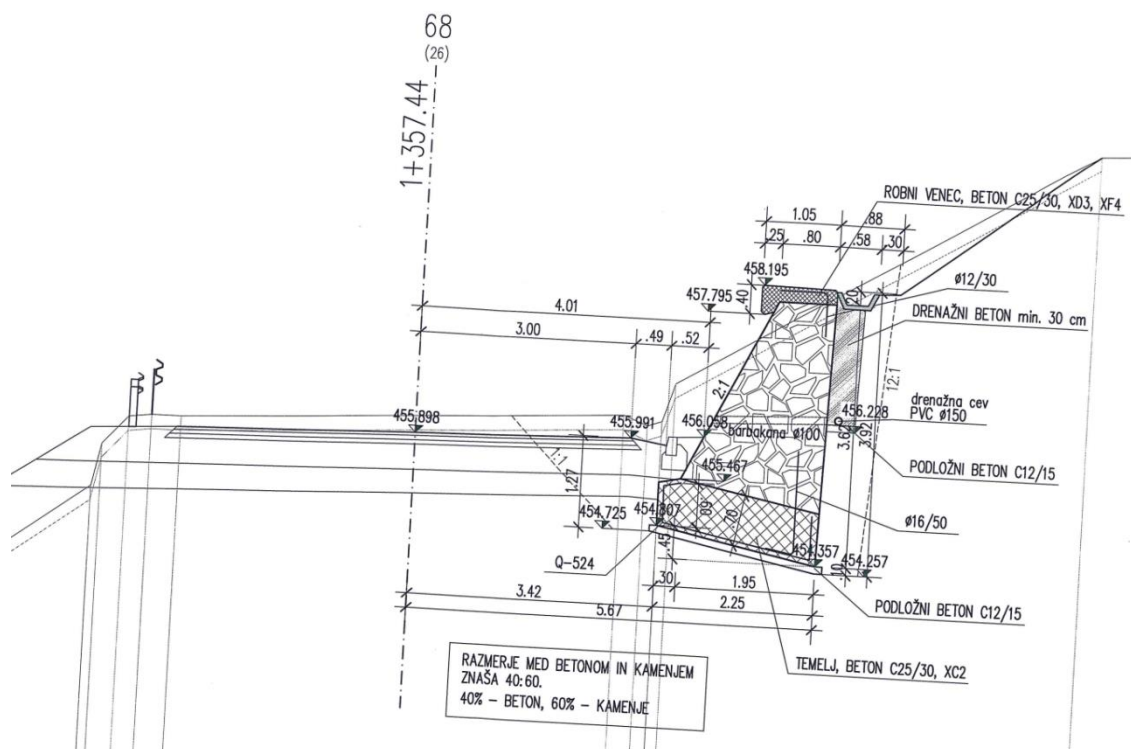
4.4 Izvedba opornega zidu

Lokacija: od profila P64 do P69

Skupna dolžina: 106,18 m

Minimalna/maksimalna višina: 1,73/3,60 m

Oporni zid se je izvedel s temeljenjem v kompaktno hribinsko osnovo na pasovni temelj širine 2,25 m, ki se je izvedel pod naklonom 10° na predhodno izveden podložni beton. Do osnove se je izvedel izkop pod naklonom 5 : 1, ki ima spodaj ustrezno širino glede na višino zidu (iz analize podpornih konstrukcij). Višina opornega zidu s temeljem znaša od 3,26 m do 5,17 m. Temeljenje sega po celotni širini, s spodnjim delom pa minimalno 0,3 m v predviden sloj. Temeljna stopa se začne 1,25 m pod nivojem kote asfalta na robu vozišča. Oporni zid je spreminjajoče se debeline glede na višino v posameznem prečnem prerezu in znaša od 1,55 m do 2,10 m, gledano v nivoju prereza pasovnega temelja. Takšna debelina je bila sprejeta predvsem zaradi potrebe po zagotavljanju stabilnostnih pogojev in obstojnosti konstrukcije.



Slika 14: Tradicionalno zgrajen oporni zid

Vir: (Lastni)

Podložni beton se je izvedel z betonom C 12/15, v debelini 20 cm. Na podložni beton se je izvedla drenaža iz fleksibilne drenažno odtočne cevi premera DN 150 mm. Drenažna cev se je obbetonirala z drenažnim betonom v debelini 0,3 m. Naklon drenaže je najmanj 2 % v smeri proti iztoku. Iztok se je izvedel preko »slepega« betonskega jaška premera 40 cm. Trup opornega zidu se je izvedel iz kamnitih blokov velikosti od 40 do 10 cm. Posamezne kamne je bilo treba zlagati tako, da je dosežena čim večja zaklenjenost. Kamni so se polagali na nestrjen beton C 30/37, s čimer je bila dosežena kompaktnost zložbe. Razmerje med betonom in kamnom v prečnem prerezu znaša 40/60 (40 % – beton, 60 % – kamenje). Po SIST EN 206 mora beton, ki bo vgrajen v elemente, ki bodo obratovali v okolju, s stopnjo izpostavljenosti XF4 in XD3 (robni venec – kroma opornega zidu), kar je v okolju z zmernim nasičevanjem z vodo, ki vsebuje talilne soli, ob istočasni izpostavljenosti zmrzovanju. Temeljna stopa mora zagotavljati odpornost v okolju s stopnjo izpostavljenosti XC2, kar je v mokrem oziroma občasno suhem okolju (velja za elementa v stiku z zemljino). Okolje ustreza objektom ob prometnih površinah, ki so izpostavljeni pršenju (meglici) solnice z vozišča.

Vse dilatacijske rege, delovni stiki in navidezne fuge so bili izvedeni v robnem vencu in so izvedeni vodotesno z vgradnjo trajno elastičnega materiala na sprednji in zasuti strani. Izza

zidov se je vgradil zasip do stopnje zgostitve 92–95 % MMP. Na prednji strani (na strani cestišča) je nasip zgoščen na najmanj 98 % MMP pod planumom posteljice oziroma po projektu ceste.

Odvodna zaledne vode je bila urejena z vzdolžno drenažo, položeno v drenažnem betonu, prečnimi barbakani prereza Ø100 mm in zaledno betonsko koritnico v nivoju krone opornega zidu. Vsa voda se linijsko in točkovno odvaža do dveh zbirnih revizijskih jaškov BC Ø1000 in nadalje v reko Mežo.

4.4.1 Pogoji za izvedbo elementov opornega zidu

Oporni zid je bil grajen v odprti gradbeni jami, po kampadah dolžine največ 3 m. Oporni zid se gradil tako, da se izvajala vsaka druga kampada (1, 3, 5, 7 ...) in nato vmesna, izmenično (2, 4, 6 ...). Stiki med posameznimi kampadami so se izvedli neprekinjeno brez dilatacijskih stikov. Armatura pasovnih temeljev se preklaplja glede na prerez vzdolžnih palic in znaša od 60 do 70 cm. Krona opornega zidu, to je robni venec, se izvede naknadno, v kampadah dolžine 12 m, in je dilatirana. Dilatacija se izvede s stiropor ploščo (ali enakovredno) debeline 1 cm in trajno elastično zalivko. Beton robnega venca je iz betona C30/37. Beton mora zagotavljati potrebno odpornost za ekspozicijski razred XF4, XD3.



Slika 15: Prikaz izgradnje opornega zidu podjetja KUSTER d. o. o.

Vir: (Lastni)

Pri gradnji opornega zidu se je uporabil beton z zagotovljeno minimalno trdnostjo, določeno za C30/37. Beton zagotavlja potrebno odpornost za ekspozicijski razred XF4, XD3 (prometne površine ob cestah, izpostavljene meglici vode s talilnimi solmi), XC2 (konstrukcijski elementi v kontaktu z zemljino) in v zvezi s tem ustreza določilom SIST EN 206-1. Dovoljena karakteristična velikost razpoke je $w_k \leq 0,25$ mm. Širine razpok so bile omejene na predpisano vrednost z uporabo ustreznih dodatkov (upočasnjevalcev vezanja), z nizkim v/c faktorjem in s pravilnim programiranjem postopka vgradnje. Beton je ojačan z jeklenimi rebrastimi palicami iz jekla trdnosti S 500 (B) visoke duktilnosti oziroma mrežami M 500(B). Zaščitna plast betona je bila poenotena na $a = 5,0$ cm.

4.4.2 Ureditev prometa med gradnjo

Ker je obravnavani oporni zid na območju cestnega telesa, bo med gradnjo treba urediti promet po projektu začasnega prometa glede na izvedbo rekonstrukcije predmetnega odseka.

4.4.3 Arhitekturno oblikovanje objekta

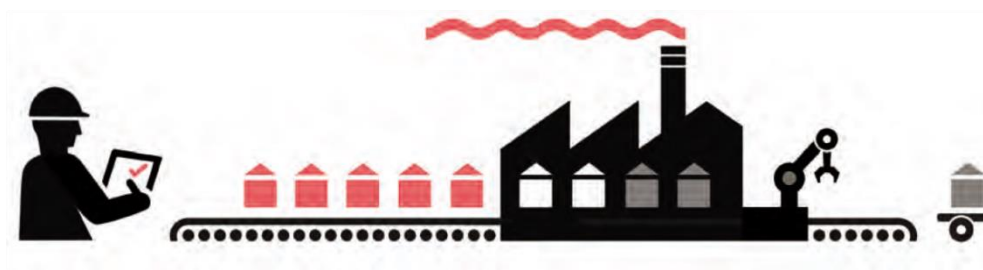
Oporni zid je relativno nizek, brez večje vplivne motnje v okolju, zato dodatni ukrepi vklapljanja niso bili predvideni. V območju nad opornim zidom je travnik s posameznimi sadnimi drevesi, v dolžini 30 m pa je urejen vrt. Višje poteka še dovozna cesta k stanovanjski hiši. Zaradi možnosti padca z novega opornega zidu se po njegovi celotni dolžini izvede zaščitna ograja dolžine 110,60 m in višine 1,20 m.

4.4.4 Posebne zahteve med gradnjo

Med gradnjo izkopanih materialov ni bilo dovoljeno odlagati na vodno ali priobalno zemljišče vodotoka. Po končani gradnji je bilo treba odstraniti vse za potrebe gradnje, postavljene provizorije in odstraniti vse ostanke začasnih deponij. V času gradnje so bili zagotovljeni vsi potrebni varnostni ukrepi in organizacija na gradbišču, ki je preprečevala onesnaženje okolja in voda, ki bi nastalo zaradi transporta, skladiščenja in uporabe tekočih goriv in drugih nevarnih snovi. Vsačasna skladišča in pretakališča goriv, olj in maziv so bila zaščitena pred izlivom v tla in vodotoke.

5 OFFSITE GRADNJA

Offsite gradnja predstavlja postopek načrtovanja, projektiranja, izdelave, transporta in sestavljanja gradbenih elementov za hitro sestavitev, ki so veliko bolj izpopolnjeni kot pri običajni tradicionalni gradnji, kjer se večkrat dograjujejo/zaključujejo na gradbišču. Offsite gradnja zajema več vrst materialov, razsežnosti in sistemov, digitalno programsko opremo, metode izdelave in proizvodnje ter inovacije v socialni in tehnološki povezavi. Izdelava zajema komponentirane, panelizirane in prefabricirane elemente, ki se uporabljajo v strukturnih, ograjenih, servisiranih in notranjih predelnih sistemih (proizvodnih tovarnah). Optimizacijska strategija offsite gradnje je dobra povezava teh sistemov in organizirana dobava, kar dosežemo z raziskavami, načrtovanjem, testiranjem in izdelavo prototipov (NRB (USA), INC., 2014).



Slika 16: Simbolična tovarna offsite gradnje

Vir: (http://www.constructionmanagemagazine.com/client-media/pdfcontent/CM_September_2018.pdf)

Največkrat so offsite izdelki v večini izdelani v tovarni, v nekaterih primerih tudi do 95 %. Glavni cilj tovarne je izdelke izdelati in uporabiti bolj ekonomično, hitreje ali boljše kot konkurenca. Grajenje s prefabriciranimi betonskimi elementi temelji na tovarniški proizvodnji teh elementov, kateri se pozneje transportirajo na lokacijo gradbišča, kjer se sestavijo v celoto. Obstajajo samo trije razlogi za ekonomsko upravičenost offsite gradnje (Bachmann & Steinle, 2018):

- večkratna uporaba istega modela za en element,
- boljša kakovost izdelave, še posebej betonskih površin,
- predprodukcija za hitrejšo gradnjo na gradbišču.

Če lahko zajamemo vse tri prednosti, je lahko gradnja s prefabriciranimi betonskimi elementi zanimiva možnost projekta. Včasih je lahko samo ena prednost offsite gradnje dovolj, da postane del projekta (Bachmann & Steinle, 2018).

5.1 Offsite betonska gradnja

Beton se v gradbeništvu uporablja pogosto, saj je gradivo z izjemno trdnostjo in trajnostjo. Uporablja se predvsem za javne objekte, pogosto pa posamezniki po betonu posegajo tudi, ko gradijo individualen objekt. Največkrat se betonski objekti gradijo na lokaciji, z vlivanjem betona, mogoče pa je graditi tudi s prefabriciranimi betonskimi elementi, ki se kasneje sestavijo v objekt na gradbišču (Mojmojster, Montažna betonska gradnja, 2019).

Pri offsite betonski gradnji se uporabljajo prefabricirani elementi, ki so predčasno narejeni v tovarni. V betonske elemente je že vgrajena armatura. Izbiramo lahko med različnimi prefabriciranimi elementi, ki jih najdemo na trgu. Večkrat ponudniki prefabriciranih betonskih elementov te izdelajo po naročilu, glede na izvedbene načrte. Če želimo poceniti gradnjo, moramo gledati, da bodo uporabljeni elementi v veliki meri enaki. To mora upoštevati že arhitekt pri risanju načrtov. Tako so objekti, zgrajeni iz prefabriciranih betonskih elementov, pogosto zgrajeni na modul. Razdalja med različnimi nosilnimi elementi je enaka. Prav tako je pomembno, da elementi niso preveliki in da jih je mogoče transportirati na lokacijo gradnje (prav tam).

Pri offsite betonski gradnji se dostikrat uporabijo elementi različnih vrst, ki skupaj tvorijo skeletno konstrukcijo. V tem primeru so pogosti nosilni točkovni in linijski elementi, stebri in nosilci, med nosilnimi elementi pa so vgrajena nenosilna polnila. Nosilni sistem pogosto sestavljajo vertikalni linijski elementi, stebri, ki že vsebujejo mehko armaturo. Stebri so med seboj povezani z vodoravnimi nosilci (prav tam).

Pri gradnji montažnega objekta lahko uporabimo tudi prefabricirane betonske stene, ki so prav tako vnaprej izdelane v tovarni. Stene so sestavljene iz betonskih plošč, ki jim je že predhodno vgrajena armatura. V tovarni se v steno vgradijo tudi odprtine za okna in vrata. Ta sistem gradnje je izjemno potresno varen, saj imajo stene vgrajeno armaturo po celotni površini zidov (prav tam).

Ko so elementi izdelani v tovarni, se s tovornjakom pripeljejo na lokacijo. Predhodno se že naredijo gradbena jama in temelji, ki so prav tako lahko prefabricirani. Prefabricirana konstrukcija se najprej zloži na lokacijo, nato pa sestavi na obstoječe temelje (prav tam).

5.2 Trajnostni prefabricirani betonski elementi

Prefabricirani betonski elementi imajo veliko vlogo v gradbeništvu; od množične proizvodnje majhnih stvari, ki so hidravlično stisnjene v zelo avtomatiziranih tovarnah, kot so betonske opeke, tlakovci in strešne opeke, do množične proizvodnje večjih izdelkov, kot so cevi, piloti in talne grede, in strukturnih elementov, ki so izdelani po specifičnih inženirskih in arhitekturnih zahtevah (British Precast Concrete Federation).

Materiali, ki se uporabljajo za izdelavo gotovih prefabriciranih betonskih elementov, so pridobljeni iz naravnih in recikliranih virov, predvsem anorganskih. Večina teh materialov je šla skozi minimalno predelavo ali kemično obdelavo, da so postali primerni za uporabo, kar pomeni, da ima beton relativno nizko utelešeno energijsko vrednost, za razliko od zelo predelanih materialov, kot je plastika (prav tam).

Trajnost v tovarni prefabrikaže pomeni dostopanje do lokalnih virov, zmanjševanje odpadkov in zagotavljanje, da so sistemi ravnanja z okoljem v skladu s postavljenimi okoljskimi standardi. Nove tovarne vključujejo velike sisteme recikliranja in delujejo kot vzorniki proizvodnje v Združenem kraljestvu. Zelo učinkoviti sistemi za recikliranje, ki se uporabljajo v tovarnah prefabrikaže, omogočajo, da se praktično vsa uporabljena voda, odpadna voda, agregati ali cement varno izločijo in ponovno uporabijo v proizvodnji. To pomeni, da imajo delujoč zaključen krog – takšen, ki zmanjšuje vse odpadne materiale v tovarni na najmanjšo vrednost (prav tam).

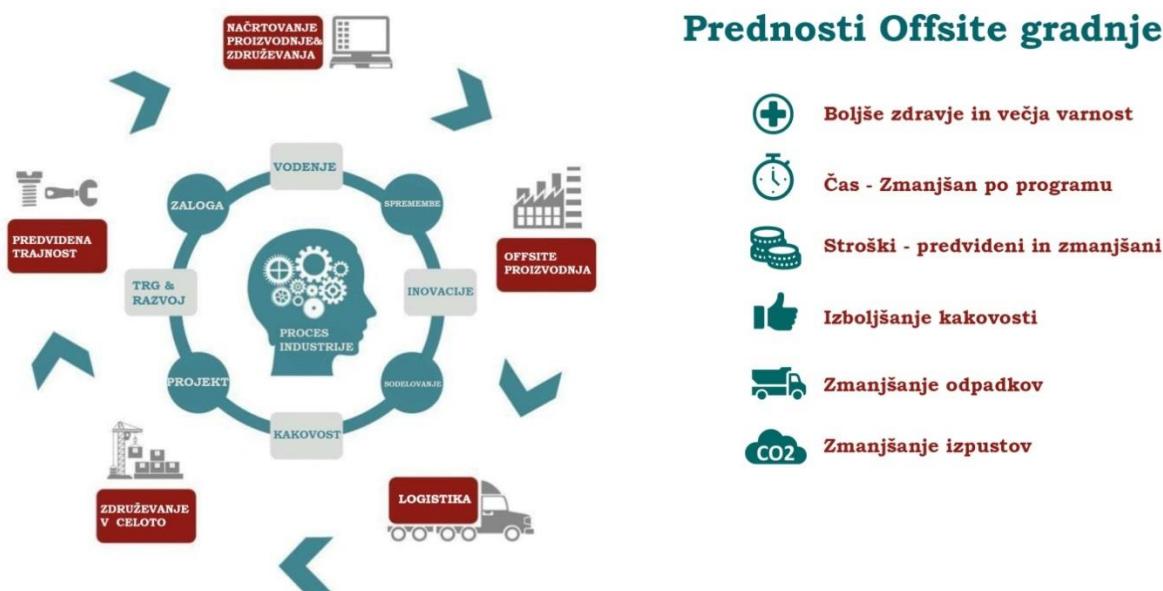
V svoji življenjski dobi bodo prefabricirani betonski elementi, skupki agregatov in siporeks učinkovito ponovno absorbirali večino ogljikovega dioksida, ki je bil uporabljen za njihovo izdelavo; s procesom, imenovanim karbonatizacija, ki se pojavi ob koncu življenjske dobe izdelkov, ko so zdrobljeni za recikliranje (prav tam).

Izbira prefabriciranih betonskih elementov za gradnjo pomeni, da dosegamo trajnost. Bistvena lastnost elementov je, da vzdržijo raznorazne vremenske razmere, poškodbe ali eksplozije. Kakovost življenja je zelo pomembna pri trajnosti, ki narekuje, da se zgradi okolje, ki bo služilo še naslednjim generacijam, ne samo današnjim. Prefabricirani betonski elementi lahko v veliki meri pripomorejo k trajnostnemu razvoju planeta Zemlje (prav tam).

5.3 Prednosti offsite gradnje

5.3.1 Boljša varnost in zaščita

V primerjavi s tradicionalno gradnjo ima offsite gradnja skrajšan čas in aktivnost, kar je posledica skrajšanega terminskega načrta in dejstva, da prefabricirani elementi na mesto gradnje pridejo do 90 % zaključeni. Rešitve offsite gradnje potrebujejo manj dela na gradbišču, kar pomeni manj motenj na gradbišču, kot sta prah in hrup, in manj zdravstvenih in varnostnih tveganj za delavce. Pravzaprav lahko offsite gradnja izloči potrebo po delu na višini, ki je glavni vzrok za smrtne žrtve na gradbišču. Večinski del offsite gradnje poteka v veliko bolj nadzorovanem okolju kot tradicionalna gradnja (Krivec, Prefabricirani gradbeni elementi imajo vse večjo veljavo, 2018).



Slika 17: Shema prednosti offsite gradnje

Vir: (Lastni)

5.3.2 Skrajšan čas

Ker velik del gradnje poteka izven lokacije gradbišča, v nadzorovanem okolju, ne bo prišlo do časovnih zamud zaradi slabega vremena, ki bi poškodovale terminski načrt. Vsi materiali so naročeni in shranjeni v suhem skladišču in tako ne pride do izgub materiala zaradi nepredvidene škode na gradbišču ali kraje. Največji dejavnik, ki omogoča skrajšan terminski načrt gradnje, je, da se gradbišče izvede hkrati z gradnjo v tovarni, kar lahko čas celotne gradnje skrajša tudi do 50 %. Po nekaterih analizah je določene prefabricirane elemente v

nadzorovanih pogojih mogoče izdelati kar 65-krat hitreje (Krivec, Prefabricirani gradbeni elementi imajo vse večjo veljavo, 2018).

5.3.3 *Izboljšana kakovost*

Gradbene elemente proizvajalec izdelava v tovarni ob povsem nadzorovanih pogojih, kar pomeni, da je kakovost teh izdelkov precej višja, kot če se objekt gradi zunaj, v različnih letnih časih, pri različnih temperaturah in stopnjah vlažnosti. Izdelani elementi se prepeljejo na gradbišče, kjer se vgradijo v konstrukcijo. Pri tej vrsti gradnje objektov podjetja uporabljajo različne tehnologije, ki temeljijo na informacijskih tehnologijah. Še posebej podjetja spremljajo posamezne delovne procese in natančno analizirajo kakovost izdelanih elementov (prav tam).



Slika 18: Izdelovanje prefabriciranih betonskih elementov v tovarni

Vir: (www.theconstructionindex.co.uk/news/view/new-production-line-for-portakabin)

5.3.4 *Zmanjšanje odpadkov*

Količina odpadkov med gradnjo se zmanjša, saj potrebujemo malo energije za njihovo ponovno uporabo in z delom v nadzorovanem, suhem okolju. Materiali, ki ostanejo od enega projekta, se lahko ponovno vnesejo v inventar v skladišču za ponovno uporabo pri drugem projektu. Tovarna spoštuje stroge programe za recikliranje, ki upravljajo preusmerjanje katerih koli odpadkov do odlagališč. Končno in tisto, kar offsite gradnjo pomakne daleč pred tradicionalno, je bistvena sposobna razgraditi, preseliti in ponovno zgraditi celotno strukturo, kar prikazuje optimalen vzgled »ponovne uporabe« (prav tam).

5.3.5 Zmanjšanje izpustov

Offsite gradnja je trajnostna, saj tovarne lahko veliko lažje nadzorujejo energijo in emisije kot gradbišča. Številni offsite proizvajalci iščejo alternativne, obnovljive metode proizvodnje električne energije za svoje proizvodne in montažne tovarne. Gradbišča so v zadnjih letih znatno napredovala v zmanjševanju količine odpadkov in recikliranju, deloma zaradi povečanih davkov na odlagališča. Vendar so tovarne še vedno veliko bolj učinkovite v zmanjševanju odpadkov in recikliranju neuporabljenih materialov kot gradbišča (Krivec, Prefabricirani gradbeni elementi imajo vse večjo veljavo, 2018).

5.3.6 Manj hrupa in odpadkov, večja varnost

Pri offsite gradnji se na gradbiščih zelo zmanjša hrup, saj se prefabricirani elementi le vgradijo na predvideno mesto. Poveča se tudi varnost pri delu v tovarnah, kjer elemente izdelujejo, in tudi na gradbišču. Seveda pa offsite gradnja (pri objektih, zgrajenih s temi tehnologijami, se na gradbišče pripeljejo približno štiri petine vseh delov stavbe) ne bo zadovoljila vseh novih potreb, ki jih prinašajo nove tehnologije. Vselej so možne spremembe in naprednejši klasični pristopi, vendar bo offsite gradnja čedalje bolj pridobivala pomen (Krivec, Prefabricirani gradbeni elementi imajo vse večjo veljavo, 2018).

5.3.7 Zmanjšanje števila zaposlenih

S prefabriciranimi tehnologijami se bodo precej spremenile potrebe po delavcih. Izobrazba in posebna znanja bodo vse bolj iskani. Na eni strani bodo težka dela začeli opravljati roboti, zato bo potreb po delavcih vse manj, vendar bo robotika odprla povsem nove vidike zaposlovanja v gradbeni panogi. Potrebovali bodo inženirje in tehnike, ki bodo bdeli nad tehnološkimi sklopi tako na gradbiščih kot v tovarnah, kjer bodo izdelovali posamezne prefabricirane elemente. Napredne tehnologije bodo zelo povečale produktivnost, predvsem pa bodo gradbinci lahko preprosteje dosegali postavljene roke in investicijo do konca pripeljali v zastavljenih predračunih. Zdaj je znan podatek, po katerem je kar 80 % objektov zgrajenih po predvidenem roku, 72 % gradbenih projektov pa je na koncu dražjih, kot je bilo sprva načrtovano (prav tam).

6 PREDSTAVITEV PRIMEROV OFFSITE GRADENJ

6.1 *JP Concrete je zgradil prefabricirani betonski oporni zid za McDermott Homes*



Slika 19: Prefabricirani oporni zid podjetja JP Concrete

Vir: (<http://www.bdcmagazine.com/jp-concrete-supply-pre-cast-concrete-retaining-wall-mcdermott-homes>)

McDermott Homes je uspel prihraniti nekaj tednov pri novem razvoju s postavitvijo novega opornega zidu, ki ga je izdelal JP Concrete. Nov oporni zid je bil izdelan iz prefabriciranih elementov, kar je pripomoglo k skrajšanju časa namestitve opornega zidu, iz petih tednov na samo 10 dni (čas gradnje skrajšan za 70 %) (BDC Editor, 2017).

Tradicionalni postopek za grajenje takšnega opornega zidu vključuje grajenje elementov na lokaciji gradbišča. 2000 mm veliki prefabricirani elementi JP Concreta niso samo znatno skrajšali časa za namestitvev, temveč so graditelju tudi ponudili boljšo cenovno možnost. Oporni zid je bil nameščen na iskanem Oaklands Rise, kjer bodo zgrajeni domovi visokega standarda s štirimi do petimi spalnicami, ki se nahajajo v Rawtenstall, Lancashire. Domovi bodo zgrajeni na zelo strmi lokaciji v bližini znamenite atrakcije Ski Rossendale (prav tam).

Do lokacije ni mogoče dostopati s tipičnimi polnimi obremenitvami, zato je natančna prefabricirana rešitev podjetja JP Concrete za izdelavo velikih modularnih plošč namesto sidranih zidov podjetju še dodatno pripomogla pri zmanjšanju časa namestitve in stroškov. Zaključni sloj opornih zidov naj bi bil dobrega videza, pravi podjetje McDermott Homes, ki je pohvalilo JP Concrete zaradi fleksibilnosti in zmanjševanja zapletov pri že tako zahtevni

gradnji. Graditelj stanovanj je tudi dejal, da je prefabricirani oporni zid videti bolje kot večina mejnih ograj. Z metodami gradnje podjetja so zadovoljni (BDC Editor, 2017).

Graditelji stanovanj bo zdaj lahko nadaljeval s svojim delom. Prihranil je že več tednov v terminskem načrtu, kar mu bo zagotovo koristilo pri nadaljnji gradnji. Uporaba prefabriciranih enot je še en primer offsite gradnje, ki lahko pomaga zmanjšati čas gradnje in stroške, kar bo v prihodnosti koristilo razvoju gradbeništva, saj se podjetja soočajo z izzivom zmanjšanja stanovanjskega primanjkljaja v Združenem kraljestvu (prav tam).

6.2 *Most Goethals*



Slika 20: Most Goethals, zgrajen iz prefabriciranih elementov

Vir: (https://www.nj.com/traffic/index.ssf/2017/06/its_done_new_goethals_bridge_opens_this_weekend.html)

Nadomestni most Goethals, ki zamenjuje starega, povezuje Elizabeth v New Jerseyju s Staten Islandom v New Yorku, je bil zgrajen 10. junija 2017 in visi na vertikalnih jeklenih kablích. Nadomestni most je bil zgrajen neposredno južno od 88-letnega obstoječega mostu Goethals. Prefabricirano jeklo sestavlja dva razpona, enega vzhodnega in enega zahodnega, v skupni izmeri 498 m. Projektna ekipa je zgradila 36 prefabriciranih betonskih konstrukcijskih opornih stebrov za temelj – 18 za vzhodno cestišče in 18 za zahodno cestišče, – sestavljenih iz prefabriciranih jeklenih armaturnih jaškov. Na zgornjem delu osmih stolpov mostu so nameščene prefabricirane sidrne škatle (Moriwaki, 2016).

7 PRIMERJAVA OPORNEGA ZIDU KOT TRADICIONALNE GRADNJE NAPRAM OFFSITE GRADNJI

7.1 *Betonski elementi opornega zidu podjetja JP Concrete, ki se sidrajo v betonski temelj ali ploščo*

Prefabricirani betonski elementi opornih zidov podjetja JP CONCRETE so izdelani z uporabo betonske mešanice razreda C40/C50, ki je primerna za »ekstremno izpostavljenost«. Ti elementi so izdelani z armaturnimi palicami, ki štrlijo iz njihovega stopala, nato pa povezani z armaturo, ki je v betonskem temelju. Ko so elementi pritrjeni na temelj, dodatno pritrjevanje ni potrebno, kar je lahko idealna rešitev, kjer ne potrebujemo opaža. Prefabricirane betonske elemente je mogoče hitro in varno namestiti (JP Concrete, 2019).



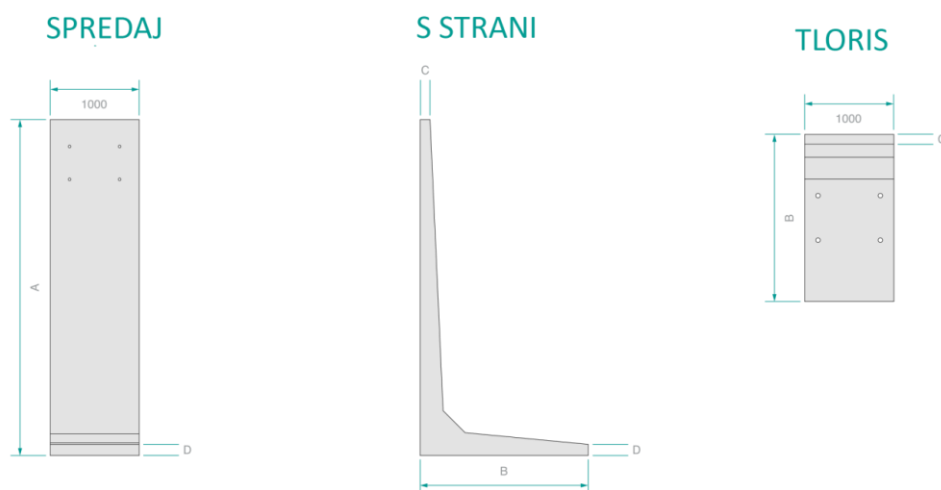
Slika 21: Sidranje prefabriciranega betonskega opornega zidu v tla
Vir: (<https://www.jpconcrete.co.uk>)

7.2 *Prednosti betonskih elementov opornega zidu (prav tam)*

- **Hitra in preprosta namestitvev** – Drastično se zmanjša čas gradnje. Prefabricirani elementi se namestijo hitro in preprosto, tako, da se na mesto pritrdijo s pomočjo sidranja na armirani betonski temelj ali obstoječo betonsko ploščo.
- **Podprejo velike obremenitve** – Primerni so za velike obremenitve in dodatne obremenitve iz ene ali obeh strani stene ter izredno stabilni.
- **Vzdržijo hudo izpostavljenost** – Ker so proizvedeni v tovarniško nadzorovanem okolju s prekrito armaturo, so stene primerne za zelo hudo izpostavljenost.

7.3 Tehnični podatki

Prefabricirani betonski elementi so oblikovani v skladu z Eurocode: Osnove konstrukcijskega načrtovanja (BS EN 1990: 2002), Eurocode 2: Projektiranje betonskih konstrukcij (BS EN 1992-1-1:2004) in BS 8110-1:1997. Betonski razred je C50 do BS 8500-1:2006. Najmanjša prekritost armature je 30 mm (JP Concrete, 2019).



DIMENZIJE ELEMENTA OPORNEGA ZIDU

A (MM)	B (MM)	C (MM)	D (MM)	UNIT WEIGHT	CORNER UNIT
1000	500	103	104	394	686
1500	750	110	110	631	1046
1750	875	110	120	761	1230
2000	1000	110	120	890	1400
2500	1250	110	125	1310	2600

A (MM)	B (MM)	C (MM)	D (MM)	UNIT WEIGHT (KG)
3000	1500	110	130	1740
3750	1875	110	150	2596

Slika 22: Tehnični podatki prefabriciranih betonskih elementov opornega zidu

Vir: (<https://www.jpconcrete.co.uk>)

Prefabricirani betonski elementi so zasnovani tako, da ohranijo ustrezno odtekanje material z gostoto 18 kN/m^3 na eni ali obeh straneh, prevzamejo pa lahko še dodatno obremenitev, tudi do 10 kN/m^3 , a je ta vrednost lahko večja ali manjša (odvisno od višine elementa) (JP Concrete, 2019).

7.4 Namestitvev prefabriciranih betonskih elementov

7.4.1 Temelji

Zahteve temeljenja mora določiti kvalificiran inženir. Prefabricirani elementi se namestijo na predhodno narejen betonski temelj in morajo biti uravnani na malti v pravilno lego. Kjer je treba, se prefabricirani elementi sidrajo na betonski temelj (prav tam).

7.4.2 Stabilnost

Kompleti za pritrdjevanje, ki jih je dobavil JP Concrete, obsegajo 20 mm premer z visokim izkoristkom in Sika AnchorFix – topilo in dvokomponentno poliestrsko lepilo, ki temelji na stirolu, ki se uporablja v skladu z navodili proizvajalca (prav tam).

- Enote pritrdilnih sten se namestijo na betonsko podlago in poravnajo po višini s pomočjo podložk. Pretirana uporaba ščitnikov (20 mm +) lahko povzroči točkovno obremenitev v prefabriciranih elementih in mogoče bo potrebna injektivna pištola pod elementi. Ta se vbrizga skozi 50 mm velike vnaprej narejene luknje v nogi prefabriciranega betonskega elementa.
- S pomočjo 30-milimetrskih lukenj s premerom v osnovni enoti kot vodilu s pomočjo 20 mm se vrta v osnovo do zelene globine premera vrtalnika.
- Vrtalno luknjo je treba temeljito očistiti z jekleno krtačo, črpalko ali s stisnjenim zrakom. Začeti je treba z dnom luknje. Pištola za nanašanje smole se napolni, dokler se oba dela ne izenačita enakomerno.
- Lepilo se vbrizga v luknjo, od spodaj navzdol, medtem ko se počasi vleče aplikacijska pištola. V vsakem primeru se je treba izogibati zajemanju zraka – za globoke izvrtine se lahko uporabi podaljšek cevi.
- Sidro se vstavi z vrtljivim gibanjem v napolnjeno vrtalno luknjo, dokler ni ravno pod površino elementa in popolnoma obdano s smolo.

Sidro je treba namestiti v času utrjevanja smole. V času utrjevanja smole se sidra ne sme kakor koli premaknili ali obremeniti (prav tam).

8 PRIKAZ REZULTATOV PRIMERJALNE ANALIZE

8.1 Primerjava časa izgradnje

Cena namestitvene opornega zidu podjetja JP Concrete se začne od 22,46 €/m¹(odvisno od dimenzij elementa). JP Concrete lahko v enem dnevu postavi do 100 m prefabriciranih betonskih elementov opornega zidu (JP Concrete, 2019).



Slika 23: Prikaz namestitve prefabriciranih elementov opornega zidu podjetja JP Concrete

Vir: (<https://www.jpconcrete.co.uk>)

Dolžina opornega zidu podjetja KUSTER d. o. o. je 106,18 m, kar pomeni, da bi bil takšen zid z načinom offsite gradnje zgrajen v dveh dneh, če upoštevamo podatke, pridobljene s spletne strani podjetja JP Concrete. Podjetje KUSTER d. o. o. je oporni zid zgradilo v 57 dneh (terminski načrt je v prilogi), kar pomeni, da so porabili 96 % več časa, kot če bi oporni zid gradili po sistemu offsite gradnje. Ker čas izgradnje opornega zidu neposredno vpliva na njegovo ceno, si lahko predstavljamo, kako koristna je offsite gradnja. Z njo povzročimo manj zastojev na cesti, kar posledično pomeni manj izpustov, manj delovnih ur (večja varnost zaposlenih zaradi krajše izpostavljenosti nevarnostim) ter veliko manj hrupnih dni za okolico gradnje.

Pri času gradnje zidu sem upoštevala le čas izgradnje kamnite zložbe, ki ne zajema časa gradnje temeljev, podložnega betona, elementov odvodnjavanja, preddel, zemeljskih del in tujih storitev, kot sta nadzor in projektna dokumentacija, saj so potrebni in zajeti tudi v offsite gradnji in zato enaki.

8.2 Primerjava porabljenega materiala

Več materiala kot porabimo za gradnjo objekta, večji so naši stroški. Količina vgrajenega materiala (v našem primeru betona in jekla) neposredno vpliva na čas gradnje, strošek njegovega transporta in količino emisij CO₂, ki jih povzroči takšna gradnja.

Tabela 1: Količina materiala offsite gradnje opornega zidu

Višina elementa (mm)	Število elementov	Teža določenega elementa (kg)	Teža x število elementov (kg)
1000	1	394	394
1500	4	631	2524
1750	3	761	2283
2000	12	890	10680
2500	18	1310	23580
3000	32	1740	55680
3750	36	2596	93456
SKUPNA TEŽA (kg)			188597
BETON (kg)			182939
ARMATURA (KG)			5658

Vir: (Lastni)

Za tradicionalno grajen oporni zid (kamnito zložbo) je bilo porabljenih 733.440 kg kamenja in 807.040 kg betona, kar je velika količina v primerjavi z offsite gradnjo opornega zidu, ki zajema le 227.106 kg betona. Tradicionalna gradnja potrebuje 3592 kg armature za ojačitev, medtem ko se za offsite gradnjo potrebuje 5658 kg. Če pogledamo skupno količino materiala, lahko vidimo, da za offsite gradnjo potrebujemo 86 % manj materiala, kar je veliko manj kot pri tradicionalni gradnji.

8.3 Primerjava količine emisij

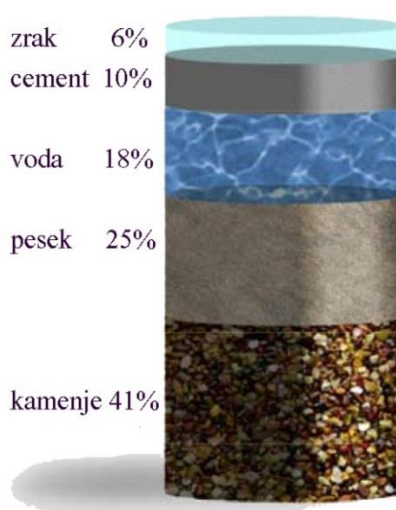
8.3.1 Ali proizvodnja cementa ustvarja CO₂?

Kot pri vseh industrijskih procesih, ki zahtevajo energijo, proizvodnja cementa povzroča nastajanje CO₂. Cement se proizvaja iz kombinacije naravnih mineralov – kalcija (60 % teže), v glavnem iz apnenca ali kalcijevega karbonata, silicija (20 %), aluminija (10 %), železa (10 %) in majhnih količin drugih sestavin. Vse sestavine se segrejejo v veliki peči na več kot 1500 °C, da se pretvorijo v klinker. Pri proizvodnji cementa CO₂ večinoma nastaja iz dveh različnih virov (NRMCA, 2012). To sta:

- uporaba fosilnih goriv v procesu gorenja,
- žganje, ko se kalcijev karbonat segreje in razgradi na kalcijev oksid z izpustom CO₂.

8.3.2 Koliko CO₂ je utelešenega v betonu?

V betonu je od 7 % do 15 % cementa (odvisno od vrste betona). Povprečna gostota cementa je nekje 250 kg/m³. En prostorninski meter (m³) betona tehta približno 2400 kilogramov. Iz tega sledi, da se v betonu uteleša nekje med 100 do 300 kg CO₂ za vsak kubični meter betona ali približno 5 % do 13 % teže proizvedenega betona glede na proizvedeno mešanico. Po ugotovitvah najnovejše raziskave članov združenja Portland Cement proizvedemo 927 kg CO₂ izpustov pri proizvodnji 1000 kg Portland Cementa, proizvedenega v Združenih državah Amerike (prav tam).



Slika 24: Sestava betona (okvirna)

Vir: (<https://www.nrmca.org>)

8.3.3 Emisije, povzročene z gradnjo na in ob cestišču

Katera koli gradnja, ki poteka na cestišču ali ob njem, prispeva svoj delež emisij CO₂ v atmosfero. Za izračun emisij CO₂ smo vzeli grajenje objektov ob ali na cestišču in cestno signalizacijo, ki neposredno vpliva na promet, a jo potrebujemo pri gradnji opornega zidu ob cesti.

Tabela 2: Emisije CO₂, ki jih povzročajo raznorazne gradnje na in ob cestišču, glede na vrsto cestišča

Emissions (t CO ₂ eq./km)	Expressway	National Road	Provincial Road	Rural Road - Gravel	Rural Road - DBST
Earthworks	161.40	15.89	12.00	2.74	2.68
Pavement	1333.86	424.66	157.30	72.20	85.53
Culverts	238.48	51.45	16.69	11.85	11.57
Structures	1067.99	119.39	20.57	3.03	2.95
Road Furniture	432.40	182.42	0.00	0.00	0.00
Total	3234.12	793.81	206.56	89.82	102.74

Vir: (<http://siteresources.worldbank.org/INTEAPASTAE/Resources/GHG-ExecSummary.pdf>)

Dolžina opornega zidu je 106 m, kar moramo zmnožiti s statističnimi podatki iz dokumenta Predstavitev emisij toplogrednih plinov pri gradnji in rekonstrukciji ceste («The World Bank» dokument). S tradicionalno gradnjo opornega zidu smo po statističnih podatkih iz zgornje tabele povzročili 32 ton emisij CO₂. Ker je offsite gradnja časovno 96 % krajša, pomeni, da je na lokaciji gradbišča povzročila le 1,28 t emisij ogljikovega dioksida. Tradicionalna gradnja je zaradi dela na gradbišču in zastojev na cesti povzročila 31,7 t več emisij CO₂ kot offsite gradnja.

8.3.4 Emisije obeh načinov gradenj

V primerjavi tradicionalne in offsite gradnje opornega zidu sem privzela srednjo vrednost za odstotek cementa, ki se nahaja v betonu – 10 %. Podjetje KUSTER d. o. o. je za tradicionalno gradnjo opornega zidu porabilo 305,6 m³ betona in posledično 30,56 m³ cementa. Za offsite gradnjo (JP Concrete) prefabriciranih betonskih elementov opornega zidu potrebujemo 80 m³ in posledično 8 m³ cementa.

Iz vseh obstoječih podatkov lahko vidimo, da z offsite gradnjo proizvedemo 23.360 kilogramov emisij CO₂. Tradicionalno zgrajen oporni zid (kamnita zložba) je po mojih izračunih prispevala 89.236 kilogramov emisij CO₂, kar pomeni, da je bilo proizvedenih 74 % več emisij CO₂, kot če bi gradili po sistemu offsite gradnje. Na koncu vključimo še emisije

zaradi gradnje na in ob cestišču (na kar vplivajo čas gradnje, vrsta cestišča ...) in vidimo, da tradicionalna gradnja opornega zidu proizvede osemkrat več emisij kot offsite gradnja.

8.4 Primerjava stroškov gradnje

Pri gradnji opornega zidu so upoštevane samo postavke, ki se nanašajo izključno na oporni zid. Offsite gradnja opornega zidu prav tako potrebuje vnaprej narejene temelje in zaključena zemeljska dela, saj se prefabricirani elementi sidrajo na že obstoječ temelj in lokacija gradnje je vnaprej pripravljena.

Tabela 3: Končna cena opornega zidu brez temelja in drugih predel

STROŠKI OPORNEGA ZIDU PODJETJA KUSTER			
opis dela	količina	cena brez DDV/enoto	znesek brez DDV
ODVODNJAVANJE			
GLOBINSKO ODVODNJAVANJE - DRENAŽE			
Vgraditev izcednice (barbakane) iz gibljive plastične cevi, premera 10 cm, dolžine do 50 cm			
kos	51,00	0,82 €	41,82 €
GRADBENA IN OBRTNIŠKA DELA			
TESARSKA DELA			
Izdelava podprtega opaža robnega venca na premostitvenem, opornem in podpornem objektu z letvicami 3/3 cm			
m ²	117,67	5,76 €	677,78 €
DELA Z JEKLOM ZA OJAČITEV			
Dobava in postavitve rebrastih žic iz visokovrednega naravno trdega jekla BSt 500 S (B) s premerom do 12 mm, za srednje zahtevno ojačitev			
kg	3.592,00	0,69 €	2.478,48 €
DELA S CEMENTNIM BETONOM			
Dobava in vgraditev ojačenega cementnega betona C30/37, XD3, XF4, PV-II v prerez do 0,15 m ³ /m ² -m ¹ (VENEC)			
m ³	46,00	74,08 €	3.407,68 €
ZIDARSKA IN KAMNOSEŠKA DELA			
Zidanje z lomljencem iz karbonatnih kamnin v betonu C 30/37, na dve lici, prerez nad 0,50 m ³ /m ² , v razmerju 40 % beton/60 % kamen			
m ³	764,46	60,76 €	46.448,59 €
CENA OPORNEGA ZIDU (€)			53.054,35 €

Vir: (Lastni)

Največji strošek tradicionalno zgrajenega opornega zidu predstavljajo zidarska in kamnoseška dela. V tej postavki so vključene delovne ure delavcev gradnje, uporaba delovnih strojev in

material, ki ga moramo kupiti, transportirati in vgraditi v oporni zid. Stroški gradnje so tesno povezani s časom gradnje, saj dlje kot gradimo, več delovnih ur moramo izplačati in več energentov porabimo. Gradnja na lokaciji gradbišča za razliko od gradnje v tovarni (offsite gradnja) nima možnosti koriščenja ugodnih cen električne energije. Fossilna goriva imajo relativno nizek izkoristek energije (črpanje betona z avtočrpalko stane približno 100 € na uro).

Ker se oporni zid po višini spreminja, je bilo treba predvideti različne dimenzije prefabriciranih betonskih elementov, ki bodo lahko zadržale zemljino hribine oziroma kljubovale aktivnemu zemeljskemu pritisku zaledne zemljine. Poleg cen vseh elementov različnih višin je bilo treba zajeti še ceno pritrdilne mase, najema dvigalne sklopke in inštalacijskih objemk, ki so potrebne za postavitve celotnega opornega zidu po sistemu offsite gradnje. Offsite gradnja opornega zidu ne povzroča daljših zastojev na cestišču (le dva dni gradnje).

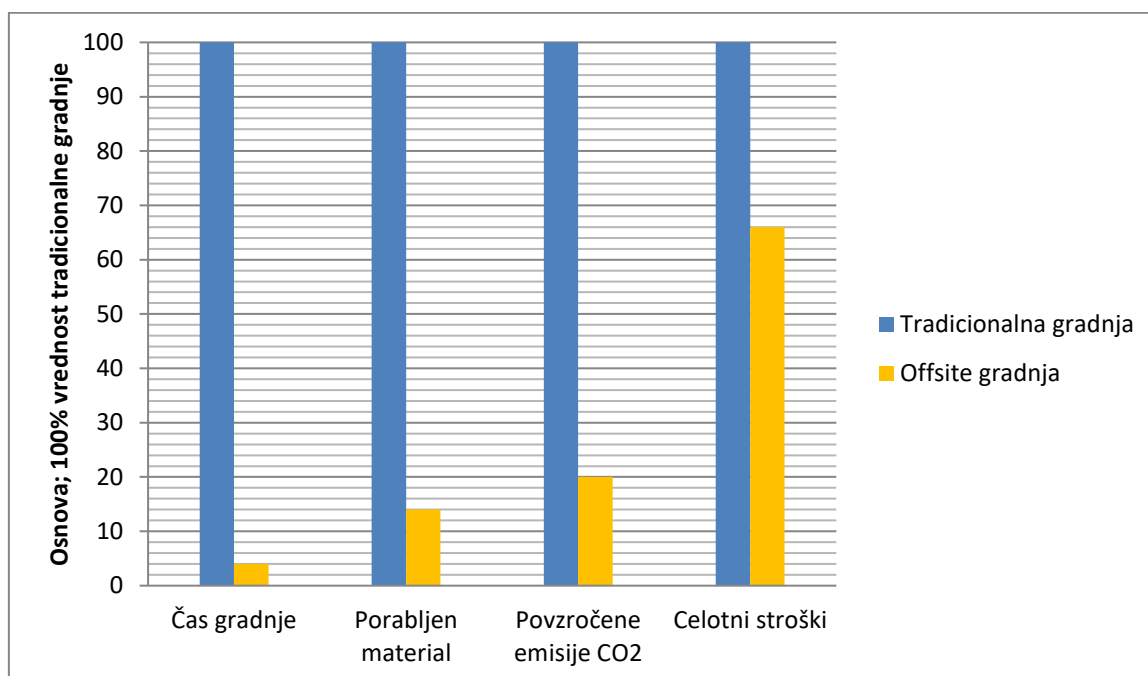
Tabela 4: Stroški gradnje opornega zidu kot offsite gradnje

Višina elementa (mm)	Cena (€)	Kosov	Cena x št. kosov
1000	66	1	66
1500	97	4	193
1750	128	3	256
2000	160	12	1123
2500	221	18	3093
3000	324	32	4542
3750	465	36	21.396
Elementi postavitve			Postavke postavitve
Pritrdilna masa (Sika AnchorFix)	4187	1	4187
2.5T Dvigalna sklopka	102	1	102
Inštalacijske objemke	174	1	174
SKUPAJ (€)			35.132

Vir: (Lastni)

8.5 Grafični prikaz primerjave obeh načinov grajenje opornega zidu in zaključki

V končni grafični primerjavi offsite in tradicionalne gradnje opornega zidu je mogoče videti, da z offsite gradnjo prihranimo veliko časa pri grajenju na lokaciji gradbišča (približno 96 %), porabimo manj materiala (približno 86 %) in precej zmanjšamo emisije CO₂ (približno 80 %) v primerjavi s tradicionalno gradnjo. Stroškovno je offsite gradnja opornega zidu 34 % cenejša od tradicionalne, kar je velik prihranek. Ker je tradicionalna gradnja opornega zidu potekala 55 dni dlje kot offsite gradnja, so zastoji na cesti povzročili dodatne emisije ogljikovega dioksida, ki so zajete v spodnjem grafu.



Graf 1: Grafična primerjava različnih področij tradicionalne in offsite gradnje

Vir: (Lastni)

Iz statističnih podatkov offsite gradenj po svetu lahko razberemo tudi, da večkrat kot se prefabricirani betonski element ponovi v nekem objektu, manjša je njegova cena in posledično večji prihranki (množične proizvodnje znižuje ceno izdelkov). Offsite gradnja, kjer so elementi izdelani v tovarni, zvišuje kakovost izdelkov, zmanjšuje porabo materiala, omogoča večjo reciklažo materiala, poveča varnost zaposlenih, se izogne slabim vremenskim razmeram, poveča hitrost izdelave elementov (zaradi robotizacije in avtomatizacije) in omogoča množično proizvodnjo izdelkov (posledično nižjo ceno izdelkov kot tudi večje število projektov v teku – lokacij zunanjih gradbišč). Vsi dejavniki iz prejšnjega stavka

neposredno vplivajo na zgornji graf primerjave obeh načinov gradenj – znižujejo končno ceno opornega zidu, povečujejo hitrost gradnje, zmanjšujejo emisije CO₂ in zmanjšujejo porabo materiala.

Vsa področja offsite gradnje, kot so čas gradnje, porabljen material, povzročene emisije, stroški gradnje in varnost zaposlenih, so tesno povezana in neposredno vplivajo drugo na drugo. Iz zgornjega grafa je mogoče razbrati, da offsite gradnja na vseh predstavljenih področjih prekaša tradicionalno gradnjo opornega zidu.

Področje, ki ga ni bilo mogoče zajeti v diplomskem delu, je realen izračun stroškov transporta elementov opornega zidu, saj je bilo predpostavljeno, da se tovarna nahaja v Sloveniji. Stroški transporta elementov opornega zidu offsite gradnje so zajeti v njihovi končni ceni, ki je pridobljena od podjetja JP Concrete, a ni specifična. Predpostavljam, da je strošek transporta tradicionalne gradnje večji od stroška transporta offsite gradnje, saj tradicionalna gradnja porabi sedemkrat več materiala, kar pomeni veliko več prevozov.

9 SKLEP

V zadnjem desetletju lahko vidimo velik napredek na področju robotizirane gradnje, programske opreme in veliko večjo sinhronizacijo vseh dejavnikov gradnje objektov. Samo nekaj stoletij nazaj so se takratni prebivalci na večjih razdaljah sporazumevali s pomočjo dimnih signalov. Velik razvoj tehnologije na vseh področjih je človeštvu omogočil hitro komunikacijo in veliko večjo stopnjo usklajenosti gradnje, ki nikoli v preteklosti ni bila mogoča. Na ta način smo v gradbeništvu začeli dosegati velike prihranke časa, zmanjšali stroške, zmanjšali količine uporabljenih materialov in predvsem pridobili varnost in zdravje zaposlenih delavcev. Še nekaj desetletij nazaj, ko v gradbeništvu še nismo imeli mobilnih telefonov, naprednih GPS sistemov in natančne mehanizacije, so nastajajoče probleme na visokih New Yorkških stolpnica reševali fizični delavci sami, saj niso imeli druge možnosti, ker se visoko usposobljeni projektanti niso želeli izpostavljati nevarnostim gradnje na teh višinah.

Pri offsite gradnji opornega zidu, zgrajenega iz prefabriciranih betonskih elementov, ki so dokončani v tovarniškem okolju, porabimo veliko manjšo količino materialov (približno 86 % manj), a z njim prevzemamo enake obremenitve, kot jih prevzame tradicionalno zgrajen oporni zid. Velik strošek offsite gradnje lahko predstavlja transport prefabriciranih elementov na lokacijo gradbišča, če je tovarna, kjer so izdelani, precej oddaljena. Eden izmed pomembnih dejavnikov offsite gradnje je množična proizvodnja prefabriciranih elementov, ki bodo izvedeni. Izgradnja tovarne, kjer se bodo proizvajali, je pogosto smiselna samo v primerih, ko je proizvodnja betonskih elementov množična.

V diplomskem delu sem tako predpostavila, da se tovarna za izdelavo prefabriciranih betonskih elementov nahaja v Sloveniji (drugače je iz Anglije), zaradi dveh razlogov: ker takšne tovarne nisem našla v Sloveniji in ker bi prevoz teh elementov pomenil velik strošek, kar pomeni, da primerjava obeh načinov gradnje sploh ne bi bila smiselna.

H1. Offsite gradnja opornega zidu je cenejša v primerjavi s tradicionalno gradnjo.

Če primerjamo samo stroške obeh gradenj, lahko vidimo, da je offsite gradnja po mojih izračunih 34 % cenejša od tradicionalne gradnje. Razlika med stroški obeh gradenj bi bila še večja, če bi upoštevali strošek čiščenja emisij CO₂ iz okolja, saj tradicionalna gradnja po mojih izračunih povzroči trikrat več emisij kot offsite gradnja. Pri čiščenju emisij iz atmosfere trenutno porabimo 60–154 € (srednja vrednost je 107 €) za izločitev ene tone ogljikovega

dioksida. Tradicionalna gradnja po mojih izračunih proizvede približno 91,7 tone več emisij CO₂ kot offsite gradnja, kar bi stroškovno pomenilo približno 9.812 €, ki jih potrebujemo za čiščenje okolja. Ta ocena je samo okvirna. Predvidevam, da je ta strošek v realnosti veliko večji.

H2. Offsite gradnja je mogoča le za določene objekte (po velikosti in namembnosti).

Po proučevanju literature in vzornih offsite gradenj po svetu sem ugotovila, da je tovarniško okolje zelo fleksibilno in lahko stroškovno ugodno proizvede raznorazne prefabricirane betonske elemente, ki se nato vgradijo v različne objekte. Po svetu najdemo primere offsite gradenj, kot so predor podzemne železnice v Londonu, most Goethals v Združenih državah Amerike in vrata Panamskega prekopa.

H3. Offsite gradnja opornega zidu je veliko bolj prijazna okolju kot tradicionalna gradnja.

Offsite gradnja opornega zidu je zelo prijazna okolju. V diplomskem delu sem ugotovila, da z njo proizvedemo petkrat manj emisij CO₂ v primerjavi s tradicionalno gradnjo. Zaradi pomanjkanja podatkov mi ni uspelo pridobiti podatkov o količinah emisij, ki jih cestna vozila povzročijo zaradi zastojev na cesti (ko poteka gradnja), a so pri tradicionalni gradnji zagotovo velike, saj zanjo potrebujemo 55 več dni več, kot če bi gradili po sistemu offsite gradnje. Prav tako za tradicionalno grajen oporni zid potrebujemo sedemkrat več materiala kot za offsite gradnjo, kar pomeni veliko več tovornih prevozov in posledično povzročenih emisij CO₂. Z offsite gradnjo zmanjšamo tudi vpliv hrupa na okolje, saj njen večinski delež poteka v zaprti tovarni in postavitve prefabriciranih betonskih elementov na betonski temelj poteka le dva dni. Ker večinski delež offsite gradnje poteka v tovarni, ki je elektrificirana, pomeni, da trošimo veliko manj fosilnih goriv, kot če gradimo na gradbišču, kjer se uporabljajo avtomesealci, bagri in črpalke za beton.

Pri offsite gradnji porabimo sedemkrat manjšo količino materiala, kot če bi gradili po načinu tradicionalne gradnje. Manj materiala pomeni manj transporta na cesti, manj onesnaževanja okolja in posledično trajnostno rabo virov planeta Zemlje, saj bi lahko s količino materiala tradicionalne gradnje zgradili več kot sedem opornih zidov offsite gradnje namesto enega.

Ko se odločimo graditi po načinu offsite gradnje, moramo ugotoviti oddaljenost tovarne, ki izdeluje prefabricirane betonske elemente, ki jih potrebujemo za gradnjo objekta. V prihodnosti lahko pričakujemo globalno elektrifikacijo prevoznih sredstev, kar bo drastično pocenilo prevoz elementov na lokacijo gradbišča. Razdalja od tovarne prefabrikaže do

lokacije gradbišča bo tako postala vse manj pomembna, saj imajo električna vozila veliko boljši izkoristek (posledično nižja cena prevoza) od tradicionalnih vozil na fosilna goriva.

Eden izmed najpomembnejših dejavnikov offsite gradnje je visoka usklajenost proizvodnje izdelkov, pravočasnih prevozov in montaže na lokaciji gradbišča. Vse te procese omogočajo napredna programska oprema, visoka zmogljivost procesiranja računalnikov in nenehna interakcija gradbincev, ki uporablja to tehnologijo. Internetna povezava in tekoča komunikacija med različnimi sektorji gradnje sta ključni za predvidevanje zastojev na cesti, hitro odpravljanje napak pri gradnji in natančno načrtovanje vsakega izmed naslednjih korakov, kar omogoči tekočo, varno in kakovostno offsite gradnjo. Prefabricirani armirani betonski elementi so se pojavili že v letu 1900, a so šele v 21. stoletju začeli pridobivati veliko večji pomen, zaradi velikega napredka tehnologije, ki jo omogoča.

Če bi bila tovarna, ki izdeluje prefabricirane betonske elemente opornega zidu, v Sloveniji, bi investitorjem vsekakor priporočala, da pridobijo predračun za celotno offsite gradnjo. Po mojih izračunih bi bila offsite gradnja opornega zidu v Sloveniji cenejša od tradicionalne, okolju prijaznejša, hitrejša in varnost gradbincev bi se povečala. Ker so naravni viri na Zemlji, so omejeni. Z offsite gradnjo porabimo veliko manj materiala in s tem omogočamo boljši trajnostni razvoj planeta. Offsite gradnja lahko zmanjša število zaposlenih na gradbišču. Kot rešitev bi izvajalskim podjetjem predlagala prekvalifikacijo zaposlenih fizičnih delavcev na gradbišču v operaterje mobilnih žerjavov, organizatorje del, projektante, izumitelje in razvijalce. Trenutno živimo v informacijski dobi, ki prinaša še večjo stopnjo robotizacije, avtomatizacije in izločitev ljudi kot fizične delovne sile iz okolja grajenja. Mislim, da je bolje, kot da se upiramo razvoju, da začnemo razmišljati, koliko več projektov lahko opravimo zaradi prihranka časa pri offsite gradnji, kako lahko zaposlene izobrazimo v fleksibilne uporabnike programske opreme, dobre komunikatorje in se naučimo, kako najbolje integrirati zmogljivost računalnikov, programske opreme in človeške vire. Uničevanje strojev v času industrijske revolucije ni zaustavilo razvoja industrije, niti ni ustvarilo prostih delovnih mest. Informacijska doba je lahko naša zlata doba, če bomo kot človeštvo pravočasno stopili v korak s tehnologijo.

10 VIRI, LITERATURA

Bachmann, H. & Steinle, A. (2018). *Precast Concrete Structures*. Berlin: Ernst & Sohn.

BDC Editor. (13. 11. 2017). *JP Concrete Supply Pre-Cast Concrete Retaining Wall For McDermott Homes*. Pridobljeno iz Building Design & Construction Magazine: <http://www.bdcmagazine.com/jp-concrete-supply-pre-cast-concrete-retaining-wall-mcdermott-homes/>

British Precast Concrete Federation. (brez datuma). *Sustainable Precast Concrete*. Pridobljeno iz mpa British Precast: <https://www.britishprecast.org/Sustainability/Sustainability-The-Precast-Concrete-Industry.aspx>

JP Concrete. (2019). *Bolt Down Retaining Wall*. Pridobljeno iz Jpconcrete: <https://www.jpconcrete.co.uk/concrete-bolt-down-retaining-wall/>

Krivec, V. (24. 6. 2018). *Prefabricirani gradbeni elementi imajo vse večjo veljavo*. Pridobljeno iz Finance: <https://gradbenistvo.finance.si/8935613?cctest&>

Logar, J. (2019). *Oporne in podporne konstrukcije*. Pridobljeno iz UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: <http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/Gradiva%20za%20vec%20predmetov/Skripta%20Janko%20Logar/PODPORNE%20KONSTRUKCIJE.pdf>

Mojmojster. (2019). *Montažna betonska gradnja*. Pridobljeno iz Mojmojster: https://www.mojmojster.net/clanek/219/Montazna_betonska_gradnja

Mojmojster. (2019). *Oporni zid ali škarpa*. Pridobljeno iz Mojmojster: https://www.mojmojster.net/clanek/757/Oporni_zid_ali_skarpa

Moriwaki, A. (14. 4. 2016). *Offsite Construction and Prefabrication in Civil Engineering*. Pridobljeno iz DASSAULT SYSTÈMES: <https://blogs.3ds.com/perspectives/offsite-construction-and-prefabrication-in-civil-engineering/>

NRB (USA), INC. (19. 12. 2014). *7 Sustainable Building Benefits of Off-Site Construction*. Pridobljeno iz NRB (USA), INC.: <https://www.nrb-inc.com/modular-construction-blog/7-sustainable-building-benefits-site-construction/>

NRMCA. (2012). *Concrete CO2 Fact Sheet*. Pridobljeno iz National Ready Mixed Concrete Association:

<https://www.nrmca.org/sustainability/CONCRETE%20CO2%20FACT%20SHEET%20FEB%202012.pdf>

Univerza v Ljubljani , Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (2019). *Oporne in podporne konstrukcije*. Pridobljeno iz UL FGG: <http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/Gradiva%20za%20vec%20predmetov/Skripta%20Janko%20Logar/PODPORNE%20KONSTRUKCIJE.pdf>

11 PRILOGE

Priloga 1: Vzdolžni profil kamnite zložbe

Priloga 2: Prečni profil kamnite zložbe

Priloga 3: Terminski načrt izvedbe del kamnite zložbe

Priloga 4: Gradbena situacija kamnite zložbe