

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**VISOKOTLAČNO RUŠENJE BETONOV
Z VODNIM CURKOM**

Kandidat: Primož Pišek

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor – predavatelj: Vladimir Dragorajac, univ. dipl. inž. grad.

Mentor v podjetju: Srečko Kovačec, inž. grad.

Lektorica: Ksenija Pečnik, prof. slov. jezika

Maribor, 2021

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Primož Pišek sem avtor diplomskega dela z naslovom Visokotlačno rušenje betonov z vodnim curkom, ki sem ga napisal pod mentorstvom Vladimirja Dragorajca, univ. dipl. inž. grad.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot mojih lastnih kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); 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.

Slovenska Bistrica, oktober 2021

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Vladimirju Dragorajcu, univ. dipl. inž. grad., za vsa navodila, strokovno pomoč in usmeritve pri pripravi diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi mentorju v podjetju Srečku Kovačcu, inž. grad., za praktične napotke in vse koristne predloge. Hvala lektorici za jezikovni pregled besedila. Zahvaljujem pa se tudi partnerici Aleksandri Pečovnik za oporo, bodrenje in motivacijo.

POVZETEK

Beton je v primerjavi z drugimi materiali (les, kamen, idr.) novejši in je v uporabi šele zadnjih sto let. Kmalu po začetku uporabe betonov v gradnji so se začele pojavljati potrebe po rušenju betonov, bodisi v okviru sanacije ali navezovanja modernejših konstrukcijskih elementov bodisi zaradi rušitve celotnega dotrajanega objekta. Rušenje betonov zdaj predstavlja pomemben delež vseh del v gradbeništvu. Običajno je veljalo, da gre za težko delo, ki poškoduje obstoječo armaturo, pri rušenju pa prihaja do velikih razpok. Zaradi vsega tega je bila kakovost izvedbe dela slaba. Klasični načini dela so tudi negativno vplivali na zdravje zaposlenih v gradbeni panogi. Šele v zadnjih dvajsetih letih so se pojavile nove tehnike rušenja betonov. Ena izmed njih je rušenje z vodnim curkom. Gre za novejši pristop k rušenju, ki smo ga v diplomskem delu podrobneje raziskali in predstavili.

V diplomskem delu smo v teoretičnem delu podrobneje predstavili dve osnovni vrsti rušenja. Bolj natančno smo predstavili rušenje z visokotlačno tehnologijo z vidika tehničnih lastnosti, potrebno opremo ter stanje na objektih po rušitvah. V teoretičnem delu smo zajeli tudi poglavje o vplivu rušitvenih del na zdravje in delazmožnost zaposlenih v gradbeništvu zaradi razvoja vibracijske bolezni.

V empiričnem delu smo opravili anketo, s katero smo dokazali negativen vpliv dela s klasično metodo rušenja na zdravje zaposlenih. Ugotovili smo tudi, da je metoda rušenja s tehnologijo vodnega curka v slovenskih podjetjih manj pogosto uporabljena.

Drugi del empiričnega dela je zajemal primerjalno analizo dveh gradbišč, kjer se je opravila rušitev podobnih razsežnosti z različnimi metodami – enkrat po klasičnem načinu in enkrat s tehnologijo vodnega curka. Primerjali smo stroškovni vidik, potrebno število delavcev, porabo pogonske energije za stroje in dostopnost opreme. Ugotovili smo, da je rušitev z visokotlačno tehnologijo cenovno ugodnejša, so pa višji stroški začetnih naložb in vzdrževanja. Vsekakor je potrebnih manj delavcev, ki so manj izpostavljeni škodljivim vplivom na zdravje. Menimo, da je vse to zadosten argument za večjo uporabo visokotlačne tehnologije in bi jo bilo treba približati slovenskemu trgu.

Ključne besede: klasično rušenje, vodni curek, visokotlačno rušenje, poškodbe na armaturi, vibracijska bolezen.

ABSTRACT

HIGH PRESSURE WATER JET DEMOLITION OF CONCRETE

Compared to other materials (wood, stone, etc.), concrete is newer and has only been used for the past hundred years. Soon after starting using concrete in construction, the needs for the demolition of concrete began to emerge, either in the context of rebuilding or connection of more modern construction elements or in the demolition of entire worn-out buildings. Demolition of concrete now represents a significant share of construction work. It was generally considered as hard work that damaged the existing reinforcement. Usually, large cracks occurred during demolition. Due to all this, the quality of work was poor. Classic methods have also negatively affected the health of employees in the construction industry. It was not until twenty years ago that new concrete demolition techniques have emerged. One of them is water jet demolition (hydrodemolition). It is a newer approach to demolition, which we researched and presented in the graduation thesis.

In the theoretical part of the graduation thesis, we presented two basic types of demolition more thoroughly. We focused on the demolition with high pressure technology in terms of technical properties, the necessary equipment and the condition of buildings after the demolition. In the theoretical part, we also included a chapter on the impact of demolition work on health and work abilities of construction employees due to the development of vibration disease. In the empirical part, we conducted a survey to prove the negative impact of working with the classic method of demolition on the health of employees. We also found that the hydrodemolition method is less often used in Slovenian companies. The second part of the empirical work included a comparative analysis of two construction sites, where demolition of similar dimensions was carried out by different methods – once with the classic method and once with water jet technology. We compared the cost aspect, the required number of workers, the consumption of the machines and the availability of equipment. We found that demolition with high pressure technology is more affordable, but the costs of initial investments and maintenance are higher. There is definitely a need for fewer workers, who are less exposed to negative health effects. We believe that all this is still a sufficient argument for greater use of high pressure technology and it should be brought closer to the Slovenian market.

Keywords: classic demolition, water jet, high pressure demolition, reinforcement damage, vibration disease.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	6
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	6
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	6
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	7
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	7
2	DELO V PROJEKTNi SKUPINI	8
3	TEORETIČNI DEL	10
3.1	OSNOVE RUŠENJA BETONOV Z VODNIM CURKOM	10
3.2	KLASIČNO RUŠENJE	15
3.2.1	<i>Rušenje s težko gradbeno mehanizacijo</i>	<i>15</i>
3.2.2	<i>Rušenje s pnevmatskimi udarnimi kladivi.....</i>	<i>15</i>
3.2.3	<i>Rušenje betonov z lahkimi odkopnimi kladivi na električni pogon.....</i>	<i>16</i>
3.2.4	<i>Rezanje armirano betonskih konstrukcij.....</i>	<i>16</i>
3.2.5	<i>Miniranje</i>	<i>17</i>
3.3	OPREMA VISOKOTLAČNE TEHNOLOGIJE	17
3.4	MIKRORAZPOKE PRI RUŠITVAH	20
3.5	ARMATURA PO RUŠENJU Z VODNIM CURKOM	22
3.6	EKONOMSKI VIDIKI TEHNOLOGIJE VODNEGA CURKA	23
3.7	VPLIV VIBRACIJ NA ZDRAVJE IN DELAZMOŽNOST	25
4	PRIMER IZ PRAKSE	27
4.1	RUŠITEV S POMOČJO PNEVMATSKIH KLADIV NA HE PLAT (HRVAŠKA)	28
4.2	RUŠITEV Z VISOKOTLAČNO TEHNOLOGIJO VODNEGA CURKA NA HE WEINZÖDL (AVSTRIJA)	33
5	EMPIRIČNI DEL.....	37
5.1	NAMEN IN CILJI RAZISKOVALNEGA DELA.....	37
5.2	ZBIRANJE IN OBDELAVA PODATKOV	37
5.3	REZULTATI	37
6	NAČINI OZIROMA METODE ZA IZBOLJŠANJE KAKOVOSTI GRADBENIH PROJEKTOV (KROVNA TEMA).....	46
7	SKLEP	49
8	VIRI IN LITERATURA	52
9	PRILOGE.....	54

KAZALO SLIK

SLIKA 1: POTEK RUŠITVE Z VODNIM CURKOM	9
SLIKA 2: ROČNO RUŠENJE S POMOČJO VODNEGA CURKA	11
SLIKA 3: ROBOTIZIRANO RUŠENJE	12
SLIKA 4: RUŠENJE ROBNEGA VENCA POMOLA	13
SLIKA 5: ODBITA POVRŠINA BETONA S PRVOTNO ARMATURO PO VISOKOTLAČNEM RUŠENJU Z VODNIM CURKOM.....	14
SLIKA 6: OPREMA ZA VISOKOTLAČNO RUŠENJE NA PRIKOLICI VLAČILCA.....	19
SLIKA 7: TIP ROBOTA, KI VODI ORODJE PO DELOVNI POVRŠINI	20
SLIKA 8: ŠKODA, KI JO NAREDI KLADIVO.....	21
SLIKA 9: KLASIČNO RUŠENJE IN RUŠENJE Z VODNIM CURKOM.....	21
SLIKA 10: SHEMATSKI PRIKAZ ODSTRANJEVANJA BETONOV Z VODNIM CURKOM	22
SLIKA 11: ARMATURA PO RUŠENJU Z VODNIM CURKOM.....	23
SLIKA 12: IZVAJANJE RUŠITEV S PNEVMATSKIMI KLADIVI	29
SLIKA 13: TEŽKO DELO S PNEVMATSKIMI KLADIVI, KI PUŠČA NEGATIVNE POSLEDICE NA ZDRAVJU DELAVCEV	30
SLIKA 14: DVIG IN NALAGANJE PORUŠENEGA MATERIALA, KI JE PRIMEREN ZA PONOVO UPORABO	31
SLIKA 15: OSTANKI ARMATURE PO RUŠITVI S PNEVMATSKIMI KLADIVI ZA POTREBE NAVEZOVANJA NOVE ARMATURE.....	32
SLIKA 16: SPUŠČANJE ROBOTA NA DELOVNO POVRŠINO	33
SLIKA 17: DELOVANJE ROBOTA.....	34
SLIKA 18: ZRUŠENI BETONI PRED VSTAVLJANJEM PREDVODILNIKA TURBINE.....	35
SLIKA 19: ENA OD ZRUŠENIH POVRŠIN IN MONTAŽA KOVINSKIH DELOV	36

KAZALO TABEL

TABELA 1: SPOL ANKETIRANCEV	37
TABELA 2: STAROSTA STRUKTURA ANKETIRANCEV.....	38
TABELA 3: LETA DELA V GRADBENIŠTVU.....	39
TABELA 4: LETA DELA Z NAPRAVAMI ZA KLASIČNO RUŠENJE.....	40
TABELA 5: LETA DELA Z VISOKOTLAČNO TEHNOLOGIJO	41
TABELA 6: POJAVLJANJE SIMPTOMOV VIBRACIJSKE BOLEZNI.....	42
TABELA 7: VEČ KOT TRIJE SIMPTOMI VIBRACIJSKE BOLEZNI.....	43
TABELA 8: PRVI SIMPTOMI, KI SO SE POJAVILI PRI POSAMEZNIKU	44
TABELA 9: OMEJENOST PRI DELAZMOŽNOSTI ZARADI VIBRACIJSKE BOLEZNI.....	45

KAZALO GRAFIKONOV

GRAFIKON 1: SPOL ANKETIRANCEV	38
GRAFIKON 2: STAROSTNA STRUKTURA ANKETIRANCEV	39
GRAFIKON 3: LETA DELA V GRADBENIŠTVU	40
GRAFIKON 4: LETA DELA Z NAPRAVAMI ZA KLASIČNO RUŠENJE.....	41
GRAFIKON 5: LETA DELA Z VISOKOTLAČNO TEHNOLOGIJO	42
GRAFIKON 6: POJAVLJANJE SIMPTOMOV VIBRACIJSKE BOLEZNI	43
GRAFIKON 7: TRIJE ALI VEČ SIMPTOMOV VIBRACIJSKE BOLEZNI	44
GRAFIKON 8: PRVI SIMPTOMI, KI SO SE POJAVILI PRI POSAMEZNIKU	45
GRAFIKON 9: OMEJENOST PRI DELAZMOŽNOSTI ZARADI VIBRACIJSKE BOLEZNI	46

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Rušenje predstavlja velik delež vseh del v gradbeništvu. Na voljo imamo več načinov rušenja, še vedno pa se v največji meri uporablja klasično rušenje. V diplomskem delu smo se odločili raziskati modernejši način rušenja betonov, in sicer z vodnim curkom. Raziskati želimo, kako uporaba vodnega curka pri rušenju vpliva na širjenje razpok na objektu ter ali lahko z visokim tlakom zagotovimo bolj kakovostno in varnejše rušenje konstrukcijskih delov objekta. Klasični načini rušenja dokazano negativno vplivajo na zdravje zaposlenih v gradbeništvu. Raziskati želimo, ali so klasični načini rušenja delavcem povzročili zdravstvene težave in če so, kakšne in katere so najpogostejše. Proučiti želimo še bistvene razlike med obema rušitvenima pristopoma s tehnološkega, uporabnega in ekonomskega vidika.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

S pripravo diplomskega dela se želimo bolje naučiti uporabe opreme za visokotlačno rušenje z vodnim curkom. Hkrati bi radi poglobili svoje že obstoječe znanje na tem področju in še bolj natančno proučili nove metode in razmere na tržišču. Prikazati želimo prednosti visokotlačnega rušenja in njegove morebitne pomanjkljivosti. S tem bi se naročniki v Sloveniji morda večkrat odločali za to metodo. Želimo, da bi ta metoda rušenja postala bolj vpeljana kot klasične vrste rušenja. Natančneje želimo priučiti in raziskati, kako lahko klasično rušenje betonov negativno vpliva na zdravje zaposlenih v gradbeni panogi.

V diplomskem delu preverimo veljavnost naslednjih hipotez:

- H1: Poškodbe na objektih, ki nastanejo pri rušenju z rušilnimi kladivi, so za 80 % večje kot pri rušenju z vodnim curkom.
- H2: Pri visokotlačnem rušenju imamo možnost ohraniti obstoječo armaturo, kar je pri klasičnem rušenju težje izvedljivo.
- H3: Za delo pri visokotlačnem rušenju potrebujemo manj delavcev, ki pri tovrstnem delu utrpijo manj telesnih poškodb (sluh, hrbtenica, vid, periferni živčni sistem) kot pri klasičnem rušenju.
- H4 (krovnna tema): Visokotlačno rušenje omogoča boljšo kakovost gradbenega projekta.

1.3 Predpostavke in omejitve

Omejitve, s katerimi smo se srečali pri raziskovanju, se nanašajo predvsem na dostopnost literature. Gre za novejšo metodo rušenja, ki še ni povsem vpeljana, trenutno dostopna literatura pa je pretežno v tujih jezikih. Manj je dejanskih izkušenj iz prakse, večino predstavljajo raziskovalni prispevki, ki še nimajo dolgoročnih rezultatov. Rezultati in izkušnje temeljijo predvsem na izkušnjah s posameznih projektov ali iz raziskovalnih institucij. Iz istega razloga zaenkrat v slovenskem slovstvu še ni podatkov o tem, ali je kakovost življenja delavcev, ki imajo pri delu možnost uporabljati novejše metode rušenja, boljša in ali bolje ohranjajo zdravje ter ali se lahko izognejo vibracijskim poškodbam/vibracijski bolezni.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Za pripravo diplomskega dela smo uporabili kombinirani raziskovalni pristop (kvantitativni in kvalitativni). Pri raziskovanju smo uporabili naslednje metode: uporabo osebnih zapiskov, pregled literature in anketni vprašalnik.

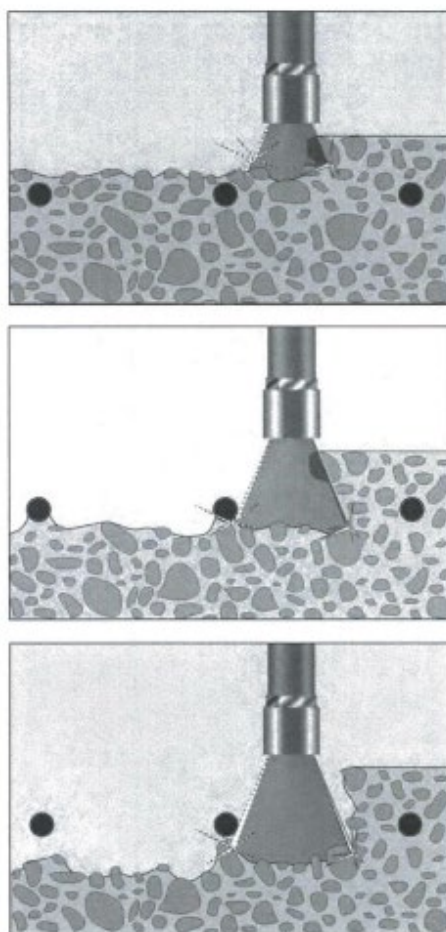
2 DELO V PROJEKTNI SKUPINI

Pred pričetkom pisanja diplomskega dela smo imeli priprave, ki so potekale prek spletne platforme Google Meet. Rešili smo Belbinov popis tima in Myers-Briggsov test osebnosti. Na osnovi rezultatov obeh testov smo se razdelili v projektne skupine, znotraj katerih smo debatirali o diplomskih delih, ki smo jih pripravljali. V skupini smo imeli vlogo izvajalca in preiskovalca virov.

Na prvem spletnem srečanju smo predstavili svojo zamisel diplomskega dela, naslov, hipoteze in lastne praktične izkušnje s tega področja. Predstavili smo tudi svoj pogled na nekatere potrebe, ki se pojavljajo na trgu v povezavi z rušitvami armiranobetonskih konstrukcij.

Naslednja tedenska srečanja so potekala kot debate na teme naših diplomskih nalog. Del spletnih srečanj je bil namenjen tudi naši temi. Ostali člani skupine so pokazali veliko praktičnega znanja iz gradbeništva in strojništva, kar nam je prišlo prav pri pripravi našega diplomskega dela. Iz informacij, mnenj in znanj kolegov smo prišli do novih idej in zaključkov.

Na srečanju smo predstavili temo za svoje diplomsko delo. Podrobneje smo jim predstavili oba načina rušenja. Klasično rušenje jim je bilo razmeroma dobro poznano, rušenje z vodnim curkom pa manj. Nekateri se z njim še niso srečali. Opisali smo dva praktična primera, ki smo jih primerjali glede na stroške, porabo elektrike, materiala, delovno silo ter časovni okvir izvedenih del. Vse to smo nato vključili v svoje diplomsko delo. Na začetku smo proučili metode klasičnega rušenja, potrebno opremo, posamezno tehnologijo rušitev, udeležence in njihove naloge. Podrobneje smo opredelili, katero opremo uporabiti na različnih primerih. Bolj smo se osredotočili tudi na znanja, sposobnosti, razmere za delo in nevarnosti, na katere moramo biti posebej pozorni. Kasneje smo bolj natančno proučili in raziskali še visokotlačno tehnologijo.



Vir: (International Concrete Repair Institute, 2004)

Raziskali smo strojno opremo in njene tehnološke značilnosti. Pogledali smo si potrebna orodja, načine gibanja orodij po površini za rušenje in nujno zaščito pri rušitvah z vodnim curkom. Proučili smo oba načina rušitev. Nadaljevali smo s povezavo obeh praktičnih primerov. Primerjali smo jih s stroškovnega in časovnega vidika. Po dejanskih podatkih smo izračunali stroške porabljenih ur delavcev in stroške pogonskih goriv strojev. Primerjali smo stroške po dejanskih podatkih in jih nato še primerjali s ponudbenimi cenami. Ugotovili smo, da ponudbena cena za visokotlačno rušenje zelo odstopa od dejanskih stroškov. Ko smo raziskovali naprej, smo ugotovili, da so oprema, vzdrževanje in nabava rezervnih delov zelo dragi. Ponudniki teh storitev morajo zaradi tega delati pod višjimi cenami, saj bi v nasprotnem primeru dolgoročno poslovali z izgubo. Na koncu smo povzeli še ukrepe za zaščito, varnost in zdravje pri delu. Praktična primera smo primerjali s SWOT-analizo (prednosti, slabosti,

priložnosti in nevarnosti) in prišli do zanimivih zaključkov. Ugotovili smo, da če storitev ocenjujemo izključno glede na stroške, je cenovno ugodnejše klasično rušenje. Če ocenjujemo storitev po kakovosti, je boljša izbira visokotlačno rušenje. Za zdravje delavcev je najboljša možnost visokotlačno rušenje.

Delo v skupini je potekalo organizirano in sistematično, saj smo si že na začetku jasno razdelili naloge. Kljub jasni delitvi nalog in obveznosti se je tudi v naši projektni skupini izkazalo, da je bistvenega pomena timski pristop k reševanju težav. Poseben izziv je bila komunikacija, ki je tokrat potekala prek spleta. Kljub začetnim tehničnim oviram in navajanju na drugačno delovno okolje smo s časom vsi prevzeli svoje naloge in jih odlično izpeljali. Delo prek spleta ima tudi svoje prednosti. Dve izmed njih sta relativno enostavna dostopnost ter možnost hitrega povezovanja in sodelovanja ljudi z različnih lokacij.

3 TEORETIČNI DEL

3.1 Osnove rušenja betonov z vodnim curkom

Rušenje z uporabo vodnega curka (angl. *hydrodemolition*) je nadzorovana uporaba vode za rušenje ali odstranjevanje betona za projektne obnove. Gre za usmerjeno, osredotočeno in izjemno učinkovito erozijo betonov z različnih površin. S pomočjo pogonskih goriv (elektrika, naftni derivati) ustvarimo ultra visoke pritiske vode, ki jih lahko reguliramo in z njimi čistimo površine ali odstranjujemo armirani beton iz različnih konstrukcij, kot so mostovi, jezovi in druge večje armiranobetonske konstrukcije. Tipični betoni prenesejo silo do 3.000 psi (angl. *a pound-force per square inch*), kar pomeni, da je sila na površini okoli 20.685 Pa (N/m²), betoni z visoko trdnostjo pa do 10.000 psi. Posebne črpalke, ki porabijo malo vode (16 L/min), ustvarijo tlak do 36.000 psi. Pri robotiziranih rušitvah se uporabljajo še večje črpalke s pretoki do 200 L/min, vendar je v teh primerih rušilna moč curka že tako velika, da je dovolj 21.750 psi za izvajanje kakovostnih rušitev. Beton lahko kontrolirano odstranjujemo z enim hodom orodja od 2 do 10 cm v globino. Hode orodja in sprotno približevanje orodja k betonski površini nato ponavljamo tako dolgo, da dobimo želeno globino. Ostanke odstranjenega betona ostanejo v notranjosti zaščite, v katerem je delovno orodje (kopje). Postopek rušenja z vodnim curkom delimo na dva načina. Pri obeh uporabljamo podobno mehansko tehnologijo, vendar pri prvem načinu delovno orodje (kopje) držimo v rokah. Pri drugem načinu se delovno orodje (kopje) s pomočjo računalnika, v katerega vnesemo želene parametre, in nato prek hidravlike,

ki poganja robota, giblje z oscilacijskimi gibi po površini betona, ki ga želimo odstraniti (Guide for the preparation of concrete surfaces for repair using hydrodemolition methods, Des Plaines, IL., 2004).



Slika 2: Ročno rušenje s pomočjo vodnega curka

Vir: (<https://www.rglservices.co.uk/what-we-do-with-water/hydrodemolition>)



Slika 3: Robotizirano rušenje

Vir: (<http://www.usienviro.com/hydro-demolition>)

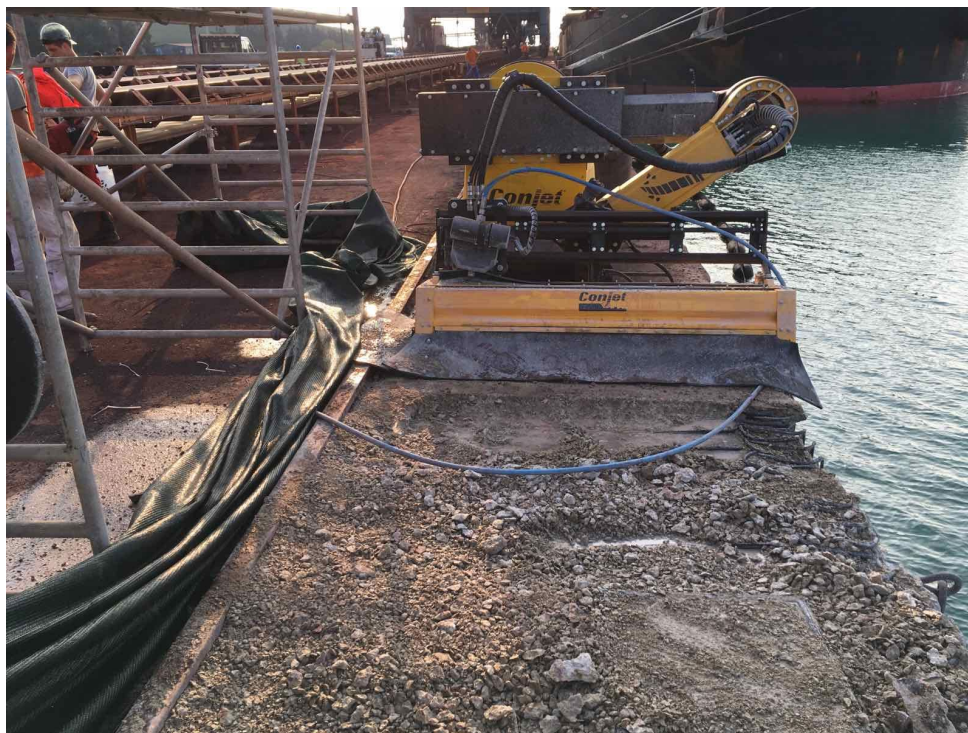
Odstranjevanje poškodovanega betona pomeni, da odstranjujemo betone, ki so poškodovani zaradi razpok, raztrganin, kontaminacije s kemikalijami (npr. kloridi), zaradi požara ali zaradi vremenskih pojavov (cikli zamrzovanja in odtajanja). Metodo rušenja z vodnim curkom uporabljamo v različnih primerih, ki zahtevajo odstranitev betonov zaradi poškodb, zaradi priprave površine za navezavo novih betonov ali ko želimo samo odstraniti odvečni beton.

Na hitrost odstranjevanja betonov vplivajo:

- velikost in gostota agregata,
- trdnost betona,
- enotnost trdnosti betona,
- obseg razpok,
- staranje in deformacije betonov,
- prejšnja popravila, ki imajo za posledico poslabšanje trdnosti materiala,
- vsebnost armaturnega jekla v betonu,
- velikost in razmik armaturnega jekla v betonu,

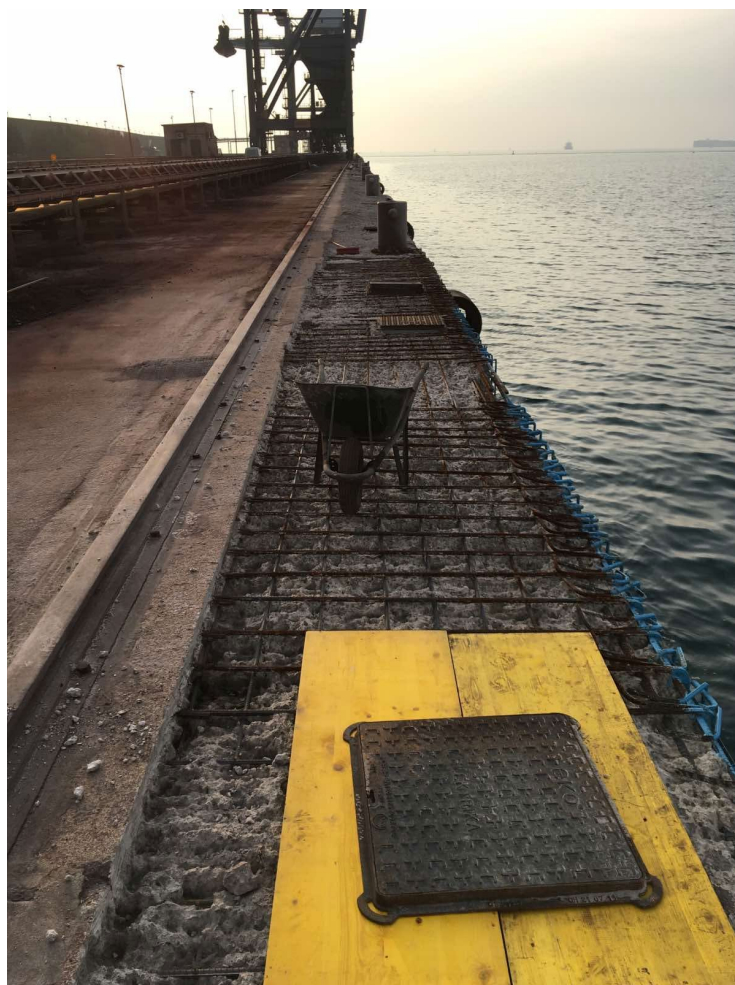
- vsebnost kovinske opreme, ki je vgrajena v beton (sidra, kovinske obloge betonov itd.),
- primerna tehnološka oprema in primeren stroj,
- moč pogonskega agregata s primerno visokotlačno črpalko,
- kapaciteta pretoka vode pod visokim tlakom (Guide for the preparation of concrete surfaces for repair using hydrodemolition methods, Des Plaines, IL., 2004).

Hidrodemolicija je še posebej učinkovita pri odstranjevanju betonov, v katerih so kovinski deli (armatura, cevovodi, kovinske obloge, sidra). Kovinski elementi sicer lahko blokirajo vodni curek, del neodbitega betona lahko ostane pod kovinskim elementom, vendar lahko tega odstranimo z minimalnim naporom. To lahko storimo z ročno usmerjenim vodnim curkom, z lažjimi udarnimi kladivi na elektro pogon ali s pnevmatskimi kladivi. Kadar je globina odstranjevanja zadostna, bo vodni curek spodrezal tudi ujete dele betona (American Concrete Institute. Field Guide to Concrete Repair Application Procedures, Concrete Removal Using Hydrodemolition, 2010).



Slika 4: Rušenje robnega venca pomola

Vir: (Lastni vir)



Slika 5: Odbita površina betona s prvotno armaturo po visokotlačnem rušenju z vodnim curkom

Vir: (Lastni vir)

Pri postopku odstranjevanja armiranega betona nam ostane armatura v prvotnem stanju in očiščena, podobna, kot jo dobimo po postopku peskanja. Tako je primerna za nadaljnjo uporabo. Tudi v primeru dobetoniranja lahko pritrdimo novo armaturo. Če želimo doseči globine odstranjevanja betonov, večje od 0,5 m, moramo s plamenskim rezalnikom ali kotno brusilko odrezati armaturo, da lahko delovno orodje približamo betonu, ki ga nameravamo rušiti (Guide for the preparation of concrete surfaces for repair using hydrodemolition methods, Des Plaines, IL., 2004).

Tradicionalna mehanska tehnika rušenja betonov s kladivi (pnevmatskimi ali hidravličnimi) je relativno cenovno ugodna in takoj na voljo za uporabo, vendar je povezana s precejšnjimi stroški delovne sile, nastajanjem prahu in hrupa. Tehnika rušenja betonov z visokotlačnim

vodnim curkom je bolj produktivna, skrajša čas dela, ne poškoduje armature in zagotavlja dober oprijem novega betona na obstoječe površine (Bazanov, 2019).

3.2 Klasično rušenje

Klasično rušenje delimo glede na različne tehnologije, ki se uporabljajo. Vsaka vrsta ima svoje prednosti in slabosti.

3.2.1 Rušenje s težko gradbeno mehanizacijo

Pri rušenju s težko gradbeno mehanizacijo uporabljamo kot pogonski del bager, na katerega so pritrjena različna orodja (udarno kladivo, rušilna krogla, žlica). Težka gradbena mehanizacija nam je v večini primerov zelo enostavno dostopna. Premik in postavitve stroja za delo sta enostavna in hitra. Orodja, ki jih uporabljamo, se zamenjajo enostavno in hitro. Z enim strojem lahko opravimo več operacij, med drugimi tudi nalaganje in čiščenje ruševin. Ena izmed slabosti je, da za rušitev potrebujemo veliko prostora, veliki stroji niso primerni za notranje prostore. Bolj primerni so za dela v večjem obsegu na prostem in za dokončne rušitve, kjer se zruši celoten objekt. Pri vseh rušitvah z bagrom se armatura lahko zvije, prereže ali zlomi, v vsakem primeru se uniči in ni več primerna za nadaljnjo uporabo. Odpadni beton je po rušitvah z bagrom zelo primeren za drobljenje in tako za ponovno uporabo. Možno ga je mleti kar na gradbišču in na mestu spet uporabiti.

Ob odbijanju betona pri rušenju s težko gradbeno mehanizacijo prihaja do velikih tresljajev, hrupa in dvigovanja prahu. Upravljalca stroja je zavarovan pred odboji betona v notranji kabini, vendar je kljub temu izpostavljen velikim vibracijam in hrupu. To zelo negativno vpliva na zdravje upravljalcev težke gradbene mehanizacije. Dolgoročno tresljaji povzročajo tudi okvare in utrujenost materialov na stroju. Tovrstni rabljeni stroji, ki izvajajo omenjena dela, so na tržišču manj zaželeni (American Concrete Institute. Field Guide to Concrete Repair Application Procedures, Concrete Removal Using Hydrodemolition, 2010); (Bazanov, 2019).

3.2.2 Rušenje s pnevmatskimi udarnimi kladivi

Pnevmatska kladiva, ki se jih upravlja ročno, za pogon uporabljajo stisnjeni zrak, kjer se energija prek udarne konice sprošča v udarcih. Gre za pogosto uporabljena orodja, ki so

priročna in hitro pripravljena za delo. Zelo so uporabna na vsakem večjem gradbišču. Primerna so za srednje velika rušitvena dela. Za njihovo uporabo je potrebna zelo velika fizična moč, zato moramo delovno silo pogosto menjati. Osebe, ki upravljajo rušilno kladivo, so izpostavljene zelo velikim povratnim udarcem orodja, ko se konica sprosti v beton. Ob nepravilni uporabi zaščitnih očal pride hitro do poškodb oči. Kadar rušilno kladivo uporabljamo v zaprtih prostorih, prihaja do velikega hrupa. Na tržišču se pojavljajo nova kladiva, ki so boljša za zdravje upravljalca. Vgrajene imajo protivibracijske sisteme, ki ne prenašajo toliko povratne energije na upravljalca, ampak jo akumulirajo prek sistema. Slabost teh kladiv je, da so manj učinkovita kot klasična kladiva in so zato pri delavcih manj priljubljena.

Odbiti beton je pri rušenju s pnevmatskimi udarnimi kladivi primeren za ponovno uporabo. Če smo pri odbijanju dovolj pazljivi, se lahko obstoječa armatura uporabi za navezavo nove armature v primeru dograditve konstrukcijskega dela (American Concrete Institute. Field Guide to Concrete Repair Application Procedures, Concrete Removal Using Hydrodemolition, 2010); (Bazanov, 2019).

3.2.3 Rušenje betonov z lahkimi odkopnimi kladivi na električni pogon

Lahka odkopna kladiva na električni pogon so primerna za manjša dela. So univerzalen pripomoček na vsakem gradbišču. Uporabljajo se za manjša odbijanja, odstranjevanje oblog ali barv in vrtanje vrtin manjših premerov. Za pogon se uporablja električna energija, ki jo pri manjših napravah dovajamo iz baterij, nameščenih na napravah. Za uporabo je potrebna srednja fizična moč. Nujna je dosledna uporaba zaščitne opreme (očala, slušalke) (American Concrete Institute. Field Guide to Concrete Repair Application Procedures, Concrete Removal Using Hydrodemolition, 2010); (Bazanov, 2019).

3.2.4 Rezanje armirano betonskih konstrukcij

Za rušenje konstrukcijskih delov lahko uporabimo rezanje z diamantnimi rezili. Pri rezanju betonov s pomočjo jeklenice uporabimo hidravlično črpalko, ki nam jeklenico vrti v krožnem gibanju. Prek ustreznega napenjalca nam jeklenica, na katero so pritrjeni diamantni segmenti, ki služijo za rezanje, prereže želeni armiranobetonski konstrukcijski del. Prav tako prereže armaturo. Rez ostane gladek. Pri opisanem postopku moramo dovajati vodo, ki nam hladi

segmente in spira odrezke iz vdolbine reza. Za nameščanje jeklenice se lahko izvrtajo vrtine, kar izvedemo s kronskim diamantnim vrtanjem. Postopek rezanja s krožno žago je podoben postopku z jeklenico. Tu se orodje vrti in potuje po prej nameščenih vodilih.

Pri obeh omenjenih postopkih so odrezani deli velikih dimenzij in v večini primerov za njihov prijem potrebujemo dvigalo. Poleg tega so odrezani deli neprimerni za hitro ponovno uporabo, ker so preveliki in neprimerni za takojšnje mletje v mlinih za beton. Pred mletjem jih moramo še zdrobiti na manjše dele. Če želimo na gladek rez navezati novo armaturo, moramo v obstoječi neporušeni del lepiti sidro, ki nam služi za navezavo.

Oba opisana postopka sta fizično manj zahtevna in ob pravilnem rokovanju nista posebej škodljiva za zdravje. Potrebno je dobro poznavanje statičnih osnov za dvig težkih bremen, ker nam odrezani del v trenutku loma močno obremeni dvigalo (American Concrete Institute. Field Guide to Concrete Repair Application Procedures, Concrete Removal Using Hydrodemolition, 2010); (Bazanov, 2019).

3.2.5 Miniranje

Miniranje se v sanacijah in novogradnjah redko uporablja. Bolj pogosto se uporablja v kamnolomih in pri rušitvah velikih objektov, ki se zrušijo v celoti in so po rušenju povsem neuporabni za nadaljnjo navezavo novih konstrukcijskih elementov. Za tovrstno rušenje potrebujemo veliko prostora in specifična znanja o razstrelivih. Na tržišču se pojavlja nov postopek rušenja, ki ga imenujemo hladno miniranje. Izvaja se tako, da se izvrti vrtina, v katero se vstavi kemična zmes, ki postopoma v več urah pridobiva na svojem volumnu in tako odlomi želeni del. Ta metoda miniranja je boljša od klasične, saj ne pride do eksplozije in velikega hrupa (American Concrete Institute. Field Guide to Concrete Repair Application Procedures, Concrete Removal Using Hydrodemolition, 2010); (Bazanov, 2019).

3.3 Oprema visokotlačne tehnologije

Oprema za visokotlačno rušenje je sestavljena iz pogonskega agregata z visokotlačno črpalko in delovnega orodja, ki sta med seboj povezana s visokotlačnimi cevmi. Pogonski agregat je lahko na naftni ali električni pogon. Pogonski agregat poganja visokotlačno črpalko, ki nam

spremeni tlak vode vse do 3.000 barov. Tlak se lahko regulira s pomočjo nastavitve obratov pogskega agregata ali v starejših primerih prek regulacijskega ventila, ki je nameščen tik za črpalko. Voda, ki je stisnjena pod visokim pritiskom, potuje po visokotlačnih ceveh do delovnega stroj ali orodja. Pri robotiziranem rušenju delovni stroj poganja hidravlika in je računalniško voden. V vsakem primeru ga nadzoruje človek – upravljavec iz varne razdalje. Stroj premika kopje z gibi levo-desno in s pomikom naprej ali krožno. Kopje se giblje z oscilacijskimi gibi. Na koncu kopja je šoba, skozi katero teče curek vode in z enakomerno silo udari na želeno mesto, ki ga obdelujemo. Pri ročnem vodenju kopja je postopek do delovnega orodja podoben robotiziranemu. Razlika je le v tem, da se tu uporabljajo črpalke, ki ustvarijo še večji tlak vode, vendar imajo manjši pretok skozi šobo. Tako povratna sila, ki deluje nazaj na kopje, ni tako velika, kot je ta pri robotiziranem rušenju. Kopje se drži v rokah in se s fizično močjo usmerja v želeno delovno okolje. Pri tem je zelo pomembna zaščitna obleka delavca, ki upravlja s kopjem. Uporabljajo se nepremočljive in zadostno trdne obleke, da lahko preprečujejo tudi poškodbe, ki bi lahko nastale zaradi odbitega drobirja betonskih delcev. Ročno rušenje se uporablja za manjše popravke po robotiziranem rušenju, za manjše rušitve na za robota nedostopnem mestu, za odstranjevanje različnih nanosov barv in za odstranjevanje cementne srajčke (American Concrete Institute. Field Guide to Concrete Repair Application Procedures, Concrete Removal Using Hydrodemolition, 2010).

Mobilne visokotlačne naprave so enostavne za transport in so primerne za uporabo na več mestih. Zaradi tega so na prikolicah ali drugih prevoznih sredstvih. Vsa potrebna dodatna oprema je fleksibilna in se enostavno priklaplja in odklapija. Stacionarne visokotlačne naprave so ustvarjene za uporabo na enem mestu za daljše časovno obdobje. Kljub temu jih je možno z ustrezno opremo relativno hitro premakniti na drugo mesto. Te naprave so pretežno v večjih zabojnikih z napajalnimi linijami, ki se lahko odklopijo (Momber, 2005).

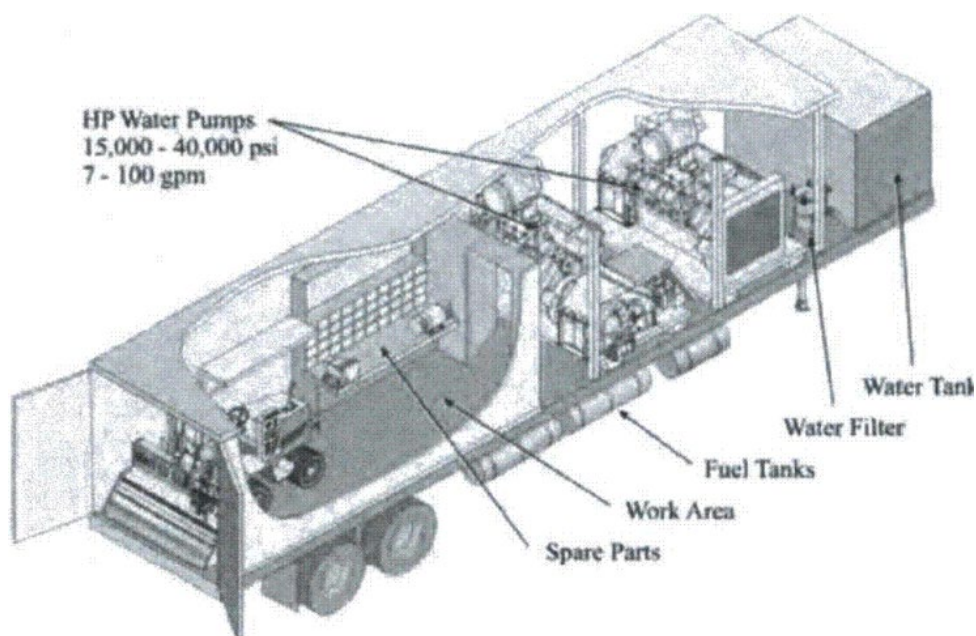
Mobilna enota, ki se lahko uporabi na različnih delovnih mestih na gradbiščih, je sestavljena iz naslednjih komponent:

- pogona,
- rezervoarja z gorivom (če je pogon dizelski),
- zalogovnika vode,
- visokotlačne črpalke,
- visokotlačne cevi,

- usmerjevalnikov curka (robot ali kopje, ki se upravlja ročno),
- varnostnih mehanizmov,
- kontrolnih in merilnih instrumentov.

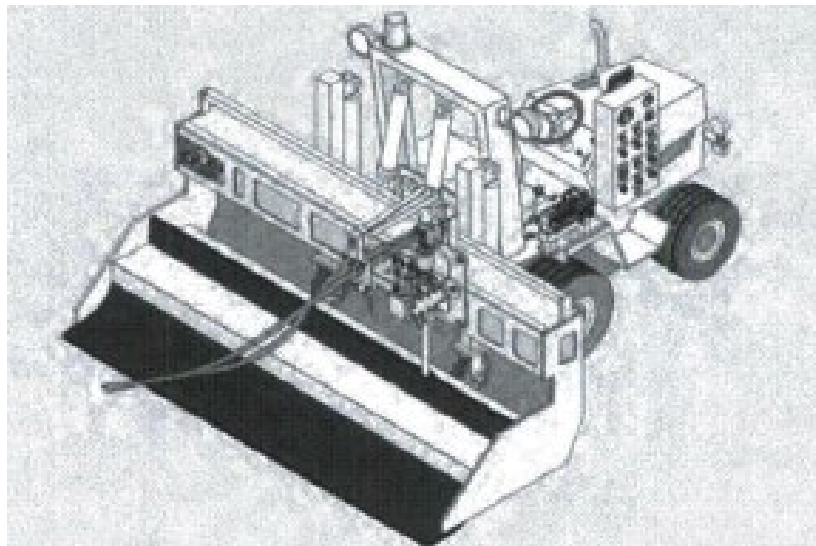
Proizvajalci opreme visokotlačne tehnologije svetujejo, da je za najbolj učinkovito rušenje s tehnologijo vodnega curka treba zadostiti naslednjim osnovnim parametrom, vsakemu od njih v okvirnem razponu (Bazanov, 2019):

- tlak vode: 950–3.000 barov,
- pretok vode: 20–300 litrov na minuto,
- dizelski motor (vodna črpalka), moč: 110–750 kW,
- hitrost vode: 200–600 m/sec,
- premer luknje v šobi kopja: 2–4 mm,
- globina rušenja betona: 0–0,5 (1,0) m,
- kapaciteta rušenja: 0,5–1,5 (2,5) m³/hr.



Slika 6: Oprema za visokotlačno rušenje na prikolici vlačilca

Vir: (International Concrete Repair Institute, 2004)

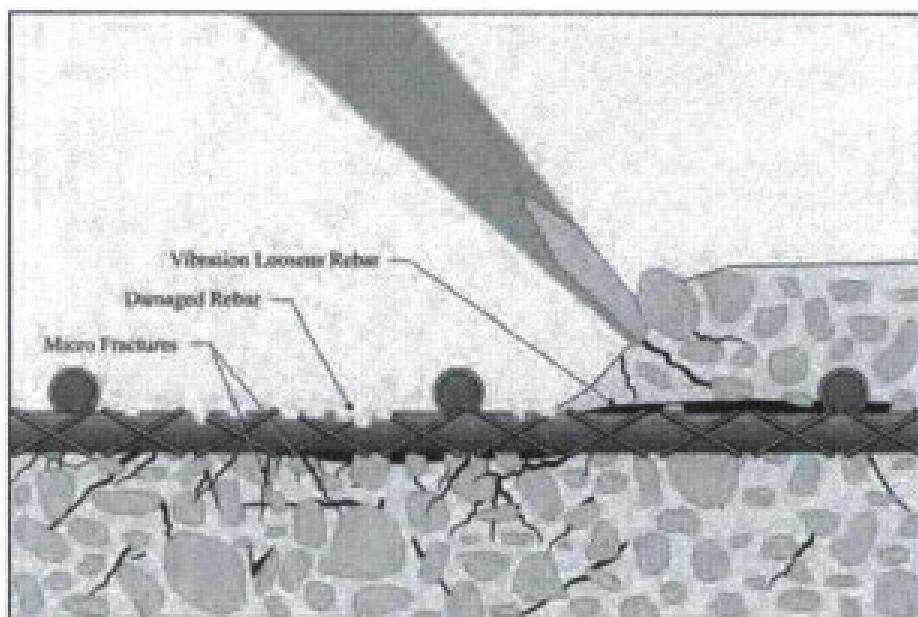


Slika 7: Tip robota, ki vodi orodje po delovni površini

Vir: (International Concrete Repair Institute, 2004)

3.4 Mikrorazpoke pri rušitvah

Glavna prednost hidrodemolicije je, da postopek poteka brez vibracij. Usmerjen curek se usmeri v želeni del, ki ga hočemo obdelati. Pri tem curek udarja s konstantno silo in ne prihaja do udarcev, kot se to dogaja pri udarnih kladivih. Hidrodemolicija odstrani plast betona tako, da v material strelja curek vode pod visokim pritiskom. Ko voda napolni naravne votline v betonu, ta znotraj počí. Pride do odbitja betonskega drobirja. Rezultat je hrapava površina brez mikrorazpok, pripravljena na novo plast svežega betona.



Slika 8: Škoda, ki jo naredi kladivo

Vir: (International Concrete Repair Institute, 2004)

Na preostali konstrukciji ne prihaja do razpok, beton pa z vodnim curkom ohranja prvotno celovitost, zaradi česar je tehnika idealna za navezavo novih betonov in različna sanacijska popravila betonov. Ker ni vibracij, lahko odstranjujemo beton tudi na območjih, ki zahtevajo občutljive odstranitve (American Concrete Institute. Field Guide to Concrete Repair Application Procedures, Concrete Removal Using Hydrodemolition, 2010); (Bazanov, 2019); (Momber, 2005).

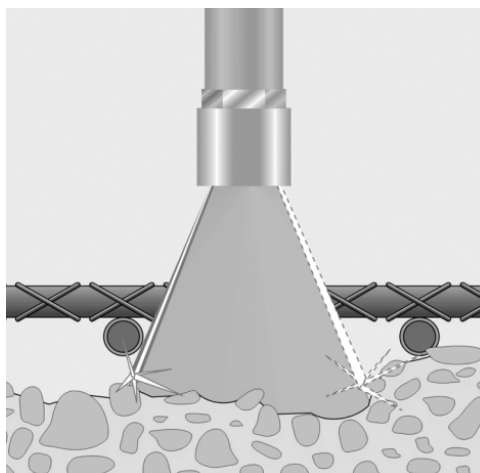


Slika 9: Klasično rušenje in rušenje z vodnim curkom

Vir: (<http://www.barwin.co.uk/services/hydrodemolition-concrete-removal-technique.php>)

3.5 *Armatura po rušenju z vodnim curkom*

Po rušenju betona z vodnim curkom se površina očisti ostankov odbitega betona v obliki drobirja majhnih granulacij. To se lahko izvede z manjšimi bagri, nato ročno in se na koncu spere z vodnimi cevmi z večjimi pretoki (npr. gasilska cev). Boljši način je, da se površino posesa z večjimi sesalci, ki se uporabljajo posebej v te namene. Naprave so nameščene skupaj z zbiralniki na kamionu, ki jih nato odloži na zeleno mesto. Po čiščenju se bolje opazijo mesta, ki smo jih bodisi obdelali s prekritimi hodi ali so na mestih bili vgrajeni boljši betoni. Prav tako se opazijo sence betona, ki jih vodni curek ni mogel doseči zaradi armature. Ta mesta se popravijo z ročnim visokotlačnim mešanjem ali se odbijejo z lahkimi odklopnimi kladivi. Ko je čiščenje gotovo, se pokaže armatura, ki ostane v stanju, kot je bila zvezana po montaži. Zaradi drobirja, ki ga curek odbija od betona in se zaleti v armaturo, je armatura očiščena kot pri postopku peskanja. Takšna armatura je sprva sive barve, po nekaj urah pa dobi rahlo rjavo barvo, ki jo v praksi poimenujejo »lisica«. Armatura je pripravljena za navezavo nove armature in dobetoniranja. Če želimo odbito mesto samo sanirati s sanacijskimi maltami, to armaturo premažemo z ustreznimi antikorozivnimi in veznimi materiali za nanos nove sanacijske malte. Če rušimo cel konstrukcijski del, torej rušitev z visokotlačnim curkom v globine večje od 40 cm, in obstoječe armature več ne potrebujemo, odrežemo armaturo s kotno brusilko ali plamenskimi rezalnikom, da lahko kopje bolj približamo zelenemu betonu in s tem povečamo učinek moči curka. Curek ima zadovoljivo rušilno moč do globine približno od 20 do 40 cm. Na večjih globinah je moč curka manjša in ne dosežemo zadovoljive hitrosti rušenja.



Slika 10: Shematski prikaz odstranjevanja betonov z vodnim curkom

Vir: (American Concrete Institute, 2010)

Armatura po rušenju s klasičnimi metodami je v večini primerov neuporabna (zvita, raztrgana) in je ne moremo ponovno uporabiti. Če bi jo želeli ohraniti, bi morali rušiti z lahkimi odkopnimi kladivi, kar pa bi bilo neekonomično in relativno počasno (American Concrete Institute. Field Guide to Concrete Repair Application Procedures, Concrete Removal Using Hydrodemolition, 2010); (Bazanov, 2019).



Slika 11: Armatura po rušenju z vodnim curkom

Vir: (<https://www.calderltd.com/applications/industry/hydrodemolition/>)

3.6 Ekonomski vidiki tehnologije vodnega curka

V literaturi je malo podatkov o ekonomski primerjavi nove tehnologije vodnega curka s tradicionalnimi. Večina prispevkov obravnava rezalne tehnologije (rezanje betonov s pomočjo vodnega curka), ki so najbolj zastopane v primerjavi z drugimi. Yan s sodelavci je leta 2004 objavil članek o odstranjevanju betonov s pulzirajočim vodnim curkom. V njem je predstavil študijo o varčevanju z uporabo impulznega vodnega curka. Ugotavljal je, da lahko s to tehnologijo prihranimo 175 USD/m² v primerjavi s prej uporabljenimi tehnikami (klasično rušenje in peskanje).

Temeljito ekonomsko analizo stroškov tehnologije vodnega curka sta predstavila Zenga in Kim leta 1993. Razvila sta metodo za napovedovanje stroškov pri primerih uporabe tehnologije abrazivne moči vodnega curka pri konstantni hitrosti rezanja. Njuna analiza in metoda

napovedovanja stroškov sta bili uporabljeni v študiji Singha in Mounza leta 1993, ki sta ugotavljala, da lahko s tehnologijo vodnega curka za razliko od drugih tehnologij prihranimo od 10 do 30 % celotnih operativnih stroškov. Poudarila sta tudi, da je ekonomska analiza tehnologije vodnega curka težka zaradi treh glavnih dejavnikov:

- a) enake rezultate pri odstranjevanju betonov lahko dosežemo s kombinacijami različnih sredstev;
- b) fleksibilnost procesa odstranjevanja betonov in možnost večkratne uporabe strojev za odstranjevanje betonov;
- c) različne stranke imajo različne zahteve in lahko različne lastnosti ocenijo drugače.

Dober model ekonomske analize tehnologije vodnega curka bi moral upoštevati tudi te tri dejavnike. Naslednja ovira pri temeljiti ekonomski analizi je razlika med kontinuiranim vodnim curkom in pulzirajočim vodnim curkom, ki se oba lahko uporabljata za namene rušenja in odstranjevanja betonov. Pulzirajoč vodni curek zagotovimo s primerno hitrostjo oscilacije kopja delovnega orodja. Za primerjavo, da dosežemo enak učinek odstranitve ali rušitve betonov, je za ustvarjanje pulzirajočega vodnega curka na voljo dosti cenejša oprema (in sicer do 2,4-krat cenejša) od opreme, ki je potrebna za ustvarjanje kontinuiranega curka (Hela, in drugi, 2011).

Rezultati izračunov raziskave, ki jo je objavil Hela s sodelavci (2011), jasno kažejo, da lahko uporaba napredne tehnologije s pulzirajočim vodnim curek znatno zmanjša stroške postopka odstranjevanja plasti poškodovanega betona v primerjavi s tradicionalnimi metodami odstranjevanja betona z neprekinjenim hitrim vodnim curkom. Medtem ko se odstrani enaka količina betona, so skupni urni stroški pri uporabi pulzirajočega curka vsaj 1,6-krat nižji. Pri višjih tlakih in pretokih vode (kar povzroči večjo količino razpadlega betona na enoto časa) uporaba pulzirajoče tehnologije še dodatno znižuje stroške. Glede na to, da sta obe tehnologiji podobni, saj temeljita na istih načelih, je iz študije razvidno, da uporaba pulzirajočih curkov prinaša največ prihrankov v primerjavi s kontinuiranim pri kritju stroškov amortizacije, skupne cene opreme in s tem povezanih stroškov popravila, vzdrževanja in nadomestnih delov. Tudi stroški pogonske energije so pri uporabi pulzirajočih curkov nižji.

Nakup in vzdrževanje opreme visokotlačne tehnologije predstavljata visok strošek. Cevi in šoba, ki je na koncu kopja, obratujejo pod visokimi tlaki, zato se hitro obrabijo. Tudi ostala oprema je konstantno izpostavljena visokim tlakom. Zaradi potrebe po zagotavljanju zadostne

varnosti vseh zaposlenih ter standardov se mora kakršenkoli obrabljeni del opreme takoj menjati in nadomestiti, kar v praksi predstavlja dodaten visok strošek.

3.7 Vpliv vibracij na zdravje in delazmožnost

Vibracije so oscilatorna gibanja delcev ali teles okoli fiksne lege. Vibracije delimo na periodične (sinusne), naključne (stohastične) in prehodne (tranzitorne) (Črnivec, Marušič, & Dodič Fikfak, 2009).

Vibracijska bolezen je niz motenj, ki se pojavljajo pri delavcih po dolgotrajnem stiku z lokalnimi ali splošnimi vibracijami. Lahko gre za napredujoče obolenje, ki se v splošnem kaže s prizadetostjo krvnih žil, mišičnih tetiv, živcev, kosti in sklepov, pa tudi sluha in vida (Bilban, 2014). Najbolj so vibracijam izpostavljeni zaposleni v gradbeništvu, gozdarstvu, rudarstvu, kamnoseštvu, kovinski in lesni industriji, v transportu (cestni, vodni, tirni, zračni) in kmetijstvu, ki pri delu uporabljajo vibrirajočo delovno opremo (pnevmatska, električna orodja) (Črnivec, Marušič, & Dodič Fikfak, 2009).

V Evropski uniji je približno 24 % delavcev pri delu izpostavljenih vibracijam (Črnivec, Marušič, & Dodič Fikfak, 2009). Po podatkih Evropske unije je 19 % gradbenih delavcev ves delovni dan izpostavljenih vibracijam, 54 % pa le del delovnega časa. Začetne oblike bolezni se pojavijo po 5–6 letih dela. Raziskave kažejo, da bo v povprečju zbolel vsak drugi delavec, ki je izpostavljen nihanju rok. Glede na vrsto dela je logično, da se vibracijska bolezen pojavlja predvsem pri moških. Občutljivost na vibracije je enaka pri obeh spolih (Bilban, 2014).

V gradbeništvu največ vibracij nastaja pri delu s pnevmatskimi rušilnimi kladivi in težko gradbeno mehanizacijo (Črnivec, Marušič, & Dodič Fikfak, 2009). Pnevmatске brusilke proizvedejo okoli 1.500–2.300 udarcev v minuti s frekvenco 25–50 Hz in amplitudo 0,08–0,5 mm. Električne brusilke imajo frekvenco 9–20 Hz z amplitudo 1–1,5 mm, obstajajo pa tudi brusilke s frekvenco do 90 Hz in amplitudo 0,09–0,3 mm. Pnevmatška kladiva, ki se uporabljajo v metalni industriji in ladjedelništvu, imajo frekvenco 30–60 Hz pri amplitudi 0,5–2,8 mm (nekaterе vrste celo do 100 Hz). Pnevmatški vibratorji, ki se uporabljajo v livarnah, običajno proizvajajo vibracije s frekvenco 10 Hz pri amplitudi 15–32 mm (za grobo obdelavo materiala je frekvenca 20–40 Hz in amplituda 0,04–6 mm, za fino obdelavo pa frekvenca 80–120 Hz in amplituda 0,048–0,13 mm). Pri različnih frekvencah v organizmu nastajajo različne reakcije (Bilban, 2014).

Vibracije se prenašajo na človeško telo ali njegov del na mestu stika z vibrirajočim sistemom. Širjenje vibracij skozi telo olajša čvrst stik roke z orodjem ali predmetom, ki ga obdeluje. Ločimo lokalne in splošne vibracije. Lokalnim vibracijam (angl. *Hand Arm Vibration, HAV*) so izpostavljeni predvsem delavci, ki uporabljajo pnevmatska kladiva – pištole, vrtalnike, brusilke ali motorne žage (v rudarstvu, kamnolomih, kovinski industriji, gozdarstvu, lesni industriji, gradbeništvu itd.). Splošnim vibracijam (angl. *Whole Body Vibration, WBV*) so izpostavljeni predvsem delavci, ki delajo na transportnih sredstvih (vozniki, sprevodniki, vozniki poljedelskih strojev, traktoristi, strojniki težke gradbene mehanizacije, pa tudi delavci v gradbeništvu (vibracijske mize v betonarnah) in drugih vejah industrije (elektromotorji, industrijske peči, neustrezno temeljeni stroji itd.)), kjer vibracije delujejo na celo telo (Bilban, 2014).

V gradbeništvu pri delu z rušilnimi pnevmatskimi kladivi (klasično rušenje betonov) nastajajo predvsem lokalne vibracije (vibracijski sindrom zgornjih okončin), pri obsežnejših delih, kjer se uporablja težka gradbena mehanizacija, pa so prisotne tudi splošne vibracije. Lokalne in splošne vibracije povzročajo različne zdravstvene težave, ki se lahko občasno tudi prepletajo.

1. Lokalne vibracije povzročajo:

- a) Zdravstvene okvare perifernega ožilja – poklicna vazonevroza (t. i. sindrom belih prstov ali Raynaudov fenomen): težave se kažejo kot povečana občutljivost na mraz, neprijetne senzacije v prstih, povečano znojenje prstov, bolečine v prstih, izguba občutka za fini prijem (predmeti padajo iz rok).
- b) Zdravstvene okvare perifernega živčevja – nevritična oblika: zdravstvene težave lahko nastanejo samostojno ali v kombinaciji z vaskularnimi motnjami. Značilne težave so zmanjšan občutek za vibracijo in temperaturo, neprijetni občutki v prstih in/ali dlaneh, ki se pojavijo po uporabi vibrirajočih orodij, zlasti ponoči, drevenenje prstov in padanje predmetov iz rok (zmanjšana ročna spretnost).
- c) Zdravstvene okvare kostno-sklepnega in mišično-tetivnega sistema: najpogosteje sta prizadeta zapestni in komolčni sklep, manj pogosto pa ramenski sklep. Težave se kažejo kot bolečine v sklepih in omejena gibljivost. Sčasoma pride tudi do zmanjšane mišične moči. Prizadetost mišic se kaže kot tipne boleče zatrdline v prizadeti mišici zaradi ponavljajočih se vnetij.
- d) Zdravstvene okvare ostalih organskih sistemov: v sklopu vibracijske bolezni, ki jo povzročajo lokalne vibracije, je lahko prizadeta koža, ki postane gladka, tanka in suha ter

tako dovzetnejša za okužbe. Zaradi lokalnih vibracij so možne tudi zdravstvene okvare na organskih sistemih, ki so oddaljeni od mesta z neposrednim prenosom vibracij na telo. Tako so lahko prizadeta prebavila (kronično vnetje želodčne sluznice, sluznice dvanajstnika, motnje v prebavi), vid (slabšanje ostrine vida in dvojne slike) in centralni živčni sistem (vrtoglavice zaradi motenj cerebralne cirkulacije). Lahko se pojavijo tudi splošni simptomi, kot so utrujenost, glavoboli, motnje spanja, pozabljivost in razdražljivost.

2. Splošne vibracije povzročajo:

- a) T. i. celotelesni vibracijski sindrom (angl. *whole body vibration syndrome*), ki ga povzročajo vibracije na celo telo v frekvenčnem območju 1–80 Hz. Ta sindrom zajema skupino kompleksnih zdravstvenih težav, ki prizadenejo celo telo. To so povišan krvni tlak, bolečine v prsnem košu, napadi glavobolov, vrtoglavice, utrujenost, napetost, razdražljivost, nespečnost in motnje srčnega ritma. Če se vibracije prenašajo prek nog ali medenice, nastanejo poškodbe ledveno-križne hrbtenice. Posebno nevarne so nizke frekvence, in sicer 4–8 Hz za vertikalne in 1–2 Hz za horizontalne vibracije, ker v tem območju večina organov pride v resonanco (Črnivec, Marušič, & Dodič Fikfak, 2009).
- b) Prav tako se pri zaposlenih v gradbeništvu pojavlja prizadetost sluha, ker so delavci ob delu z vibrirajočimi stroji pogosto izpostavljeni tudi prekomernemu hrupu (Bilban, 2014).
- c) Posledice vibracijske bolezni, ki je pogosta pri klasičnem rušenju betonov, lahko omejujejo delazmožnost delavca oziroma povzročijo njegovo invalidnost (Črnivec, Marušič, & Dodič Fikfak, 2009).

4 PRIMER IZ PRAKSE

V primeru iz prakse opišemo dva različna gradbišča, na katerih sta se izvajali po obsegu podobni rušitvi, vendar z uporabo različnih tehnologij rušenja.

Prvi primer je obnova hidroelektrarne (HE) Plat v bližini Dubrovnika, kjer smo v sklopu gradbenih del menjave predvodilnika, turbine in iztočnega kolena izvedli večjo rušitev armiranega betona s pnevmatskimi kladivi in večjim številom delavcev.

Drugi primer je obnova HE Weinzödl v bližini Gradca, kjer smo z gradbenimi deli sodelovali pri menjavi vtočnega kanala, predvodilnika, turbine in iztočnega kanala. Rušitve smo izvedli z visokotlačno tehnologijo s pomočjo vodnega curka.

4.1 Rušitev s pomočjo pnevmatskih kladiv na HE Plat (Hrvaška)

Na objektu smo sodelovali pri pripravljalnih delih, rušitvenih delih in betonskih delih. Zrušiti je bilo treba 77 m³ armiranega betona. Ob vzporednem rezanju jeklene obloge in demontaže obstoječe opreme (polž, turbina, pripadajoči jekleni deli) smo pričeli z montažo postrojenja opreme za pnevmatsko rušenje. Na primernem mestu so se namestili električni kompresor, raztezna posoda in sušilec zraka. Prek debelejšje gumijaste cevi se je do delovišča zagotovil pretok zraka 20 m³/min pod pritiskom 4–8 barov. Pred deloviščem se je namestil razdelilnik in naoljevalec, ki je oskrboval vsako pnevmatsko pištolo prek posameznih gumijastih cevi in je ob zadostni količini komprimiranega zraka zagotavljal tudi ustrezno mazanje udarnega kladiva pištole. Za rušenje so bile predvidene 4 pnevmatske pištole, ki so delale 24 ur na dan z le občasnimi prekinitvami za čiščenje ruševin z delovišča. To se je opravilo z velikimi vrečami in mostnim žerjavom.

Za neprestano delovanje je bilo potrebnih 24 delavcev, ki so delali v 12-urnih izmenah. Po pol ure dela na pnevmatski pištoli se je skupina 4 delavcev zamenjala z novimi 4 in nato po 4 urah z novimi 4. Tako je delavec po pol ure dela imel eno uro počitka, da ne bi prišlo do prehudega fizičnega izčrpanja delovne sile. V eni izmeni je en delavec delal 8 x 0,5 h, kar skupno znaša 4 h, v delovni čas je bilo všteti še preostalih 8 h počitka. Po končanju izmene je imel delavec 12-urni premor, ki ga je porabil za spanje in ostala opravila. Rušenje je potekalo 18 zaporednih dni. Delovišče je predstavljal zaprt prostor z vhodom odprtine 1 x 1 m, pred katerim je bil vedno delavec pomočnik, ki je vzdrževal pnevmatske pištole, v pištolah menjaval izrabljene konice in skrbel za rezanje odvečne armature.



Slika 12: Izvajanje rušitev s pnevmatskimi kladivi

Vir: (Lastni vir)

Na delovni površini se je ob nenehnem udarjanju kladiv ustvarjal precejšen hrup in se je nenehno prašilo, zato so bili delavci zaščiteni z osebno varovalno opremo, še posebej je bilo treba dosledno zaščititi sluh z antifoni in oči z zaščitnimi očali.



Slika 13: Težko delo s pnevmatskimi kladivi, ki pušča negativne posledice na zdravju delavcev

Vir: (Lastni vir)

Gradbišče je bilo vdolbeno 200 m pod površino v skalo, zato težav z visoko temperaturo ozračja ni bilo. Povprečna temperatura na deloviščih je znašala 18 °C.

Ko se je na delovišču nabralo preveč odpadnega betona in odrezane armature, so se rušitvena dela zaustavila. Isti delavci so očistili ruševine z delovišča. Z lopatami so napolnili vreče po 0,5 m³ ruševin. Strojnik jih je z mostnim žerjavom dvignil in naložil na kamion.



Slika 14: Dvig in nalaganje porušenega materiala, ki je primeren za ponovno uporabo

Vir: (Lastni vir)

Obstoječa armatura se je sproti rezala in dvigovala z delovišča. Za potrebe oprijema novega betona na meji, kjer se je navezoval na starega, je bilo treba ohraniti obstoječo armaturo, kar pa se je izkazalo za zelo zahtevno nalogo. Ob preveč odrezani armaturi so se pri novem betoniranju morale vrtati vrtine in lepiti nova sidra, kar je pomenilo dodatno delo in stroške.



Slika 15: Ostanke armature po rušitvi s pnevmatskimi kladivi za potrebe navezovanja nove armature

Vir: (Lastni vir)

Obstoječe armature, ki se jo je uporabilo za navezovanje nove armature (namesto sider), je ostalo zgolj približno 20 %, ostalih 80 % se je izvrtalo in zalepilo nova sidra.

Ob zaključku rušenja 77 m³ armiranega betona so delavci po 21 dnevih opravili 6.048 delovnih ur. Nenazadnje bi radi izpostavili še to, da je delavec po 12-urni izmeni fizično izčrpan in zaradi neenakih tresljajev in hrupa izdatno utrujen.

Za pogon kompresorja, ki poganja pnevmatske pištole, se je porabilo 41.968 kWh električne energije, ostale vzporedne porabe električne energije (osvetljevanje, prezračevanje) nismo upoštevali v našem izračunu, ker v našem primeru ni pomembna in je zanemarljiva. Odpeljalo se je 105 m³ zrušenega materiala. Za 1 m³ zrušenega armiranega betona smo porabili 78,5 delovne ure in 545 kWh elektrike. Za ure delavcev in kWh elektrike smo porabili 1.249 €/m³, če upoštevamo, da je bruto ura delavca 15 € in cena kWh elektrike 0,13 €.

Rušenje na HE Plat, preračunano na m³, je bilo za 65 % dražje v primerjavi z visokotlačnim rušenjem na HE Weinzödl.

4.2 Rušitev z visokotlačno tehnologijo vodnega curka na HE Weinzödl (Avstrija)

Na gradbišču, kjer sta se v sklopu obnove vgrajevala večji predvodilnik in turbina z generatorjem ter se je razširil iztočni kanal, smo opravili vsa rušitvena in betonska dela. Že v razpisu je bil pogoj, da se rušitvena dela izvedejo s pomočjo visokotlačne tehnologije vodnega curka ali z rezanjem armiranih betonov. Zaradi zagotavljanja nemotenega delovanja drugega agregata hidroelektrarne so prekomerni tresljaji, ki se ustvarjajo ob klasičnih rušitvah, prepovedani. Ob demontaži opreme se je začelo nameščanje opreme za rušenje. Kamionska prikolica, na kateri so bili nameščeni pogonski dizelski agregat, rezervoar za gorivo, rezervoar za vodo in visokotlačna črpalka, je bila parkirana na določenem parkirišču pred objektom hidroelektrarne. Iz najbližjega hidranta je bil zagotovljen dotok vode, ki je polnila rezervoar pred črpalko. Visokotlačne cevi so bile nameščene po tleh elektrarne neposredno do delovišča. Tam so bile pritrjene na robota, ki je držal kopije (delovno orodje), iz katerega se je pri zagonu pogona prek visokotlačne črpalke ustvaril rušilni curek vode. Robota je računalniško upravljal strojnik. Nastavljal je koordinate gibov robota, pritisk vode in število ponavljanja hodov orodja. Pri rušenju sta običajno potrebna dva strojnika; en strojnik za upravljanje robota in en strojnik, ki je zunaj pri pogonu in zagotavlja nemoten dotok vode ter po potrebi vzdržuje opremo.



Slika 16: Spuščanje robota na delovno površino

Vir: (Lastni vir)

V našem primeru smo imeli dve dnevni izmeni po 8 ur, v katerih sta delavca opravila po 7 delovnih ur. Ena ura je bila namenjena malici in pavzam. V tretji nočni izmeni so 4 delavci pospravili nastale ruševine. S pomočjo mostnega žerjava in 5 m³ zaboja za odpadke so jih dvignili z delovišča. Čez dan jih je nato kamion odpeljal na deponijo. Poleg tega so poskrbeli še za montažo primernih delovnih ploščadi, na katerih je v naslednjih izmenah robot opravljal svoje delo. V nočnem času sta se izvajala le čiščenje in montaža platform, rušitve se zaradi neposredne bližine naselja niso izvajale.

Robot je bil opremljen z gumijasto zaščito okoli delovnega orodja, tako da so ruševine ostale v območju rušenja. Kljub temu se je še vedno kakšen kos odkrušenega betona odbil izpod gumijaste zaščite, zato je moral biti upravljalalec robota kljub vsemu ustrezno zaščiten (vizir, antifoni). Za lažje in udobnejše upravljanje stroja se mu je iz opažev naredila hišica z okni iz pleksi stekla, kar ga je ščitilo pred odkruški. V našem primeru se je rušilo v zaprtem prostoru, tako se je zaradi velikih količin vode, ki je bila pod zelo visokim pritiskom, v prostoru ustvarjala vlaga, ki je upravljalcu oteževala pogled na delovno orodje. To težavo smo rešili z izsesavanjem zraka prek cevi za zrak in z ventilatorji za zrak. Voda, ki se je po uporabi rušitvenega vodnega curka nabrala na najnižji točki delovišča, se je sproti izčrpavala s pomočjo potopne črpalke.



Slika 17: Delovanje robota

Vir: (Lastni vir)

Po končanem rušenju z robotom je bila armatura takšna, kot je bila položena v prvotnem stanju pred betonažo. Zaradi odbitih odkrušenih delov betona znotraj gumijaste zaščite je bila tudi očiščena, kot bi bila očiščena s peskanjem. V našem primeru smo odvečno armaturo odrezali na mero, ostanke armature v obstoječem betonu pa smo uporabili za navezavo nove armature. S tem smo se izognili vrtanju in lepljenju novih sider, kar v primeru rezanja betonov z diamantnim rezanjem ne bi bilo možno.



Slika 18: Zrušeni betoni pred vstavljanjem predvodilnika turbine

Vir: (Lastni vir)



Slika 19: Ena od zrušenih površin in montaža kovinskih delov

Vir: (Lastni vir)

V delovnem ciklu 50 dni smo zrušili 180 m^3 armiranega betona. Porabili smo 40.000 litrov nafte in 4.800 m^3 vode. Odpeljali smo 260 m^3 ruševin. Delavci so opravili 1.500 delovnih ur.

Za 1 m^3 zrušenega armiranega betona smo porabili 8,33 delovne ure, 286,4 litra nafte in $26,7 \text{ m}^3$ vode.

Za ure delavcev, nafto in vodo smo porabili $433,7 \text{ €/m}^3$, če upoštevamo, da je bruto ura delavca 15 €, cena litra nafte 1,29 € in cena 1 m^3 vode 22,3 €.

Rušitvena dela na HE Weinzödl, preračunano na m^3 , so bila za 65 % cenejša v primerjavi s klasičnem rušenjem na HE Plat.

5 EMPIRIČNI DEL

5.1 Namen in cilji raziskovalnega dela

V raziskovalnem delu smo pripravili anketni vprašalnik, ki smo ga razdelili med ciljno skupino anketirancev. Vključitveni kriteriji so bili: gradbeni delavci različnih profilov, stari 25–60 let, ki so sodelovali pri rušitvenih delih na armiranobetonskih konstrukcijah. Želeli smo raziskati, katero tehnologijo rušenja naši gradbeni delavci najpogosteje uporabljajo, če in kakšne zdravstvene posledice imajo in ali jih lahko povežemo z naravo njihovega dela. Anketiranim je bil pojasnjen namen ankete, zajamčena jim je bila anonimnost.

5.2 Zbiranje in obdelava podatkov

Zbiranje podatkov je potekalo na osnovi anketnega vprašalnika, ki smo ga razdelili med ciljno skupino. Nato je sledila obdelava podatkov, ki smo jih ročno uredili in vnesli v računalniški program. Besedilo smo uredili v programu Word, za tabele in grafikone smo uporabili Microsoft Excel.

5.3 Rezultati

Rezultati ankete so predstavljeni v nadaljevanju.

1. Spol anketirancev

Tabela 1: Spol anketirancev

Moški	19	95%
Ženske	1	5%
Skupaj	20	100%

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)



Grafikon 1: Spol anketirancev

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)

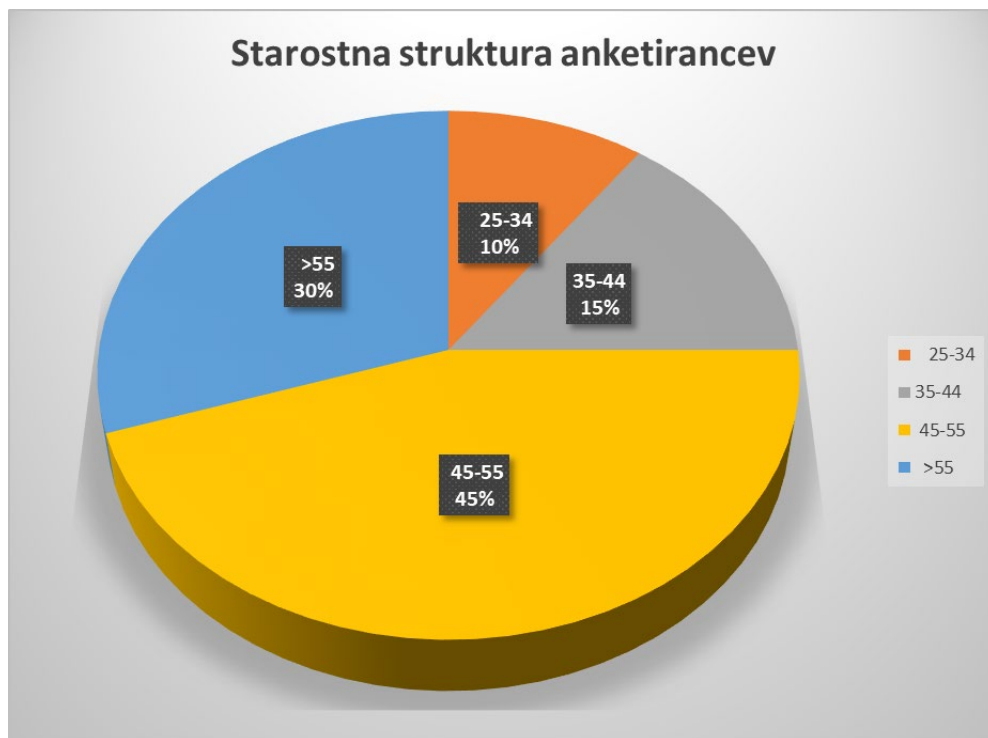
Iz grafikona 1 in tabele 1 je razvidno, da so bili anketirani pretežno moški (95 %), kar je glede na naravo dela logična posledica.

2. Starostna struktura anketirancev

Tabela 2: Starostna struktura anketirancev

	Število	Odstotek
25-34	2	10%
35-44	3	15%
45-55	9	45%
>55	6	30%
Skupaj	20	100%

Vir: (lastna raziskava – anketni vprašalnik)



Grafikon 2: Starostna struktura anketirancev

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)

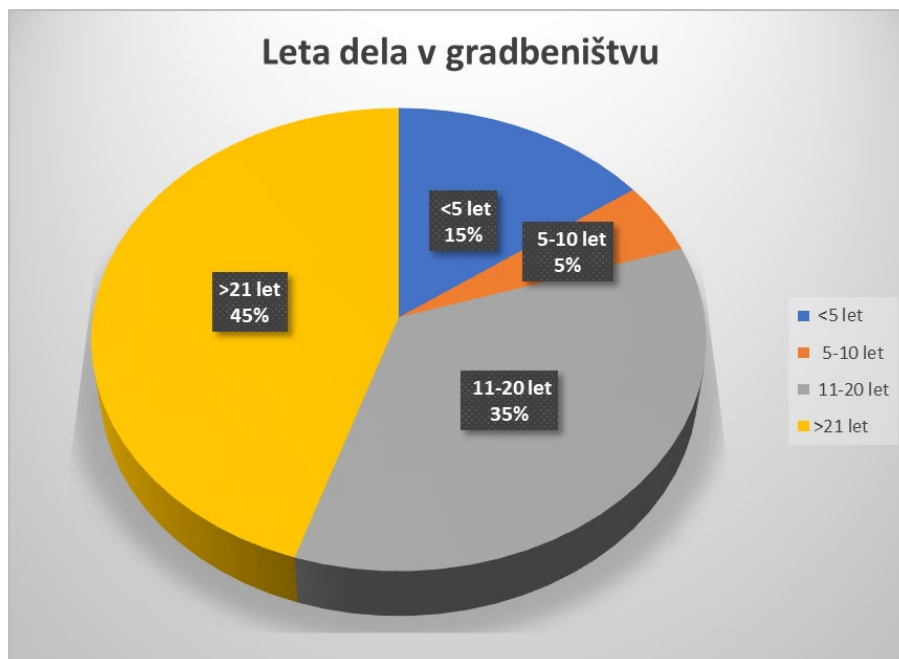
Iz grafikona 2 in tabele 2 je razvidna starostna sestava naših anketiranih. Največ anketiranih je starih 45–55 let (45 %). Sledijo delavci, stari več kot 55 let (33 %).

3. Leta dela v gradbeništvu

Tabela 3: Leta dela v gradbeništvu

3. Leta dela v gradbeništvu		
	Število	Odstotek
<5 let	3	15,0%
5-10 let	1	5,0%
11-20 let	7	35,0%
>21 let	9	45,0%
Skupaj	20	100%

Vir: (lastna raziskava – anketni vprašalnik)



Grafikon 3: Leta dela v gradbeništvu

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)

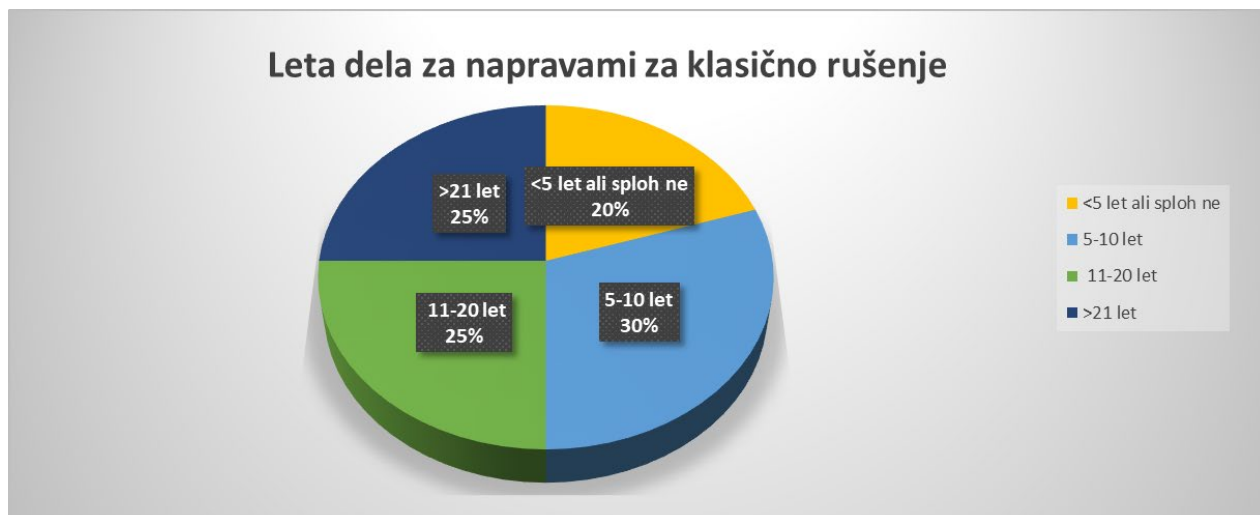
Največ naših anketiranih je v gradbeništvu zaposlenih že več kot 21 let, in sicer kar 45 %, kar prikazujeta grafikon 3 in tabela 3.

4. Leta dela z napravami za klasično rušenje

Tabela 4: Leta dela z napravami za klasično rušenje

4. Leta dela z napravami za klasično rušenje		
	Število	Odstotek
<5 let ali sploh ne	4	20,0%
5-10 let	6	30,0%
11-20 let	5	25,0%
>21 let	5	25,0%
Skupaj	20	100,0%

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)



Grafikon 4: Leta dela z napravami za klasično rušenje

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)

Iz tabele 4 in grafikona 4 je razvidno, da največ naših anketiranih dela z napravami za klasično rušenje 5–10 let (30 %). Velik odstotek (25 %) jih dela s tovrstnimi napravami že več kot 21 let, za kar menimo, da je zaskrbljujoč podatek, saj vemo, da se z leti škoda, ki jo tovrstno delo naredi, akumulira.

5. Leta dela z visokotlačno tehnologijo

Tabela 5: Leta dela z visokotlačno tehnologijo

	število	odstotek
<5 let ali sploh ne	13	65,0%
5-10 let	3	15,0%
11-20 let	4	20,0%
>21 let	0	0,0%
Skupaj	20	100%

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)



Grafikon 5: Leta dela z visokotlačno tehnologijo

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)

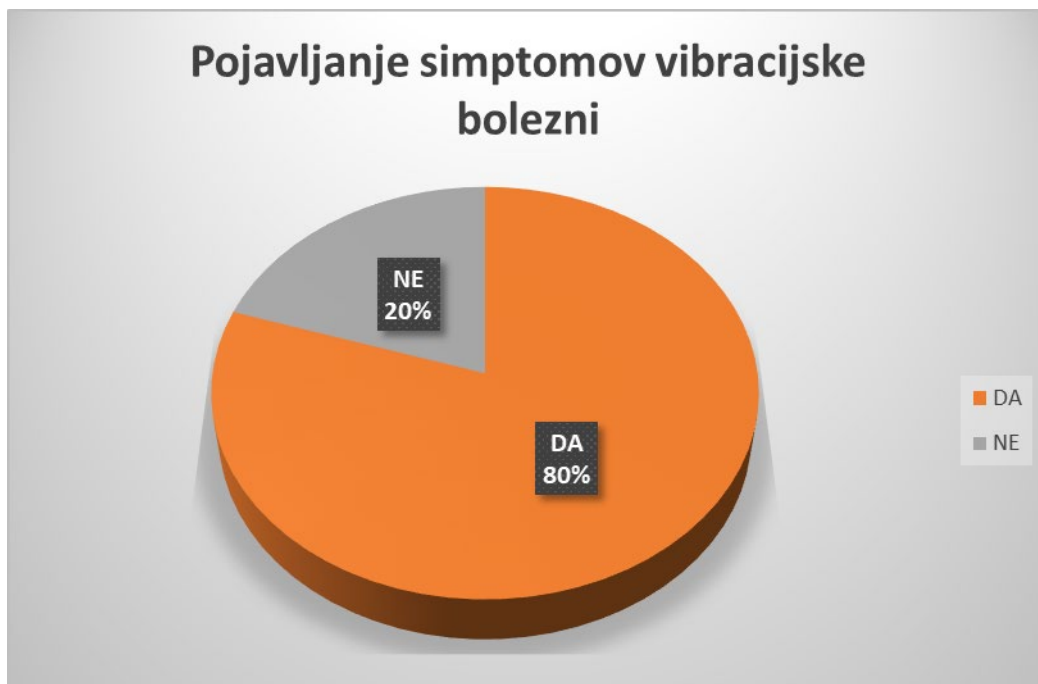
Iz tabele 5 in grafikona 5 je razvidno, da je visokotlačna tehnologija pri nas manj uporabljena in dostopna, saj nihče od anketiranih (0 %) z njo ne dela več kot 21 let. Skoraj dve tretjini anketiranih (65 %) s tovrstno tehnologijo dela manj kot 5 let ali pa se z njo sploh še niso srečali.

6. Pojavljanje simptomov vibracijske bolezni

Tabela 6: Pojavljanje simptomov vibracijske bolezni

	Število	Odstotek
DA	16	80,0%
NE	4	20,0%
Skupaj	20	100%

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)



Grafikon 6: Pojavljanje simptomov vibracijske bolezni

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)

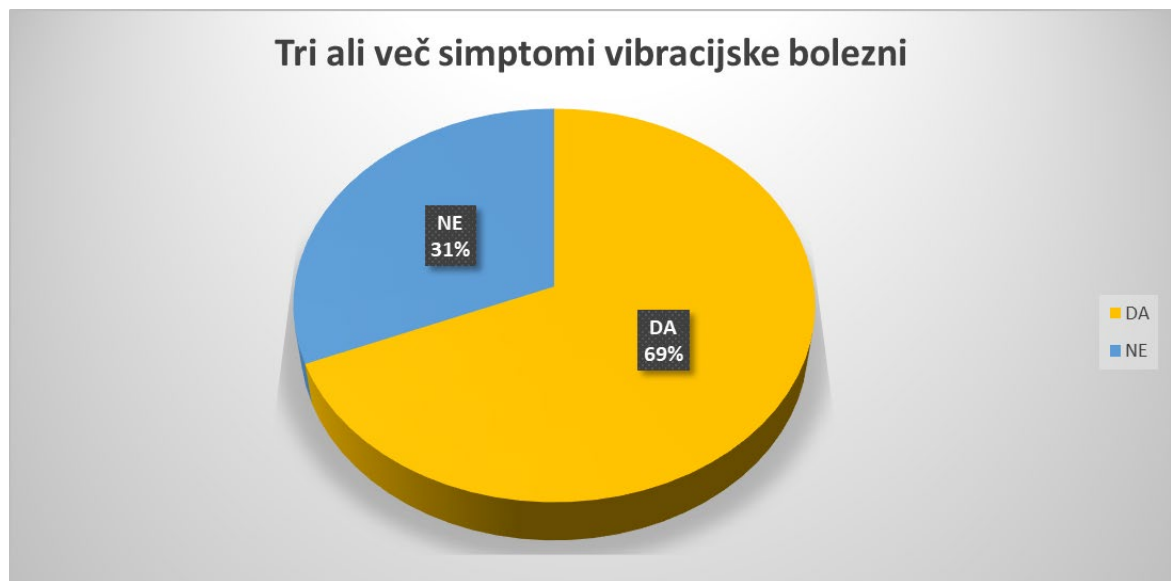
Velika večina (80 %) anketirancev ima razvite simptome vibracijske bolezni, kar prikazujeta grafikon 6 in tabela 6.

7. Več kot trije simptomi vibracijske bolezni

Tabela 7: Več kot trije simptomi vibracijske bolezni

	Število	Odstotek
DA	11	68,8%
NE	5	31,3%
Skupaj	16	100%

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)



Grafikon 7: Trije ali več simptomov vibracijske bolezni

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)

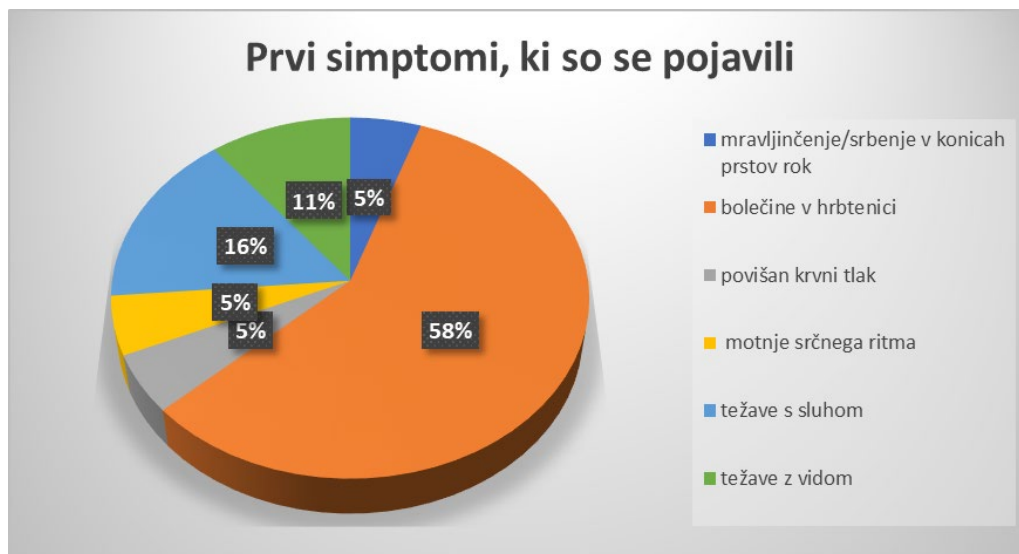
Iz grafikona 7 in tabele 7 je razvidno, da ima več kot dve tretjini (69 %) anketiranih s simptomi vibracijske bolezni tri ali več simptomov vibracijske bolezni.

8. Prvi simptomi, ki so se pojavili

Tabela 8: Prvi simptomi, ki so se pojavili pri posamezniku

	Število	Odstotek
mravljinčenje/srbenje v koncih prstov rok	1	5,3%
sindrom belih prstov (t. i. Raynaudov sindrom)	0	0,0%
otrplost prstov rok	0	0,0%
drevenenje prstov rok	0	0,0%
bolečine v sklepih (zapestje, komolci, rame)	0	0,0%
bolečine v hrbtenici	11	57,9%
motnje v prebavi	0	0,0%
kronično vnetje želodčne sluznice	0	0,0%
kronično vnetje sluznice dvanajstnika	0	0,0%
povišan krvni tlak	1	5,3%
bolečine v prsnem košu	0	0,0%
napadi glavobolov, vrtoglavice	0	0,0%
utrujenost	0	0,0%
napetost	0	0,0%
razdražljivost	0	0,0%
nespečnost	0	0,0%
motnje srčnega ritma	1	5,3%
težave s sluhom	3	15,8%
težave z vidom	2	11%

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)



Grafikon 8: Prvi simptomi, ki so se pojavili pri posamezniku

Vir: (lastna raziskava – anketni vprašalnik)

Iz tabele 9 in grafikona 9 je razvidno, da se je pri več kot polovici anketiranih (58 %) kot prvi simptom pojavila bolečina v hrbtenici. Menimo, da tega ne moremo pripisati samo posledicam vibracijske bolezni, ampak tudi naravi dela (težko fizično delo, dvigovanje težkih bremen, prisilna drža). Poleg tega je večina anketiranih v gradbeništvu zaposlenih že dlje časa. Težave s sluhom ima kar 16 % vseh anketiranih z zdravstvenimi težavami, kar lahko pripišemo večjemu hrupu, ki nastaja ob rušitvah. 11 % jih ima težave z vidom. Tukaj se postavlja vprašanje, ali je bila osebna varovalna oprema dosledno uporabljena oziroma ali je uporabljena osebna varovalna oprema zadostno zaščitna, da lahko delavce zaščiti pred okvarami sluha in vida. Mravljinčenje v konicah prstov kot eden izmed bolj tipičnih predstavnikov vibracijske bolezni se pri anketiranih pojavlja v nižjem odstotku (5 %).

9. Omejenost pri delazmožnosti zaradi vibracijske bolezni

Tabela 9: Omejenost pri delazmožnosti zaradi vibracijske bolezni

	Število	Odstotek
DA	13	65,0%
NE	7	35,0%
Skupaj	20	100,0%

Vir: (lastni vir – anketni vprašalnik)



Grafikon 9: Omejenost pri delazmožnosti zaradi vibracijske bolezni

Vir: (lastni vir– anketni vprašalnik)

Iz grafikona 9 in tabele 9 je razvidno, da 65 % vseh anketiranih meni, da so pri svojem delu omejeni zaradi zdravstvenih težav, ki so nastale v povezavi z delom.

6 NAČINI OZIROMA METODE ZA IZBOLJŠANJE KAKOVOSTI GRADBENIH PROJEKTOV (KROVNA TEMA)

Ob nenehni gradnji novih objektov se vzporedno pojavlja tudi vse večja potreba po vzdrževanju in sanaciji objektov. Betoni so v mnogih pogledih izjemen material. So izredno ekološki in v svetu najpogosteje uporabljen gradbeni material. Imajo dobro tlačno trdnost. Ostale lastnosti, kot je na primer upogibna in tlačna trdnost, so slabše in omejujejo njegovo uporabo. Te lastnosti se korigirajo v kombinaciji z dodajanjem armature. Včasih je veljalo prepričanje, da je beton večen in trajen material. Okolje postaja vedno bolj agresivno in ekološke obremenitve so se povečale. Beton je izpostavljen podnebnim in drugim agresivnim vplivom, ki nastanejo zaradi uporabe. V sedemdesetih letih prejšnjega stoletja so se začele kazati poškodbe na objektih in v razvitem svetu so spoznali, da so tudi betonski objekti podvrženi propadanju. Zavedati se moramo, da je propadanje betonskih objektov posledica vseh uporabljenih materialov, torej betona, pa tudi posledica korozije kovinske armature. Trajnost armiranobetonskih objektov je še vedno najpomembnejša lastnost objektov. Tako so se vse pogosteje začele izvajati sanacije

objektov. Sanacija (iz latinsko: *santio*, zdravljenje, izboljšanje) pomeni gradbeni poseg, ukrep za odpravo posledic poslabšanja stanja oziroma propadanja konstrukcijskih elementov. Teži se k čim enostavnejšim procesom, ki bi bili zdravju in okolju prijazni. V sklop vzdrževanja in sanacij spadata tudi rušenje in delno odstranjevanje betonov. Odbijanje betonov uporabljamo, da se odstranijo nečistoče, propadli betoni s ciljem, da dosežemo dobre površine. Uporabimo jih, ko želimo navezati neke nove konstrukcije na obstoječe konstrukcijske dele ali ko želimo zrušiti objekt. Če želimo rušitve izvesti kakovostno, da postopek ne bi pustil negativnih posledic na objektu, uporabimo visokotlačno rušenje s pomočjo vodnega curka.

Le nekaj postopkov je v zadnjih 20 letih tako temeljito spremenilo gradbeni svet kot tehnologija visokotlačnega vodnega curka. Do nedavnega so se ta dela opravljala s težko gradbeno mehanizacijo in pri manjših delih z lastno fizično močjo človeka. Težka gradbena mehanizacija predstavlja zelo velikega onesnaževalca okolja. Ob tem procesu prihaja tudi do velikih tresljajev, ki se širijo po konstrukcijah objektov in jih posledično uničujejo. Ob tem se uniči vsa armatura, ki je vitalni del betonskih konstrukcij. Pri manjših rušitvenih delih prevečkrat uporabljamo fizično moč, kar je posledično zelo negativno za zdravje ljudi. Pri uporabi pnevmatskih rušitvenih kladiv vse pre pogosto prihaja do trajnih poškodb hrbtenice zaradi prevelikih tresljajev in poškodb sluha zaradi velikega hrupa. Tako se je začela razvijati tehnologija, ki bi bila energetsko čistejša in zdravju prijaznejša. Začeli so se razvijati stroji, ki so vodeni s pomočjo računalnika. Proizvajalci opreme sledijo razvoju prilagojenih rešitev za vsako situacijo. Do nedavnega so bili pogonski agregati predvsem na naftni pogon, zadnje čase jih je več s pogonom na električno energijo, ki velja za čistejšo energijo. Pogonski agregati zelo povišajo tlak vodnega curka, ki se uporabi za delovno orodje pri rušitvah betonov ali samo čiščenje, kot so odstranjevanje barv in hrapavljenje površin. S tem postopkom se tudi ohranja obstoječa armatura, ki je po rušitvah očiščena in še naprej funkcionalna.

Poleg prehajanja na nove pogone s preizkušanjem električnih enot se prilagaja načrtovanje in konfiguriranje sistemov natančno glede na zahteve in želje. Za visokotlačne vodne dejavnosti se uporablja zmogljive in učinkovite visokotlačne batne črpalke in zasnovane visokotlačne brizgalne enote ter vodna orodja. Ponuja se visokotlačne tehnologije vodnega curka za vzdrževanje in čiščenje ter rešitve za številne industrijske visokotlačne dejavnosti v gradbeni, kemični, energetski, naftni, ladjedelniški in jekleni industriji. Strokovnjaki ves čas iščejo nove rešitve za vsako specifično delo, ki se pojavi in potrebuje svoje prilagoditve. Vse skozi nadgrajujejo uveljavljene stroje z novimi orodji in izboljšavami. Poizkušajo najti pravo rešitev

za spopadanje z vsemi izzivi. S staranjem betonov se potreba po tehnologiji povečuje iz dneva v dan. Vse več je del, ki jih lahko opravimo z omenjenimi stroji, vendar ta tehnologija ni omejena samo na gradbeništvo, ampak je potreba po njej tudi na drugih področjih. Z zelo močnimi pritiski in dodajanjem abrazivnih materialov jo uporabljajo za razrez najtrših materialov od kamna do jekla. Uporabljena je ob postopku čiščenja, kjer lahko s segrevanjem vode vodnega curka in dodajanjem čistil očistimo tudi najhujše primere površin.

Danes so visokotlačni vodni curki, prvotno obravnavani kot eksotična oblika inženiringa z omejenim spektrom uporabe, priznani kot najsodobnejši v gradbeništvu. Nenazadnje je do tega prišlo tudi zaradi uvedbe in izvajanja novih predpisov za obnovo gradbeništva in varstvo okolja. Tu so visokotlačni vodni curki tudi komercialno boljši od vseh drugih metod z uporabo selektivnega odstranjevanja materiala in zmanjšanjem ali odstranjevanjem ostankov materialov, za katere veljajo predpisi o odstranjevanju. Enako velja za rezultate dela in strokovno-tehnično ocenjeno kakovost izvedbe. To je osnova za garancijo, ki ustreza standardom, in odločilni razlog, da se vedno večje število gradbenih podjetij, gradbenih servisov in pomožnih gradbenih dejavnosti zanaša na opremo za delo s pomočjo visokotlačnega curka vode (Grum, in drugi, 2004); (Pišek, 2020).

7 SKLEP

Beton je razmeroma mlad material, ki ga uporabljamo dobrih 100 let. Kakor vsi drugi materiali ima, ob upoštevanju različnih vremenskih in uporabnih vplivih, svojo življenjsko dobo. Zaradi tega lahko prihaja pri nekaterih objektih, ki so podvrženi večjim obremenitvam in vplivom, do vprašljive zadostne trdnosti armiranobetonskih konstrukcij. V takih primerih so z leti in obrabami potrebne razne sanacije in prenove. Če se predvideva večja sanacija ali prestrukturiranje objekta, moramo vprašljive konstrukcijske dele zrušiti in odstraniti, da lahko nove dele navežemo na obstoječe. V takih primerih nam je v veliko pomoč za rušitve visokotlačna tehnologija rušenja. Kadar rušimo celotne objekte in ni potrebe, da nekateri konstrukcijski deli ostanejo nedotaknjeni, je še vedno bolj primerna klasična rušitev z večjimi delovnimi stroji.

V naših primerih iz prakse smo ovrednotili ceno rušenja dveh objektov, ki sta bila po obsegu podobna. Na vsakem od objektov se je uporabila druga metoda. Rušitev z vodnim curkom se je v naših primerih izkazala za cenovno ugodnejšo. Ceno smo preračunali na m³, upoštevajoč porabo elektrike, delovne ure delavcev in stroške vode. Ugotovili smo, da je rušitev iz praktičnega primera po klasični metodi za kar 65 % dražja od rušenja z vodnim curkom. Tukaj nismo vračunali stroškov nabave opreme in smo upoštevali, da podjetje že ima potrebno opremo za rušenje. Izkušnje iz prakse kažejo, da so stroški nabave, vzdrževanja in zamenjave dotrajanih delov opreme za visokotlačno rušenje zelo visoki, zato posledično amortizacija te opreme in delov zviša storitveno ceno za skoraj trikrat. Na drugi strani klasično rušenje ne zahteva posebno drage opreme, ta je na trgu zelo dostopna in jo lahko ima tudi vsako manjše ali srednje veliko podjetje v lasti. Amortizacija tukaj nima bistvenega vpliva.

Na svetu je nekaj 10 proizvajalcev strojev in opreme za visokotlačno opremo. Le nekaj od teh je večjih, ostali jim s kopijami strojev sledijo. Vodilni proizvajalci so si zelo konkurenčni in zato veliko vlagajo v nov razvoj opreme. S podobno hitrostjo, kot se v svetu posodablja računalniška oprema, se tudi na trgu vedno znova pojavljajo nova oprema, dodatki in posodobitve, ki nam olajšajo delo. Menimo, da smo kljub temu lahko z ustrezno izurjenostjo na starejših strojih še vedno dovolj konkurenčni za pridobitev in opravljanje dela vsaj na domačem trgu, kjer je zaenkrat malo ponudnikov omenjenih storitev.

Pri ohranjanju zdravja na delovnem mestu je pomembno, kako lahko to izboljšamo, sploh kadar so na voljo nove mehanizacije in nove tehnologije. V gradbeništvu je velika večina dela

povezana z velikimi fizičnimi obremenitvami za zaposlene, kar pušča dolgoročne posledice. To smo potrdili tudi z našo kratko raziskavo, v kateri je sodelovalo 19 moških in 1 ženska. Največ anketiranih je v gradbeništvu zaposlenih že več kot 21 let (45 %), kar je dovolj dolgo obdobje za razvoj simptomov vibracijske bolezni. Iz tega je lažje tudi razumeti, zakaj večina anketiranih sploh nima delovnih izkušenj z novejšimi tehnologijami rušenja (tehnologija vodnega curka) oziroma z njimi dela manj kot 5 let (65 %), saj gre za novejšo tehnologijo, ki se pri nas bolj uporablja zadnjih 10 let. Zelo velik odstotek (80 %) jih dela/je delalo pretežno s klasičnimi načini rušenja, vsaj več kot 5 let. Med anketiranimi je velika večina (80 %) že razvila simptome vibracijske bolezni, dobra tretjina (69 %) jih navaja prisotnost treh ali več simptomov. Prvi simptom, ki se je pojavil pri več kot polovici anketiranih (58 %), je bolečina v hrbtenici, kar pa najverjetneje ne gre pripisati le rušitvam. Zelo velik odstotek anketiranih (65 %) je mnenja, da je njihova delazmožnost omejena zaradi težav, ki so nastale v povezavi z naravo njihovega dela, kar je zaskrbljujoč podatek, sploh v luči tega, da imamo novejša metode, ki bi bile bolj prijazne do zdravja delavcev. Kot smo videli po rezultatih ankete, jih ima le malo možnost/izkušnje delati s tovrstno tehnologijo.

Po končanih analizah, temeljitem pregledu literature, raziskavah in pregledu lastnih praktičnih izkušenj smo prišli do zaključka, katere hipoteze lahko potrdimo ali ovržemo.

H1: Glede na pregled literature lahko našo hipotezo potrdimo. (Momber, 2005) je v poglavju o mikrorazpokah opisal, da s tehnologijo vodnega curka ne moremo zagotoviti površine, ki je 100 % brez razpok, vendar so te zagotovo minimalne v primerjavi s površino betonov po klasičnem rušenju.

V tujini je najverjetneje tudi zaradi tega na strateških objektih in pomembnih konstrukcijskih elementih objektov z zakoni predpisano rušenje z visokotlačno tehnologijo vodnega curka.

H2: Hipotezo smo potrdili s pomočjo naših dveh praktičnih primerih rušitev. Ugotovili smo, da je armatura po uporabi tehnologije vodnega curka poleg tega, da je ohranjena, še očiščena.

H3: Glede na rezultate naše ankete hipoteze ne moremo povsem potrditi, saj smo v raziskavo vključili premalo delavcev, ki imajo izkušnje z rušenjem z visokotlačno tehnologijo. To nas je presenetilo. Kljub temu da je metoda novejša, je na tržišču dovolj dostopna, da bi jo slovenska podjetja lahko več uporabljala. Veliko več anketiranih ima več izkušenj s klasičnim načinom rušenja. Iz tega lahko sklepamo, da je več zdravstvenih posledic povezanih s slednjim pristopom k rušenju.

Glede števila delavcev, ki so potrebni za posamezno vrsto rušenja, smo hipotezo potrdili. To smo dokazali s prikazom primerov obeh vrst rušenja na primerljivih objektih in s primerjavo obeh. Izkazalo se je, da je za klasično rušenje objekta potrebnih več delovnih ur, in sicer preračunano na 1 m³ 78,5 delovne ure, pri rušenju z vodnim curkom pa 8,33 delovne ure.

H4 (krovna tema): Glede na pregled literature in prikaz praktičnega primera lahko to hipotezo potrdimo.

8 VIRI IN LITERATURA

- American Concrete Institute. Field Guide to Concrete Repair Application Procedures, Concrete Removal Using Hydrodemolition. (2010). American Concrete Institute.
- Bazanov, V. (2019). Application of enviornmmmentally friendly concrete demolition tehniques in the repair of shipping locks. *E3S Web of conferences*. 91. 07020.
- Bilban, M. (2014). Vpliv vibracij na zdravje in delazmožnost. *Delo in varnost*.
- Bodnarova, L., Sitek, L., Foldyna, J., & Jarolim, T. (2018). Application of water jet technology for concrete repair. *MM Science Journal*, 23385-2389.
- Bodnarova, L., Wolf, I., Hela, R., & Valek, J. (2012). High-speed water jet (HSWJ) for concrete surface treatment – evaluation of concrete surface properties after blasting using HSWJ technology. *Tehnički vjesnik*, 361-366.
- Črnivec, R., Marušič, N., & Dodič Fikfak, M. (2009). Poklicna vibracijska bolezen. *Verifikacija poklicnih boelzni v Republiki Sloveniji*. Pridobljeno iz Verifikacija poklicnih bolezni v Republiki Sloveniji. Klinični inštitut za medicino delo, prometa in športa.
- Grum, B. Č., Kavčič, F., Šušteršič, J., Gerbec, B., Leskovar, I., Bergant, M., & Dobnikar, V. (2004). *Sanacije betonskih objektov*. Ljubljana: Narodna in univerzitetna knjižnica.
- Guide for the preparation of concrete surfaces for repair using hydrodemolition methods, Des Plaines, IL. (2004). *Interantional Concrete Repair Institute*.
- Hela, R., Bodnarova, L., Novotny, M., Sitek, L., Jiri, K., Wolf, I., & Foldyna, J. (2011). Comparison of the actual costs during removal of concrete layer by high-speed water jets. *Journal of Business Economics and Management*.
- Momber, A. (2005). *Hydrodemolition of Concrete Surfaces and Reinforced Concrete Structures*. Aachen: Elsevier.
- Pišek, P. (2020). Projektna naloga - poslovni načrt pri predmetu Ekonomika podjetja (projektna naloga). *Projektna naloga - poslovni načrt pri predmetu Ekonomika podjetja (projektna naloga)*. Maribor, Slovenija: Višja strokovna šola Academia.

- Sitek, L., Hlavaček, P., & Lenka, B. (2018). Use of high-speed water flows for accelerated mechanical modeling of erosive wear of concrete surfaces. *MATEC Web of Conferences*.
- Windham, A. (2021). What do you do with 8 - foot thick concrete peer? *Concrete Contractor*, 14-17.
- Winkler, P. (2016). Hydrodemolition – forget the flat work. *Concrete repair bulletin*, 18-22.

9 PRILOGE

Priloga 1: Anketni vprašalnik

Anketni vprašalnik

Pozdravljeni,

sem Primož Pišek in sem študent gradbeništva na Višji strokovni šoli Academia, Maribor ter pripravljam diplomsko delo z naslovom Visokotlačno rušenje betonov z vodnim curkom. Namen raziskave je ugotoviti prednosti tega načina rušenja v primerjavi s klasičnimi načini ter predvsem proučiti negativne vplive klasičnega načina rušenja na zdravje zaposlenih v gradbeništvu. Anketa je anonimna, za izpolnjevanje pa boste potrebovali približno 5 minut. Zbrani podatki bodo obravnavani strogo zaupno in analizirani na splošno (in nikakor na ravni odgovorov posameznika). Uporabljeni bodo izključno za pripravo tega diplomskega dela. Za dodatne informacije o rezultatih in raziskavi sem vam na voljo na elektronskem naslovu primozpisek@hotmail.com.

Za vaše sodelovanje se vam prijazno zahvaljujem.

Primož Pišek

1. Spol:
 - a) Moški.
 - b) Ženski.

2. V katero starostno skupino sodite?
 - a) 20–34.
 - b) 35–44.
 - c) 45–55.
 - d) >55.

3. Koliko let delate v gradbeništvu?
 - a) <5 let.
 - b) 5–10 let.

- c) 11–20 let.
 - d) >21 let.
4. Koliko let delate/ste delali z napravami za klasično rušenje?
- a) <5 let ali sploh ne.
 - b) 5–10 let.
 - c) 11–20 let.
 - d) >21 let.
5. Koliko let delate/ste delali z visokotlačno tehnologijo rušenja?
- a) <5 let ali sploh ne.
 - b) 5–10 let.
 - c) 11–20 let.
 - d) >21 let.
6. Imate katero od naštetih zdravstvenih težav: mravljinčenje/srbenje v konicah prstov rok, sindrom belih prstov (t. i. Raynaudov sindrom), otrplost prstov rok, drevenenje prstov rok, bolečine v sklepih (zapestje, komolci, rame), bolečine v hrbtenici, motnje v prebavi, kronično vnetje želodčne sluznice, kronično vnetje sluznice dvanajstnika, povišan krvni tlak, bolečine v prsnem košu, napade glavobolov, vrtoglavice, utrujenost, napetost, razdražljivost, nespečnost, motnje srčnega ritma, težave s sluhom?
- a) DA.
 - b) NE.
7. Če ste na zgornje vprašanje odgovorili z DA, ali imate tri ali več od zgoraj naštetih zdravstvenih težav?
- a) DA.
 - b) NE.
8. Če ste na zgornja vprašanja odgovorili z DA, katera od naštetih zdravstvenih težav se je pojavila najprej?
-

9. Če ste na zgornja vprašanja odgovarjali z DA, menite, da vas zdravstvene težave omejujejo oziroma omejujejo vašo delazmožnost?
- a) DA.
 - b) NE.