Ministerstvo dopravy SR
Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií

ANALÝZA MOŽNOSTI POUŽITIA VYSOKOTLAKOVÉHO VODNÉHO LÚČA PRI ODSTRAŇOVANÍ ČASTÍ BETÓNOVÝCH KONŠTRUKCIÍ A ÚPRAVY POVRCHU BETÓNU

ROZBOROVÁ ÚLOHA

2023

OBSAH

1 Všeobecné údaje ... 3
2 Cieľ rozborovej úlohy (RÚ) ... 3
2.1 Distribúcia RÚ ... 3
2.2 Súvisiace a citované právne predpis ... 3
2.3 Súvisiace a citované normy ... 3
2.4 Súvisiace a citované Technické predpisy rezortu ... 4
2.5 Súvisiace zahraničné predpisy ... 4
2.6 Použitá literatúra ... 5
2.7 Použité skratky ... 5
3 Úvod ... 6
3.1 Termíny a definície ... 6
4 Technológia VVL na Slovensku a v zahraničí ... 6
4.1 Odstraňovanie betónu – hydrodemolácia ... 6
4.2 Úprava betónových povrchov ... 11
4.3 Rezanie betónov ... 15
4.4 Zhrnutie aplikácie technológie VVL ... 15
5 Súčasný stav legislatívy v oblasti používania VVL ... 16
5.1 Analýza TPR v oblasti používania VVL ... 17
6 Princíp fungovania VVL ... 18
6.1 Kontinuálny vodný lúč ... 19
6.2 Abrazívny vodný lúč ... 19
6.3 Zložený (viacnásobný) vodný lúč ... 20
6.4 Plochý vodný lúč ... 21
6.5 Pulzujúci vodný lúč ... 21
7 Požiadavky na strojné zariadenia ... 21
8 Prípravné práce pred realizáciou ... 27
9 Kontrola vykonávaných prác ... 27
10 Bezpečnosť pri práci ... 28
11 Záver ... 29
11.1 Návrh na aktualizáciu a prípravu TPR ... 29

1 Všeobecné údaje

Objednávateľ:	Slovenská správa ciest
Zhotoviteľ:	Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta
Doba riešenia:	máj – október 2023
Riešiteľ:	doc. Dr. Ing. Katarína Zgútová
	doc. Ing. Juraj Šrámek, PhD.
	doc. Ing. Martin Pitoňák, PhD.
	Ing. Matúš Kozel, PhD. PhD.
	Bc. Dorota Romanová – VUT Brno

2 Cieľ rozborovej úlohy (RÚ)

Cieľom RÚ je navrhnúť podmienky využitia vysokotlakového vodného lúča pri odstraňovaní betónových konštrukcií a úpravy betónových povrchov.

2.1 Distribúcia RÚ

Elektronická verzia RÚ sa zverejní na webovom sídle SSC: www.ssc.sk

2.2 Súvisiace a citované právne predpis

[Z1] Zákon č. 135/1961 Zb. o pozemných komunikáciách (cestný zákon), v znení neskorších predpisov;

[Z2] zákon č. 50/1976 Zb. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku (stavebný zákon), v znení neskorších predpisov;

[Z3] vyhláška FMD č. 35/1984 Zb., ktorou sa vykonáva zákon o pozemných komunikáciách (cestný zákon);

[Z4] zákon č. 133/2013 Z. z. o stavebných výrobkoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;

[Z5] vyhláška MDVRR SR č. 162/2013 Z. z., ktorou sa ustanovuje zoznam skupín stavebných výrobkov a systémy posudzovania parametrov v znení neskorších predpisov;

[Z6] nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 305/2011 z 9. marca 2011, ktorým sa ustanovujú harmonizované podmienky uvádzania stavebných výrobkov na trh a ktorým sa zrušuje smernica Rady 89/106/EHS v platnom znení;

[Z7] nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 2016/425 z 9. marca 2016 o osobných ochranných prostriedkoch a o zrušení smernice Rady 89/686/EHS.

2.3 Súvisiace a citované normy

STN 73 0220	Presnosť geometrických parametrov vo výstavbe. Navrhovanie presnosti stavebných objektov
STN 73 6242	Vozovky na mostoch pozemných komunikácií. Navrhovanie a požiadavky na materiály
STN EN 12390 (73 1302)	Skúšanie zatvrdnutého betónu (celý súbor noriem)
STN EN 12504 (73 1303)	Skúšanie betónu v konštrukciách (celý súbor noriem)
STN EN 13036-1 (73 6171)	Povrchové vlastnosti vozoviek a letiskových plôch. Skúšobné metódy. Časť 1: Meranie hĺbky makrotextúry povrchu vozovky odmernou metódou
STN EN 13036-7 (73 6171)	Povrchové vlastnosti vozoviek. Skúšobné metódy. Časť 7: Meranie nerovnosti vrstiev vozovky latou
STN EN 13892-2 (72 2482)	Skúšobné metódy na poterové malty a poterové hmoty. Časť 2: Stanovenie pevnosti v tlaku a v ťahu pri ohybe
STN EN ISO 1402 (65 5414)	Gumové a plastové hadice a hadice s koncovkami. Hydrostatické skúšanie (ISO 1402: 2021)
STN EN 1504 (73 2101)	Výrobky a systémy na ochranu a opravu betónových konštrukcií. Definície, POŽIADAVKY, riadenie kvality a hodnotenie zhody (celý súbor noriem)

STN EN 15050+A1 (72 3017)	Betónové prefabrikáty. Mostné dielce (Konsolidovaný text)
STN EN 1829-1 (11 0162)	Vysokotlakové vodné dýzové stroje. Požiadavky na bezpečnosť. Časť 1: Stroje
STN EN 1829-2 (11 0162)	Vysokotlakové vodné dýzové stroje. Požiadavky na bezpečnosť. Časť 2: Hadice, hadicové potrubia a spoje
STN EN 1542 (73 2115)	Výrobky a systémy na ochranu a opravu betónových konštrukcií. Skúšobné metódy. Meranie prídržnosti pri odtrhových skúškach
STN EN 1990 (73 0031)	Eurokód. Zásady navrhovania konštrukcií
STN EN 1992-1-1+A1 (73 1201)	Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy (Konsolidovaný text)
STN EN 1992-2 (73 6206)	Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 2: Betónové mosty. Navrhovanie a konštruovanie
STN EN 206+A2 (73 2403)	Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda
STN EN ISO 14040 (83 9040)	Environmentálne manažérstvo. Posudzovanie životného cyklu. Princípy a štruktúra (ISO 14040: 2006)
STN EN ISO 8501-4 (03 8223)	Príprava oceľových podkladov pred nanesením náterových látok a podobných výrobkov. Vizuálne posudzovanie čistoty povrchu. Časť 4: Začiatočný stav povrchu, stupne prípravy povrchu a stupne korózie v spojení s použitím vysokotlakového vodného lúča (ISO 8501-4: 2020)

Poznámka: Súvisiace a citované normy v platnom znení vrátane dodatkov a národných príloh.

2.4 Súvisiace a citované Technické predpisy rezortu

[T1]	TP 019	Dokumentácia stavieb ciest;
[T2]	TP 026	Sekundárna ochrana betónových konštrukcií;
[T3]	TP 027	Navrhovanie zosilnenia betónových mostov;
[T4]	TP 059	Zadávanie a výkon diagnostiky mostov;
[T5]	TP 060	Prehliadky, údržba a opravy cestných komunikácií. Mosty;
[T6]	TP 061	Katalóg porúch mostných objektov na diaľniciach, rýchlostných cestách a cestách I., II., a III. triedy;
[T7]	TP 068	Protikorózna ochrana oceľových konštrukcií mostov;
[T8]	TP 077	Systém hospodárenia s mostami;
[T9]	TP 088	Návrh rehabilitácie cementobetónových vozoviek;
[T10]	TKP 0	Všeobecne;
[T11]	TKP 15	Betónové konštrukcie všeobecne;
[T12]	TKP 18	Betón na konštrukcie;
[T13]	TKP 21	Ochrana oceľových konštrukcií proti korózii;
[T14]	TKP 22	Izolačný systém vozovky na moste;
[T15]	TKP 26	Tunely;
[T16]	VL 4	Mosty

Poznámka: Súvisiace a citované Technické predpisy rezortu v platnom znení vrátane dodatkov.

2.5 Súvisiace zahraničné predpisy

[ZP1]	TR Instandhaltung;	Technische Regel Instandhaltung von Betonbauwerken: Teil 1. Anwendungsbereich und Planung der Instandhaltung / [Technické pravidlo Údržba betónových konštrukcií: Časť 1. Rozsah a plánovanie údržby];
[ZP2]	TR Instandhaltung;	Technische Regel Instandhaltung von Betonbauwerken: Teil 2. Merkmale von Produkten oder Systemen für die Instandsetzung und Regelungen für deren Verwendung / [Technické pravidlo Údržba betónových konštrukcií: Časť 2. Charakteristika výrobkov alebo systémov na opravu a predpisy na ich použitie];
[ZP3]	STLK LB 124	Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, [Ochrana a opravy betónových prvkov].

2.6 Použitá literatúra

[L1] BODNÁROVÁ, L. Aplikace technologie vysokorychlostních vodních paprsků pro rozpojování betonu. Brno, 2016. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.

[L2] BODNÁROVÁ, L., SITEK, L., HELA, R., FOLDYNA, J. BETON: Materiály a sanace [online]. 2008 [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2008-6-44.pdf

[L3] BODNÁROVÁ, L., SITEK, L., HELA, FOLDYNA, J.(2011). New potentional of high-speed water jet technology for renovating concrete structures. [Nový potenciál technológie vysokorýchlostného vodného lúča pre renováciu betónových konštrukcií]. Slovak Journal of Civil Engineering,19(2)

[L4] BOUCNÍKOVÁ, V. Možnosti použití vysokorychlostního vodního paprsku ve stavebnictví. Brno, 2018. 85 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců.

[L5] BYDŽOVSKÝ, J. *Technologie sanace: Modul 1*. Brno, 2007. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.

[L6] Deutscher Beton und Bautechnik-Verein, Hochdruckwasserstrahlen im Betonbau; Berlin, 2022, [Nemecká asociácia technológie betónu a stavebníctva, Vysokotlakové vodné lúče v betónových konštrukciách, Berlin, 2022].

[L7] EWJ - European Water Jetting Institute; Why use hydrodemolition, 2022 [Európsky inštitút vodného lúča; Prečo používať hydrodemoláciu, 2022].

[L8] JANKOVIĆ, P., IGIC, T., RADOVANOVIĆ, M., TURNIC, D., ZIVKOVIC, S. Applications of the abrasive water jet technique in civil engineering. [Aplikácie techniky abrazívneho vodného lúča v stavebníctve]. *Facta universitatis - series: Architecture and Civil Engineering*. 2019/01/01, **17**, 417-428.

[L9] KRAJNÝ, Z. Vysokotlakový vodný lúč – WJM, Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2011.

[L10] KÚSEK, P., KÚSEK , M. Búranie častí mostných konštrukcií vibračnou technikou a tak smerujeme k lacnej a neeektívnej nekvalita?, Zborník príspevkov Betonárkse dni, 2022.

[L11] KÚSEK , M. Údržba a opravy letiskových plôch vysokotlakovým vodným lúčom, Zborník príspevkov, Letiskové vozovky, 2023.

[L12] SITEK L., BODNÁROVÁ L., FOLDYNA J., HELA R., ŠČUČKA J., JEKL P., NOVÁKOVÁ D.: Pulzující rotační vodní paprsek při odstraňování povrchových vrstev. Sborník příspěvků Sanace 2007. Brno p. 341–348. ISBN 1211-3700

[L13] SITEK L., MARTINEC P., FOLDYNA J., ŠČUČKA J., BODNÁROVÁ L, HELA R., MÁDR. V.: Ploché vodní paprsky při porušování betonu. Sborník příspěvků Sanace 2008, Brno

[L14] Archív spoločnosti HYDROSERVICE spol. s.r.o., Zlaté Moravce.

[L15] https://www.reko-praha.cz/vnitrni-plast-na-jaderne-elektrarne-mochovce-je-dokoncen/

[L16] https://www.hammelmann.com/en/products/water-jet-technology/rotor-jets/#anchor_8de040af_Accordion-Efficient-renovation-and-maintenance-of-concrete-with-the-MASTERJET

[L17] https://www.nlbcorp.com/shop/safety/turtleskin-water-armor/

[L18] https://www.stavebniserver.com/zpravodajstvi/technika/nejbezpecnejsi-a-nejpresnejsi-zpusob-hydrodemolice-zvetraleho-betonu-na-plavebni-komore-provedla-unikatnim-strojem-spolecnost-hdr-servis/

[L19] https://www.hdrservis.cz/

2.7 Použité skratky

AV ČR	Akademie věd České republiky / Akadémia vied Českej republiky
BOZP	Bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci
KSP	Kontrolný a skúšobný plán
OOPP	Osobné ochranné pracovné prostriedky
PD	Projektová dokumentácia
TKP	Technicko-kvalitatívne podmienky
TP	Technické podmienky
TPR	Technické predpisy rezortu
VDZ	Vodorovné dopravné značenie
VPD	Vzletová a pristávacia dráha
VVL	Vysokotlakový vodný lúč
ŽP	Životné prostredie

3 Úvod

Technológia VVL je modernou technológiou so širokým spektrom využitia v rôznych odvetviach priemyslu. Technológia VVL sa používa v stavebníctve najmä na prípravu povrchu betónu, pri rezaní, rozpojovaní materiálu, pri čistení a úprave povrchu. V súčasnosti je hlavným využitím sanácia betónových konštrukcií, kde hlavným cieľom je selektívne odstrániť vrstvu znehodnoteného betónu a ponechať betón, ktorý je v dobrom stave. Pre správne použitie technológie vodného lúča je dôležité definovať stupeň narušenia betónu a požadovanú hĺbku odstránenia narušenej vrstvy. Pri sanácii sa technológia VVL používa najčastejšie na odstraňovanie vrstiev betónu poškodených v dôsledku atmosférických vplyvov, účinkov agresívneho prostredia, v dôsledku používania alebo zmeny účelu stavebného diela. Odstraňujú sa betóny s rôznymi fyzikálno-mechanickými vlastnosťami. Správne použitie tejto technológie si vyžaduje znalosť problematiky technológie VVL a znalosť materiálu, ktorý sa má upravovať alebo odstraňovať. Pri použití technológie VVL na rozpojovanie betónu je potrebné upraviť parametre lúča podľa vlastností betónu. Problém pri aplikácii vysokorýchlostných vodných lúčov na odstraňovanie porušeného betónu je špecifický najmä vzhľadom na variabilitu betónu ako stavebného materiálu (zloženie tohto kompozitného materiálu, rôzne hodnoty pevnostných charakteristík, rôzne vplyvy pôsobiace na betón v konštrukcii počas jeho používania atď.). Vlastnosti betónu zohrávajú veľmi významnú úlohu na výsledný efekt interakcie medzi VVL a betónom. Na úpravu a odstraňovanie betónu sa používajú rôzne typy vysokorýchlostných vodných lúčov - od priebežných, rotačných až po ploché vodné lúče. [L1]

Technológia VVL je v súčasnosti stále viac aktuálna vzhľadom k blížiacemu sa koncu životnosti mnohých masívnych betónových stavieb.

3.1 Termíny a definície

- ***vysokotlakový vodný lúč*** – technológia zaoberajúca sa rezaním a rozpojovaním materiálu s využitím abrazívneho účinku jedného alebo zväzku vodných lúčov vysokej rýchlosti a tlaku;
- ***kontinuálny vodný lúč*** – najbežnejší typ vodného lúča, ide o kontinuálny tok kvapaliny rýchlosti až 1200 m/s;
- ***abrazívny vodný lúč*** – jemne zrnitý materiál je pridávaný do vodného lúču pre zlepšenie abrazívnych účinkov vodného lúča.

4 Technológia VVL na Slovensku a v zahraničí

V oblasti vysokotlakového vodného lúča pri odstraňovaní betónu a úprave betónových povrchov existuje pomerne veľa poznatkov a skúseností z rôznych krajín vrátane Slovenska. Široké využitie technológie VVL v stavebníctve vyplýva z jeho výhod oproti iným technológiám, ktoré musia byť posudzované pre konkrétne prípady, konkrétne stavby. Na základe analýzy poznatkov, skúseností a výskumov z aplikácie technológie VVL na odstraňovanie časti betónových konštrukcií a úpravu povrchu betónov možno konštatovať nasledovné zistenia a dôvody prečo má používanie technológie VVL svoje opodstatnenie:

a) nevnáša do konštrukcie dodatočné napätie a dynamické rázy
b) nespôsobuje vznik mikrotrhlín
c) nepoškodzuje oceľovú výstuž
d) očistí skorodovanú oceľovú výstuž
e) vysoká presnosť rozmerov a hĺbky
f) vysoký výkon odstraňovania
g) kvalitne pripravený povrch – predĺženie životnosti následnej opravy
h) selektívnosť odstraňovania
i) priaznivá pre životné prostredie
j) zefektívnenie priebehu prác – viac pracovných krokov v jednom

Použitie technológie VVL v stavebníctve je možné rozdeliť do 3 základných skupín:

- Odstraňovanie betónu – hydrodemolácia
- Úprava a čistenie betónových povrchov
- Rezanie betónov

4.1 Odstraňovanie betónu – hydrodemolácia

Hydrodemolácia je proces odstraňovania betónu s minimálnymi alebo žiadnymi vibráciami pomocou prúdu vody. Hydrodemolácia sa používa pri rôznych postupoch, pri ktorých poškodený betón

treba odstrániť, ale oceľová výstuž sa ponechá čistá, neporušená a nepoškodená. Zostávajúci betónový povrch má hrubo umytý čistý povrch, s výbornými spojovacími vlastnosťami, ktoré umožňujú aplikácie vybraných technológií opráv. Hydrodemolácia má v stavebníctve široké využitie na opravy a spevňovanie mostov a na opravy porúch, ktoré vznikli pri betonážach.

Výhodou sú:

- žiadne vibrácie (nespôsobujú napäťové trhliny/ mikrotrhliny),
- žiadna prašnosť (pretože sa betón reže vodou, oblasť zostáva bez prachu a zároveň je umytá),
- žiadne poškodenie oceľovej výstuže (oceľová výstuž sa počas procesu tryskania očistí a zostane nepoškodená), čo umožňuje rýchlu a nákladovo efektívnu opravu.

4.1.1 Hydrodemolácia časti betónového piliera

Odstraňovanie časti betónového piliera z dôvodu pochybenia pri betonáži pomocou hydrodemolácie na základe požiadavky nenarušenia správne zhotovenej časti betónového piliera a zároveň požiadavky zachovania a nepoškodenia existujúcej výstuže. Technológia hydrodemolácie VVL bola doplnená technológiou rezaním diamantovým lanom.

Obrázok 1 – Hydrodemolácia časti betónového piliera [L14]

4.1.2 Hydrodemolácia časti mostnej rímsy

Odstraňovanie časti mostnej rímsy v hrúbke cca 15 cm z dôvodu nesprávnych rozmerov, výšky. Na porovnanie je obrázok z realizácie štandardného narezávania diamantovými pílami a následne búranie ručnými zbíjačkami a použitia technológie hydrodemolácie.

Obrázok 2 – Hydrodemolácia časti mostnej rímsy (ručné zbíjanie – vľavo, hydrodemolácia – vpravo) [L14]

4.1.3 Hydrodemolácia časti komorového mosta

Odstraňovanie časti komorového mosta z dôvodu pochybenia oproti PD a realizácie dodatočných úprav. Ako jediné použiteľné riešenie, aby sa zabezpečilo nenarušenie okolitej konštrukcie a zachovanie výstuže bola realizácia hydrodemolácie.

Obrázok 3 – Hydrodemolácia časti komorového mosta [L14]

4.1.4 Hydrodemolácia káps pre osadene nových mostných záverov

Odstraňovanie časti betónu bez porušenia výstuže na vytvorenie káps pre osadenie nových mostných záverov. Realizáciou technológie VVL sa okrem prípravy konštrukcie mosta pre osadenie mostných záverov predišlo poškodeniu prepínacích lán.

Obrázok 4 – Hydrodemolácia káps pre osadenie mostných záverov [L14]

4.1.5 Hydrodemolácia časti betónovej podlahy

Odstraňovanie časti podlahy nadzemného podlažia pozemnej stavby. Dôvodom opravy bola skutočnosť, že do konštrukcie bolo potrebné doplniť chýbajúcu výstuž bez poškodenia okolitej konštrukcie a existujúcej výstuže.

Obrázok 5 – Hydrodemolácia časti betónovej podlahy [L14]

4.1.6 Hydrodemolácia časti betónu tunelového ostenia

Odstraňovanie časti betónu s vysokou pevnosťou do hĺbky cca. 5 cm ostenia tunela na vytvorenie tzv. ozubu na dobetónovanie chodníkovej rímsy v tuneli. Pre zachovanie okolitého betónu bez narušenia bola technológia VVL zvolená v danom prípade ako optimálna.

Obrázok 6 – Hydrodemolácia časti betónu tunelového ostenia [L14]

4.1.7 Hydrodemolácia striekaného betónu z kamenného ostenia tunela

Odstraňovanie starého poškodeného striekaného betónu z ostenia železničného tunela v hrúbke cca. 15 cm. Osadenie hydrodemolačnej technologickej zostavy je možné a v danom prípade bolo realizované na železničnom podvozku.

Obrázok 7 – Hydrodemolácia striekaného betónu z ostenia tunela [L14]

4.1.8 Hydrodemolácia zvetraného betónu plavebnej komory

Voľba technológie VVL vychádzala z požiadavky investora na odstránenie zvetraného betónu s vylúčením otrasov okolitých konštrukcií plavebnej komory. Proces hydrodemolácie odstránil poškodený betón a zároveň pripravil povrch pre ďalšie opravy. Takto pripravený drsný povrch poskytuje kvalitnejšie pripravenú plochu, čo má za následok výrazne silnejšiu väzbu následných vrstiev v porovnaní s povrchom pripraveným mechanickými metódami odstraňovania betónu.

Obrázok 8 – Hydrodemolácia zvetraného betónu plavebnej komory [L18]

4.2 Úprava betónových povrchov

VVL sa tiež používa na úpravu betónových povrchov pre následnú opravu, údržbu, rekonštrukciu konštrukcie, prípadne ako spôsob odstránenia náteru. Môže sa tiež použiť na textúrovanie, vyhladzovanie alebo vytváranie reliéfu povrchu betónu. Týmto spôsobom je možné dosiahnuť rôzne efekty a vzhľad betónu podľa požiadaviek PD a zákazníka. Príprava povrchu betónu sa často vykonáva ultravysokým tlakom vody s rotačnými tryskami, ktoré regulujú dopad prúdu vody na upravovaný povrch a zabezpečujú väčšie pokrytie v porovnaní so štandardnou, jednoduchou dýzou.

4.2.1 Úprava betónového povrchu mostovky

Technológia VVL sa bežne používa na úpravu povrchu betónových konštrukcií pri rekonštrukciách, na odstraňovanie tzv. cementového mlieka z povrchu betónových konštrukcií. V prípade povrchu mostovky je to jeden z množstva vhodných spôsobov.

Obrázok 9 – Úprava povrchu betónovej mostovky technológiou VVL [L14]

4.2.2 Úprava betónového povrchu podláh

Technológia VVL je vhodná na úpravu betónových povrchov podláh, odstraňovanie lepidla, náterov. Úprava povrchov je riadená roboticky a je odstránená iba nežiadúca vrstva a ponechaný drsný spojovací povrch pre následnú plánovanú technologickú úpravu.

Obrázok 10 – Úprava povrchu betónovej podlahy, odstránenie lepidla technológiou VVL [L19]

4.2.3 Úprava a čistenie historických mostov a iných historických objektov

Aplikácie technológie VVL na čistenie povrchu, sanáciu škár mostového muriva, odstraňovanie výplne škár, zvetralín, mált, omietok, náterov a pod. bola použitá aj v rámci unikátneho projektu rekonštrukcie a sanácie historických mostov a budov v Českom Krumlove. Proces opravy pozostával z dvoch etáp – odstránenie vrchnej omietky a hĺbkové odstránenie výplne. Voľba bezrázovej technológie VVL bola uprednostnená pred inými technológiami, napr. pieskovanie, čistenie plameňom, chemické čistenie či mechanické čistenie vibračným kladivom z dôvodu predchádzania možného poškodenia historických objektov vibráciami, dynamickými rázmi a podobne. Technológia VVL bola použitá aj pri rekonštrukcii Bratislavského hradu na odstránenie starej omietky.

Technológia VVL má rovnako široké uplatnenie pri čistení od mált, omietok, farieb, plesní a pod. pri historických budovách, hradoch, zámkoch, kaštieľoch, sakrálnych stavbách, kostoloch, kláštoroch a pod. Ďalším praktickým využitím je čistenie fasád budov.

4.2.4 Úprava betónového povrchu chladiacich veží

Technológia VVL bola použitá na úpravu povrchu, otryskávanie povrchu železobetónových konštrukcií chladiacich veží v jadrovej elektrárni pri sanácii povrchu vnútorného plášťa chladiacich veží. Otryskávanie sa realizovalo ručným spôsobom pomocou závesných lávok.

Obrázok 11 – Úprava betónového povrchu chladiacich veží technológiou VVL [L15]

4.2.5 Úprava betónového povrchu plavebných komôr

Úprava povrchu, otryskávanie povrchu plavebných komôr počas rekonštrukcie vodného diela. Zaujímavosťou tejto realizácie bolo, že povrch plavebných komôr sa otryskával špeciálne vyrobeným zariadením šplhajúcim sa po stene komory.

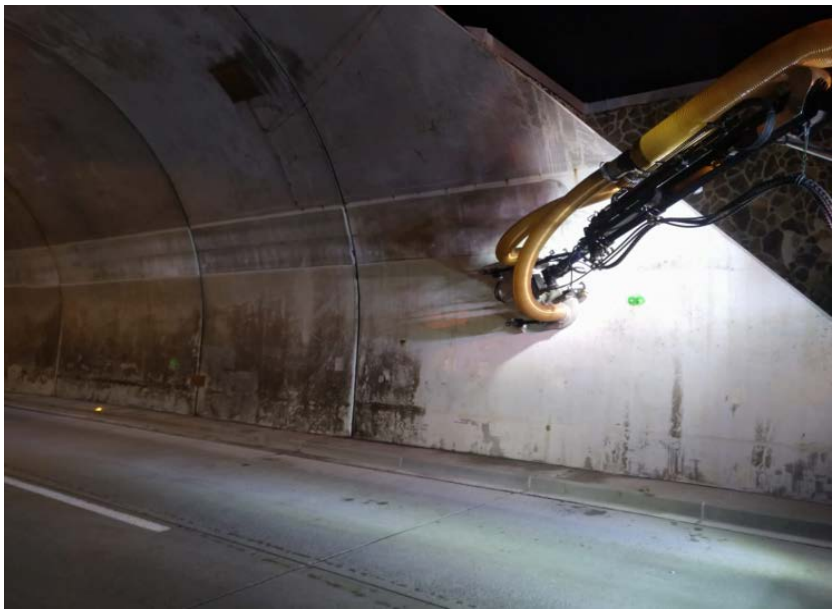
Obrázok 12 – Úprava betónového povrchu plavebných komôr technológiou VVL [L14]

4.2.6 Úprava povrchu sekundárneho ostenia tunela

Technológia VVL sa používa na odstraňovanie cementového mlieka zo sekundárneho ostenia tunelov, je to jediný spôsob ako rýchlo a efektívne odstrániť tento povlak. Pri stavbe tunelov sa táto technológia bežne používa na odstraňovanie cementového mlieka a oddebňovacieho oleja z povrchu ostenia a tak je povrch pripravený pre prípadnú ďalšiu technologickú úpravu. Z dôvodu vysokej efektivity sa uvedené práce realizujú robotickým spôsobom, sú však miesta ako požiarne výklenky, SOS kabíny, prepojovacie chodby a iné, kde sa povrchy musia otryskať ručne.

Obrázok 13 – Úprava povrchu sekundárneho ostenia tunela technológiou VVL [L14]

V prípade tunelového ostenia je technológia VVL rovnako využiteľná pri odstraňovaní náteru ostenia tunela a jeho následnej obnove. Veľkoplošné odstraňovanie náterov z ostenia tunela, oporných múrov a podobných konštrukcií je nevyhnutné realizovať s kontinuálnym odsávaním znečistenej vody.



Obrázok 14 – Odstraňovanie náteru z ostenia tunela technológiou VVL [L14]

4.2.7 Odstraňovanie vodorovného dopravného značenia

Vo svete bežne a v posledných rokoch už aj na Slovensku sa technológia VVL používa na odstraňovanie nežiadúcich vodorovných dopravných značení pri údržbe resp. zmenách VDZ na asfaltových alebo cementobetónových povrchoch pozemných komunikácií, parkovísk, letiskových plôch a pod. Ide o bezpečný, rýchly, efektívny a ekologický spôsob odstraňovania týchto VDZ technológiou VVL.

Obrázok 15 – Odstraňovanie vodorovného dopravného značenia technológiou VVL [L14]

4.2.8 Úprava a čistenie povrchu letiskových plôch – odgumovanie

Na podobnom princípe ako odstraňovanie VDZ sa technológia VVL používa na odstraňovanie vrstvy pogumovania z letiskových plôch, VPD, ktorá tam vznikla bežnou prevádzkou na letisku.

Obrázok 16 – Čistenie povrchu letiskových plôch – odgumovanie technológiou VVL [L14]

4.2.9 Čistenie betónových povrchov

VVL má široké využitie aj na čistenie betónových povrchov. Môže sa použiť na odstránenie nečistôt, mastnoty, farieb, graffiti a iných znečistení z povrchu betónu.

Obrázok 17 – Čistenie betónovéoh povrchu – odstraňovanie graffiti technológiou VVL [L19]

4.3 Rezanie betónov

V stavebníctve sa VVL používa na rezanie oceľových nosníkov a betónových profilov. V prípade ocele sú rýchlosti rezania pomalšie pri použití vodného lúča ako pri iných nástrojoch, napríklad pri plazmových oblúkoch. Náklady sú však často kompenzované časom, ktorý sa ušetrí skrátením alebo odstránením dokončovacích procesov. Dôvodom je, že pri vodnom lúči nedochádza k zahrievaniu. VVL je tiež možné prerezať hrubé betónové dosky (betónové vozovky, parkovacie plochy). Takmer každý materiál môže byť rezaný touto technológiou so širokým rozsahom hrúbky materiálu.

4.4 Zhrnutie aplikácie technológie VVL

Technológia VVL má rovnako ako iné technológie svoje výhody a nevýhody a vždy je použitie danej technológie závislé od konkrétnych podmienok a požiadaviek realizovanej stavby. Technológia VVL nie je univerzálne riešenie na každé odstraňovanie betónových konštrukcií, resp. úpravu povrchov betónov.

Výhody a nevýhody používania technológie VVL na odstraňovanie častí betónových konštrukcií a úpravy povrchov betónu sú zhrnuté v tabuľke 1.

Tabuľka 1 – Výhody a nevýhody technológie VVL

Technológia VVL	
Výhody	**Nevýhody**
Kvalitne pripravený povrch – predĺženie životnosti následnej opravy – eliminácia prvotnej vyššej ceny realizácie	Cena realizácie
Nevnáša do konštrukcie dodatočné napätie a dynamické rázy – zabránenie vzniku mikrotrhlín	Nevhodné pre konštrukcie, ktoré nemôžu z rôznych dôvodov prísť do styku s vodou
Nepoškodenie oceľovej výstuže, očistenie skorodovanej oceľovej výstuže	Počasie - obmedzenie realizácie technológie VVL v zimnom, mrazivom počasí.
Vysoký výkon a presnosť realizácie	Potreba zachytávania odpadovej vody v nevyhnutných prípadoch (pri strojných a poloautomatických aplikáciách sa dá voda odsávať, pri ručnom čistení to možné nie je)
Selektívne odstraňovanie betónu	Na miestach, kde je nežiaduce, aby odskakovali malé čiastočky, je potrebné urobiť vhodnú mechanickú bariéru
Priaznivá pre ŽP	
Zefektívnenie priebehu prác – viac pracovných krokov v jednom	

Súdržnosť novo nanášaných úprav s betónovým podkladom dosahuje výrazne vyššie hodnoty pri povrchoch upravených technológiou VVL. V prípade povrchov upravených inou technológiou ako VVL, na ktoré bola nanesená vysprávková hmota, bolo v prípade skúšky súdržnosti odtrhovou skúškou preukázané, že boli dosahované nižšie súdržnosti medzi sanačným materiálom a nedokonale ošetreným betónovým podkladom. [L1, L4] Na základe toho, možno konštatovať, že kvalitne pripravený povrch technológiou VVL vedie k predĺženiu životnosti opravy betónovej konštrukcie a následnej úspore finančných prostriedkov za realizované opravy.

Každá realizácia technológie VVL musí byť posudzovaná individuálne v závislosti od podmienok a požiadaviek konkrétnej stavby. Originálne riešenia sú na návrhu projektanta pre konkrétny prípad.

5 Súčasný stav legislatívy v oblasti používania VVL

V podmienkach Slovenskej republiky v oblasti výstavby cestnej infraštruktúry, absentujú momentálne platné predpisy, ktoré by usmerňovali prácu s VVL, čiastkovo sa niektoré TP a TKP o použití VVL zmieňujú ale bližšie nešpecifikujú. V oblasti využitia VVL pri odstraňovaní betónových konštrukcií a úpravy betónových povrchov pri výstavbe inžinierskych stavieb nemáme vedomosti o STN a TPR, ktoré by danú problematiku podrobne riešili. Existuje STN EN ISO 8501-4 na prípravu povrchov, avšak len v oblasti oceľových konštrukcií. Všeobecne platia STN EN radu 1504 Výrobky a systémy na ochranu a opravu betónových konštrukcií, ktoré uvádzajú požiadavky na výrobky a systémy na opravu, údržbu, ochranu, rekonštrukciu a spevňovanie betónových konštrukcií. Pre navrhovanie betónových konštrukcií platí STN EN 1992-2. Časť 2 eurokódu 2 uvádza všeobecné zásady pre mosty a časti mostov z prostého, vystuženého a predpätého betónu, vyrobených z hutného a ľahkého kameniva.

Požiadavky pre strojné zariadenia pre technológiu VVL sú uvedené v STN EN 1829-1 a STN EN 1829-2. Normy obsahujú bezpečnostné požiadavky na vysokotlakové vodné tryskové stroje s pohonom všetkých druhov (napr. elektromotor, spaľovací motor, vzduchový a hydraulický), v ktorých sa na vytváranie tlaku používajú čerpadlá. Normy sa zaoberajú všetkými významnými nebezpečenstvami, nebezpečnými situáciami a udalosťami vznikajúcimi počas montáže, prevádzky a servisu, ktoré sa týkajú vysokotlakových vodných tryskových strojov na priemyselných aplikácie ako čistenie, príprava povrchu, odstraňovanie materiálu, úprava betónu, rezanie.

V zahraničí platia európske normy EN uvedené v kapitole 2.3 tejto RÚ. V Nemecku platí technický predpis Nemeckého inštitútu pre stavebné inžinierstvo/Deutsches Institut für Bautechnik [ZP1] a [ZP2], kde sú zahrnuté pravidlá údržby, opravy, rekonštrukcie betónových konštrukcií s uvedeným spôsobov prípravy podkladov, predpis uvádza aj technológiou VVL. Technický predpis [ZP3] obsahuje katalóg technologických a servisných operácií pre cestné a mostné staviteľstvo s uvedením technológie

VVL. Nemecká asociácia technológie betónu a stavebníctva / Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. v Berlíne vydala v roku 2022 podrobný dokument Hochdruckwasserstrahlen im Betonbau [L6] popisujúci problematiku aplikácie technológie VVL v stavebníctve.

5.1 Analýza TPR v oblasti používania VVL

V tejto časti sú uvedené TPR, ktoré súvisia alebo sa aspoň okrajovo dotýkajú využívaniu technológie VVL.

5.1.1 TKP 18 Betón na konštrukcie – dodatok č.1/2020

- Citovaná časť:

„4 12.7 Sanácia chýb a porúch pohľadového betónu“

„Má sa vyhodnotiť, či ide o vizuálne chyby negatívne ovplyvňujúce vzhľad diela, alebo dochádza k zníženiu odolnosti betónového povrchu proti vplyvom prostredia. Pri vizuálnych nedostatkoch musia zmluvný partneri definovať stavebné opravy, resp. dopady na zmluvné záväzky. Pri nedostatkoch, ktoré majú vplyv na vhodnosť použitia v danom prostredí sa musia vykonať nápravné opatrenia podľa tabuľky 17 TKP 18.“ Pri opravách maloplošných nedostatkov pri vykonávaní pohľadového betónu uvedených v tabuľke je priestor pre aplikáciu technológie VVL.

5.1.2 TKP 21 Ochrana oceľových konštrukcií proti korózií

TKP je určené pre oceľové konštrukcie a aplikujú sa v ňom spôsoby prípravy podkladov v zmysle STN EN ISO 8501-4.

5.1.3 TKP 22 Izolačný systém vozovky na moste

- Citovaná časť:

„2.2 Úprava povrchu mostovky“

„V prípade, že povrch betónovej mostovky nespĺňa kritéria na rovnosť, drsnosť, prípadne sú na ňom zvyšky usadenín a nečistôt alebo dochádza k odlupovaniu povrchu, musí sa upraviť abráziou (pieskom, oceľovými pilinami, brokmi, **vysokotlakým vodným lúčom**), zbrúsením (frézovaním), prípadne vyrovnaním lokálnych nerovností materiálmi, ktoré vykazujú dobrú priľnavosť k betónu - najmenej 1,5 MPa a sú kohézne s izolačnými vrstvami. Tieto úpravy povrchu mostovky musí schváliť objednávateľ a musí o tom byť informovaný zhotoviteľ izolačného systému.“

5.1.4 TKP 26 Tunely

- Citovaná časť:

„4.9.10 Povrchová úprava definitívneho ostenia náterom“

„Betónový podklad monolitického ostenia tunela musí byť pred aplikáciou náteru vyzretý, pevný a hladký, bez priehlbín, bez otvorených trhlín či hrbolčekov. Na povrchu podkladu nesmie byť živica, mastnoty – olej, tuk alebo farba, nie sú prípustné ani uvoľnené cementové vrstvy, omietky či cementové mlieko, soli, plesne mach a iné rušivé substancie, ktoré by mohli ovplyvniť priľnavosť náteru. Pri čistení podkladu pred nanesením náteru sa obvykle používa **vysokotlaková voda**, prípadne pieskovanie a umytie čistou vodou. Nepripúšťa sa čistenie chemickými prostriedkami. Prípadné poruchy a kaverny betónu musia byť pred realizáciou náteru opravené vhodným systémom opravy betónu. Nanášanie sa nesmie vykonávať pri teplote pod +5 °C alebo na premrznutý podklad. V priebehu tvrdnutia náteru je potrebné ho chrániť proti extrémnym poveternostným podmienkam.“

5.1.5 TP 027 Navrhovanie zosilňovania betónových mostov

- Citovaná časť:

„4.2 Odstránenie poškodeného betónu a príprava podkladu“

„Účelom technologických operácii, týkajúcich sa prípravy betónového povrchu, je odstránenie narušených, skarbonatovaných alebo agresívnymi látkami (chemického alebo biologického pôvodu) kontaminovaných povrchových vrstiev a vytvorenie hutného a únosného betónového podkladu. Do prípravy povrchu patrí i očistenie a zbavenie výstuže korózie.

Odstraňovanie narušených povrchových vrstiev musí prebiehať tak, aby nebola ohrozená kvalita, celistvosť a stav oceľovej výstuže a aby sa nenarušil zdravý betón trhlinami, vysokou teplotou a pod.
Hrúbka odstraňovanej vrstvy betónu je daná v projekte sanácie a vychádza z údajov diagnostického prieskumu. Odstraňovaním degenerovaných povrchových vrstiev nesmie v žiadnom prípade dôjsť k ohrozeniu nosnosti alebo životnosti konštrukcie.
Vhodné spôsoby odstraňovania betónu sú popísané v TKP ORM č. 19.“

TKP ORM č. 19 je v súčasnosti neplatné. Nachádzala sa tam tabuľka, ktorá technológia bola vhodná na aký druh opravy povrchových betónových vrstiev, aj so spomenutím technológie VVL.

5.1.6 TP 088 Návrh rehabilitácie cementobetónových vozoviek

V prílohe 1 sú uvedené Katalógové listy technológií údržby a opráv, kde sú uvedené jednotlivé technológie údržby a opravy vozoviek s CB krytom. Technológia č. 2 je uvedená technológia „Úprava povrchu otryskaním vysokotlakových vodným lúčom.“

6 Princíp fungovania VVL

Vysokotlakový, vysokorýchlostný či vysoko energetický vodný lúč (ako je v praxi veľakrát nazývaný) je inteligentný pracovný nástroj s prirodzenou selekciou odstraňovania materiálu. Vodný lúč pôsobiaci statickou silou na konštrukciu patrí k rýchlym, šetrným a najekologickejším pracovným postupom na odstraňovanie poškodeného betónu, starých náterov, omietok, nečistôt, povlakov a pod.. Požiadavky na kvalitu upraveného, očisteného povrchu možno dosiahnuť technológiou VVL. Okrem toho vodný lúč má v porovnaní s inými, veľakrát nesprávne využívanými postupmi ako napr. mechanickým odstraňovaním, frézovaním, pieskovaním, opaľovaním a pod. nasledovné výhody:

- odstraňovanie sa uskutočňuje bez dynamického, termického a chemického zaťaženia čistenej plochy,
- nedochádza k vzniku prasklín a trhlín v základnom materiáli,
- nedochádza k mechanickému poškodeniu povrchu,
- nedochádza k poškodeniu obnaženej armatúry,
- nedochádza k vzniku prachu, a tým zaťažovaniu životného a pracovného prostredia (najmä pri jedovatých a karcinogénnych materiáloch alebo inak kontaminovaných materiáloch)

VVL je schopný narušiť pevné materiály prenosom energie na extrémne malú plochu. Mechanizmus rozrušovania betónu vodným prúdom je komplikovaný. Základným deštrukčným faktorom je stagnačný tlak. VVL narazí na betónový pevný povrch, na povrchu materiálu sa vytvorí nárazový tlak a po určitom čase dôjde k stagnačnému tlaku. Rozdiel medzi stagnačným tlakom na povrchu a tlakom vo vnútri materiálu núti určitý objem vody preniknúť do štruktúry materiálu.

Ak časť vody prenikne do materiálu môžu nastať tri prípady:

- Voda vteká do trhliny a vytvára príslušné napätie na čele trhliny. Porušenie sa začína v oblasti medzi cementovou matricou a kamenivom, ktorá je najslabším článkom v normálnom betóne. Na ďalšie šírenie trhliny má potom vplyv najmä veľkosť kameniva a jeho rozloženie.
- Voda prúdi do uzavretej kapiláry, kde spôsobuje zosilnenie tlaku. Lúč, ktorý narazí na vstup do kapiláry, potom transportuje vodu do kapiláry a vytláča vzduch.
- Voda prúdi cez otvorený systém pórov a vytvára treciu silu na štruktúrne prvky (napr. zrná kameniva). Ak trecia sila pôsobiaca na konkrétne zrno prekročí jeho kohézne sily k susedným zrnám, zrno sa odstráni.

Hlavné deštrukčné mechanizmy vodného lúča vplyvom pôsobenia na betón:

- Pretlakovanie trhlín
- Kavitácia

Základné parametre hodnotené pri povrchu betónu po tryskaní vodným lúčom:

- Hĺbka odstraňovanej vrstvy
- Odstránený objem
- Objemová rýchlosť odstraňovania
- Šírka odstránenej vrstvy

Najbežnejšie trajektórie pohybu dýzy sú jednoduchý prechod, kmitanie a rotácia. Kmitavý a rotačný pohyb dýzy sú účinnejšie ako jednoduchý posun. Pri použití bežného tlaku čerpadla 125 MPa pri hydrodemolácii sa rýchlosť odstraňovania použitím oscilujúcej trysky až dvakrát zrýchli v porovnaní s jednoduchým pohybom trysky. Tým možno dosiahnuť väčšiu šírku rezu pri zachovaní dosiahnutej hĺbky rezu [L5].

Procesné parametre hydrodemolácie

- Vzdialenosť trysky od povrchu rozpojovaného materiálu
- Rýchlosť posunu trysky
- Uhol dopadu lúču
- Spôsob vedenia trysky

Hydraulické parametre

- Operačný tlak [MPa]
- Objemový prietok [l/min]
- Priemer trysky [mm]

6.1 Kontinuálny vodný lúč

Kontinuálny vodný lúč je najbežnejším typom vodného lúča. Jedná sa o kontinuálny prúd kvapaliny pohybujúci sa rýchlosťou až 1200 $m.s^{-1}$. Porušenie materiálov pomocou tohto typu lúča sa dosahuje zmenou kinetickej energie prúdu kvapaliny na energiu tlakovú, keď lúč narazí na povrch materiálu. Keď kvapalina pohybujúca sa vysokou rýchlosťou narazí na pevný povrch, vznikne krátkodobý prechodný jav, ktorý je sprevádzaný intenzívnym nárastom tlaku v mieste dopadu kvapaliny na povrchu. Tento jav môže spôsobiť vážne poškodenie povrchu aj vnútornej štruktúry porušeného materiálu. Náraz prúdu kvapaliny prebieha v dvoch hlavných fázach.

Počas prvej fázy je kvapalina vo fáze nárazu stlačená, čím vzniká tzv. hydrodynamický ráz. Hydrodynamický ráz spôsobuje väčšinu poškodenia materiálu, keď sa kvapalina zrazí s dopadovou plochou.

Po opadnutí nárazového tlaku sa začína druhá fáza, ktorá je charakterizovaná radiálnym prúdením kvapaliny orientovaného kolmo na os lúča smerom von pozdĺž nárazovej plochy. Tlak v centrálnej osi lúča klesá na oveľa nižší, ktorý potom trvá relatívne dlho.

Radiálna rýchlosť prúdenia kvapaliny po povrchu materiálu môže byť až päťkrát vyššia ako rýchlosť dopadajúceho lúča a je ovplyvnená tvarom čelnej plochy lúča. V dôsledku radiálneho toku kvapaliny je preto povrch rozpojovaného materiálu zaťažený nielen normálovými silami od dopadajúceho lúča, ale aj šmykovými silami. Ak je povrch materiálu nerovný alebo akýmkoľvek spôsobom narušený (ako je to v prípade betónových povrchov), tieto veľké šmykové sily pôsobia na výstupky na povrchu. Napríklad rýchlosť dopadajúceho lúča približne 90 $m.s^{-1}$ vytvorí na nerovnom povrchu aj u materiálov s vysokou pevnosťou lokálne šmykové trhliny. Preto rozloženie síl pri dopade kvapalného lúča na pevný betónový povrch sa môže zhrnúť nasledovne. Najprv je malá centrálna plocha pri prvom kontakte lúča s betónom stlačená impaktným tlakom. Plocha lúča sa postupne zväčšuje, až kým nedôjde k radiálnemu prúdeniu kvapaliny z miesta nárazu, t. j. keď sa dosiahne kritická hodnota uhla medzi vonkajším povrchom kvapaliny a dopadovou plochou. V tomto štádiu tlak prudko klesá pozdĺž vonkajšieho kontaktu lúča s dopadovou plochou. S rozvojom radiálneho prúdenia kvapaliny klesá nárazový tlak v centrálnej časti nárazu a maximálny tlak na povrchu nárazu sa potom rovná centrálnemu stagnačnému tlaku pre nestlačiteľnú kvapalinu. Vplyvom radiálneho toku kvapaliny smerom zo stredu miesta dopadu sa na drsnom povrchu dopadovej plochy môžu objaviť vysoké šmykové sily. [L1, L5]

6.2 Abrazívny vodný lúč

Abrazívny vodný lúč používa na delenie materiálu hydro-abrazívny účinok zmesi kvapaliny a abrazívneho materiálu. Pokiaľ sú do lúča pridané abrazívne častice, rezné schopnosti lúču sa výrazne zlepšia. Porušenie materiálu pôsobením abrazívneho lúča je podobné vysokorýchlostnej erózií dopadu pevných častíc na materiál. Voda v tomto prípade slúži nielen ako urýchľovač častíc abrazíva, ale aj ako médium pre vyplavovanie spotrebovaného abrazíva a zbytkov erodovaného materiálu, tým pádom dopadajúci lúč pôsobí priamo na novovzniknutý povrch. U čisto kontinuálneho VVL sa pri rozpojovaní materiálu uplatňuje predovšetkým tlak vznikajúci vplyvom zmeny hybnosti pohybujúceho sa kvapalinového prúdu. U abrazívneho VVL je vplyv kvapaliny druhotný a zabezpečuje najmä urýchlenie častíc abrazíva a vyplavovanie materiálu.

Množstvo odobraného materiálu záleží na veľkosti zrna abrazíva, ktoré je schopné svojou pevnosťou rozrušovať materiál. Pracovný nástroj abrazívneho lúča má vďaka relatívne voľne

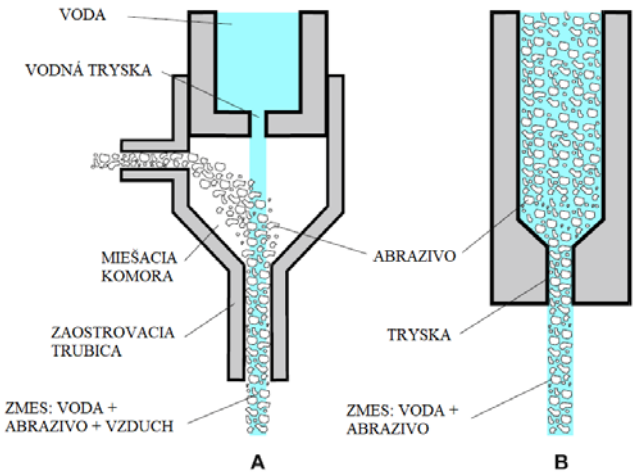
zastúpeného zrna abrazíva v prúde kvapaliny možnosť relatívne ľahko meniť dráhu oproti pôvodnému smeru. Pevnejšie časti materiálu sú schopné abrazívny lúč vychýliť a tým pádom je možné selektívne odoberanie materiálu.

Abrazívne lúče sa rozdeľujú na dve skupiny podľa systému generovania lúča. Systém prisávania abrazíva a systém suspenzie.

V systéme prisávania - injection jet (obrázok 18 časť A) prúdi voda pod tlakom z čerpadla do trysky, a následne do miešacej komory. Cez túto komoru kvapalina prúdi rýchlosťou až 1 000 m/s a vytvára tak v miešacej komore podtlak, ktorým sú prisávané abrazívne častice. Častice sú unášané prúdom vody a vychádzajú z komory ako zmes vody a abrazívnych častíc vedených cez abrazívnu trysku. Na materiál dopadá takto vytvorený brúsny lúč s rýchlosťou až 750 m/s. Nevýhodou tejto metódy je strata energie vodného prúdu v procese zrýchľovania abrazívnych častíc. Spotreba abrazíva je 0,2 až 0,4 kg/min.

V systéme suspenzie (obrázok 18 časť B) sa pred dýzou vytvorí zmes vody a abrazíva a vzniknutá suspenzia sa pretláča cez špeciálnu dýzu. Výhoda tejto metódy je, že sa pri tomto procese nestráca žiadna energia urýchľovaním abrazívnych častíc. Nevýhodou je silné opotrebovanie tých častí systému, ktoré sú v kontakte s abrazívnou suspenziou. Spotreba abrazíva pri suspenznom vodnom lúči je väčšia ako 1 kg/min.

Abrazívny lúč teda obsahuje tri základné zložky: vody, abrazíva a vzduch. Čo sa týka objemového zastúpenia tak vody tvorí 2,4 %, abrazíva 0,2 % a vzduch až 97,4 %. Hmotnostne tvorí voda 74 %, abrazíva 23 % a vzduch 3 %. Najčastejšie používaným abrazívom pre stavebné aplikácie je granát (alamandín) alebo SiO_2, ale môžu sa použiť aj iné druhy granátov (andradity a hrubozrnné granáty), olivín a priemyselne vyrábané abrazíva (napr. Fe- a Cu trosky). Veľkosť zrna brusiva je zvyčajne do 0,2 mm.



Obrázok 18 – Schéma abrazívnej trysky [L1]

Vzhľadom na odlišný mechanizmus porušenia (ako v prípade lúča bez abrazíva) dochádza k výraznému narušeniu betónu rezaním do veľkej hĺbky. V praxi sa abrazívny vodný lúč používa pre rezanie betónových prvkov a častí konštrukcií alebo na vykonávanie hlbokých rezov do konštrukcie. Hĺbka rezu výrazne závisí od štruktúry betónu (veľkosť a pevnosť kameniva, prítomnosti pórov, výstuže atď.) a parametrov lúča. Bočné plochy rezu majú pri väčších hĺbke typický "drážkovaný" vzhľad (podobný pre všetky technológie lúča - laser, plazma atď.). [L1, L5]

6.3 Zložený (viacnásobný) vodný lúč

Pri sanáciách betónových konštrukcií je najbežnejšou metódou odstraňovania znehodnoteného betónu využívanie niekoľkonásobných lúčov. Na vytvorenie viacerých lúčov sa najčastejšie používajú viacnásobné tryskové hlavy. Cieľom použitia týchto viacnásobných trysiek je pokryť väčšiu plochu pri jednom prechode a rovnomernejšie rozloženie energie na ošetrovanú alebo upravovanú plochu. Zvýšený účinok vodného prúdu sa dosahuje zvýšením tlaku vody alebo znížením rýchlosti pohybu rotujúcej hlavy nad materiálom, a tým sa zabezpečí dlhšie pôsobenie lúča na povrch. Dýzy najčastejšie vykonávajú rotačné, oscilačné alebo vibračné pohyby. Stopy, ktoré zanechávajú na povrchu porušovaného materiálu sa zvyčajne skladajú z niekoľkých jednoduchých pohybov. Zloženie pohybov

pri viacerých prechodoch lúča umožňuje lúču prejsť jedným miestom viac ako raz alebo prejsť dostatočne blízko. Pritom vďaka bočnému tlaku pri danej pevnosti materiálu dochádza k rozrušovaniu a rozbíjaniu materiálu do určitej hĺbky. Opakované prechody rotujúceho lúča cez tú istú dráhu na povrchu materiálu sa dráhy lúčov prekrývajú. V teoretických výpočtoch sa zahŕňajú najmä vzájomné vzťahy medzi postupovou rýchlosťou, obvodovou rýchlosťou, priemerom trysky, potrebný počet prechodov lúča cez ten istý bod na povrchu materiálu a počet otáčok nástrojovej hlavy. [L1, L5]

6.4 Plochý vodný lúč

Ďalším typom lúča, ktorý umožňuje rozložiť energiu lúča na väčšiu plochu, je tzv. plochý (vejárovitý) lúč. Tento typ lúča sa v súčasnosti používa pri sanácii betónu len sporadicky vzhľadom na jeho nízku účinnosť. Plochý lúč je generovaný iba jednou tryskou. Pretože je jeho energia rozložená na pomerne veľkú šírku, plochý lúč nie je schopný pri bežne používaných parametroch dostatočne preniknúť do betónového povrchu. Plochý lúč bol vyvinutý na špeciálne aplikácie, ako je čistenie, odstraňovanie vodného kameňa a atď. Pokiaľ je do plochého lúča zavedený pomocou akustického generátora vysokofrekvenčná pulzácie, účinnosť lúča sa výrazne zvýši. Pulzujúci plochý zväzok je potom schopný používať aj bežné vysokotlakové zariadenia používané pri sanáciách. [L1, L5, L13]

6.5 Pulzujúci vodný lúč

Generovanie primeraných vysokofrekvenčných impulzov v prúde tlakovej vody pred tryskou umožňuje vytvorenie pulzujúceho prúdu kvapaliny, ktorý opúšťa trysku ako lúč a až v určitej vzdialenosti od dýzy sa formuje do jednotlivých zhlukov vody. Výhodou tohto lúča oproti spojitému lúču je skutočnosť, že náraz jednotlivých zhlukov vody pulzujúceho lúča cyklicky vytvára na dopadovej ploche nárazový tlak, ktorý je niekoľkonásobne vyšší ako stagnačný tlak generovaný pôsobením kontinuálneho lúča za inak rovnakých prevádzkových podmienok. V dôsledku účinkov pulzného lúča dochádza aj k únavovému a šmykovému namáhaniu materiálu cyklickým zaťažovaním lúču na dopadajúcu plochu alebo pôsobením radiálneho vysokorýchlostného prúdenia kvapaliny na povrchu. To ďalej zvyšuje účinnosť pulzujúceho prúdu kvapaliny v porovnaní s kontinuálnym. [L1, L5, L12]

7 Požiadavky na strojné zariadenia

V [L6] sa uvádza, že aplikáciu technológiu VVL na odstraňovanie a úpravu povrchov betónu má približne 70 % vplyv technické, strojné vybavenia a zvyšných 30 % ovplyvňuje samotná kvalita betónu, resp. odstraňovaného, upravovaného povrchu.

Strojné zariadenia na odstraňovanie a úpravu povrchu betónu VVL sú zložené z hydraulických prvkov, ktoré vytvárajú hydraulický obvod. Na generovanie vodného prúdu je potrebná súprava zariadení. Hlavnými prvkami sú: hydraulická jednotka, filtre, tlakové potrubia, dvojcestný uzatvárací ventil, rezacia hlava s dýzou, stabilizátor prietoku, lapač vody a komponenty na úpravu vody. Konkrétne zloženie zariadenia závisí od výrobcu a účelu použitia. Základným prvkom je hydraulická jednotka, ktorá dodáva vodu s potrebným tlakom. Vodný prúd vytvára hydraulické zariadenie s násobičom alebo piestové zariadenie.

- **Zariadenie s multiplikátorom**

Multiplikátor pracuje na princípe hydraulického zosilnenia tlaku riadeným posunom piestu. Zariadenie sa skladá z dvoch okruhov. Nízkotlakového olejového okruhu a vysokotlakového vodného okruhu. Pomer plôch oboch navzájom spojených diferenčných piestov je daný koeficientom zosilnenia tlaku (tzv. multiplikačná konštanta). Pri zmene pracovnej polohy multiplikátora kvapalina na výstupe pulzuje. Preto sa k zariadeniu pridáva akumulátor tlakových rázov, ktorý vyrovnáva konštantný tlak kvapaliny postupujúcej do trysky. [L4]

- **Piestové zariadenie**

Piestové zariadenie na vytváranie tlaku kvapaliny využíva paralelné valce ovládané kľukovým mechanizmom s jednočinnou piestnou tyčou. Počet piestov je najčastejšie tri, ale v súčasnosti sa vyrábajú aj štvor-, päť- a sedempiestové čerpadlá. Typ čerpadla a jeho vhodnosť závisí od druhu aplikácie. [L4]

Tabuľka 2 - Porovnanie zariadenia s multiplikátorm a piestového čerpadla [L4]

	ZARIADENIE S MULTIPLIKÁTOROM	PIESTOVÉ ČERPADLO
Tlak	vyšší	nižší
Množstvo kvapaliny	menšie	väčšie
Počiatočné náklady	vyššie	nižšie
Servisný interval	dlhší	kratší
Rýchlosť pohybu piestu	0,15 m/s	0,75 m/s
Zdvihy za minútu	70-90	600 - 2200
Účinnosť	65 % - 72 %	92 % - 95 %
Vhodný typ lúča	abrazívny vodný lúč	čistý vodný lúč

- **Filtračné zariadenie**

Filtračná jednotka je dôležitou súčasťou zariadenia. Filtre upravujú kvapalinu a zachytávajú nečistoty, najčastejšie s veľkosťou (0,5 – 1) μm. V dôsledku toho sa dosahuje dlhšia životnosť komponentov zariadenia, ako sú trysky, valce, piesty alebo tesnenia. Okrem toho sa používajú metódy deionizácie a zmäkčovania vody, aby sa zabránilo hromadeniu nečistôt a udržala sa čistota vody. Obsah vápnika a horčíka spôsobuje tvrdosť vody. Pri zmäkčovaní sa tieto minerály viažu na zrná živice, čím vzniká zmäkčená voda. Deionizácia funguje na podobnom, ale zložitejšom princípe, keď voda prechádza cez dve komory s aniónovou a katiónovou živicou. [L4]

- **Tlakové rozvody**

Okrem toho sa na prenos kvapaliny používajú vysokotlakové rozvody. Patria sem: potrubia, kapiláry, hadice, spojky, ventily, tesnenia a klapky, ktoré sú navrhnuté tak, aby odolali obrovskému tlaku vody. Tieto prvky potrubia musia byť veľmi tesné, aby sa zabránilo úniku tlaku, a pevné, aby sa zabránilo roztrhnutiu materiálu. Najčastejšie sa potrubia vyrábajú z vysoko kvalitnej nehrdzavejúcej ocele. Potrubia a kapiláry majú vnútorný priemer približne (1 - 12) mm. Spoje sú závitové bez spájkovania alebo zvárania. Pri obzvlášť vysokých tlakoch kvapaliny sa používa dvojito utesnený spoj, aby závitový spoj nebol v prípade poruchy namáhaný.

Typ tlakovej hadice závisí od typu a parametrov prepravovaného média a účelu použitia. Najbežnejšia dĺžka vysokotlakovej hadice je 10 m. Existujú dva základné typy hadíc: ohybné tlakové hadice a kovové ohybné hadice. Materiály na výrobu pružných tlakových hadíc sú rôzne. Vnútorná vrstva hadice je najčastejšie vyrobená z gumy. Základná vrstva je obalená výstužným a spevňujúcim materiálom, najčastejšie je to pancierový oplet, ale môže to byť aj bavlna, hodváb alebo plast. Typ opletu, počet a zloženie vrstiev opäť závisí od parametrov vedeného média. Pri tlakoch (1 – 18) MPa je hadica opletená jednou až dvoma vrstvami bavlny, pri tlakoch (20 – 50) MPa je hadica zvyčajne vystužená jednou vrstvou oceľového drôtu a pri vysokých tlakoch do 250 MPa je hadica opletená až deviatimi vrstvami pancierového drôtu. Ako vonkajšia vrstva sa zvyčajne používa syntetická guma. Pri dynamickom zaťažení, pri vysokom tlaku sa používajú hadice s polyamidovou vložkou. Kovové ohybné hadice sa používajú najmä pri vysokých a nízkych teplotách (-200 až +540) °C. Sú vyrobené z nerezového silonu oplášteného jednou alebo dvoma vrstvami opletu z kovového drôtu. Hmotnosť kovových ohybných hadíc je často nižšia ako hmotnosť ohybných tlakových hadíc pri rovnakom vnútornom priemere. [L4]

- **Ventily**

Zariadenie používa jednocestné a dvojcestné uzatváracie ventily. Dvojcestný uzatvárací ventil sa používa na ovládanie prívodu a vypínanie prúdu vody. Elektrický alebo elektropneumatický ventil sa uzavrie za 0,1 sekundy. Jednosmerné ventily sú umiestnené na sacích aj výtlačných vetvách čerpacieho systému a používajú sa na zabránenie návratu kvapaliny do sacieho alebo multiplikačného valca. [L4]

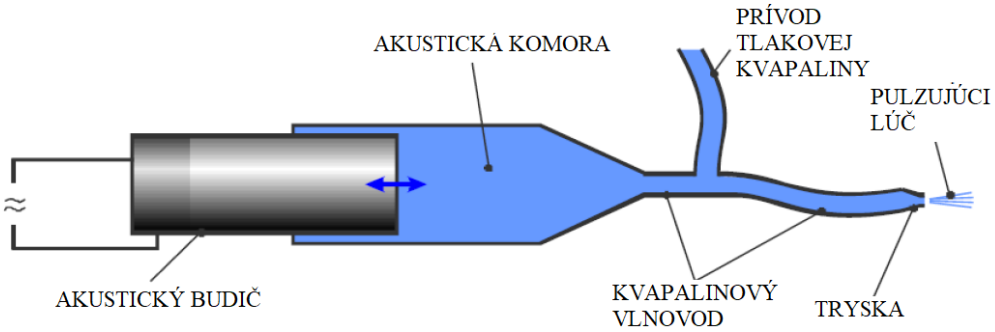
- **Hlavica s tryskou**

Voda sa potom privádza do trysky, otvoru s veľmi úzkym priemerom (0,075 až 0,9 mm pre prúd čistej vody a 0,75 až 2,5 mm pre prúd abrazívnej vody), kde tlak dodáva vode potrebnú razanciu a smer. Tryska je vyrobená zo spekaného karbidu pre nižšie tlaky a zo zafíru, rubínu a diamantu pre vyššie tlaky. Diamantová dýza je najbežnejšia dýza vďaka svojej dlhej životnosti. Konštrukcie trysiek sa líšia podľa parametrov lúča. Tryska na čistý vodný lúč je konštrukčne jednoduchšia ako tryska na abrazívny vodný lúč. Tryska s abrazívnym prúdom obsahuje buď komoru, v ktorej sa mieša voda a abrazívum, alebo sa do trysky privádza vopred vytvorená suspenzia. V zmiešavacej komore dýzy je v závislosti od konštrukcie umiestnený buď axiálny (jednostranný), alebo radiálny (viacstranný) prívod abrazíva. Radiálny prívod abrazíva je jednoduchší ako axiálny prívod a táto hlava sa môže používať na čistý

vodný prúd. Axiálny prívod abrazíva vedie k dokonalejšiemu premiešaniu s vodou a zároveň znižuje opotrebovanie dýzy. [L4]

- **Pulzný budič**

Pri generovaní impulzného vodného prúdu je stlačenie faktorom pri budení impulzov. Na tento účel bolo vyvinutých niekoľko typov zariadení, napr. vnútorné mechanické modulátory prúdu, samorezonančné dýzy, Helmholtzove oscilátory a ultrazvukové dýzy. Problémom týchto zariadení je zvyčajne krátka životnosť a nedostatočná modulácia. Týmto problémom sa zaoberá aj Ústav geoniky AV ČR, kde bola vyvinutá metóda založená na generovaní akustických vĺn pôsobením akustického budiča. Akustické vlny takejto kvapaliny sa potom prenášajú vysokotlakovým systémom do trysky. Systém zahŕňa akustickú komoru spojenú s kvapalinovým vlnovodom, ktorý spája zdroj tlakovej vody s tryskou. Pulzácie sa generujú v akustickej komore pomocou akustického budiča. Impulzy sa zosilňujú mechanickým zosilňovačom pulzácií a prenášajú sa z akustickej komory cez kvapalinový vlnovod do trysky. V tryske sa tlaková pulzácia mení na rýchlostnú pulzáciu. Zariadenie sa môže používať napríklad na jednoduché aj rotujúce pulzné zväzky. Pri budení impulzov pri frekvencii 20 kHz a tlaku vody 30 MPa dochádza k porušeniu porovnateľnému s bežne používaným tlakom 150 - 200 MPa, čo dokazuje niekoľkonásobne vyššiu účinnosť zariadenia. [L4]



Obrázok 19 – Pulzný budič [L4]

Strojné zariadenia sa rozdeľujú podľa toho, či sa jedná o ručnú aplikáciu technológie VVL pomocou pištole (tzv. hand lance) alebo robotickú aplikáciu. Ručné odstraňovanie alebo úprava povrchu je limitovaná spätným rázom zariadenia, ktorého hodnota môže dosahovať max. 250 N v prípade použitia prídavnej opierky, resp. max. 150 N v prípade bez použitia prídavnej opierky. Ide o hodnotu, ktorá má vzťah s pracovným tlakom a prietokom vysokotlakovej pumpy.

V prípade hodnôt nad 250 N musia byť použité poloautomatické manipulátory (malý robot) alebo roboty (veľký robot).

Pri veľkoplošnom odstraňovaní betónu prostredníctvom hydrodemolačných robotov sa používajú vysokotlakové pumpy s výkonom min. 300 kW, tlakom nad 100 MPa a prietokom nad 100 l/min. Aj tu však záleží, čo má byť výsledkom aplikácie technológie VVL. Pri hydrodemolácii existujú 2 základné typy demolácií. Prvým typom je selektívna demolácia, ktorá sa vykonáva vyšším prietokom vody od cca 130 l/min a nižším tlakom v rozmedzí cca 100 - 140 MPa. Betón sa tu oddeľuje selektívne, t. j. odstráni sa len betón nižšej pevnosti a zdravý betón ostane zachovaný (obrázok 20). Druhým typom demolácie je rezanie, kedy sa odstraňuje komplet betón bez rozdielu kvality. Betón je odstránený presne. Tu sa používajú zariadenia s vyšším pracovným tlakom od 150 do 300 MPa, avšak s nižším prietokom vody od 40 do 100 l/min.

Obrázok 20 – Selektívna hydrodemolácia betónov s rozdielnou pevnosťou v tlaku technológiou VVL [L7]

Odstraňovanie narušených povrchových vrstiev musí prebiehať tak, aby nebola ohrozená kvalita, celistvosť a stav oceľovej výstuže a aby sa nenarušil zdravý betón trhlinami, vysokou teplotou a podobne. Hrúbka odstraňovanej vrstvy betónu je daná v projekte sanácie a vychádza z údajov diagnostiky. Odstraňovaním degenerovaných povrchových vrstiev nesmie v žiadnom prípade dôjsť k ohrozeniu nosnosti alebo životnosti konštrukcie. Osekávanie ručne, alebo elektrickými búracími kladivami je prípustné iba v prípade nenosných betónových prvkov s vylúčením možnosti ohrozenia betónu nosných konštrukcií. Osekávanie pneumatickými búracími kladivami je prípustné výlučne na masívnych nenosných prvkoch.

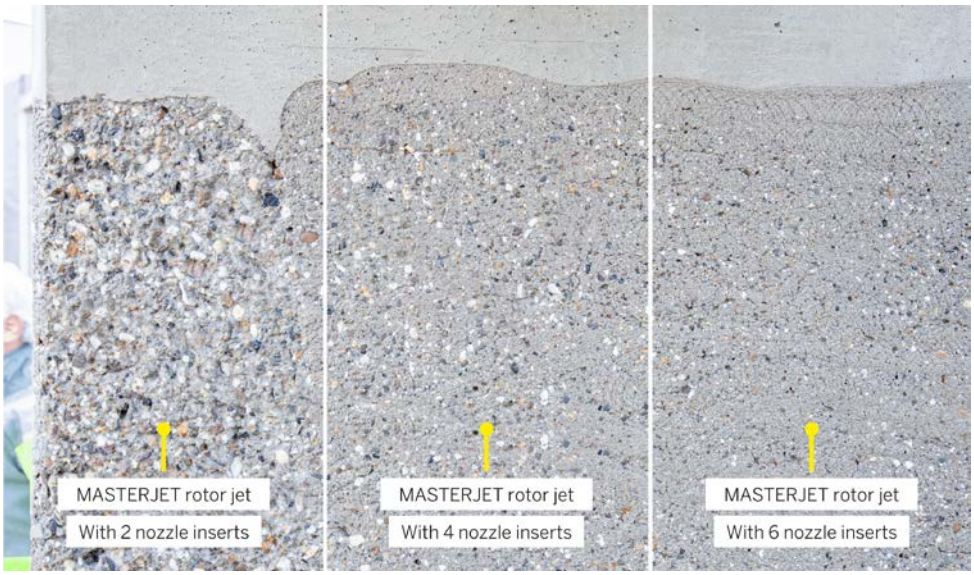
Obrázok 21 – Detail presnosti a precíznosti hydrodemolácie [L7]

Na ručnú hydrodemoláciu sa používa 1-bodová tryska.

Obrázok 22 – Ručná hydrodemolácie 1- bodovou tryskou [L14]

Na úpravy povrchu betónu sa používajú viacbodové rotačné hlavice, na plošné otryskávanie vodorovných povrchov používame tzv. „kosačku s rotátorom“ (obrázok 23). Podľa požiadavky na finálnu úpravu povrchu je zvolené zariadenie so zodpovedajúcim typom rotačnej hlavice. Porovnanie výsledného povrchu je znázornené na obrázku 24.

Obrázok 23 – Plošné otryskávanie vodorovných povrchov viacbodovou rotačnou hlavicou [L14]



Obrázok 24 – Porovnanie výsledného povrchu podľa typu trysky rotačnej hlavice (2-bodová, 4-bodová, 6-bodová) [L16]

Voda je súčasťou použitia technológie VVL pre zabezpečenie bezporuchového chodu a musí spĺňať požiadavku na čistotu a obsah rozpustných látok. Výrobcovia zariadení udávajú celkovú kvalitu vody a obsah rozpustných látok. Vo všeobecnosti pitná voda vo väčšine prípadov vyhovuje týmto požiadavkám. Prípadné mechanické nečistoty pitnej vody zachytáva filtračné zariadene VVL. V prípade, že sa nedá použiť pitná voda je nutné vodu pred použitím filtrovať, aby sa dosiahli jej požadované vlastnosti z hľadiska kvality a čistoty.

Tlak vody predstavuje najdôležitejší technologický parameter. So zvyšujúcim sa tlakom vody stúpa účinok VVL. Prietok vody je ovplyvnený zmenou tlaku vody alebo zmenou vnútorného priemeru dýzy. Zmenou tlaku vody sa nedosahuje významná zmena prietoku (tento rastie s jeho druhou odmocninou), naopak priemer dýzy má podstatný vplyv na prietok (tento rastie s jeho druhou mocninou). Zmenou vnútorného priemeru dýzy sa mení prietok vody i kinetická energia VVL. Zväčšovať priemer trysky a tým zvyšovať prietok vody sa môže na základe použitého strojného zariadenia, kde je maximálny prietok limitovaný výkonom hydraulických agregátov.

Vzdialenosť ústia dýzy od upravovaného alebo odstraňovaného povrchu má vplyv na rozširovanie VVL, v ktorom dochádza k zníženiu tlaku a rýchlosti vody. Vo VVL sa pritom zachováva kompaktné jadro prúdu vody s konštantnou rýchlosťou, ktorá sa rovná rýchlosti vytekania VVL z dýzy. Priemer jadra VVL sa s rastúcou vzdialenosťou od ústia dýzy zmenšuje až k hodnote 0. Úsek VVL v ktorom je jadro kompaktné sa nazýva pracovný úsek. Za pracovným úsekom rýchlosť a tlak postupne klesajú. Dĺžka pracovného úseku závisí od tlaku vody, priemeru dýzy a vnútorného tvaru dýzy. Rozlišujeme dýzy bodové a plošné. Plošné dýzy spôsobujú rýchlejšie rozširovanie VVL a teda aj znižovanie rýchlosti a tlaku vody. Pracovný záber VVL je širší a vhodný na úpravu povrchu betónu. Bodové dýzy dosahujú maximálny účinok v pracovnom úseku VVL a tým sú vhodné na odstraňovanie časti betónových konštrukcií.

Pri voľbe parametrov VVL je dôležité akceptovať vlastnosti betónu na ktorý VVL pôsobí. Pri čistení povrchu sa vyžaduje najnižšia kinetická energia a preto sa používajú hlavice so širším pracovným záberom (rotačná hlavica, hlavica s plošnou dýzou). Vyššia kinetická energia vody sa vyžaduje pri úprave povrchov, kedy upravovaný povrch má nižšiu pevnosť ako pevnosť betónu. Zdegenerovaný betón sa vyznačuje tým, že je porušený trhlinami alebo cementový tmel má zníženú pevnosť v dôsledku zmeny chemickej skladby a vnútornej štruktúry. Vhodne zvolenými parametrami VVL sa dosiahne pozitívny efekt, pri ktorom sa odstránia len časti narušeného betónu, zdravé časti zostanú neporušené – selektívna hydrodemolácia. Pri kompletnej demolácií (zdegenerovaného aj zdravého) betónu sa pôsobením VVL rozrušuje cementový tmel. Čím je pevnosť cementového tmelu vyššia, tým je potrebná vyššia kinetická energia na rozrušovanie.

Tabuľka 3 - Technológia VVL – potrebný tlak na úpravu, odstraňovanie betónu

METÓDA	TLAK	POZNÁMKA
Čistenie povrchu	≥ 80 MPa	
Odstraňovanie starých náterov	≥ 200 MPa	
Úprava povrchov	80 – 180 MPa	podľa druhu povrchu a hĺbky úpravy povrchu
Odstraňovanie betónu - selektívne	100 – 140 MPa	vysoký prietok vody ≥ 130 l/min
Odstraňovanie betónu - komplet	150 – 300 MPa	nízky prietok vody 40 - 100 l/min
Drážkovanie	≥ 200 MPa	
Rezanie	≥ 200 MPa	
Odstraňovanie korózie výstuže	≥ 80 MPa	

Voľba vhodného strojného zariadenia, voľba vhodnej kombinácie prvkov súpravy, vhodný tlak a prietok vody sú volené pre konkrétny prípad odstraňovania časti betónových konštrukcií a úpravy povrchov betónu, tak aby sa optimálne využila technológia VVL a benefity danej technológie boli využité.

8 Prípravné práce pred realizáciou

Príprava staveniska spočíva v zabezpečení priestoru pre aplikáciu technológie VVL podľa toho, či sa jedná o ručnú alebo robotickú aplikáciu a v zabezpečení zdroja vody. Priestorové obmedzenia sú v prípade robotickej aplikácie limitované rozmermi robota, v prípade ručnej úpravy povrchu, resp. hydrodemolácie to je na šikovnosti a fyzickej zdatnosti operátora, pri dodržaní všetkých zásad BOZP. V prípade nedostupnosti je potrebné v rámci prípravy staveniska zabezpečiť vhodné pracovné podmienky (lešenie, plošiny a pod.). Príprava priestoru pre aplikáciu VVL pozostáva rovnako z pozakrývania konštrukcií ako ochrany pred ostriekaním vodou, pred odfrkujúci kamienkami (môže sa použiť aj posuvná bariéra).

V prípade úpravy povrchu betónu sa postupuje podľa požiadaviek PD, požiadaviek zákazníka. Na základe navrhovaného výsledku úpravy povrchu betónu, ako napr. odstránenie cementového mlieka, odstránenie znečistenia povrchu, odstránenie nesúdržných častí náteru, celoplošné odstránenie náteru, jemné alebo hrubé obnaženie kameniva, obnaženie výstuže a pod. sa nastavia parametre strojného zariadenia a vykoná sa referenčná plocha úpravy betónového povrchu. Na takto pripravenej referenčnej ploche sa vykoná vizuálna kontrola, prípadne kontrolné skúšky a posúdenie vhodnosti zvolenej technológie. V prípade potreby sa upravia parametre strojného zariadenia pre dosiahnutie požadovanej kvality upravovanej plochy betónu.

V prípade hydrodemolácie sa na základe navrhnutého výsledku odstraňovania časti betónových konštrukcií v zmysle PD požadované parametre nastavujú na zariadení a potom sa kontroluje dosiahnutý výsledok demolácie na referenčnej časti konštrukcie a v prípade potreby sa konfigurácia upraví.

Pre vykonávanie technológie VVL je potrebné zabezpečiť vhodné klimatické podmienky, odporúča sa robiť pri teplote nad + 3 °C. Samotná technológia VVL sa dá teoreticky vykonávať aj pri nižších teplotách, ak sa zabezpečí úprava vody proti zamrznutiu. V daných podmienkach je ale vykonávanie prác technicky náročné na obsluhu, pri použití VVL vzniká námraza, čo môže mať negatívny vplyv na bezpečnosť pri práci.

Prípravné práce a samotná realizácia technológie VVL musí prebiehať podľa požiadaviek PD. V prípade odstraňovania častí betónových konštrukcií je súčasťou PD aj statický prepočet. V prípade použitia technológie VVL sa z hľadiska statického prepočtu v porovnaní s inými technológiami na odstraňovanie betónových konštrukcií nič nemení, nevznikajú iné dodatočné zaťaženia, ktoré by negatívne vplývali na konštrukciu. Práve naopak, pri využití hydrodemolácie technológiou VVL sa odstraňovanie časti betónových konštrukcií uskutočňuje bez dynamického, termického a chemického zaťaženia, čo v konkrétnych prípadoch priaznivo vplýva na statiku betónových konštrukcií.

9 Kontrola vykonávaných prác

Kontrolná činnosť aplikácie technológie VVL spočíva vo vizuálnych kontrolách, v porovnaní realizácie práce s referenčnou plochou. Vizuálna kontrola môže byť doplnená preberacími skúškami pevnosti povrchových vrstiev v ťahu, nerovnosti, drsnosti povrchu, meranie rozmerov a pod.

Pri úprave povrchu betónu sa kvalita vykonaných prác kontroluje skúškou pevnosti povrchových vrstiev v ťahu. V prípade, že sa jedná iba o povrchové čistenie môže sa táto skúška nahradiť zistením

povrchovej pevnosti v tlaku Schmidtovým tvrdomerom. Skúška pevnosti v ťahu povrchových vrstiev sa vykoná podľa STN 73 6242 príloha B odtrhovou skúškou. Početnosť skúšok závisí od druhu upravovanej konštrukcie. Pri úprave betónovej mostovky je to v zmysle T14. Pevnosť v ťahu povrchových vrstiev musí byť min. 1,5 MPa. Nižšia pevnosť môže byť dovolená len na základe schválenej PD s prihliadnutím na charakter stavby. Okrem overenia pevnosti v ťahu povrchových vrstiev môže byt v projekte sanácie predpísaná aj skúška karbonatácie (meranie pH), skúška obsahu chloridov. Upravovaný povrch betónu môže mať požiadavku na overenie drsnosti povrchu skúškou makrotextúry. Hodnota drsnosti povrchu (hĺbka makrotextúry) vodorovných konštrukcií podľa STN EN 13036-1 závisí od druhu upravovaného povrchu, pri upravenej betónovej mostovke je požadovaná makrotextúra v rozmedzí 0,5 mm - 1,1 mm. Nerovnosti povrchu upravovaného sa meranie 3 m latou podľa STN EN 13036-7, pri upravenej betónovej mostovke je požadovaná maximálna nerovnosť 5 mm. Pre betónové konštrukcie pozemných stavieb sa robí kontrola rovnosti a drsnosti podľa STN EN 1992-1-1+A1. Kvalitne upravený povrch betónu je na dotyk drsný a súdržný bez uvoľňujúcich sa častíc, povrch je na pohľad čistý, bez prachu, fľakov po cementovom mlieku. Upravený povrch technológiou VVL musí spĺňať minimálne rovnaké kvalitatívne parametre ako povrch upravený inou technológiou.

V prípade hydrodemolácie je potrebné kontrolovať rozmery odstraňovaných časti betónových konštrukcií podľa STN 73 0220 a vizuálne posúdiť kvalitu vykonanej hydrodemolácie, kde pri kvalitne vykonaných prácach absentujú miesta s droliacim sa betónom, výstuž je obnažená a nepoškodená a je viditeľný viazací drôt**.** Odstraňovanie častí betónových konštrukcií technológiou VVL musí spĺňať minimálne rovnaké kvalitatívne parametre ako betónové konštrukcie odstraňované inou technológiou.

Kontrola kvality vykonaných prác je vykonávaná na základe schváleného KSP v zmysle PD konkrétnej stavby, stavebnej konštrukcie, kde sa technológia VVL aplikuje.

10 Bezpečnosť pri práci

Technické a bezpečnostné vlastnosti zariadení pre technológie vysokorýchlostného vodného lúča neustále napredujú, taktiež sa ale zvyšujú rozsahy prevádzkových tlakov a tiež rozsah a spektrum využitia v interakcií s rôznymi materiálmi. Preto je nutné venovať pozornosť bezpečnosti pri práci a ochranným pomôckam pracovníkov. Tieto fakty kladú na prevádzkovateľov zariadení zvýšené nároky na realizáciu technológiou VVL. Najčastejším použitím VVL lúča v stavebníctve pri ručnej aplikácii je pracovisko s vysokotlakovou jednotkou a hadicovým vedením, na konci ktorého je pracovník s vysokotlakovou pištoľou vybavenou pevným alebo rotačným nástavcom s tryskou. Obsluha vysokotlakovej pištole zvyčajne aplikuje technológiu VVL na betónové alebo oceľové povrchy alebo časti konštrukcií. Táto práca sa často vykonáva na lešení, na lávkach alebo na plošinách. Pre obsluhu VVL vznikajú najmä riziká spojené s prácou vo výškach, znečistením hlukom a s prácou s vysokotlakovým zariadením.

Náraz spôsobený VVL pri vysokotlakových zariadeniach je veľmi silný, pretože stroje a prídavné zariadenia sú určené na odstraňovanie betónových vrstiev, búranie a odstraňovanie farieb a náterov. V prípade ručného náradia obsluha drží výstup vysokotlakovej jednotky s výkonom približne 100 kW len prostredníctvom vysokotlakovej pištole. Voľný koniec pištole tak predstavuje nebezpečenstvo pre okolie. Najviac ohrozené sú nechránené tkanivá obsluhy, môže dôjsť k vážnym poraneniam, pri ktorých VVL spôsobí silné krvácanie a následné poškodenie tkaniva. [L1]

Veľké zdravotné ohrozenie spôsobuje taktiež hluk pri výkone práce. Hlavnými zdrojmi hluku sú vysokotlakové čerpadlá, pohonné jednotky a vysokorýchlostné prúdenie kvapaliny cez vzduch. Obsluha zariadení musí byť chránená pred hlukom. Funkciu zvukovej izolácie plnia inštalačné kabíny, kryty, tlmiče hluku, clony a v neposlednom rade ochranné chrániče sluchu.

Vibrácie pôsobiace na obsluhu počas generovania VVL predstavujú ďalšie pracovné riziko. Najmä prenos vibrácií cez ruky pracovníka, ak je im vystavený dlhší čas, má sekundárny následok Raynaudov syndróm, tzv. syndróm bielych prstov. Dĺžka expozície potrebná na vznik tohto ochorenia sa pohybuje od niekoľkých mesiacov do 20 rokov a je podmienená fyzikálnymi, biodynamickými a individuálnymi faktormi.

Čo sa týka školenia pracovníkov, nejedná sa o regulované povolanie. Operátor VVL nemusí absolvovať žiadne úradné školenie. Avšak na manipuláciu s VVL musí byť pracovník vyškolený a musí pracovať v ochrannom odeve. Pracovník musí byť vyškolení na obsluhu zariadenia (zapojenie, uvedenie do prevádzky, používanie koncového náradia, údržba, prevádzkové kvapaliny, výmena filtrov, drobné opravy), BOZP (používanie OOPP, zásady pri práci s používaním VVL, bezpečnostné mechanizmy). Ochranný oblek je odolný voči chemikáliám a chráni pracovníka pred porezaním vodným lúčom. Ochranný oblek na prácu s VVL je veľmi pevný, ale predovšetkým ľahký, čo operátorovi uľahčuje pohyb pri práci. Dômyselne navrhnutý oblek zložený z panelov neobmedzuje pracovníka v pohybe. Prístup vzduchu umožňuje voľný chrbát obleku, čo tiež zvyšuje pracovný komfort pri manipulácii. Ochranný oblek je schopný odolať tlaku až 250 MPa. Súčasťou výbavy je prilba s ochranným krytom proti

prípadným úlomkom, slúchadlá proti hluku, štuple do uší a gumové rukavice. Hladina hluku pri manipulácii s vodným lúčom je pri dlhodobom pôsobení škodlivá. Pracovník musí tiež nosiť respirátor, ak existuje riziko vdýchnutia prachových častíc. Špeciálny ochranný, pancierový oblek a gumáky s ochranným pancierom musia spĺňať požiadavky Z7.

Obrázok 25 – Ochranný oblek pre prácu s VVL [L17]

Možnosť vymrštenia alebo vyšmyknutia hadice je ďalším z mnohých rizík práce s vodným prúdom. Toto riziko je veľmi častou príčinou úrazov. K nevyhnutným ochranným pomôckam treba priradiť aj špeciálne mechanizmy proti rozpojeniu a nekontrolovanému vystreleniu vysokotlakovej hadice.

Vysokotlaková vodná pumpa nie je vyhradené technické zariadenie a teda nepodlieha úradným skúškam. Strojné zariadenie je nutné 1x ročne skontrolovať podľa požiadaviek výrobcu. Kontrolovaný je stav zariadenia, možné poškodenia, opotrebenie alebo porucha spôsobená zásahom lúča, správna funkčnosť, požadovaný výkon. Vzor skúšobného protokolu strojného zariadenia je uvedený v [L9].

Vysokotlakové hadice sa testujú podľa normy STN EN ISO 1402 a mali byť odskúšané na 1,5 násobok pracovného tlaku.

11 Záver

Na základe poznatkov uvedených v predkladanej RÚ, možno jednoznačne konštatovať, že technológia VVL má svoje miesto v oblasti odstraňovania častí betónových konštrukcií a úpravy povrchov betónov. Oblasti použitia technológie VVL sú stanovené na základe doterajších skúseností a sú uvedené v kapitole 4 tejto RÚ. Využitie technológie VVL nie je obmedzené len na použite v uvedených oblastiach, ale je použiteľné v konkrétnych prípadoch všade tam, kde sa jej použitie vyhodnotí ako optimálne riešenie pre konkrétny prípad, konkrétnu stavbu. Výhody a nevýhody používania technológie VVL na odstraňovanie častí betónových konštrukcií a úpravy povrchov betónu sú uvedené v tabuľke 1 tejto RÚ.

Pri realizácii technológie VVL na odstraňovanie častí betónových konštrukcií a úpravy povrchov betónu je potrebné striktne dodržiavať schválený technologický postup realizácie, ktorý musí byť vypracovaný v súlade s PD a platnými TPR. Jeho dodržiavanie spolu s kontrolou kvality na stavbe v súlade so schváleným KSP zabezpečí technickú a technologickú správnosť realizácie.

Pre stanovenie jednoznačných podmienok realizácie technológie VVL bude potrebné v budúcnosti na Slovensku vypracovať a aktualizovať niektoré TPR.

11.1 Návrh na aktualizáciu a prípravu TPR

- Vytvorenie samostatného TP s názvom „Technológia vysokotlakového vodného lúča v stavebníctve“, ktorý by obsahoval podmienky a jednoznačné kritéria používania

technológie VVL na úpravu betónov a odstraňovanie častí betónových konštrukcií na základe analýzy využívania technológie VVL a podmienok používania uvedených v tejto RÚ,

- Vytvorenie „Katalógu technológií odstraňovania a úpravy betónov“, ktorý by obsahoval podmienky použitia daných technológií na jednotlivých častiach stavby. Údaje k technológií VVL v zmysle tabuľky 3 tejto RÚ.
- Aktualizácia TP 027 Navrhovanie zosilňovania betónových mostov. Z pohľadu technológie VVL ide o aktualizácia odkazu na vhodné spôsoby odstraňovania betónu, aktuálne sa TP 027 odkazuje na tabuľku v neexistujúcich TKP ORM č. 19. Spomenutá tabuľka by mohla byť súčasťou TP 027, s aktualizovanými údajmi k technológii VVL v zmysle tabuľky 3 tejto RÚ, prípadne uvedený odkaz na v tejto RÚ navrhovaný „Katalóg technológií odstraňovania a úpravy betónov“.