

РЕХАБИЛИТАЦИЈА ПОСТОЈЕЋИХ БЕТОНСКИХ КОЛОВОЗА ПОМОЋУ РЕЗОНАНТНОГ РАЗБИЈАЊА

Данило Вуњак¹Драган Лукић²Арпад Чех³Богдан Васовић⁴Голуб Караман⁵

УДК: 625.7/.8

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.134

Резиме: Када се постојећи бетонски коловози оштете до те мере да се јавља потреба рехабилитације или реконструкције, разлике у алтернативним решењима могу бити веома значајне. Једна често примењивана метода користи резонантно разбијање дотрајале бетонске коловозне конструкције, која се на тај начин претвара у део доњег носећег слоја нове асфалне коловозне конструкције. У раду се презентује ова савремена метода резонантног разбијања и упоређење са другим методама које се користе приликом рехабилитације оштећених бетонских коловозних плоча. У септембру и октобру месецу 2011. године, на делу Магистралног пута М–22.1 Београд–Нови Сад је први пут у Србији коришћена метода резонантног разбијања застареле коловозне конструкције. Детаљи те реконструкције су приказани у другом делу рада.

Кључне речи: Рехабилитација бетонских коловоза, резонантно разбијање

1. УВОД

Рехабилитација бетонских коловоза је веома актуелна тема пре свега због непрестаног повећавања тешког теретног саобраћаја, агресивних и штетних утицаја средине, повећане фреквенције саобраћаја, али и услед деградације коловозне конструкције. Деградација се манифестује појавама, које у већини случајева упућују и на сам узрок проблема и могу се поделити у четири групе:

- Прслине и пукотине (Слика.1а)

¹ Данило Вуњак, дипл.инж. грађ., Институт за грађевинарство и архитектуру ДОО, Косанчић Ивана 19, Нови Сад, Србија, тел: 021/549-026, е – mail: danilovunjak@gmail.com

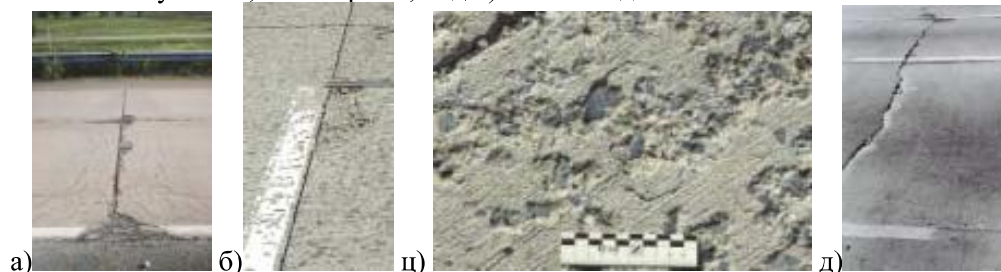
² Проф.др Драган Лукић, дипл.инж.грађ., Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, тел: 024/554-300, е-маил: lukic@gf.uns.ac.rs

³ Асистент Арпад Чех, дипл.инж.грађ., Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, тел: 024/554-300, е-маил: ceh@gf.uns.ac.rs

⁴ Богдан Васовић, дипл.инж. грађ., Институт за грађевинарство и архитектуру ДОО, Косанчић Ивана 19, Нови Сад, Србија, тел: 021/549-026, е – mail: vasovicb@gmail.com

⁵ Виши лаборант Голуб Караман, инж.грађ., Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, тел: 024/554-300, е-маил: golub@gf.uns.ac.rs

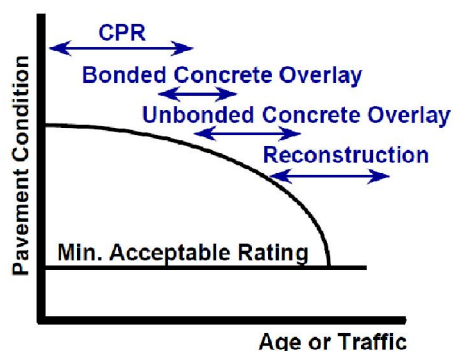
- Оштећења на спојницама (Слика.1б)
- Површинска оштећења (Слика.1ц) и
- Остала оштећења (висинска разлика у плочама на спојници – „Faulting“, испупчење, витоперење, итд...) - Слика.1д



Слика 1. Различити типови оштећења бетонских коловоза

Figure 1. Distress types of concrete pavements

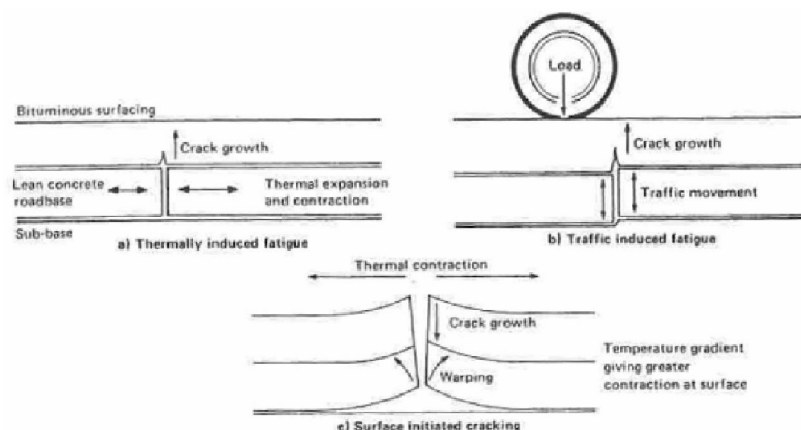
Рехабилитација коловоза може бити успешна и економски ефикасна познавајући специфичности различитих оштећења, механизма насталих појава и њихових узрока, на основу адекватних података теренских испитивања. У случају армираних и неармираних бетонских коловоза рехабилитација значи структурално и функционално побољшање у циљу значајног продужења експлоатационог века коловоза, при побољшању квалитета конструкције, а и квалитета удобности вожње. Састоји се од различитих метода санације: наношења нових слојева (везаних или невезаних) или евентуално од реконструкције коловоза, у функцији степена оштећења или дотрајалости. (Слика.2)



Слика 2.Избор адекватне стратегије рехабилитације бетонских коловозних конструкција у функцији старости или саобраћајног оптерећења [2]

Figure 2. Life Cycle diagram showing appropriate pavement rehabilitation strategies

Када је оштећење бетонског коловоза тог типа или обима да санација више није могућа или је економски неоправдана, решење је обнова коловозне конструкције. Наношење новог слоја преко бетонске коловозне плоче је често накнадно, праћено појавом рефлектованих пукотина на површини коловоза (Слика 3.), стога се избегава као решење за санацију бетонских коловоза.



Слика3. Рефлектовање пукотина из доњег слоја старог бетонског коловоза у нови, асфалтирани слој [3]

Figure 3. Reflective cracking caused by discontinuities in the underlying layers which propagate through the new asphalt layer

Дотрајала или у тој мери оштећена, да је санација економски нерационална, бетонска или армиранобетонска конструкција се уситњава и претвара у доњи део носећег слоја, преко које се изводе нови слојеви коловозне конструкције.

Резонантно разбијање - уситњавање (rubblization) је актуелна и у последње време често примењивана техника рехабилитације бетонских коловоза. Разбијање се врши при високој фреквенцији (44Hz) и ниској амплитуди (19mm) помоћу машине RPB (resonant pavement breaker) са једном ударном главом или код МНВ (multi-head breaker) помоћу више ударних глава постављених у линију, које ударају са знатно већим амплитудама. (Слика 4.). Практични учинак код оба типа (са једном или више ударних глава) машине је 4000-6000 m² површине по смени, што практично значи да је 5 пута бржа од конвенционалне методе разбијања бетонског коловоза помоћу гиљотине. [4]



Слика 4. Резонантно разбијање бетонског коловоза

Figure 4. Resonant rubblization of the existing concrete pavement

Метода резонантног разбијања АБ и бетонске конструкције се данас првенствено користи за разбијање дотрајалих коловозних конструкција, али се све више користи и при реконструкцији аеродромских pista (Слика 5) и при рушењу саобраћајних површина нуклеарних електрана.



Слика 5. Ефикасно резонантно разбијање аеродромске piste и до дубине 60 cm [5]
Figure 5. Complete airport concrete pavement destruction until 60 cm depth

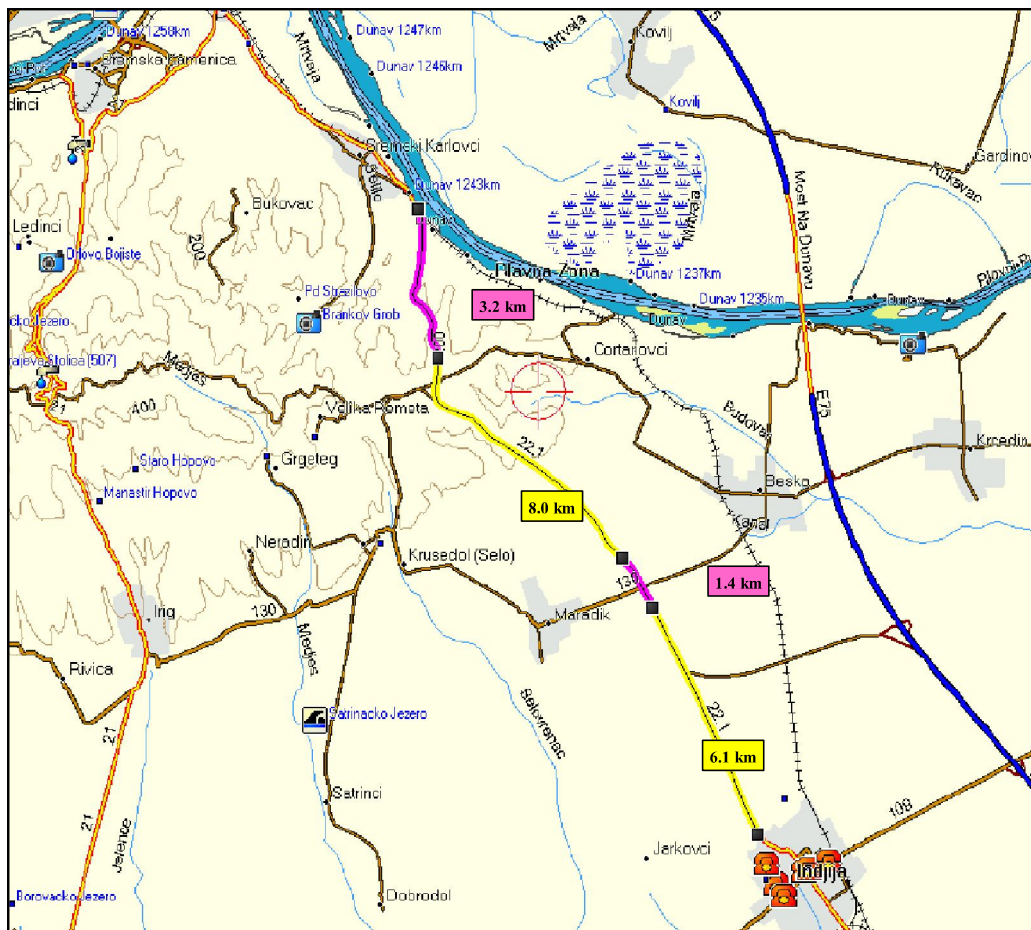
Ако се упоређује са тоталном реконструкцијом коловоза цена изградње на рециклираној – разбијеној подлози је 3 - 4 пута мања, стога је ова метода и економски оправдана. Даље предности методе резонантног разбијања дотрајалог бетонског коловоза у односу на уситњавање помоћу „гиљотине“ су:

- „гиљотином“ се формирају блокови неправилних димензија и различитог облика, док се резонантним разбијањем бетон ломи до жељене гранулације (обично на површини плоче комади имају гранулацију 0/31 мм) при чему се гранулација повећава од врха ка дну плоче што доприноси правилнијој расподели оптерећења,
- рад „гиљотином“ може да изазове утискивање дела изломљених плоча у подлогу, док при ломљену ултразвуком подлога остаје неоштећена,
- рад „гиљотином“ подразумева допунско коришћење тешког вибратора за секундарно ломљење док при ломљењу ултразвуком то није потребно,
- брзина рада, односно, брзина кретања возила са резонантним разбијачем је 3 до 5 пута већа од брзине кретања возила са „гиљотином“ што омогућава ефикасније радове на градилишту и уколико је неопходно затварање саобраћаја умањују се сви негативни ефекти (преусмеравање тешког саобраћаја на локалне путеве и њихово оштећење).

2. РЕХАБИЛИТАЦИЈА КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ МАГИСТРАЛНОГ ПУТА М–22.1 БЕОГРАД–НОВИСАД

У септембру и октобру месецу 2011. године, на делу Магистралног пута М–22.1 Београд–Нови Сад (на деоници Сремски Карловци–Стара Пазова, тј. од км 140+975

до км 159+645 – Слика 6.) је први пут у Србији коришћена метода резонантног разбијања дотрајале коловозне конструкције.



Легенда:

Бетонска коловозна конструкција

Асфалтна коловозна конструкција



Слика 6. Ситуациони приказ пројектоване деонице Сремски Карловци -
Инђија са дужинама бетонског коловоза

Figure 6. Road plan of projected section Srem Karlovci - Indjija with the length of
concrete pavement

2.1. ИСТОРИЈСКИ ПОДАЦИ

Из веома оскудне историјске архивске документације дошло се до података да је за међународни пут Лондон – Цариград, кроз нашу територију изабран 1934. године државни пут бр.3. од Београда преко Новог Сада, Суботице до мађарске границе у дужини 203,174 km. У току четири године (1935. – 1939. године) израђен је цео део међународног пута (државни пут бр.3.) од Београда до Хоргоша. Овај део међународног пута пролази Сремом и Бачком преко Земуна, Батајнице, Нове Пазове, Старе Пазове, Инђије, Сремских Карловаца, Новог Сада, Сирига, Србобрана, Малог Иђоша, Фекетића, Бачке Тополе, Суботице, Краљевог Брега и Хоргоша до мађарске границе. Траса новог пута углавном је положена по ранијем државном путу бр.3., са местимичним одступањем, да би се траса побољшала, уштедела експропријација. Веће варијанте извршене су на делу од km 50+000 до km 57+000, где је напуштен стари државни пут преко села Марадика и Крушедола, па је коришћено општинско путно земљиште и избегнуто велико обилажење скраћењем трасе за око 6.4 km. Пред Сремским Карловцима траса је у погледу успона побољшана на дужини око 6.0 km напуштањем старог пута, као и дела кроз Сремске Карловце. Ширина коловоза на целој дужини је 6.00 m, с тим што је на делу од Београда до Новог Сада извршено проширење трака по 0.50 m са обе стране, односно кроз насеља по 0.75 m, од ситне коцке и тврдо ливеног асфалта. Коловози су од асфалт бетона, цемент бетона или ситне коцке. У току експлоатације на појединим деловима предметне деонице су рађене мере рехабилитације.

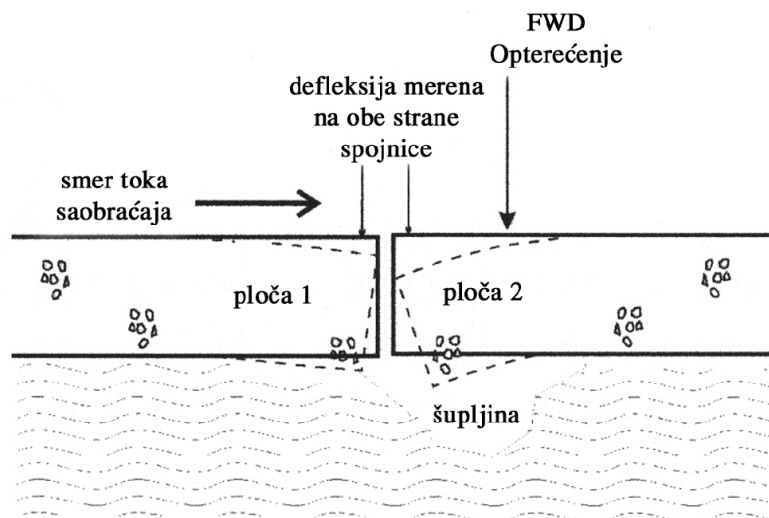
2.2. ПОСТОЈЕЋЕ СТАЊЕ БЕТОНСКОГ КОЛОВОЗА

Подаци о постојећој коловозној конструкцији, увид у структуру и квалитет материјала, добијени су испитивањима путем сондажних јама и керновањем асфалтних слојева. За све материјале су урађена лабораторијска испитивања у обиму који је био потребан за идентификацију њиховог тренутног стања и квалитета.

2.3. ПРЕНОС ОПТЕРЕЋЕЊА

У оквиру неструктивног испитивања дефлексија на предметној деоници пута обављена су и испитивања преноса оптерећења на спојницама цемент бетонских плоча на делу пута од km 144+831.328 до km 151+349.613 и од km 153+529.700 до km 159+645.587 (табла уласка у Инђију). За ова испитивања коришћен је поступак објављен у "ELMOD Pavement Evaluation Manual" којим се предвиђа следећи начин и поступак мерења:

- мерење се врши уз помоћ држача за сензоре за мерења на бетонским коловозима.
- држач се центрира на спојницу између плоча и мери се угиб оптерећене и угиб неоптерећене плоче. Шема мерења је приказана на Слици 7:



Слика 7. Шематски приказ мерења дефлексије помоћу импулсметоде или FWD (falling weight deflectometer)

Figure 7. Deflection testing scheme with falling weight deflectometer (FWD)

На следећој слици приказано је мерење преноса оптерећења (LT) уређајем FWD на бетонском коловозу (Слика 8):



Слика 8. Мерење преноса оптерећења на спојницама бетонског коловоза

Figure 8. Falling weight deflectometer load plate by the joints

Пренос оптерећења (LT - load transfer (%)) се срачунава по следећој формули:

$$LT(\%) = \left(\frac{\Delta u}{\Delta l} \right) \times 100$$

где је:

Δu (10^{-3} mm) - дефлексија неоптерећене плоче

Δl (10^{-3} mm) - дефлексија оптерећене плоче

Изабрани профили мерења се налазе на деловима који репрезентују стање бетонског коловоза. Интерпретација резултата мерења обављена је према препорукама *AASHTO Guide for design of pavement structures*, према коме су дати следећи критеријуми:

Табела 1- *Ocena rezultata prenosa opterećenja prema AASHTO*

Table 1- *Load transfer result meaning according to AASHTO*

LT > 70%	Означава добар пренос оптерећења
LT између 50% и 70%	означава осредњи пренос оптерећења
LT < od 50%	означава лош пренос оптерећења

Резултати мерења приказани су у следећим табелама:

Табела 2- *Резултати мерења-мерно место 1*

Table 2 – *Test results on the measuring place 1*

redni broj spojnice	Sila (kN)	Δl (10^{-3} mm)	Δu (10^{-3} mm)	LT (%)	ocena prenosa opterećenja
1	69.47	345	99	28.69	loš
2	70.26	333	180	54.05	osrednji
3	66.94	447	146	32.66	loš
4	69.70	778	131	16.84	loš
5	69.84	362	146	40.33	loš
6	70.18	394	127	32.22	loš
7	69.82	529	196	37.05	loš
8	69.94	314	111	35.35	loš
9	70.57	246	63	25.61	loš
10	69.89	215	118	54.88	osrednji
11	69.93	221	51	23.07	loš
12	69.87	331	197	59.51	osrednji
13	69.75	259	77	29.73	loš
14	69.89	296	71	23.99	loš
15	69.96	255	55	21.56	loš
16	69.41	289	84	29.06	loš
17	69.77	256	97	37.89	loš
18	70.00	330	132	40.00	loš
19	70.05	360	145	40.28	loš
20	70.23	339	108	31.85	loš
average:				34.73	loše

Табела 3- Резултати мерења-мерно место2

Table 3 - Test results on the measuring place 2

redni broj spojnice	Sila (kN)	Δl (10^{-3} mm)	Δu (10^{-3} mm)	LT (%)	ocena prenosa opterećenja
1	70.04	470	183	38.94	loš
2	68.52	551	167	30.30	loš
3	68.55	563	141	25.04	loš
4	69.73	471	133	28.23	loš
5	68.94	394	84	21.31	loš
6	71.07	704	125	17.75	loš
7	68.95	480	169	35.21	loš
8	71.98	358	74	20.67	loš
9	68.39	654	201	30.73	loš
10	70.53	398	100	25.12	loš
11	70.47	332	128	38.55	loš
12	69.80	348	113	32.47	loš
13	70.47	809	97	11.99	loš
14	69.19	404	166	41.09	loš
15	69.98	546	159	29.12	loš
16	68.99	404	148	36.63	loš
17	70.46	396	304	51.51	osrednji
18	70.01	577	131	22.7	loš
19	70.72	454	136	29.96	loš
20	68.76	489	170	34.76	loš
average:				30.10	loše

Резултати мерења добијени на узорку од 2*20 мерења указују на лоше стање преноса оптерећења на спојницама бетонских плоча. Лоша равност бетонског коловоза проузрокована је знатном денивелацијом бетонских плоча на спојницама – „faulting”. „Faulting“ се креће између 2.0 до 4.8 цм (мерено на 40 спојница), док средња вредност износи 3.0 цм. На следећим сликама је приказан изглед карактеристичних спојница бетонског коловоза од км 146+000 до км 155+000 :



Слика 9. Денивелација је бетонских плоча на спојницама

Figure 9. Faulting of the joints on concrete slabs

На основу резултата спроведених мерења стања постојећег бетонског коловоза дошло се до закључка да се функционално бетонски коловоз налази у веома лошем стању из следећих разлога:

1. пренос оптерећења између бетонских плоча је лош - из разлога што су плоче изведене без можданика у спојницама док се други разлог огледа у ерозији подлоге испод бетонских плоча.
2. равност изражена у ИРИ-ју се креће од 9.9 до 10.2 м/км, што представља веома високу вредност. Основни разлог за овакво стање равности се огледа у великој денivelацији бетонских плоча (faulting).

Пројектним решењем рехабилитације коловозне конструкције пута М-22.1, Сремски Карловци-Инђија је предвиђено ломљење постојећег бетонског коловоза уситњавањем плоча на димензију 50 x 50 cm помоћу „гиљотине“ и коришћење изломљених плоча као део доњег носећег слоја нове коловозне конструкције. Као алтернатива постојећој технологији појавила се могућност ломљења бетона помоћу резонантног уситњавања и до 0.5 m дебљине, за коју се Инвеститор одлучио. Уситњавање бетонског коловоза је урађено помоћу машине RB500. (Слика 4.лево) и трајало је 4 пута краће него што је било предвиђено помоћу машине са „гиљотином“. Контрола уситњавања бетонске плоче је испунила очекивања и гранулометријски састав је био одговарајући не само по величини, већ и по расподели по висини разбијеног слоја бетона, тј. крупнији су били комади разбијеног бетона при дну, а при површини ситније. После разбијања помоћу RB500 довољно је било компактирати подлогу помоћу ваљка, након чега су урађени слојеви БНС 22сА (битуменизирани носећи слој) и АБ 16с са ПмБ 50/90 (асфалтбетона са полимер модификованим битуменом ПмБ50/90), дебљине 7 и 6 cm, респективно. Оштећење подлоге испод бетонске конструкције је непожељна појава која се јавља када параметри резонантног разбијања нису адекватно усклађени са параметрима бетонског коловоза. На деоницама, где је бетонска конструкција уситњена, ова појава није примећена, као ни нека друга врста оштећења.

3. ЗАКЉУЧАК

Значајан део путне мреже у Републици Србији је дотрајао и захтева неку врсту интервенције. Нису ретке деонице (поготово у Војводини) где је коловозна конструкција од бетона. Санација ових деоница је могућа још извесно време, али је реконструкција неизбежна. Метода резонантног разбијања је веома ефикасна при рехабилитацији бетонских коловоза, која је примењена у Србији са одличним резултатима и доказана је још једном ефикасна примена (барем 3 пута бржа од ломљења “гиљотином”), као и економска оправданост овог начина претварања старих бетонских коловоза у подлогу нових.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Concrete Pavement Engineering and Research: Rubblizing of Concrete Pavements: A Discussion of its Use, ACPA, 1998
- [2] <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/tpp/reports/03031/02.cfm>, преузето 05.02.2014.
- [3] Nunn M. E. (1989). "An investigation into reflection cracking in composite pavement," Proceedings of RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements, Liege, Belgium. str.146-161
- [4] Rehabilitation Strategies for Highway Pavements, Contractor's Final Report, NCHRP Project C1-38, 2001
- [5] Airfield Asphalt Pavement Technology Program Project 04-01, Development of Guidelines for Rubblization Final Report, Asphalt Institute, Lexington, 2008

REHABILITATION OF CONCRETE PAVEMENTS BY RESONANT RUBBLIZING

Summary: *When a concrete pavement has deteriorated to the point that either some form of rehabilitation or total reconstruction is necessary, the cost differences can be significant. Resonant rubblization is one efficient way used for breaking damaged concrete pavement, that way transforming it into a part of the sub base of new asphalt pavement. The paper presents the modern method of resonant destruction and comparison with other methods used in rehabilitation of damaged concrete pavement. Resonant rubblizing in Serbia for the first time was used in September and October 2011th, on the highway M - 22.1 between Belgrade -Novi Sad. Details of the reconstruction are presented in the second part of this article.*

Keywords: *Rehabilitation of concrete pavement, Resonantrubblizing*