



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

RECYKLACE NETUHÝCH VOZOVEK ZA STUDENA

COLD RECYCLING OF FLEXIBLE PAVEMENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Řehulka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Dr. Ing. Michal Varaus

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Martin Řehulka
Název	Recyklace netuhých vozovek za studena
Vedoucí práce	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Datum zadání	22. 2. 2018
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 22. 2. 2018

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. TP 208 Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena.
2. Sborník z konference Salamanca 2001: Subgrade Stabilisation and In Situ Pavement Recycling using Cement.
3. Wirtgen - Cold Recycling Manual.
4. Odborné články z časopisů a Internetu.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

1. Přehled technologií recyklace netuhých vozovek.
2. Analýza podmínek pro použití cementu a asfaltové emulze při recyklaci za studena.
3. Zkušenosti s recyklací za studena při rekonstrukci dálnice D1.
4. Závěry.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na technologii recyklace netuhých vozovek obecně, konkrétně pak recyklaci za studena. Jedná se o moderní technologii, která byla v České republice zavedena po roce 1989. První polovina práce popisuje teoreticky různé druhy recyklací netuhých vozovek, kde je největší pozornost věnována právě této technologii. V druhé části je popsán úsek modernizované dálnice D1, kde byla tato recyklace za studena aplikována. Je doložen technologický postup včetně obrazové dokumentace a kontrolních zkoušek.

KLÍČOVÁ SLOVA

Netuhá vozovka, recyklace za studena, rekonstrukce, dálnice, technologie, cement, grejdr, fréza.

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on recycling of the flexible pavements in general, namely cold recycling. This modern technology was introduced in the Czech Republic after 1989. The first half of the thesis describes theoretically various types of recycling of flexible pavements, where the greatest attention is paid to this technology. The second part describes the section of the modernization D1 motorway where this cold recycling was applied. The technological process, including visual documentation and control tests, is documented.

KEYWORDS

Flexible pavements, cold recycling, reconstruction, motorway, technology, cement, grader, milling machine.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Martin Řehulka *Recyklace netuhých vozovek za studena*. Brno, 2018. 44 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2018

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi za poskytnutí odborných rad, připomínky a vstřícný přístup. Dále bych chtěl poděkovat mým kolegům ze společnosti Eurovia CS, a.s., za poskytnuté materiály, cenné rady z praxe a jejich ochotu pomoci. A v neposlední řadě děkuji svým blízkým za podporu během celé délky studia.

Obsah

Úvod	9
1. Přehled technologií recyklace netuhých vozovek	11
1.1. Rozdělení recyklace	11
1.2. Recyklace v míchacím centru za horka	12
1.3. Recyklace v míchacím centru za studena	16
1.4. Recyklace na místě za horka	16
1.5. Recyklace na místě za studena	18
1.5.1. Rozdělení recyklace za studena	19
1.5.2. Označení vrstev	20
2. Analýza podmínek pro použití cementu a asfaltové emulze při recyklaci za studena	22
2.1. Hydraulické dominantní stmelení	23
2.2. Asfalticky dominantní stmelení	23
2.3. Stmelené směsi	24
2.3.1. Zkoušky recyklovaných stmelených směsí	25
3. Zkušenosti recyklace za studena při rekonstrukci dálnice D1	27
3.1. Základní a technické údaje o stavbě	27
3.2. Použité stavební mechanizmy	28
3.3. Pracovní postup	29
3.3.1. Demolice stávajícího krytu	30
3.3.2. Rozfrézování a reprofilace	32
3.3.3. Recyklace za studena	33
3.3.4. Ošetřování a ochrana povrchu	36
3.4. Kontrolní zkoušky	37
3.5. Kinematické podmínky a omezení	39
3.6. Bezpečnost a ochrana zdraví při práci	39
4. Závěr	40
5. Seznam použitých zdrojů	41
6. Seznam tabulek	42
7. Seznam obrázků	43
8. Seznam použitých termínů	44

Úvod

Recyklace – znovupoužití materiálu, z anglického slova recycling, je při stavbě, obnově a rekonstrukci vozovek v silniční dopravě jedním z nezbytných předpokladů pro zachování udržitelného rozvoje a překlenutí rozporu mezi ekonomickým růstem a ochranou životního prostředí.

K hlavním výhodám recyklace patří celkové snížení objemu odpadů, zachování stavebních materiálů (kamenivo, asfalt) a energetických zdrojů (pohonné hmoty, topná média), prevence znečišťování (výfukové plyny, prach, omezení skládek), snižování dalších nežádoucích vlivů (hluk, zatížení komunikací, doba výstavby). Pozitivně působí i na ekonomiku (snížení nákladů).

„Při správném způsobu použití jsou recyklované materiály v mnoha případech stejně hodnotné jako materiály standardní. Využívání recyklovaných materiálů správným způsobem tedy není na úkor kvality stavebního díla.

Nedostatečné vzdělání a informovanost se v mnoha zemích považuje za hlavní bariéru pro uplatnění recyklačních technologií. Problémem je též nevhodný způsob uvádění recyklačních technologií do souvislosti s nakládáním s odpady a tím vznik mnoha uměle vytvořených problémů a zbytečných překážek. Uvádějí se některé dopady na životní prostředí související s recyklací, ale nebere se v úvahu, že uplatnění této recyklace zabrání vzniku dopadů jiných, podstatně rozsáhlejších a škodlivějších.” (1)

Studená recyklace na místě, pro vozovky s penetračním makadamem malé tloušťky, je mnohem efektivnější než klasická technologie oprav typu „frézování – odvoz R-materiálu – výroba a dodávka nového materiálu – nová pokládka“. Vzhledem k tomu, že spolu s asfaltem nebo asfaltovou emulzí se jako pojivo používá také cement, je tato technologie vhodná také do míst, kde je nutné imobilizovat škodlivé složky silničního dehtu. Technologie recyklace za studena je jednoznačně přátelská k životnímu prostředí. (2)

Hlavní úkoly a cíl bakalářské práce

Přehled a popis technologií recyklace netuhých vozovek

Analyzovat podmínky pro použití cementu a asfaltové emulze při recyklaci za studena

Zkušenosti s recyklací za studena při rekonstrukci dálnice D1

1. Přehled technologií recyklace netuhých vozovek

Netuhá vozovka je vozovka s krytem z asfaltových vrstev a nestmelenými podkladními vrstvami.

Pro rozhodnutí k recyklaci vrstev konstrukce vozovky musí předcházet diagnostický průzkum. Ten obsahuje vizuální prohlídku pro identifikaci poruch, jádrové vývrty nebo kopané sondy pro zjištění stavu, tloušťek, druhu konstrukčních vrstev a druhu zeminy v podloží, průkaz dostatečné únosnosti podloží. (1)

1.1. Rozdělení recyklace

Dle místa provádění:

- v míchacím centru (mix in plant) = obalovna, mobilní jednotka
- na místě (mix in place, in situ)

Dle teploty procesu:

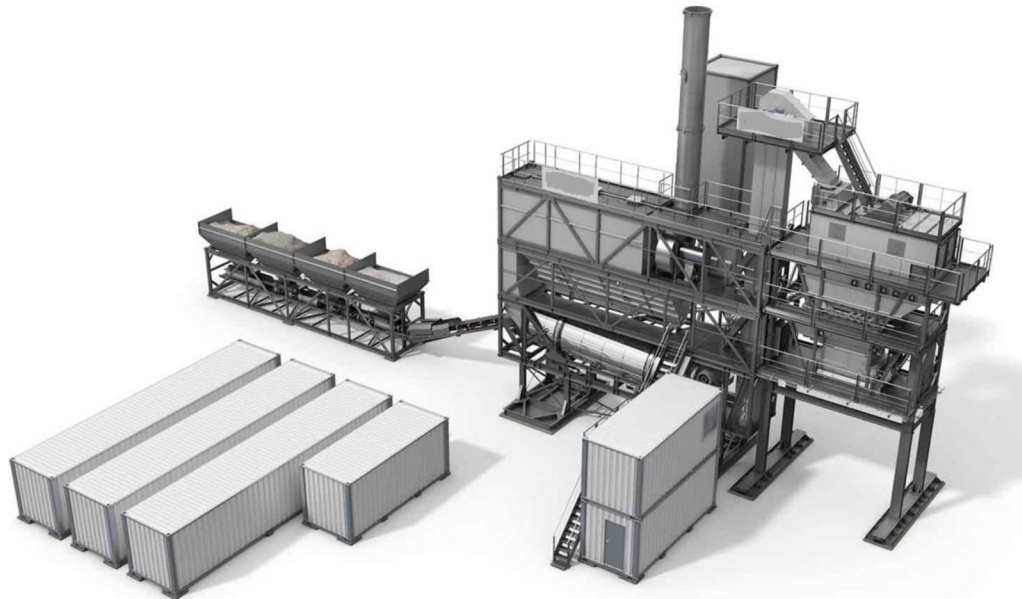
- za horka
- za studena

Základní druhy recyklace:

- v míchacím centru (na obalovně) za horka
- v míchacím centru za studena
- na místě za horka
- na místě za studena

1.2. Recyklace v míchacím centru za horka

Při tomto postupu je recyklace omezena na asfaltové stmelené vrstvy. Rozlišujeme celkem tři způsoby přidávání R-materiálu. R-materiál je vybouraný nebo vyfrézovaná asfaltová směs, která se ukládá na skládkách a následně se upravuje drcením a tříděním. (3)



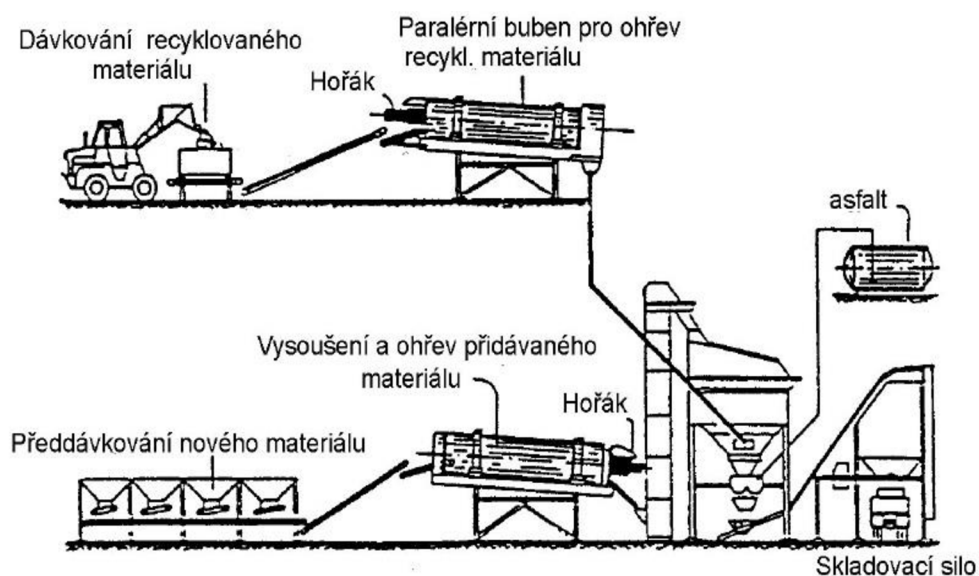
Obrázek 1: Šaržová obalovna (4)

- **Dávkování R-materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny**

V České republice je to nejpoužívanější způsob dávkování. Upravený R-materiál, v maximálním množství 25 % je přidáván k přehřátému kamenivu přímo do míchačky šaržové obalovny. Jelikož je R-materiál uložený na nezastřešených skládkách, objevují se problémy s vlhkostí.

- **Předehřívání R-materiálu v paralelním bubnu šaržové obalovny**

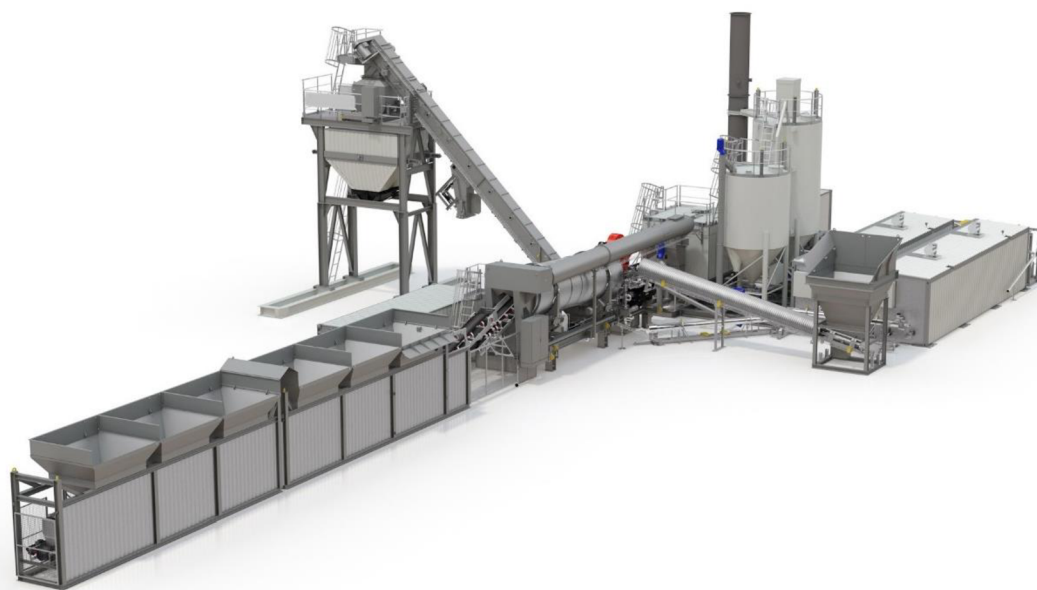
Tento způsob umožňuje dávkování ve výrazně vyšším množství než při dávkování za studena. V paralelním bubnu šaržové obalovny se dá předehřívát až 80 % R-materiálu do podkladních vrstev. Kvůli takto vysokému dávkování je potřeba pravidelná kontrola vlastností pojiva R-materiálu. Vyšší kvalitu materiálu získáváme frézováním konstrukce vozovky po vrstvách. Díky následnému oddělenému a zastřešenému uskladnění snížíme vlhkost.



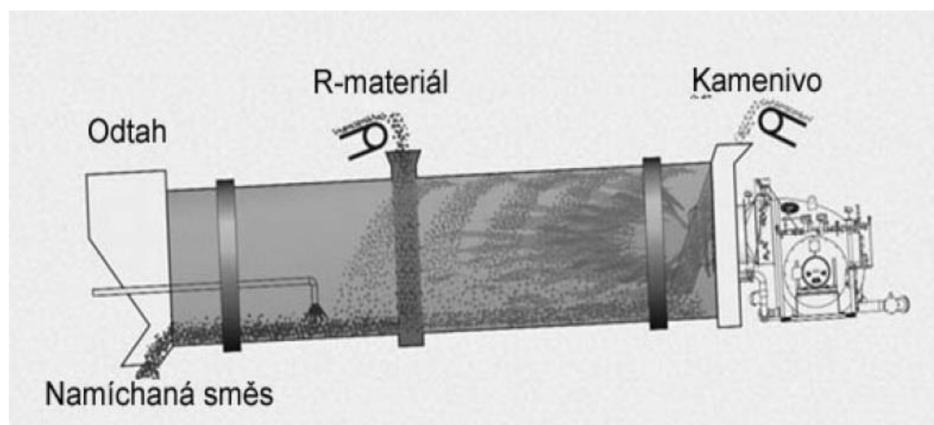
Obrázek 2: Předehřívání v paralelním bubnu (3)

- **Metoda Drum – mix**

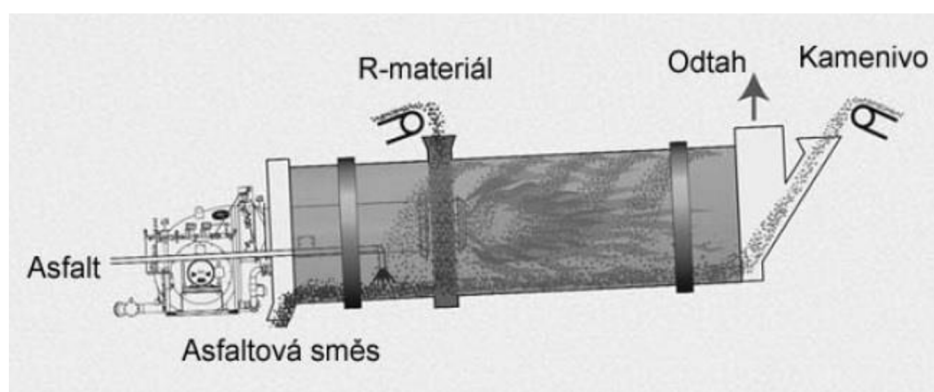
Metoda Drum-mix je recyklace v kontinuální obalovně. Při tomto způsobu se vyžaduje konstantní kvalita vstupního materiálu, kterou dosáhneme pomocí R-materiálu o vyšší kvalitě, tak jako v předchozím odstavci. U kontinuálních obaloven je využití R-materiálu max. v rozmezí 50-70 %. Dávkování R-materiálu lze třemi způsoby, a to přidáváním souběžně s proudem horkého vzduchu, dále proti proudu horkého vzduchu a nakonec separátním vysoušením R-materiálu ve vnějším bubnu a kameniva ve vnitřním sušícím bubnu s následným mícháním v míchačce.



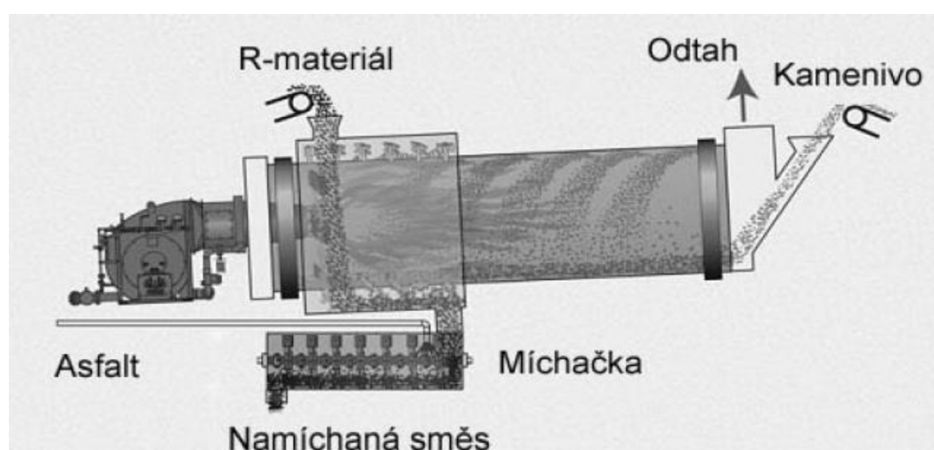
Obrázek 3: Kontinuální obalovna (5)



Obrázek 4: Přidávání R-materiálu souběžně s proudem horkého vzduchu (3)



Obrázek 5: Přidávání R-materiálu proti proudu horkého vzduchu (3)



Obrázek 6: Separátní vysoušení R-materiálu, mícháním v míchačce (3)

1.3. Recyklace v míchacím centru za studena

Tato technologie vyžaduje uložení vyfrézovaného R-materiálu na skládku, která může být přímo v místě stavby nebo na jiném vhodném místě. Po úpravě R-materiálu (drcením a tříděním) se naváží do míchací jednotky, kde se míchá s pojivy. Míchací jednotka je buď sestavena přímo na stavbě, nebo může být mobilní. Jako pojivo se nejčastěji používá asfaltová emulze, zpěněný asfalt a cement. Pojiva se mohou i kombinovat. Dovezená směs se zpracovává do konstrukce vozovky běžnými finišery za studena. (3)



Obrázek 7: Mobilní míchací jednotka WIRTGEN (6)

1.4. Recyklace na místě za horka

Recyklace na místě za horka lze rozdělit dle způsobu provádění na 4 základní varianty: Reshape, Repave, Remix a Remix Plus. Všechny zmíněné technologie vychází z podobného postupu. Jedná se o strojní sestavu sestavenou z propanbutanových infrazářičů, které pozvolně nahřívají vozovku, poté následuje stroj remixer, který povrch nejprve rozpojí a následně promíchá s dalším materiálem (asfalt, kamenivo, asfaltová směs). Následuje finišer, který promíchanou směs rozprostře, reprofiluje a předhutní. Nakonec se směs zhutní vibračními válci.

Reshape se používá pro reprofilaci obrusné vrstvy. Touto variantou lze řešit opravu trvalých deformací. Technologie provádění se skládá z ohřátí povrchu, rozpojení a nakypření směsi a bez přidání jakýchkoliv dalších složek se opětovně položí, urovná a zhutní.

Repave se používá podobně jako Reshape, ale s požadavkem o zesílení vozovky, což znamená položení nové obrusné vrstvy bez společného promísení a bez spojovacího postřiku. Z původní obrusné vrstvy se stane ložní vrstva. Touto variantou lze řešit trvalé deformace nebo vykazující ztrátu hmoty z krytu (obrus, hloubková koroze). Tento způsob recyklace je poměrně nákladný.

Remix je taktéž založena na technologii Reshape, dá se použít pro obrusné, ložní i podkladní vrstvy, přičemž se původní asfaltová vrstva upravuje na požadované fyzikálně mechanické vlastnosti přidáním dalšího materiálu podle předepsané receptury. Přidaný materiál může být např. kamenivo, častěji se ale používá asfaltové pojivo nebo asfaltová směs. Jedná se o poměrně náročný technologický postup. Touto variantou lze upravovat trvalé deformace, trhliny, nebo zhoršené protismykové vlastnosti.

Remix Plus je podobné jako při variantě Repave, docílí se zesílení vrstvy. Jedná se o vytvoření dvou asfaltových vrstev současně, je to systém tzv. horké na horké. Nejprve se upraví původní asfaltový kryt technologií Remix odpovídající vlastnostem ložní vrstvy a poté se pokládá nová obrusná vrstva. Vrstvy jsou hutněny současně. (3) (7)



Obrázek 8: Recyklační souprava za horka WIRTGEN (8)

1.5. Recyklace na místě za studena

Tato technologie se využívá u všech typů komunikací – dálnice, silnice všech tříd i místní komunikace. Používá se při ztrátě únosnosti vozovky (síťové trhliny, příčné a podélné nerovnosti, výtluky). Je to možnost, jak využít materiál z vrstev asfaltových vozovek, z podkladních vrstev nestmelených (bez asfaltového pojiva), částečně stmelených vrstev (penetrační makadam, nátěry), z horních vrstev stmelených asfaltovým pojivem. Hlavní výhody jsou v rychlosti provádění a výrazné snížení nákladů oproti běžně používaným technologiím. (2, 3)



Obrázek 9: Recyklační fréza pro recyklaci za studena WIRTGEN (9)

1.5.1. Rozdělení recyklace za studena

Dle hloubky provádění:

- částečná – do hloubky max. 120 mm
- celková – do hloubky 120 až 250 mm

Dle recyklovaných vrstev:

- hutněné asfaltové směsi
- penetrační makadam, nátěry
- vrstvy bez asfaltového pojiva

Dle druhu přidávaného pojiva:

- bez pojiva
- cement nebo jiné asfaltové pojivo
- cement + asfaltová emulze nebo zpěněný asfalt
- asfaltová emulze nebo zpěněný asfalt

Dle druhu výsledné recyklované vrstvy:

- nestmelené – ŠD, MZK
- stmelené – SC, SH, ACL, ACP +

Celková recyklace na místě bývá prováděna do hloubky 120 až 250 mm. Používá se pro hutněné asfaltové vrstvy, vrstvy z penetračního makadamu a vrstvy bez asfaltového pojiva. Pokud se ve skladbě vozovky vyskytuje více jak 30 % hutněných asfaltových vrstev, doporučuje se, větší část hutněných vrstev předem odstranit a odvést k dalšímu použití. Při vlastní recyklaci se frézou rozpojí původní vrstvy vozovky. Rozpojený materiál se smíchá s pojivem. Dávkovaným pojivem může být cement nebo kombinace cementu + asfaltové emulze /zpěněného asfaltu. Po promíchání se provede reprofilace a zhutnění. Při vynechání pojiva se vytvoří nestmelená vrstva. Celková recyklace je metoda bez drcení a třídění frézovaného materiálu. (1) (3)

Částečná recyklace bývá prováděna do hloubky max. 120 mm. Používá se pouze na hutněné asfaltové směsi. Při mělké recyklaci se nejdříve vyfrézuje asfaltová vrstva silniční frézou, která zajišťuje nejen frézování, ale i třídění a předrcení materiálu. K připravenému R-materiálu se dávkuje pojivo a směs se důkladně promíchá. Nejčastějším pojivem je asfaltová emulze. Pokládá se pomocí finišeru s následným zhutněním a ošetřením povrchu nátěrem s podrcením nebo položení další asfaltové vrstvy. (1) (3)

Přehled technologických procesů vyjadřuje tabulka 1.

Tabulka 1: Technologické procesy studené recyklace (1)

Technologický proces	Co se recykluje			Pojivo	Výsledná recyklovaná vrstva
	Hutněné asfaltové vrstvy	Penetrační makadam, nátěry	Vrstvy bez asfaltového pojiva		
NESTMELNÉ VRSTVY – RECYKLACE BEZ POUŽITÍ POJIVA					
Celková recyklace na místě	OMEZENĚ max. 30% ¹⁾	ANO		–	ŠD
Použití dodávaného převážně recyklovaného kameniva	ANO ²⁾	ANO		–	ŠD, MZK
STMELNÉ VRSTVY – RECYKLACE S POUŽITÍM POJIVA					
Celková recyklace na místě nebo recyklace v centru	OMEZENĚ max. 30% ¹⁾		ANO min. 70%	cement nebo jiné hydraulické pojivo	SC, SH
	ANO 30% až 70%		ANO 30% až 70%	cement + asfaltová emulze nebo zpěněný asfalt	SC C _{3/4} ⁴⁾
Částečná recyklace na místě nebo recyklace v centru	ANO	NE	NE	asfaltová ³⁾ emulze nebo zpěněný asfalt	ACL, ACP+ ⁴⁾
¹⁾ Pokud by podíl asfaltových vrstev překročil 30 % celkové hmotnosti materiálu recyklované vrstvy, doporučuje se část asfaltových vrstev předem odstranit (vyfrézovat a odvézt k dalšímu použití). ²⁾ R-materiál ³⁾ Pro zlepšení vlastností je možno v omezené míře jako přísadu přidávat cement nebo vápenný hydrát ⁴⁾ Srovnatelná vrstva při návrhu konstrukce vozovky podle TP 170 (značky dle ČSN 73 6124-1 a ČSN 73 6121).					

1.5.2. Označení vrstev

„Nestmelené vrstvy (recyklace bez použití pojiva) se označují podle ČSN 73 6126-1 (značka technologie; zrnitost směsi; tloušťka vrstvy v mm; číslo normy) s možností připojení značky RS na začátek. Pokud se požaduje recyklace na místě, uvede se RS (na místě). Místo čísla normy se uvede číslo těchto TP.

PŘÍKLAD Mechanicky zpevněné kamenivo (MZK) vyrobené z recyklovaného kameniva frakce 0/32, v tloušťce 200 mm se označí: RS MZK 0/32 G_c; 200 mm; TP 208” (1)

„Stmelené vrstvy (recyklace s použitím pojiva) se označují symbolem RS, zrnitostí směsi a značkou použitého pojiva:

C = cement; H = hydraulické pojivo; A = asfaltové pojivo (asfaltová emulze, zpěněný asfalt); CA = cement + asfaltové pojivo; HA = hydraulické pojivo + asfaltové pojivo

Pokud se požaduje recyklace na místě, za značku použitého pojiva se uvede (na místě). Dále se uvede tloušťka vrstvy v mm a číslo těchto TP.

PŘÍKLAD Směs 0/32 vyrobená při celkové recyklaci na místě za použití cementu + asfaltové emulze v tloušťce vrstvy 220 mm se označí: RS 0/32 CA (na místě); 220 mm; TP 208” (1)

2. Analýza podmínek pro použití cementu a asfaltové emulze při recyklaci za studena

Tabulku technologických procesů studené recyklace a označení byla rozebrána v předchozí kapitole.

V následujících dvou tabulkách můžeme vidět užití recyklovaných vrstev ve vozovce. Užití nestmelených vrstev tzn. recyklace bez použití pojiva, se používá do podkladních a ochranných vrstev. Užití stmelených vrstev tzn. s použitím pojiva, se používá do podkladních a ložních vrstev. Pojivo má vliv na vyšší únosnost celé konstrukce vozovky a na úsporu v tloušťkách následně kladených konstrukčních vrstev.

Tabulka 2: Užití recyklovaných vrstev bez použití pojiva (1)

Vrstva		Doporučená třída dopravního zatížení (TDZ) podle ČSN 73 6114	
		Podkladní vrstva	Ochranná vrstva
ŠD recyklovaná na místě/ z dodávaného recyklovaného kameniva	ŠDA	III, IV, V a VI	bez omezení
	ŠDB	V, VI	V, VI
MZK z dodávaného recyklovaného kameniva ¹⁾		bez omezení	–

¹⁾ Pro místní a účelové komunikace třídy dopravního zatížení VI, parkovací a odstavné plochy vozidel celkové hmotnosti do 3 t, dočasné komunikace a dočasné vysprávkování je možno zejména při použití

Tabulka 3: Užití recyklovaných vrstev s použitím pojiva (1)

Vrstva recyklovaná na místě / v míchacím centru	Doporučená třída dopravního zatížení		
	Obrusná vrstva	Ložní vrstva ¹⁾	Podkladní vrstva
s použitím cementu nebo jiného hydraulického pojiva ²⁾	–	–	bez omezení
s použitím cementu + asfaltové emulze nebo zpěněného asfaltu ²⁾	–	V, VI ³⁾	bez omezení
s použitím asfaltové emulze nebo zpěněného asfaltu ²⁾	–	IV, V, VI	bez omezení

¹⁾ Nerozlišuje se v případě jednovrstvého krytu.
²⁾ Pro místní a účelové komunikace třídy dopravního zatížení VI, parkovací a odstavné plochy a dočasné komunikace je možno použít i jako kryt vozovky. Pro místní obslužné komunikace se povrch vrstvy musí opatřit nátěrem nebo emulzní kalovou vrstvou.
³⁾ U směsí s vyšším podílem zbytkového asfaltu než cementu.

2.1. Hydraulické dominantní stmelení

Jako hydraulické pojivo se nejčastěji používá cement se standardním dávkováním 3 až 6 % hmotnosti směsi. Cement se vyznačuje rychlým nárůstem počáteční pevnosti a dobrou odolností proti agresivnímu prostředí. Zároveň musí splňovat požadavky normy ČSN EN 197-1 CEM 10. Třída cementu se používá nejméně 32,5. Mezi další hydraulická pojiva patří vápno či pomalu tuhnoucí pojivo. Při kombinaci cementu s vápnem se snižuje riziko vzniku smršťovacích trhlin.

„Hydraulické silniční pojivo používané pro směsi stmelené cementem musí splňovat požadavky ENV 13282 pro třídy pevnosti HRB 22,5 nebo HRB 32,5 E”. (1)

Ve směsi převažuje množství cementu či vápna. Hydraulické dominantní stmelení se používá:

- v případech, kdy není možné zlepšit čáru zrnitosti
- v případech, kdy se očekávají značné výkyvy homogenity materiálu
- při nízké únosnosti vozovky (3)

2.2. Asfalticky dominantní stmelení

Při recyklaci za studena jsou využívány kationaktivní asfaltové emulze s obsahem asfaltu přibližně 60 %. Důležitým faktorem je splnění kritéria stability vůči cementu podle ČSN EN 12848.

Jako hydraulické pojivo se také používá zpěněný asfalt. Jeho hlavní výhodou je snadnější obalení materiálu. Vzniká řízeným procesem dávkováním malého množství vody do horkého asfaltu za zvýšeného tlaku speciálním postupem. Musí být zhotoven a dávkován současně jak při procesu míchání v míchacím centru tak při recyklaci na místě. V porovnání s asfaltovou emulzí umožňuje snížení množství asfaltu na zpracování základní směsi.

Při kombinaci cementu a asfaltového pojiva se dosáhne větší flexibility směsi.

„Některé přísady do asfaltu nebo přítomnost modifikovaného asfaltu však mohou významně omezit schopnost asfaltu vytvářet zpěněný asfalt”. (1)

Ve směsi převažuje množství asfaltu (asfaltové emulze či zpěněného asfaltu). Asfalticky dominantní stmelení se používá:

- při vysokém obsahu asfaltového podílu v recyklované vozovce
- u materiálů s plynulou čarou zrnitosti (buď stávající nebo po přidání dalších frakcí)
- u dostatečně únosné vozovky (3)

2.3. Stmelené směsi

Požadavky na fyzikálně mechanické vlastnosti jsou stanoveny v tabulce 4.

Pokud je směs 0/63, nepožadují se žádné fyzikálně mechanické vlastnosti při celkové recyklaci za studena. Při výrobě je nutné sledovat dávkování, stejnoměrnost vzájemného promísení všech komponent a vlhkost. (1)

Tabulka 4: Požadavky na recyklované stmelené směsi (1)

Vlastnost		Požadavky pro směsi s použitím pojiva		
		cement nebo jiné hydr. pojivo	cement + asfaltová emulze nebo zpěněný asfalt	asfaltová emulze nebo zpěněný asfalt
Označení směsi	recyklace na místě	0/32; 0/45		0/32
	recyklace v centru	0/16; 0/22; 0/32; 0/45		0/16; 0/22; 0/32
Požadavky na zrnitost směsi ¹⁾ ²⁾		Příloha A, tab. A.1		Příloha A, tab. A.2
Laboratorní srovnávací objemová hmotnost a optimální vlhkost		deklarovaná hodnota		
Vlhkost ³⁾		-3% až +2%		
Min. pevnost v tlaku R_c po 28 dnech ⁴⁾		$C_{3/4}$	—	—
Odolnost proti mrazu a vodě		85% pevnosti R_c	—	—
Min. pevnost v příčném tahu R_{ft} ⁵⁾ po 7 dnech		0,30 až 0,70 MPa	0,30 až 0,70 MPa	0,30 MPa
Odolnost proti vodě min. (7 dní na vzduchu + 7 dní ve vodě)		75% pevnosti R_{ft}	75% pevnosti R_{ft}	60% pevnosti R_{ft}
Mezerovitost		—	—	6% až 14%
¹⁾ Doporučené požadavky pro směs kameniva před přidáním pojiva. ²⁾ U složky R-materiálu se uvažuje kusová zrnitost. ³⁾ Doporučené max. odchylky od deklarované hodnoty. ⁴⁾ Zkouší se jako směs stmelená cementem podle ČSN EN 14227-1, další zkouška pevnosti v příčném tahu (R_{ft}) a odolnosti proti vodě se pak neprovádí. Je možno navrhovat směsi i vyšších tříd pevnosti. ⁵⁾ Pro TDZ IV, V a VI a směsi odpovídající třídě pevnosti $C_{3/4}$ podle ČSN EN 14227-1 je možno nahradit zkoušku pevnosti v tlaku (R_c) a odolnosti proti mrazu a vodě.				

Stmelené vrstvy by se měli provádět při teplotách +5 až +25 °C. Při teplotách nižších než 0 °C se musí zhodnotit stav vrstvy a provést její případné opravy. Při teplotách vyšších než +25 °C se musí udržováním jejího vlhkého stavu věnovat zvýšená pozornost. Tabulka 5 nám ukazuje doporučené požadavky na ošetřování a ochranu povrchu. (1)

Tabulka 5: Doporučené požadavky na ošetřování a ochranu povrchu (1)

Recyklovaná vrstva obsahující pojivo:	Udržování ve vlhkém stavu	Vystavení dopravnímu zatížení min.	Pokládka další vrstvy min.	Zvláštní opatření
cement nebo jiné hydraulické pojivo	min. 7 dní	po 7 dnech ¹⁾	po 7 dnech	- proti reflexním trhlinám čl. 7.8, ČSN 73 6124-1 - infiltrační postřik ²⁾
cement + asfaltová emulze nebo zpěněný asfalt	min. 7 dní	po 7 dnech ¹⁾	po 7 dnech	- infiltrační postřik ²⁾
asfaltová emulze nebo zpěněný asfalt	–	po 48 hodinách běžný provoz	po 3 dnech	–
¹⁾ Po 24 hodinách při TDZ VI.				
²⁾ Doporučuje se pro udržení vlhkosti a zvýšení odolnosti proti dopravnímu zatížení, viz též čl. 3.2.				

„Vrstva obsahující cement nebo jiné hydraulické pojivo nemá být ponechána přes zimu bez přikrytí další vrstvou. Pokud je přezimování nezbytné, zhodnotí se po zimě stav vrstvy a provedou se její případné opravy (např. odstranění a doplnění uvolněných částic)”. (1)

2.3.1. Zkoušky recyklovaných stmelených směsí

Kontrolní zkoušky při provádění ověřují shodu s požadavky na směs (tabulka 4). Jedná se o směsi 0/16, 0/22, 0/32 a 0/45. Na základě typu směsi podle pojiva jsou rozděleny zkoušky a četnost těchto zkoušek. To je uvedeno v tabulce 6. U již hotových recyklovaných vrstev jsou požadované kontrolní zkoušky obsaženy v tabulce 7. Jedná se o geometrické charakteristiky. (1)

Tabulka 6: Kontrolní zkoušky recyklovaných stmelovaných směsí 0/16, 0/22, 0/32, 0/45 (1)

Typ směsi podle pojiva	Vlastnost	Požadavky	Zkouška	Četnost ¹⁾
cement nebo jiné hydraulické pojivo	Vlhkost ²⁾	-3% až +2%	ČSN EN 1097-5	2000 t nebo 6000 m ² min. 1× denně
	Min. pevnost v tlaku R_c po 28 dnech ³⁾	$C_{3/4}$	ČSN EN 14227-1	
	Odolnost proti mrazu a vodě	85% pevnosti R_c		
	Min. pevnost v příč. tahu R_{ft} po 7 dnech ³⁾	0,25 MPa	Příloha B.2.9	
	Odolnost proti vodě min. (7 dní na vzduchu + 7 ve vodě)	75% pevnosti R_{ft}	Příloha B.2.9	
cement + asfaltová emulze nebo zpěněný ⁴⁾ asfalt	Vlhkost ²⁾	-3% až +2%	ČSN EN 1097-5	2000 t nebo 6000 m ² min. 1× denně
	Min. pevnost v příč. tahu R_{ft} po 7 dnech	0,25 MPa	Příloha B.2.9	
	Odolnost proti vodě min. (7 dní na vzduchu + 7 ve vodě)	75% pevnosti R_{ft}	Příloha B.2.9	
asfaltová emulze nebo zpěněný ⁴⁾ asfalt	Vlhkost ²⁾	-3% až +2%	ČSN EN 1097-5	2000 t nebo 6000 m ² min. 1× denně
	Min. pevnost v příč. tahu R_{ft} po 7 dnech	0,25 MPa	Příloha B.2.9	
	Odolnost proti vodě min. (7 dní na vzduchu + 7 ve vodě)	60% pevnosti R_{ft}	Příloha B.2.9	
	Mezerovitost	6% až 14%	Příloha B.2.8	

¹⁾ Četnost v tunách platí pro výrobu směsi v míchacím centru, v m² pro recyklaci na místě
²⁾ Informativní hodnota pro účely výpočtu suché objemové hmotnosti zkušebních těles. Její následnou kontrolu je možno provádět vizuálně podle přílohy C.2.4. Vlhkost, případně její max. odchylky od deklarované hodnoty musí být takové, aby bylo možné vrstvu správně zhutnit
³⁾ Zkouší se pevnost v tlaku a odolnost proti mrazu a vodě nebo pevnost v příčném tahu a odolnost proti vodě v souladu s použitou průkazní zkouškou.
⁴⁾ Při použití zpěněného asfaltu se min. 2x denně kontrolují jeho vlastnosti podle 6.3.3.

Tabulka 7: Kontrolní zkoušky stmelovaných recyklovaných vrstev – geometrické charakteristiky (1)

Vlastnost		Vrstva		Zkouška	Min. četnost
		Ložní ¹⁾	Podkladní		
Odchylky od výšek podle dokumentace (jsou-li stanoveny)	maximálně	± 20 mm	± 20 mm	nivelací	po 40 m
Odchylka od příčného sklonu max.		± 0,5 %		nivelací	po 120 m
Nerovnost povrchu max.	podélná	20 mm		ČSN 73 6175	průběžně
	příčná	20 mm ²⁾			po 40 m
Tloušťka vrstvy h	minimální	0,85 h		nivelací, sondou	1500 m ²
	průměr	0,9 h			

¹⁾ Platí i pro použití jako kryt za podmínek podle tabulky 2 a tabulky 3.
²⁾ Při použití jako kryt 10 mm.

3. Zkušenosti recyklace za studena při rekonstrukci dálnice D1

Dálnice D1 je nejvytíženější komunikací na celé dálniční síti v České republice, je to nejstarší dálnice u nás. Výstavba byla zahájena v roce 1967, ale dálniční spojení mezi Prahou a Brnem bylo zprovozněno až v roce 1980. Doposud rekonstrukce tohoto úseku probíhaly metodou dílčích oprav. Byl to neefektivní a výrazně nákladný postup. Generální modernizace uceleného úseku Mirošovice EXIT 21 - Kývalka EXIT 182 se realizuje od roku 2013 a potrvá nejméně do roku 2021.

3.1. Základní a technické údaje o stavbě

Jedná se o modernizaci dálnice D1 v úseku 10, EXIT 75 Hořice - EXIT 81 Koberovice v kategorii D28/120 (směrodatná 130 km/h) délky 6,5 km. V řešeném úseku se nachází jedna MÚK, 6 mostních objektů (z toho 2 nadjezdy nad dálnicí), 2 propustky a 6 stávajících přejezdů SDP. Odpočívky v daném úseku nejsou.



Obrázek 10: Mapa dálničního úseku 10 (10)

Řešený úsek je součástí komplexních opatření ke zvýšení bezpečnosti, kapacity a zlepšení stavebně technického stavu. Součástí modernizace je úprava příčných sklonů vozovky, rozšíření vozovky, doplnění přejezdů SDP a přídatných pruhů, stavební úpravy dálničních mostů, odvodnění a vybavení dálnice, sanace zářezů a vegetační úpravy, obnova dopravního značení.

Částí programu k zajištění kvality stavby v souladu s požadavkem objednatele je TePř, řeší práce související s opravou podkladní vrstvy vozovky recyklací na místě za studena s použitím hydraulického pojiva. Systém jakosti je zabezpečen dle ISO 9001. Účelem je zajištění bezproblémové realizace recyklace za studena, pokládce, hutnění a zkoušení konstrukčních vrstev při splnění požadavků příslušných norem a TKP. (11)

3.2. Použité stavební mechanizmy

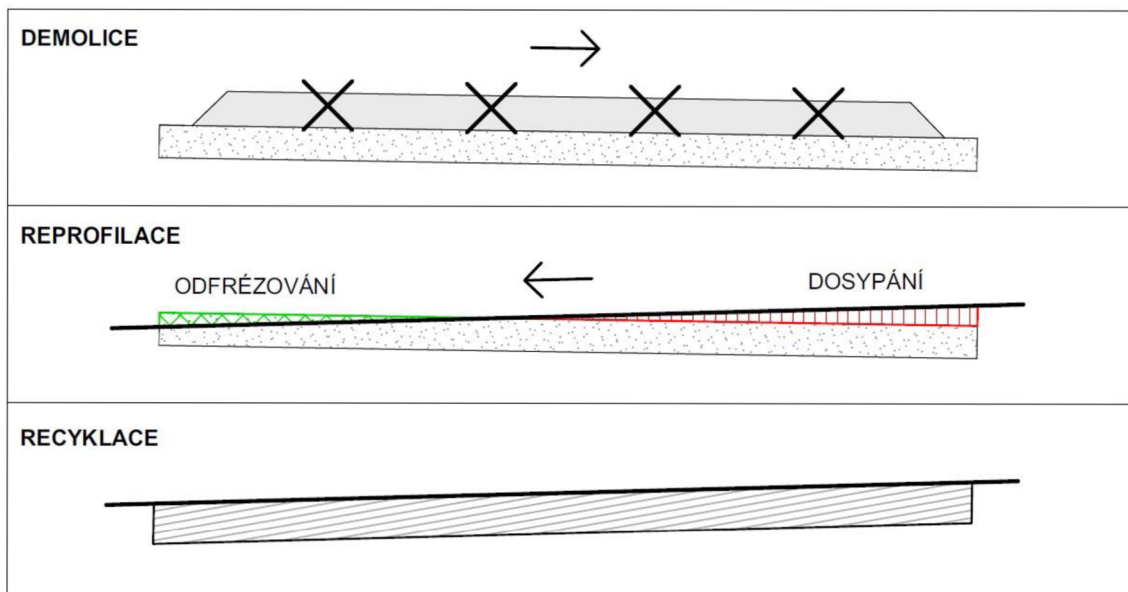
- Silniční frézy WIRTGEN W 200, W 210, W 220, W 2000
- Recyklační frézy WIRTGEN WR 2400, WR 2500S
- Grejdr vybaven příčnou a podélnou nivelací – řízení do 3D modelu totální stanicí
- Zemní válce o hmotnosti minimálně 15 t
- Kropicí vozy vybavené kropicí tryskou na čele vozu
- Bagry kolové, pásové
- Nákladní vozy 6x6, 8x8 určené k přepravě sypkých materiálů
- Autocisterny na přepravu cementu
- Dávkoč sypkých pojiv Tatra+ DSP 240-12
- Dávkoč sypkých pojiv MAN Streumaster

Pohyb vozidel a další povinnosti řidičů upravuje dopravně provozní řád stavby, který se aktualizuje dle skutečných podmínek na staveništi. Pro dorozumívání mezi strojníky a řidiči jsou používány zvukové signály.

3.3. Pracovní postup

Před zahájením prací byla odsouhlasena průkazní zkouška, která stanovila dávkování jednotlivých složek materiálů. Návaznost jednotlivých činností v průběhu stavby je následující:

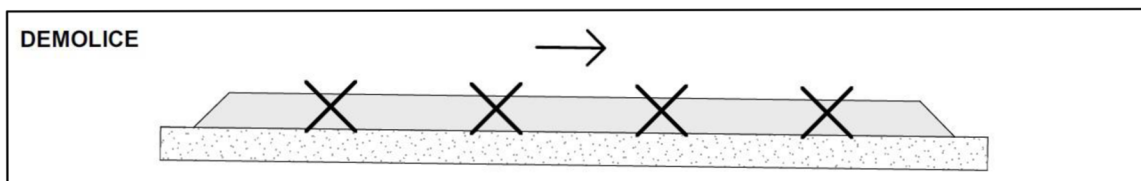
- Demolice stávajícího krytu
- Rozfrézování a reprofilace
- Recyklace za studena dle TP 208 v tl. 120 mm
- Ošetřování a ochrana povrchu



Obrázek 11: Zjednodušené schéma postupu prací (12)

3.3.1. Demolice stávajícího krytu

Práce byly zahájeny odfrézováním hutněných asfaltových vrstev na úroveň horní hrany stávající vrstvy SC pomocí silniční frézy. Reálná tloušťka frézování byla proměnná. Odfrézovaný R-materiál se nakládal na dopravní prostředky a byl odvezen na ZS, kde se třídil pomocí třidičky nebo se využil k dalšímu použití.



Obrázek 12: Zjednodušené schéma demolice (12)



Obrázek 13: Frézování asfaltových vrstev vozovky (12)



Obrázek 14: Frézování asfaltových vrstev vozovky (12)



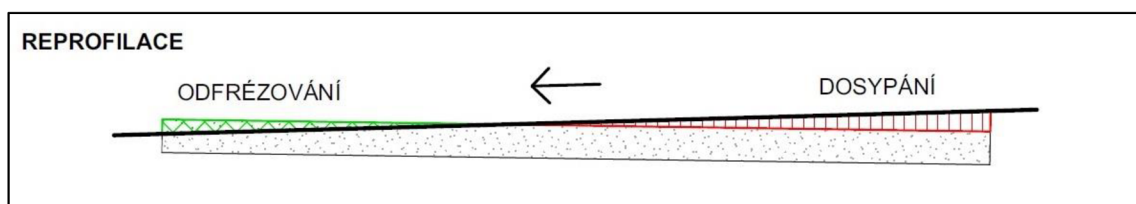
Obrázek 15: Třídíčka R-materiálu (12)



Obrázek 16: Skládka ZS (12)

3.3.2. Rozfrézování a reprofilace

Po odfrézování asfaltových vrstev vozovky přišla na řadu reprofilace. Reprofilace spočívala v odfrézování stávající vrstvy SC (místa přebytků materiálu), kde stávající povrch po odfrézování byl nad niveletou recyklované vrstvy, nebo v dosypávání odfrézovaného materiálu z vrstvy SC do míst, kde stávající povrch po odfrézování byl pod niveletou recyklované vrstvy (místa nedostatků materiálu).



Obrázek 17: Zjednodušené schéma reprofilace (12)

V místech nedostatků materiálu a přebytků materiálu (místa, kde byly změny příčného sklonu nebo klopení vozovky) se upravený povrch srovnal grejdrem vybavený příčnou a podélnou nivelací dle 3D modelu do požadovaných sklonů a výšek. Poté byla takto upravená vrstva zhutněna zemním válcem a hmotnosti minimálně 15 t.



Obrázek 18: Grejdr vybaven příčnou a podélnou nivelací (12)

Za účasti objednatele se provedla vizuální prohlídka připravené vrstvy. V případě nalezení lokálně porušených míst, byla jejich sanace řešena s využitím technologií a postupů použitých při výměně celé konstrukce vozovky.

3.3.3. Recyklace za studena

Pro recyklaci za studena byla použita recyklovaná směs kameniva zpevněného cementem s označením směsi RS 0/32 C_{3/4} (na místě); 120 mm; TP 208. Na upravenou vrstvu reprofilací se aplikovalo hydraulické pojivo Portlandský struskový cement CEM II B-S 32,5 R v dávkování dle průkazní zkoušky 4,0 %. Na zamísení této dávky pojiva byl dostačující jeden pojezd recyklační frézy.

Aplikace pojiva se provádělo aplikátorem pojiv DSP, který nadávkoval pojivo v předepsaném množství v toleranci $\pm 0,4$ %. Zamísení všech vstupů prováděla recyklační fréza, která byla spřažena do „vláčku“ s kropicím vozem. Z kropicího vozu odebírala vodu, která byla vstřikována přímo do prostoru bubnu frézy, kde docházelo k mísení materiálu. Celý proces se řídil přes počítač z kabiny strojníka, byla tak zaručena optimální vlhkost recyklované směsi.

Pracovní šířka jedné recyklační frézy byla od 2 380 do 2 480 mm (podle typu frézy). Z této šířky bylo nutné odečíst min 150 mm nutných k napojení jednotlivých podélných spár. Před zahájením prací se provedlo rozdělení příčného profilu na záběry. Podélné rozdělení se provedlo po cca 100 m. Recyklace v jednom záběru byla provedena na prvním úseku a poté se frézy vrátily na začátek vedlejšího záběru. V místech nedostatků materiálů, kde bylo doplňováno více než 120 mm recyklátu, byla recyklace provedena na celou tloušťku navezeného recyklátu.



Obrázek 19: Zjednodušené schéma třech úseků po cca 100 m (12)



Obrázek 20: Rozdělení na tři úseky (12)



Obrázek 21: „Vláček“ - kropicí vůz s recyklační frézou na prvním úseku (12)

Po zamísení byla recyklovaná směs předhutněna jedním statickým pojezdem válce a ihned poté bylo zahájeno rovnání, které se provádělo grejdem. Grejdr byl navigován totální stanicí do požadované nivelety a sklonů dle 3D modelu tak, aby byla zajištěna požadovaná rovinatost povrchu a dodržení předepsaných sklonů.



Obrázek 22: Druhý úsek - rovnání grejdrem (12)

S hutněním se začínalo po ukončení rovnání. Hutnění se provádělo podélnými pojezdy válci a ukončovalo se v době, kdy válec nezanechával viditelné stopy po běhounu. První a poslední pojezd se prováděl bez vibrace. Celkem byly potřeba 4 pojezdy. V případě vysokých teplot bylo možné recyklovanou směs vlhčit kropením.



Obrázek 23: Třetí úsek – hutnění válcem (12)

V předpolích mostních objektů (přechodové oblasti) nebyla recyklace za studena prováděna. Původně plánovaná recyklovaná vrstva byla nahrazena vrstvou stmelenu cementem (SC 0/32 C_{8/10}) ve dvou vrstvách.

3.3.4. Ošetřování a ochrana povrchu

Nově zhotovenou vrstvu bylo nutné udržovat ve vlhkém stavu po dobu 7 dní a nesměla být zbytečně pojížděna. Recyklovaná vrstva se udržovala ve vlhkém stavu kropením z kropicích vozů. Četnost a množství kropsů bylo dle aktuálních povětrnostních podmínek tak, aby nedocházelo k tvorbě kaluží, ale aby vrstva byla viditelně zvlhčená.



Obrázek 24: Nově zhotovená recyklovaná vrstva (12)

3.4. Kontrolní zkoušky

Při realizaci konstrukční vrstvy recyklované za studena na místě byly průběžně prováděny kontrolní zkoušky dle schváleného KZP.

Pětkrát denně byla prováděna kontrola vlhkosti recyklované vrstvy. Celkem bylo během 7 dní provedeno 14 kontrolních zkoušek vlhkosti s vyhovujícími výsledky (min. 13,1 %, max. 15,6 %, požadavek 12,0 – 17,0 % byl splněn).

Jednou denně byla z recyklované vrstvy (směsi) zhotovena sada 3 zkušebních válcových těles pro ověření 28denní pevnosti v tlaku a pro ověření mrazuvzdornosti použité směsi. Celkem bylo zhotoveno 42 zkušebních těles. Minimální stanovená hodnota pevnosti v tlaku po 10 zmrazovacích cyklech 3,5 MPa (průměrná hodnota ze sady 3 zkušebních těles) byla vyhovující (požadavek min. 3,4 MPa byl splněn).

Minimální stanovená hodnota 28denní pevnosti v tlaku 4,0 MPa (průměrná hodnota ze sady 3 zkušebních těles) byla vyhovující (požadavek min. 4,0 MPa byl splněn). Nad rámec schváleného KZP byly ze směsi zhotovovány zkušební tělesa pro ověření 3 a 7denní válcové pevnosti v tlaku. Celkem bylo zhotoveno 24 zkušebních těles (7 sad pro 7denní pevnost, 1 sada pro 3denní pevnost).

Na hotové vrstvě byly následně provedeny kontrolní zkoušky rázového modulu deformace lehkou dynamickou zatěžovací deskou. Kontrolní zkoušky byly prováděny 24–48 hodin po realizaci recyklace. Celkem bylo provedeno 172 kontrolních zkoušek rázového modulu deformace s vyhovujícími výsledky. Minimální stanovená hodnota 100 MPa vyhověla požadavku ≥ 100 MPa.

Kontrolní zkoušky modulu přetvárnosti statickou zatěžovací deskou byly provedeny 6. den od provedení recyklované vrstvy a to pouze v úsecích s asfaltovým krytem. Dle TP 208 se zkouška provádí 7. den po realizaci. Naproti tomu lze provádět další vrstvy i v kratších intervalech, prokáže-li se dřívější dosažení požadované pevnosti. Minimální stanovená hodnota 172 MPa vyhověla požadavku ≥ 150 MPa.

Průběžně byly na hotové podkladní vrstvě měřeny podélné (planografem a 4 metrovou latí) a příčné (4 metrovou latí) nerovnosti. Žádná z naměřených hodnot nepřesáhla maximální povolenou hodnotu 15 mm.

Kopanými sondami byla stanovena tloušťka hotové vrstvy. Průměrná tloušťka této vrstvy byla 127 mm (požadavek 0,9h, tj. 108 mm byl splněn). Minimální tloušťka vrstvy byla stanovena na 110 mm (požadavek 0,85 h, tj. 102 mm byl splněn).

Při měření odchylek od projektovaných výšek byla stanovena průměrná hodnota na +4 mm. Žádná z naměřených hodnot ve všech hodnocených profilech nepřekročila povolenou výškovou odchylku (-20 až +20 mm). Příčný sklon byl v měřených profilech na stmelené podkladní vrstvě dodržen v povolených tolerancích $\pm 0,5$ % od sklonu projektovaného.

Přehled požadovaných zkoušek a výsledné hodnoty zkoušek jsou obsaženy v tabulce 8.

Tabulka 8: Požadované zkoušky a výsledky zkoušek (12)

POŽADOVANÉ ZKOUŠKY VRSTVY RS 0/32 C _{3/4}				
KONTROLOVANÁ VLASTNOST	POŽADOVANÁ ČETNOST	POŽAD. POČET ZK.	POŽADOVANÝ PARAMETR	NAMĚŘENÝ PARAMETR
PEVNOST V TLAKU	1 x 6 000 m ² min. 1 X denně	7	min. 4,0 MPa	4,0 MPa
ODOLNOST PROTI MRAZU A VODĚ		7	min. 3,4 MPa	3,5 MPa
VLHKOST		7	12 až 17 %	min. 13,1 % - max. 15,6 %
TLOUŠŤKA HOTOVÉ VRSTVY GEODETICKY	1 X 1 500 m ²	28	min. 0,85 h = 102 mm	110 mm
			Ø 0,9 h = 108 mm	127 mm
PODÉLNÁ NEROVNOST POVRCHU	průběžně		max. 15 mm	v toleranci
PŘÍČNÁ NEROVNOST POVRCHU	po 40 m každý jízdní pruh	303		
ODCHYLKY VÝŠEK	po 20 m ve 3 bodech každého jízdního pásu	908	max. +20 mm min. -20 mm	+ 4 mm
ODCHYLKA OD PŘÍČNÉHO SKLONU MAXIMÁLNÍ	po 120 m	52	max. $\pm 0,5$ %	v toleranci
MODUL PŘETVÁRNOSTI E _{DEF.2}	1 x 2 500 m ² / každý úsek s asfaltovým krytem	5	≥ 150 MPa	
RÁZOVÝ MODUL DEFORMACE	1 x 250 m ²	163	≥ 100 MPa	100 MPa

3.5. Klimatické podmínky a omezení

Práce se nesměly provádět při silném nebo dlouhotrvajícím dešti, materiál neměl být zmrzlý. Dále by se nesměly práce provádět při teplotách nižších než 5 °C. Pokud teplota klesla pod 0 °C, musel se zhodnotit stav vrstvy a provést její případné opravy. Pokud teplota při ošetřování překročí 20 °C, musela se věnovat zvýšená pozornost při udržování vlhkého stavu vrstvy. Kontrola vlhkosti byla prováděna pravidelně v průběhu celého dne. Četnost a množství kroupení bylo dle aktuálního stavu zvlhčení recyklované vrstvy a dle povětrnostních podmínek.

3.6. Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

Pro provádění prací platí v plném rozsahu příslušná všeobecná a konkrétní ustanovení platných zákonných nařízení, předpisů, vyhlášek, NV, ČSN, které řeší nebo se dotýkají problematiky BOZP, PO a které jsou promítnuty do příslušných směrnic a příkazů. Práce musí vést a provádět pracovníci, kteří jsou v dané technologii vyškoleni, zdravotně způsobilí a s předepsanou kvalifikací. Platné osvědčení musí mít vždy pracovníci při sobě. Každý den před zahájením prací se musí provádět vizuální kontrola strojů a zařízení. Na celém staveništi se musí používat předepsané OOPP (výstražné vesty, ochranné přilby). Staveniště musí být zajištěno dopravním a bezpečnostním značením (značky zákazu vjezdu mimo vozidel stavby a zákazu vstupu nepovolaným osobám, přenosné zábradlí, výstražná páska). Před vstupem na staveniště musí být pracovníci prokazatelně seznámeni s plánem BOZP a také se specifickými riziky prováděných prací a přijatými opatřeními proti jejich působení. Mezi základní rizika patří:

- sražení osoby stavebním strojem či vozidlem při pohybu po pracovišti
- ohrožení osob při couvání, otáčení stroje nebo vozidla
- sražení vozidlem při vstoupení mimo vyhrazené pracoviště
- bezpečný výjezd a vjezd vozidel a mechanizace na staveniště
- zasažení osoby pádem materiálu při nakládání na vozidlo

V případě mimořádné události je třeba postupovat v souladu Havarijním plánem stavby. (11)

4. Závěr

Cílem bakalářské práce v teoretické části bylo všeobecně popsat recyklační technologie netuhých vozovek a analyzovat podmínky pro použití cementu a asfaltové emulze při recyklaci za studena. V praktické části jsem se zabýval zkušeností s recyklací za studena při rekonstrukci dálnice D1.

V teoretické části jsou zpracovány informace nejprve o recyklačních technologiích netuhých vozovek. Zejména recyklace v míchacím centru za horka, v míchacím centru za studena, na místě za horka a na místě za studena. Ze zjištěných informací vyplývá, že tyto technologie mají mnoho výhod oproti běžným rekonstrukcím vozovek a velké možnosti uplatnění podle druhu poruch vozovek. Dále se teoretická část zabývá analyzováním podmínek pro použití cementu a asfaltové emulze při recyklaci za studena. Zde byly například uvedeny požadavky na recyklované vrstvy dle použití pojiva a kontrolní zkoušky stmelovaných recyklovaných vrstev.

V praktické části je podrobněji popsána recyklace na místě za studena dálnice D1 v úseku 10, EXIT 75 Hořice - EXIT 81 Koberovice. Po zrealizování stavebních prací je možno konstatovat, že v podkladních vrstvách recyklovaných za studena na místě, byla dodržena kvalita a technologická kázeň v souladu s požadavky. Veškeré práce byly prováděny s maximální odborností, podle schválené projektové dokumentace stupně RDS a uzavřené smlouvy o dílo. V průběhu provádění recyklace podkladní vrstvy byly provedeny požadované zkoušky v četnosti dle KZP. Pro všechny provedené zkoušky a měření byly vypracovány protokoly. V případě nevyhovujících kontrolních zkoušek byly provedeny zkoušky opravné s vyhovujícími výsledky. Protokoly nejsou součástí této práce, součástí jsou pouze průměrné nebo minimální výsledky. Kromě obecně platných příslušných ČSN a harmonizovaných ČSN EN, byly dále dodrženy ustanovení TKP vydaných MD ČR a také ZTKP stavby. Všechny předepsané druhy a četnosti zkoušek byly splněny a bylo dosaženo shody se smluvními technickými předpisy (TKP, ČSN a schválené RDS).

5. Seznam použitých zdrojů

- (1) TP 208, *Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena*. MD ČR, 2009
- (2) Eurovia CS, *Recyklace vozovek za studena*. Dostupné z: <http://www.eurovia.cz/cs/produkty/technologie/ostatni/technologie/produkty/1686-recyklace-vozovek-za-studena>
- (3) VARAUS, Michal. *Recyklace netuhých vozovek*. VUT v Brně, fakulta stavební, obor pozemních komunikací, 2016. Přednáška.
- (4) Šaržová obalovna asfaltových směsí AMMANN ABT 140-180 QUICKBATCH. Dostupné z: <https://www.ammann-group.com/cz-cz/plants/asphalt-plants/batch-asphalt-mixing/quickbatch>
- (5) Kontinuální obalovna AMMANN ACT 140 CONTIQUICK. Dostupné z: <https://www.ammann-group.com/cz-cz/plants/asphalt-plants/continuous-asphalt-mixing/act-140-contiquick>
- (6) Mobilní míchací jednotka WIRTGEN KMA 220/220i. Dostupné z: <https://www.wirtgen.de/de/produkte/kaltrecycler-bodenstabilisierer/mobile-kaltrecycling-mischanlage/kma-220-kma-220i.php>
- (7) TP 209, *Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek za horka*. MD ČR, 2009
- (8) Hot recycling, WIRTGEN GROUP. Dostupné z: <https://www.wirtgen-group.com/cr/cs/products/wirtgen/>
- (9) Recyklační fréza WIRTGEN WR 240/240i. Dostupné z: <https://www.wirtgen-group.com/en/product-brands/wirtgen/>
- (10) ŘSD ČR, www.novad1.cz. Dostupné z: https://mapapp.rsd.cz/Upload/Stavby/16/infoletak_d1-10-horice-koberovice.pdf
- (11) Použité z: Materiály poskytnuté firmou Eurovia CS
- (12) Vlastní zpracování

6. Seznam tabulek

Tabulka 1: Technologické procesy studené recyklace (1).....	20
Tabulka 2: Užití recyklovaných vrstev bez použití pojiva (1)	22
Tabulka 3: Užití recyklovaných vrstev s použitím pojiva (1)	22
Tabulka 4: Požadavky na recyklované stmelené směsi (1).....	24
Tabulka 5: Doporučené požadavky na ošetřování a ochranu povrchu (1)	25
Tabulka 6: Kontrolní zkoušky recyklovaných stmelených směsí 0/16, 0/22, 0/32, 0/45 (1)	26
Tabulka 7: Kontrolní zkoušky stmelených recyklovaných vrstev – geometrické charakteristiky (1)	26
Tabulka 8: Požadované zkoušky a výsledky zkoušek (12)	38

7. Seznam obrázků

Obrázek 1: Šaržová obalovna (4).....	12
Obrázek 2: Předehřívání v paralelním bubnu (3)	13
Obrázek 3: Kontinuální obalovna (5).....	14
Obrázek 4: Přidávání R-materiálu souběžně s proudem horkého vzduchu (3) 15	
Obrázek 5: Přidávání R-materiálu proti proudu horkého vzduchu (3)	15
Obrázek 6: Separátní vysoušení R-materiálu, mícháním v míchačce (3)	15
Obrázek 7: Mobilní míchací jednotka WIRTGEN (6).....	16
Obrázek 8: Recyklační souprava za horka WIRTGEN (8)	17
Obrázek 9: Recyklační fréza pro recyklaci za studena WIRTGEN (9)	18
Obrázek 10: Mapa dálničního úseku 10 (10)	27
Obrázek 11: Zjednodušené schéma postupu prací (12)	29
Obrázek 12: Zjednodušené schéma demolice (12).....	30
Obrázek 13: Frézování asfaltových vrstev vozovky (12).....	30
Obrázek 14: Frézování asfaltových vrstev vozovky (12).....	31
Obrázek 15: Třídíčka R-materiálu (12)	31
Obrázek 16: Skládka ZS (12).....	31
Obrázek 17: Zjednodušené schéma reprofilace (12)	32
Obrázek 18: Grejdr vybaven příčnou a podélnou nivelací (12)	32
Obrázek 19: Zjednodušené schéma třech úseků po cca 100 m (12)	33
Obrázek 20: Rozdělení na tři úseky (12).....	34
Obrázek 21: „Vláček“ - kropicí vůz s recyklační frézou na prvním úseku (12)..	34
Obrázek 22: Druhý úsek - rovnání grejdrem (12)	35
Obrázek 23: Třetí úsek – hutnění válcem (12)	35
Obrázek 24: Nově zhotovená recyklovaná vrstva (12).....	36

8. Seznam použitých termínů

ACL	asfaltový beton pro ložné vrstvy
ACP	asfaltový beton pro podkladní vrstvy
BOZP	bezpečnost a ochrana zdraví při práci
ČSN EN	česká technická norma – česká verze mezinárodní normy
ČSN	česká technická norma
MD ČR	ministerstvo dopravy ČR
MÚK	mimoúrovňová křižovatka
MZK	mechanicky zpevněné kamenivo
NV	nařízení vlády
OOPP	osobní ochranné pracovní prostředky
PO	požární ochrana
RDS	realizační dokumentace stavby
ŘSD	ředitelství silnic a dálnic
SC	stabilizace cementem
SDP	střední dělicí pás
ŠD	šterkodrt'
TePř	technologický předpis
TKP	technické kvalitativní podmínky
TP	technické podmínky
ZS	zařízení staveniště
ZTKP	zvláštní technické kvalitativní podmínky