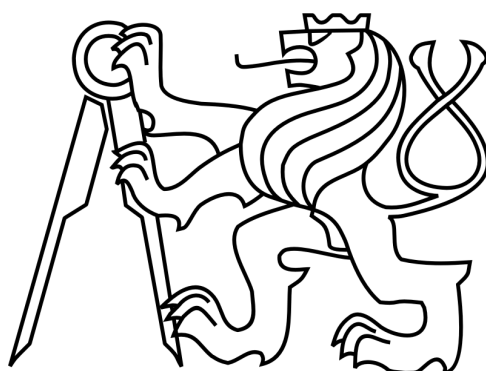


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra technologie staveb



Disertační práce

Leden 2020

Ing. Adam Konvalinka



Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení školitele doc. Ing. Pavla Svobody, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

.....

podpis



Poděkování patří doc. Ing. Pavlu Svobodovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté konzultace a dlouhodobou podporu.

Dále bych chtěl poděkovat doc. Ing. Karlu Kolářovi, CSc. a Ing. Petru Mondscheinovi, Ph.D. za hodnotné rady a podporu při realizaci praktické části této práce.



Využití betonového recyklátu pro výrobu asfaltocementového betonu (ACB)

Use of recycled concrete for production of
asphalt and cement composite (ACC)



Anotace:

Práce se zabývá zhodnocením základních přístupů k výrobě a provádění asfaltocementových kompozitů. Experimentální část spočívá v návrhu různých typů záměsí, v různém poměru složek, v různé hodnotě náhrady cementu betonovým recyklátem a ve výrobě a testování zkoušených vzorků. Hlavním záměrem práce je snaha snížit cenu výsledného kompozitu. Na základě vyhodnocení výsledků je doporučen směr a parametry návrhu směsí pro asfaltocementové betony, včetně návrhu úpravy odpovídající legislativy.

Klíčová slova: asfaltocementový kompozit, betonový recyklát, tekutost

Abstract:

The work deals with the evaluation of the basic approaches to the production and implementation of the asphalt and cement composites. Experimental part of the work consists of design of various types of batches, in different proportions of ingredients, in the amount of cement compensation by recycled concrete and in the production and the testing of samples. The main aim of the work is to reduce the cost of the resulting composite. Based on the evaluation results, it is recommended direction and design trend mixture for asphalt and cement composite including the design of change of corresponding legislation.

Keywords: asphalt and cement composite, recycled concrete, liquidity



Obsah

Úvod.....	8
1 Cíle práce	9
2 Vlastnosti ACB	10
2.1 Historie	10
2.2 Stav využití ACB ve světě	11
2.2.1 EUROVIA.....	11
2.2.2 CONTEC ApS.....	14
2.2.3 DENSIT.....	16
2.3 Stav využití ACB v ČR	17
2.3.1 PETR'S Olomouc, s.r.o.....	17
2.3.2 Eurovia CS, a.s.....	18
2.4 Legislativa ACB v ČR.....	18
2.4.1 Definice a značení	19
2.4.2 Užití.....	19
2.4.3 Stavební materiály pro asfaltem obalenou kostru	21
2.4.3.1 Kamenivo	21
2.4.3.2 Filer	21
2.4.3.3 Asfaltové pojivo	21
2.4.3.4 Přísady	22
2.4.3.5 Stavební materiály pro výplňovou směs	22
2.4.4 Stavební směsi.....	22
2.4.4.1 Asfaltem obalená kostra	22
2.4.4.2 Výplňová směs	23
2.4.4.3 Asfaltocementový beton.....	23
2.4.5 Stavební práce	24
2.4.5.1 Úprava podkladu	24
2.4.5.2 Klimatické podmínky	24
2.4.5.3 Výroba a pokládka asfaltem obalené kostry	25
2.4.5.4 Výroba a pokládka výplňové směsi	25
2.4.5.5 Ošetření povrchu ACB	26
2.4.5.6 Uvedení vrstvy ACB do provozu	26
2.5 Aplikace ACB	26
2.5.1 Výroba asfaltové kostry	26
2.5.2 Výroba výplňové malty	27
2.5.3 Ošetřování výsledného ACB.....	29
2.6 Cenové porovnání ACB a ostatních povrchů.....	30
3 Experimentální část.....	31
3.1 Materiály pro výrobu asfaltové kostry	31



3.1.1	Kamenivo	31
3.1.2	Asfaltové pojivo	32
3.1.3	Filer	32
3.1.4	Přísady	32
3.2	Výroba asfaltové kostry	33
3.2.1	Marshallova tělesa	33
3.3	Materiály pro výrobu výplňové malty	36
3.3.1	Cement	36
3.3.2	Mikromletý vápenec	36
3.3.3	Voda	37
3.3.4	Betonový recyklát	38
3.3.5	Příměsi	40
3.3.6	DASTIT UX	41
3.3.7	Popílek	41
3.3.8	Přísady	42
3.3.8.1	Stabilan 300 F	43
3.3.8.2	SikaViscoCrete -20 Gold CZ	44
3.3.8.3	Syntetická pryskyřice Planicrete MAPEI	46
3.4	Výroba výplňové malty	47
3.4.1	Návrh složení	47
3.4.2	Způsob výroby	51
3.5	Trychtýřová zkouška	51
3.5.1	Zkušební postup	52
3.6	Výroba zkušebních těles	53
3.7	Legislativa pro výrobu a zkoušení vzorků	56
3.7.1	Tvar a rozměry zkušebních těles	56
3.7.2	Zkoušky pevností a tekutosti směsí	57
3.7.3	Zkouška pevnosti v tahu ohybem	57
3.7.4	Zkouška pevnosti v tlaku	61
3.7.5	Trychtýřová zkouška	64
3.7.6	Odolnost proti CHRL	66
4	Výsledky experimentální části	69
4.1	Pevnost výplňové malty v tahu ohybem	69
4.2	Pevnost výplňové malty v tlaku	73
4.3	Tekutost	78
4.4	Odolnost výplňové malty proti CHRL	80
4.5	Pevnost asfaltocementového kompozitu	85
4.6	Vodní součinitel navržených směsí	85
4.7	Pevnostní závislosti	88
4.8	Řez ACB	89



5 Závěr.....	91
Literatura	94
Seznam obrázků	101
Seznam tabulek.....	104



Úvod

Problematika asfaltocementových betonů (ACB) je ve světě řešena ve velkém rozsahu a v mnoha detailech, počínaje klasickým složením až po využití syntetických aditiv. Mnoho korporátních firem sleduje, vyvíjí a dodává na trh s tímto kompozitem vlastní výrobky, určené pro širokou škálu využití. Rozšíření ACB v České republice je zatím velmi malé, ale se stále stoupající tendencí. [19]

Asfaltocementový beton, jak je souvrství pojmenováno, je polotuhá povrchová vrstva, která se svou tuhostí velmi přibližuje tuhosti betonu. Zároveň je ale schopna určité dilatace a pružné deformace. Vše vyplývá z kombinace vlastností a určité synergie obou složek. Z názvu je patrné, že se jedná o kompozit asfaltu a cementu, kdy se asfaltová kostra s mezerovitostí v rozmezí 15 až 35 % prolévá cementovou směsí s danou viskozitou. Toto je základní a zároveň zásadní vlastnost celého kompozitu. Jednotlivé složky jsou připravovány odděleně a až následně dochází k jejich propojení, lépe řečeno prolití tuhé asfaltové vrstvy čerstvým cementovým tmelem s různými přísadami a příměsmi. [9, 12, 16, 18]

Využití tohoto kompozitu nabízí širokou škálu uplatnění. Polotuhá vstva má vysokou hodnotu pevností a zároveň dostatečnou pružnou deformaci, která může předejít tvorbě trhlin a trvalých deformací uvnitř souvrství. Takto náročné podmínky jsou typické pro místa s velmi vysokým zatížením, ať už lokálním nebo časově omezeným. Naprosto typickým příkladem může být zastavovací plocha u autobusvé zastávky. Na této ploše dochází k velmi vysokému nárazovému zatížení při brždění autobusů, ale také při rozjezdu a opouštění plochy. [26, 31, 34]

Jedním z limitujících faktorů pro rozšíření využití ACB je nízké tření mezi povrchem a pneumatikami dopravních prostředků, proto je omezena maximální rychlost na tomto povrchu na 60 km za hodinu. To je částečně omezující prvek pro širší rozšíření použití materiálu, avšak i tak je stále možné najít mnoho míst, kde by se dal tento kompozit efektivně využít. [35, 36]



1 Cíle práce

Hlavním cílem této disertační práce bylo experimentální vyšetření vlastností asfaltového betonu v závislosti na množství recyklovaného betonu. V navržených směsích bylo sledováno množství recyklovaného betonu v substituci za cement. Výsledná směs musela splňovat přísná kritéria plynoucí z požadavků normy. Vedle klasických pevnostních charakteristik jednotlivých složek byla sledována tekutost, vliv pryskyřice na chování směsí a v závěru pevnost výsledného kompozitu.

Dílní cíle této práce spočívaly v upřesnění vlivu obsahu vody na tekutost směsi, zjištění vlivu obsahu pryskyřice na reologii směsi, výhodnost využití popílků a dalších náhrad cementu ve směsích. Výstupem celé práce je doporučení výše zmíněných parametrů, jejich rozsah a vliv na směs. Nedílnou součástí vyhodnocení celé práce je i návrh na úpravu legislativy.

Cíle práce v bodech:

- Návrh směsi s využitím druhotných surovin (recyklovaný beton, popílký)
- Návrh směsi s využitím tekuté pryskyřice
- Pevnostní charakteristiky vyrobených směsí
- Tekutost směsí
- Vyšetření vlivu množství vody na tekutost směsi
- Vyšetření vlivu množství druhotných surovin na pevnosti směsi
- Vyšetření vlivu množství pryskyřice na vlastnosti směsi
- Pevnost jednotlivých složek kompozitu
- Pevnost výsledného kompozitu
- Návrh na úpravu legislativy



2 Vlastnosti ACB

Jak již bylo zmíněno ACB je tuhý a trvanlivý kompozit tvořící povrch beze spár.

Hlavní složkou je asfaltová kostra, která se pokládá stejným způsobem jako standardní asfaltový povrch. Tato kostra se vyznačuje mezerovitostí 15 až 35 %. [50]

Jakmile položená asfaltová kostra vychladne, tak se na vychladlý povrch nalije cementová směs a rozetře se po celém povrchu (případně rozvibruje do vnitřních dutin). Výška takto vzniklé vrstvy je obvykle 50 mm.

Výsledný produkt je odolný vůči ropným výrobkům a dalším chemikáliím. Velké množství studií po celém světě prokázalo, že ACB nemá žádný vliv na stav životního prostředí. Vyniká i dalšími vlastnostmi jako jsou odolnost proti dopravnímu zatížení, odolnost proti lokálnímu porušení, odolnost proti chemickým rozmrazovacím prostředkům, odolnost vůči teplotním změnám a nepropustnost. [32, 33]

Díky synergii obou složek je ACB vhodný k použití na plochy, kde dochází k velkému zatížení. Ve světě je běžné využití na parkovací plochy, autobusové zastávky, sklady, letištní plochy a plochy u benzinových stanic.

2.1 Historie

Asfaltocementový kompozit byl vyvinut v šedesátých letech 20. století ve Francii jako povrch odolný proti účinkům ropných produktů a odolný proti oděru. Tento kompozit, v Evropě známý jako SALVIACIM, byl vyprodukován francouzskou konstrukční společností JEAN LEFEBVRE ENTERPRISE jako nákladově velmi efektivní alternativa betonu z portlandského cementu. Výsledný asfaltocementový beton byl úspěšně uveden na trh pro celou Francii jako povrchový a podlahový materiál v mnoha aplikacích. Od roku 1990 společnost Jean Lefebvre Enterprises úspěšně aplikovala tento materiál na více než 8,3 milionech čtverečních metrů. Dnes je asfaltocementový beton standardně a hojně využíván jako povrchový a podlahový materiál po celé Francii.

Brzy poté, co tento materiál sklidil úspěch ve Francii, začal se rozšiřovat i do ostatních zemí světa. V sedmdesátých a osmdesátých letech 20. století se využití asfaltocementového betonu rozšířilo do mnoha zemí Evropy a několika zemí Afriky, Jižního Pacifiku, Dálného



východu a Severní Ameriky. Od roku 1990 dokumentovalo 25 zemí zkušenost s asfaltocementovým betonem.

V Severní Americe došlo k první zmínce a zkušenosti s ACB v půlce sedmdesátých let 20. století, kdy U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (WES - výzkumné a vývojové centrum ministerstva obrany U.S.A.) provedla ve Vicksburgu omezené hodnocení zkušebně aplikovaného ACB. Studie byla provedena k vyšetření efektivnosti nového povrchového materiálu odolného vůči ropným produktům a proti abrazi způsobené nákladní dopravou. Výsledky ukázaly, že efektivita ACB je velmi závislá na konstrukčním provedení a striktním dodržení přesného pracovního postupu. V opačném případě ACB nevykáže požadované vlastnosti.

V roce 1987 U.S. Army Corps of Engineers (Armádní sbor inženýrů U.S.A.) požádalo WES o přehodnocení zkoušky ACB pro potenciální vojenské aplikace (vojenské sklady, nákladové plochy). Hlavními důvody pro přehodnocení bylo všeobecné pozitivní hodnocení ACB a využití vylepšených materiálů a konstrukčních postupů z Evropy. WES na tento podnět provedla literární rešerše, provedla řadu hodnocení ve Francii, Velké Británii a Austrálii a zkonstruovala nový test ACB v Ahlrichi a v Andertonu v roce 1991. Výsledky tohoto zkoušení byly příznivé. V následujících letech bylo provedeno několik aplikací ACB na vojenských plochách po celé Severní Americe. Dnes je ACB doporučován jako alternativa povrchových ploch většinou vládních institucí (U.S. Army, U.S. Air Force, U.S. Navy, FAA – federální letecká správa). [46]

2.2 Stav využití ACB ve světě

2.2.1 EUROVIA

Díky sjednocení dvou dvou velkými firmami VIAFRANCE a COCHERY BOURDIN CHASSÉ vznikla v roce 1997 firma EUROVIA. V roce 2000 se připojila ještě další francouzská firma JEAN LEFEBVRE ENTERPRISE a vstupem do silniční divize koncernu VINCI vznikl největší stavební koncern na světě (působící v 17 zemích světa).



Obr. 1: Logo firmy Eurovia

Mezi nejdůležitější produkty firmy EUROVIA patří patentovaná technologie produktu SALVIACIM. SALVIACIM splňuje požadavky normy ČSN 73 6127-3 – *Asfaltocementový beton*. Do současnosti bylo zhotoveno kolem 70 milónů metrů čtverečních průmyslových ploch po celém světě. [47]

Konstrukce s technologií SALVIACIM je navržena podle druhu podkladu a namáhání, kterým bude povrchová vrstva vystavena během provozu. Tloušťka vrstev konstrukce je stanovena na základě zvláštní návrhové metody přizpůsobené účelu a zohledňující předpokládané statické a dynamické zatížení. [47]



Obr. 2: Výsledný produkt – aplikovaný SALVIACIM

EUROVIA CS, působící na českém trhu, využívá SALVIACIM především jako obrusnou vrstvu u vozovek třídy dopravního zatížení S až III s lokálně extrémním zatížením, jako jsou autobusové zastávky, odstavné plochy a křižovatky. Dále lze tuto technologii použít



při výstavbě letišť, otevřených skladů a manipulačních ploch včetně skladišť kontejnerů, průmyslových hal a vojenských zařízení.

Během posledních 40 let se po celém světě realizovaly technologií SALVIACIM desítky miliónů metrů čtverečních průmyslových a komerčních ploch ve všech zmíněných oblastech použití. EUROVIAa CS provádí tuto aplikaci již od roku 2000 pro manipulační a skladové plochy a autobusové zastávky (například skladová plocha firmy Škoda auto a.s. v Mladé Boleslavi, přístav Holešovice, zastávky MHD Praha, Zlín, Liberec, Jablonec, Ústí nad Labem). V roce 2004 byla v EUROVIA CS pro provádění technologie SALVIACIM zavedena vlastní technologická linka. V centrální laboratoři EUROVIA Services byla původní receptura doplněna o další typ ACB se zvýšenou odolností proti chemickým rozmrazovacím prostředkům COLAS

Na počátku dvacátých let 20. století vymysleli dva britští chemici Hugh Mackay a Alan George asfaltovou emulzi, která měla název Cold Asphalt – odtud pochází název firmy.



Obr. 3: Logo firmy COLAS

Předmětem činnosti společnosti COLAS jsou standardní práce silničního stavitelství – výstavba, rekonstrukce, opravy a další práce na pozemních komunikacích. Mezi jejich produkty patří prolévaná vrstva, další typ asfaltocementového betonu, s názvem Rodal. Firma COLAS má mezinárodní zastoupení, na trhu působí ve čtyřiceti zemích světa.

Rodal je charakteristický granulací 0/10, 0/14 a 0/20 mm. Specifický vzorec vede k pórovitosti v rozsahu mezi 20 až 25 %, jehož určení bylo provedeno laboratorním výzkumem a rozsáhlou studií.

Asfalt se v případě technologie Rodal aplikuje na dostatečně velkou plochu, aby nedošlo k deformaci během jejího provádění a zároveň za omezeného provozu. Tloušťka celé vrstvy musí být konstantní. Cementová suspenze se důkladně promíchá ve vhodném mísicím zařízení s požadovaným množstvím vody. Výsledná zálivka je aplikována na asfalt

gumovými stěrkami a podle definovaného aplikačního plánu. Technický list určuje vzorec injektážní směsi a materiál pro postup výroby a provedení zálivky. Následně se zálivka zavibrovává do asfaltové kostry pomocí vibračních desek nebo vibračních válců.

Po aplikaci cementové suspenze by neměla být výsledná vrstva zatížena po dobu 24 až 48 hodin v závislosti na složitosti a ucelenosti prosotru případně celku. Po 7 dnech je vrstva připravená k provizornímu režimu. Optimální a předem stanovené pevnosti dosahuje vrstva po 28 dnech.



Obr. 4: Aplikace gumových stěrek při zalévání cementové suspenze

2.2.2 CONTEC ApS

Společnost CONTEC ApS je dánská firma, která byla založena v roce 1933 architektem Bo Erwinem. Prvotním zaměřením byl materiál pro podlahové systémy CONTEC a malty pro opravy poruch založené na technologii vyvinuté Hans Henrichem Bachem na přelomu 70. a 80. let 20. století. Vyvinutí nové generace polotuhých obrusných vrstev s výplňovou maltou přineslo na začátku 90. let 20. století produkt s názvem CONFALT.

Společnosti, které využívají technologii CONFALT:

- Německo – Hastrabau-Wegener, SKS Bau
- Dánsko – Lemminkäinen
- Rakousko – Swietelsky, Allbau

- Švýcarsko – Walo Bertschinger
- Švédsko – Peab Asphalt, Indutriutveckling väst AB
- Velká Británie – Civil & Industrial Products Ltd
- ČR – Petr`s Olomouc



Obr. 5: Logo firmy Contec

Asfaltocementový beton od společnosti CONTEC ApS je definován jako nosný skelet z drčeného kameniva spojený asfaltovým pojivem, jehož dutiny jsou vyplněny nízkoviskózní maltou CONFALT, která spojuje flexibilitu asfaltu a pevnost malty. Malta zároveň s tím kompenzuje smrštění, tím pádem zabraňuje vzniku trhlin z pnutí při zrání celé vrstvy či z teplotních změn. Na rozdíl od ostatních výrobců se do kompozitu asfaltu a cementu přidává ještě speciální výztužná tkanina – síť jako membrána.

Výhody hotového povrchu uvádějí výrobci, kteří využívají technologii CONFALT, v technologickém listu. V něm lze najít rychlý nárůst pevnosti, výborné spojení pevnosti malty a pružnosti asfaltového skeletu, zvýšení životnosti oproti běžným asfaltovým povrchům, bezspárový povrch, teplotní stabilita, odolnost proti chemickým rozmrazovacím prostředkům, a hlavně časově nenáročná pokládka a oprava.

Jako jeden z mála výrobců udává firma CONTEC i důležitost podkladní vrstvy, na kterou se bude asfaltocementový beton aplikovat. Varianty jsou dvě – měkkí podklad z asfaltových směsí a podklad z materiálu na bázi cementu. Zásadní rozdíl to přináší pro výslednou vrstvu asfaltocementového betonu. Na měkkí podklad je třeba počítat se silnější vrstvou 50 až 90 milimetrů CONFALTU, u podkladu na bázi cementu postačí asfaltocementová vrstva v rozmezí 30 až 40 milimetrů.



Obr. 6: Výřez hotového povrchu – Confalt

2.2.3 DENSIT

Firma DENSIT byla založena v roce 1983 jako součást Aalborg Portland Group a zabývá se zakládáním konstrukcí a staveb pro obnovitelné zdroje, řešeními pro odolnost obrusných vrstev, zařízeními pro těžbu ropy a zemního plynu a také podlahy a povrchy pro průmyslové provozy.

V oblasti polotuhých povrchových vrstev má vlastní produkt s názvem DENSIPHALT, který je na trhu od roku 1990, kdy byl zaregistrován ochrannou známkou. Jendá se o další kompozitní materiál pro kryty zpevněných povrchů, kombinující pružné vlastnosti asfaltu a pevnost a tuhost cementového kompozituu. Škála využití je opět široká.



Obr. 7: Logo firmy Densit



2.3 Stav využití ACB v ČR

2.3.1 PETR'S Olomouc, s.r.o.

Firma zabývající se aplikací speciálních silikátových hmot ve stavebnictví vznikla v roce 1990. Nejdůležitější uplatnění firma nachází v oblasti průmyslových podlah. Mezi ně patří také technologie CONFALT – technologie zpevněné plochy. Jedná se o speciální maltu, určenou k realizaci prolévané vrstvy ACB pro aplikaci ve skladech, dílnách, na vozovkách, autobusových zastávkách, letištních a přístavních plochách a podobné. Technologie je převzata od partnerské firmy CONTEC ApS (viz výše). [48]

Výsledný kompozit se skládá z drenážního koberce a z nízkoviskózní malty CONFALT. Malta CONFALT, vyvinutá speciálně k tomuto účelu, spojuje flexibilitu asfaltu a pevnost malty.

Tab. 1: Technické údaje malty CONFALT (převzato z [64])

Stáří povrchu	24 hodin	72 hodin	28 dní
Pevnost v tlaku při 20°C	25-30	45-55	80-95
Pevnost v tahu za ohybu při 20°C	3-4	6-7	10-12
Doba tuhnutí při 20°C	8-12 hod.	-	-

Malta zároveň kompenzuje smrštění, takže efektivně zabraňuje vzniku trhlin a pnutí při zrání kompozitu. Na základě rychlého nárůstu pevností je možné výsledný produkt zatížit již po 12 hodinách a po 24 hodinách již uvést do plného provozu.

Tab. 2: Vlastnosti kompletního povrchu CONFALT (převzato z [65])

Stáří povrchu	28 dní
Pevnost v tlaku při 20°C - měkký podklad	2-8 N/mm ²
Pevnost v tlaku při 20°C - tvrdý podklad	8-10 N/mm ²
Modul elasticity při 20°C	8 kN/mm ²



2.3.2 Eurovia CS, a.s.

Původním názvem Stavby silnic a železnic a.s., patří k nejvýznamnějším stavebním společnostem na území České republiky a je lídrem v oblasti dopravního stavitelství. Své služby nabízí již 60 let, od roku 2006 je součástí mezinárodního koncernu VINCI.

Kompozitový produkt SALVIACIM našel mnohé uplatnění na území ČR. Jak ukazuje tabulka TAB. 3, všechny zkoušené vzorky vyhověly normovým požadavkům.

Tab. 3: Měření pevností a odolnosti proti CHRL na vrstvách SALVIACIM v ČR (převzato z [47])

Místo měření	Složení	Pevnost v tahu za ohybu	Pevnost v tlaku	Odolnost proti CHRL
Autobusová zastávka Zlín	Voda Cement Písek Pryskyřice Vápenec	6 - 10 MPa	34 -38 MPa	75 cyklů 230-642 g/m ²
Skladovací areál Škoda auto		10 - 12 MPa	37 - 49 MPa	125 cyklů 50-246 g/m ²
Přístav Holešovice, Praha		9 - 10 MPa	34 - 37 MPa	75 cyklů 250 g/m ²
Autobusová zastávka Ústí nad Labem		9 - 12 MPa	32 - 53 MPa	75 cyklů 154-506 g/m ²

2.4 Legislativa ACB v ČR

Pro asfaltocementové betony je platná norma ČSN 73 6127-3 *Stavba vozovek – Prolévané vrstvy – Část 3: Asfaltocementový beton*. [49] Tato norma stanovuje požadavky na výrobu, pokládku a kontrolu konstrukčních vrstev vozovek pozemních komunikací a jiných dopravních ploch prováděných technologií asfaltocementových betonů.



2.4.1 Definice a značení

- Asfaltocementový beton: vrstva vzniklá z asfaltem obaleného kameniva (kostry) po prolití nebo zavibrování výplňové malty
- Asfaltem obalená kostra: rozprostřená a zhutněná vrstva z otevřené asfaltové směsi s vysokou mezerovitostí, charakteru asfaltového koberce drenážního
- Výplňová malta: tekutá malta specifického složení na bázi cementu, která slouží k vyplnění mezer asfaltem obalené kostry
- Pryskyřice: polymerní látka užívaná k zlepšení fyzikálně-mechanických vlastností výplňové malty

Pro jednotlivé technologie se používají následující označení:

Tab. 4: Značení technologií ACB (převzato z [49])

Technologie	Značka
Asfaltocementový beton	ACB ¹⁾
střednězrný s kamenivem kostry do 11 mm	ACB11
hrubozrný s kamenivem kostry do 16 mm	ACB16
velmi hrubý s kamenivem kostry do 22 mm	ACB22

1) Značka je základem pro obecné označení. V případě kostry tvořené jinou frakcí bude doplněna o hodnotu velikosti maximálního zrna kostry. Příklad: ACB32

V technické dokumentaci se vždy při označování uvádí: značka technologie, tloušťka vrstvy a číslo této normy. Další specifikaci pro ACB lze doplnit mezi údaj o tloušťce vrstvy a označení normy. Jedná se zejména o následující požadavky:

- odolnost proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek
- barva úpravy (přírodní, žlutý,...)
- úprava povrchu

Příklad: asfaltocementový beton střednězrný v tloušťce 40 mm, odolný proti působení vody a odolný vůči chemickým rozmrazovacím látkám bez dalších požadavků se označí:

ACB11; 40 mm; CHRL; ČSN 73 6127-3.

2.4.2 Užití

Pro návrh a užití asfaltocementových vrstev platí předpis a požadavky normy *TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací*. Skladbu konstrukce stanoví projektová



dokumentace stavby, zpracovaná na základě informativní přílohy této normy, popř. z technických podkladů výrobce.

ACB se používá jako vrstva obrusná, lze ji použít i jako vrstvu ložní. Je vhodná pro pomalou a zastavující dopravu, například pro autobusové zastávky, manipulační plochy, letiště, sklady a průmyslové provozy. Pro vozovky všech tříd dopravního zatížení může být limitujícím faktorem jejího použití omezená drsnost. ACB použitý místo asfaltové vrstvy může eliminovat její nedostatek, tj. citlivost na bodové a dlouhodobé statické zatížení. Předpokladem pro užití ACB je dostatečně únosný podklad (viz Tab. 5). V barevném provedení, popř. s jinou mechanickou úpravou povrchu může ACB tvořit architektonicky zajímavý prvek stavby, ve kterém mohou být požadavky na únosnost sníženy.

Tloušťky vrstev ACB jsou stanoveny v závislosti na zrnitosti kamenné kostry podle Tab. 5. Tyto tloušťky jsou stanoveny jako minimální. Maximální tloušťka vrstvy ACB je 100 mm, nestanovuje-li technická dokumentace výrobce jinou.

Tab. 5: Minimální tloušťky vrstev ACB (převzato z [49])

Asfalcementový beton	Minimální tloušťka vrstvy v mm	Jmenovitá frakce kostry v mm
Střednězrný ¹⁾	40 (30)	menší než 11
Hrubozrný	40	< 16
Velmi hrubý	50	< 22
Speciální technologie ²⁾	2 x D	< D

¹⁾ Tloušťka 30 mm platí pro úpravy bez požadavku na odolnosti proti trvalému zatížení.
²⁾ Platí pro jiné tloušťky úprav, kde D je maximální velikost zrna ve jmenovité frakci.

Druhy podkladů pro aplikaci ACB jsou uvedeny v tabulce Tab. 6. ACB je vzhledem ke svým vlastnostem určen pro obrusné vrstvy zatěžované staticky nebo pomalou zastavující dopravou. Celá konstrukce podkladu, přejímající zatížení od vrstvy ACB musí být dostatečně únosná. Požadavky tabulky Tab. 6 jsou minimální. V případě užití vrstvy ACB k jiným účelům je tabulka Tab. 6 nezávazná (například pouze pochozí nebo sportovní plochy).



Tab. 6: Druhy podkladů pro ACB (převzato z [49])

Užití ACB	Podklad
Obrusná vrstva	ACO ¹⁾ , ACB, CB ²⁾
Ložní vrstva	ACP, ACL, C _{8/10} a vyšší ²⁾

¹⁾ Vyhovující AC s asfalty 50/70, PMB 45/80-50 (minimální požadavek).

²⁾ Spáry a trhliny konstrukčních vrstev v podkladu je nutno ošetřit proti tvorbě reflexních trhlin v ACB. Způsob ochrany stanoví projektová dokumentace. Doporučené úpravy pro CB dilatace jsou: přiznání spáry v ACB, užití asfaltové membrány nebo asfaltové vrstvy pohlcující napětí včetně možnosti uvolnění napětí v betonových deskách. Minimální pevnostní požadavky: C 8/10 podle ČSN EN 206-1, CC20 podle ČSN EN 13877-2 při rekonstrukci bytu.

2.4.3 Stavební materiály pro asfaltem obalenou kostru

2.4.3.1 Kamenivo

Norma vymezuje požadavky na kamenivo do asfaltem obalené kostry (zrnitost, propad sítem, obsah jemných částic, jakost, tvarový index, odolnost proti drcení, odladitelnost, objemová hmotnost, nasákavost, mrazuvzdornost, rozpadovost čediče, hrubé organické znečišťující látky). Zároveň musí splňovat parametry podle *ČSN EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch*.

2.4.3.2 Filer

Přídavný filer pro výrobu asfaltem obalené kostry je dodáván podle *ČSN EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch*. Musí vyhovovat požadavkům, které jsou uvedeny v normě (zrnitost, jakost, delta koružek a kulička, rozpustnost ve vodě, měrná hmotnost).

2.4.3.3 Asfaltové pojivo

Na obalení asfaltové kostry se používá silniční asfalt podle *ČSN EN 12591 Asfalty a asfaltová pojiva – Specifikace pro silniční stavby*, zpravidla v druhu 50/70 nebo 70/100.



Užití jiného druhu asfaltu je možné na základě ověření zkouškami, a to ve zdůvodnitelných případech.

2.4.3.4 Přísady

Při výrobě asfaltové kostry je možno použít k omezení stékavosti asfaltu vláknité přísady. K úpravě barvy pojiva lze použít vhodné pigmenty. Použité přísady musí odpovídat příslušným normám. V případě užití přísad do výplňové malty je jejich vhodnost prokázána, pokud splňují požadavky *ČSN EN 934-2+A1 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Část 2: Přísady do betonu – Definice, požadavky, shoda, označování a značení štítkem.*

2.4.3.5 Stavební materiály pro výplňovou směs

K výrobě výplňové malty se používá cement, minerální plnidla (filer, technologické písky omezené zrnitosti, popílek, odprašky, elektrárenské úlety), přísady do cementu a malt, upravující pevnost a konzistenci, popř. jiné fyzikální vlastnosti směsi, umělé polymerní pryskyřice (lepidla), pigmenty a voda. Výběr výše uvedených surovin k výrobě malty stanoví technologický předpis zhotovitele, v případě užití komerčně připravených směsí pak dokumentace výrobce.

2.4.4 Stavební směsi

2.4.4.1 Asfaltem obalená kostra

Parametry asfaltem obalené směsi pro kostru ACB jsou uvedeny v tabulce Tab. 7. Požadavky uvedené v tabulce jsou minimální. Ve vazbě na užitý technologický postup vyplnění mezer kostry mohou být upraveny v technologickém předpise zhotovitele.



Tab. 7: Požadavky na asfaltem obalenou kostru ACB (převzato z [49])

Parametr	Požadavek/hodnota
Zrnitost ¹⁾	určí technologický předpis
Mezerovitost ¹⁾	17 % až 32 %
Stékavost asfaltu ²⁾	0,30%
¹⁾ Zrnitost a mezerovitost směsí stanoví technologický předpis. Mezerovitost se stanoví podle ČSN EN 12697-8.	
²⁾ Stanovuje se podle ČSN EN 12697-18 Stékavost pojiva "Schellenbergova metoda"	

2.4.4.2 Výplňová směs

Požadavky na výplňovou směs do ACB jsou stanoveny v tabulce Tab. 8. Platí při užití ACB pro pozemní komunikace. Odlišné požadavky plynoucí z jiného určení ACB stanoví projektová dokumentace.

Tab. 8: Požadavky na výplňovou směs pro ACB (převzato z [49])

Parametr	Požadavek/hodnota
Tekutost výplňové malty ¹⁾	Podle technologického předpisu ²⁾
Pevnost v tlaku na zlomcích po 28 dnech ³⁾	min. 25 MPa ⁴⁾
Pevnost v tahu za ohybu po 28 dnech ³⁾	min. 4 MPa ⁴⁾
Odolnost proti CHRL ⁵⁾	Stanoví projektová dokumentace
¹⁾ Stanovena podle ČSN EN 445, doba výtoku v sekundách trychtýřovou zkouškou	
²⁾ Maximální konzistence výplňové směsi je limitována použitou technologií. V případě zavibrování výplňové směsi do kostry je doporučena doba výtoku < 40 s. V případě prolévání < 13 s. Limitujícím faktorem je i tloušťka asfaltem obalené kostry.	
³⁾ Zkoušky pevnosti malty jsou stanoveny na tělesech 40 x 40 x 160 mm podle ČSN EN 196-1.	
⁴⁾ Pevnosti malty jsou závislé na použité technologii. Obvyklá pevnost v tlaku/tahu za ohybu je pro prolévané výplňové směsi 80 MPa/8 Mpa, pro zavibrované 35 MPa/6 Mpa.	
⁵⁾ Je-li požadována, stanoví se podle ČSN 73 1326. Změna Z1.	

2.4.4.3 Asfalcementový beton

Požadavky na fyzikálně mechanické vlastnosti ACB jsou stanoveny v tabulce Tab. 9. Platí při užití ACB pro pozemní komunikace. Odlišné požadavky plynoucí z jiného určení ACB (průmyslové podlahy, skladové plochy, letiště a další) stanoví projektová dokumentace. Požadavek na odolnost směsi ACB, resp. konstrukce proti koncentrovanému lokálnímu



zatížení (propíchnutí), lze ošetřit specifickou zkouškou provedenou přímo „in-situ“. Pro standardně užívané ACB konstrukce v oboru pozemních komunikací se tato zkouška nepožaduje.

Tab. 9: Požadavky na ACB (převzato z [49])

Parametr	Požadavek/min. hodnota
Objemová hmotnost	Deklarovat podle průkazných zkoušek
Pevnost v prostém tlaku při teplotě 20°C 1)	3,5 Mpa
Odolnost proti CHRL	Podle požadavku projektu
¹⁾ Stanovena na koncovaných vývrtech o \varnothing 100 mm nebo ahallových tělesech v tloušťce realizované vrstvy. Pro tloušťky < 40 mm se nestanovuje. Pevnost je stanovena po 28 dnech, není-li projektovou dokumentací požadována jiná doba.	
²⁾ Nejsou-li provedeny zkoušky na výplňové maltě, stanoví se na vývrtech podle ČSN 73 1326, Změna Z1 v požadavcích podle projektové dokumentace.	

2.4.5 Stavební práce

2.4.5.1 Úprava podkladu

Vrstva ACB se pokládá na ložní, resp. podkladní vstvu čistou, rovnou a neporušenou. Na podklady připravené odfrézováním původní konstrukce se zpravidla provede dostatečně tuhá ložní vrstva podle požadavku uvedeného výše. Podklad musí mít opravené výtluky, trhliny, popřípadě spáry. Nerovnosti podkladu pod ACB mohou být maximálně 5 mm. Povrch podkladu musí být upraven tak, aby byla dodržena minimální tloušťka ACB.

2.4.5.2 Klimatické podmínky

Asfaltem obalená kostra se nesmí pokládat při teplotě vzduchu nižší než + 5°C u směsí s asfaltem druhu 70/100 a při +10°C u směsí s asfaltem 50/70.

Výplňová směs se do asfaltem obalené kostry nesmí vpravovat za teplot nižších než +5°C. Minimální teplota kostry při prolévání je +5°C, maximální teplota kostry při prolévání je +35°C.

Během tvrdnutí výplňové malty nesmí dojít k jejímu zmrznutí v konstrukci, pokud její pevnost nedosáhne minimálně 20MPa. Počet hodin, resp. dní potřebný k zajištění minimální pevnosti při dané teplotě prostředí určuje technologický předpis.



Výplňová malta se nesmí do asfaltem obaleneé kostry vpravovat za deště. ACB nemá být vystaven dešťovým srážkám do dvou hodin po dokončení úpravy.

2.4.5.3 Výroba a pokládka asfaltem obalené kostry

Výroba a pokládka asfaltem obalené kostry se provádí podle ustanovení *ČSN 73 6121 Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody* a *ČSN EN 13108-7 ED.2 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 7: Asfaltový koberec drenážní* pro výrobu asfaltového drenážního koberce.

Položená vrstva asfaltem obalené kostry se nehutní, ale pouze utáhne a hladí statickým tlakem lehkého válce. Případné opravy prováděné na položené asfaltové kostře se provedou před jejím zaplněním výplňovou maltou. Položenou asfaltem obalenou kostru je třeba chránit před znečištěním. [10]

2.4.5.4 Výroba a pokládka výplňové směsi

Výroba výplňové malty se zpravidla provádí v mobilním zařízení v místě stavby podle technologického předpisu zhotovitele, který je k dispozici na stavbě. Kapacita výrobního zařízení musí umožnit plynulou pokládku a zpracování směsi v připraveném pracovním poli.

Výplňová malta se rozprostírá stěrkami. Postupuje se od nejnižší položeného místa proti spádu. Vpravení malty do asfaltové kostry je možno podpořit zavibrováním lehkou vibrační deskou nebo lehkým vibračním válcem. Vibruje se přerušovaně tak, aby nedocházelo k vytloukání kostry. Malta, která nevnikla do mezer kostry, se přesune stěrkami do dalšího pracovního záběru. Pracovní postup upravuje vždy technologický předpis zhotovitele.

O spotřebě materiálu se vede evidence. Prováděná operativní kalkulace spotřeby má potvrdit úspěšnost vyplnění mezer v kostře. Není-li dosaženo očekávané spotřeby malty, nelze pokračovat v pokládce, dokud nejsou uspokojivě vysvětleny příčiny.

Povrch položené vrstvy se ještě v čerstvém stavu upraví měkkými stěrkami tak, aby byla rozeznatelná kostra a zvýrazněna makrotextura povrchu ACB.



2.4.5.5 Ošetření povrchu ACB

Hydrataci výplňové malty je nutno podpořit pravidelným kropením nebo jiným vhodným opatřením, které brání nadměrnému vysychání. Doba ošetřování ACB je zpravidla 3 až 5 dní po zhotovení, a to v závislosti na klimatických podmínkách, použitém pojivu, popř. přísadách.

2.4.5.6 Uvedení vrstvy ACB do provozu

Vrstvu ACB lze zatěžovat dopravou po dosažení minimální pevnosti výplňové malty 20MPa. Způsobnost ACB k provozu stanovuje technologický předpis zhotovitele, a to v návaznosti na použitém cementu, přísadách a klimatických podmínkách pokládky. [8]

Orientačně lze předpokládat následující režim zatěžování ACB dopravou, nejsou-li použity speciální rychle tuhnoucí směsi:

- | | |
|------------------------------|------------------|
| - Pochozí | po 1 dni |
| - Lehká doprava | po 2 až 3 dnech |
| - Nákladní vozy bez stání | po 5 dnech |
| - Těžká doprava včetně stání | po 7 až 12 dnech |

2.5 Aplikace ACB

2.5.1 Výroba asfaltové kostry

Vrstva asfaltové kostry je obvykle konstruována a vyráběna stejným způsobem jako klasická vrstva asfaltového koberce. Samotná směs musí být zahřátá na danou teplotu, často v rozmezí 121°C až 135°C. Na místo stavby je směs dopravovaná těžkou nákladní dopravou, kde je vsypána do klasického asfaltového finišeru (Obr. 8). Teplota této směs při pokládání je menší než pro standardní asfaltové betony. [21, 22, 23]

Po položení vrstvy asfaltové kostry se povrch vyhladí pomocí třítunového válce (Obr. 9). První vyrovnání válcem probíhá při teplotě směsi 71°C, druhé vyrovnání povrchu probíhá při teplotě směsi 55°C.



Obr. 8: Plnění finišeru horkou asfaltovou směsí



Obr. 9: Válcování položeného asfaltového koberce

2.5.2 Výroba výplňové malty

Cementová malta, přidávaná do asfaltocementového kompozitu, může být vyráběna dvojím způsobem. V úvahu přichází výroba v betonárce (pro větší projekty) nebo pomocí přenosných betonových míchaček (pro menší projekty). Pro maltu vyrobenou v betonárce



složenou z cementu, písku, popílku a vody platí, že po vysypání do míchačky se míchá následujících 5 minut.

Pokud je dojezdová vzdálenost od místa aplikace menší než 20 minut, tak se aditiva mohou přidat již v betonárce. Směs je promíchávána po ceou dobu převozu kvůli odlučování písku ze směsi. Tím je dosaženo jeho rozmělnění po celém objemu. Jakmile autodomíhávač dorazí na místo určení, směs je promíchána nejvyšší možnou rychlostí dalších 10 minut, než je aplikována.

Pokud je dojezdová vzdálenost větší než 20 minut, tak se aditiva přidávají až místě aplikace. Následuje opět 10 minut míchání maximální rychlostí pro úplné rozmíchání složek ve směsi.

Před samotnou aplikací se ještě provede tzv. Trychtýřová zkouška (Obr. 10). Touto zkouškou se sleduje tekutost použité malty, která se stanovuje pomocí času. Sleduje se, za jakou dobu protěče 1 litr směsi trychtýřem.



Obr. 10: Trychtýř pro Trychtýřovou zkoušku

Jakmile směs projde úspěšně touto zkouškou, započne aplikace. Výplňová malta se aplikuje do stavu plné saturace asfaltové kostry. Rozlévání směsi se provádí po pruzích

širokých zhruba 3 až 6 m, které jsou od sebe odděleny latěmi ze dřeva. Aplikace tímto způsobem chrání již zalité celky od narušení další vrstvou směsi.



Obr. 11: Vibrování, roztírání a hlazení rozlité vrstvy výplňové malty [7]

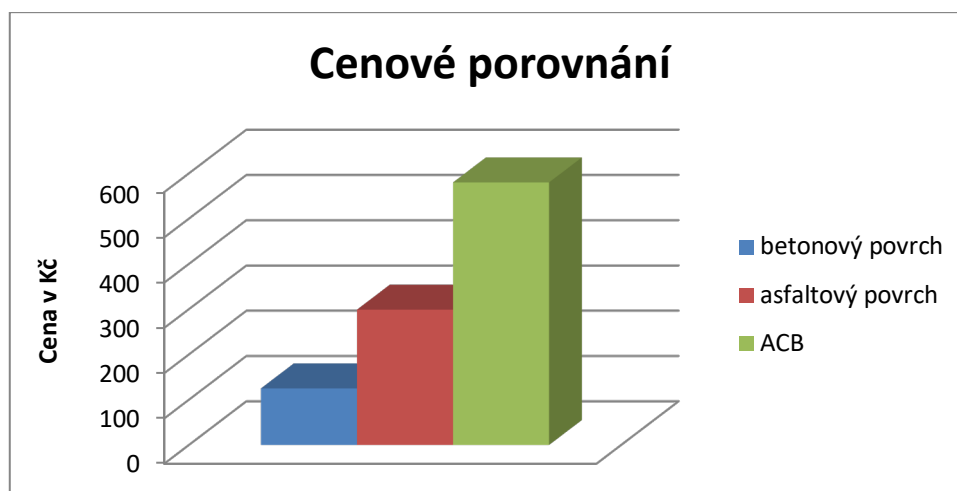
Pokud je potřeba a k zaplnění všech pórů a dutin nedojde samotnou gravitací, použije se malý třítunový vibrační válec. Pomocí tohoto válce a díky jeho vibračním je docíleno plné saturace a vyplnění všech vnitřních pórů a dutin. Následně je povrch srovnán a vyhlazen gumovými stěrkami (Obr. 11).

2.5.3 Ošetřování výsledného ACB

Zkušenosti a aplikace v minulosti ukázaly, že krátkodobé ošetřování povrchu ACB pomocí vytvrzujících sloučenin je dostačující. Vytvrzovací sloučeniny jsou obvykle bílé barvy kvůli odražení slunečních paprsků. Množství aplikace těchto sloučenin je zhruba 1 litr na 15 m², což je zhruba polovina množství používaného na obyčejné cementové podlahy a povrchy. Ruční aplikace těchto sloučenin je přípustná ihned po aplikaci směsi na asfaltovou kostru (jakmile se zachovávají stopy na povrchu). [4]

2.6 Cenové porovnání ACB a ostatních povrchů

Cenové porovnání ACB se silničním betonem a asfaltovým povrchem (asfaltový koberec) bylo jedním z důvodů této práce. Celkové snížení ceny použitím druhotných materiálů by mohlo zapříčinit rychlejší rozšíření tohoto kompozitu i na českém trhu. Porovnávaná cena je uváděná u vrstvy tloušťky 50 mm za metr čtverečný. [20, 38]



Obr. 12: Cenové porovnání jednotlivých aplikovaných povrchů

3 Experimentální část

V experimentální části je pojednáno o jednotlivých materiálech a jejich vlastnostech při použití. Zmíněny jsou přednosti daných materiálů, které ovlivňují výsledné materiálové hodnoty asfaltocementového kompozitu. Dále jsou pak zmíněny postupy výroby základních prvků – asfaltové kostry a cementové malty, následně i výroba asfaltocementového kompozitu a v neposlední řadě typy zkoušek potřebných pro určení základních materiálových vlastností.

3.1 Materiály pro výrobu asfaltové kostry

3.1.1 Kamenivo

Jako kamenivo pro výrobu asfaltové kostry byl použit amfibolit z Markovic v různých frakcích. Amfibolit je metamorfovaná hornina vyznačující se střední až hrubou velikostí zrna. Patří mezi krystalické břidlice. Jedná se o masivní tmavěšedé horniny, které vznikají při nízkém tlaku 1,0 až 1,2 GPa a při teplotě 500 až 700 °C. [56]



Obr. 13: Amfibolit



Složení amfibolitu je poměrně pestré. Hlavními minerály jsou amfiboly a plagioklasy. Konkrétně se jedná o různé druhy amfibolu, živce, biotitu a granátu. Velké množství krystalů amfibolu způsobuje břidličnatost horniny.

3.1.2 Asfaltové pojivo

Asfaltové pojivo tvoří 4,5% hmotnosti směsi. Jedná se o silniční asfalt 50/70, který se používá především pro asfaltové betony a podklady SMA v obrusných vrstvách pro kategorie dopravního proudu pod podmínkou, že budou splněny požadavky kladené na odolnost směsi proti vyjíždění kolejí. Používání asfaltu 50/70 ve vrstvách vozovky silnic, zatížených velkoobjemným provozem, vyžaduje ověření odolnosti minerálněasfaltové směsi proti vyjíždění kolejí. Použití asfaltu 50/70 se nedoporučuje v žádné vrstvě vozovky zatížené pomalým provozem, jako jsou pomalé jízdní pruhy a dojezdy na křižovatky. [1, 57]

3.1.3 Filer

Filer neboli kamenná moučka, je kamenivo s velkým obsahem (minimálně 70 %) jemných částic pod 0,063 mm. Filer vzniká jako odpadní produkt při drcení a třídění kameniva.

Na základě velikosti zrna je kamenivo tříděno do frakcí. Frakce se rozumí označení kameniva podle velikosti oka dolního a horního síta. Frakce je tedy množina zrn kameniva, které propadnou horním sítem a zachytí se na spodním sítu.

Pro výrobu asfaltové kostry bylo použito velmi jemných frakcí kameniva z Markovického lomu.

3.1.4 Přísady

Přísady se používají jako nosiče pojiva. V této směsi pro asfaltovou kostru byly použity vlákna S-CEL, která zamezují stékání asfaltového pojiva ze zrn kameniva.

Jedná se o vláknitý granulát pro silniční stavitelství s pojivem na bázi polyethylenu.



Primárně slouží jako stabilizační přísada do směsí mastixového asfaltového koberce. Funguje i pro bezpečné zvýšení obsahu asfaltu v obalovaných směsích a významně snižuje stékavost asfaltu z kameniva.

Tab. 10: Poměr složek v asfaltové kostře pro referenční asfaltová tělesa

Název složky		% hmotnosti
Kamenivo	frakce 8/16	7,51
	frakce 8/11	26,27
	frakce 4/8	11,68
	frakce 0/4	40,1
Filer	pod 0,063 mm	9,84
Asfaltové pojivo	asfalt 50/70	4,6

Tab. 11: Poměr složek v asfaltové kostře pro ACB

Název složky		% hmotnosti
Kamenivo	frakce 8/11	91,9
Filer	pod 0,063 mm	3,3
Asfaltové pojivo	asfalt 50/70	4,5
Vlákna S-CEL		0,3

3.2 Výroba asfaltové kostry

3.2.1 Marshallova tělesa

Zhotovení Marshallových těles bylo základem pro zkoušení tekutosti výplňové malty. Dle normy ČSN EN 12697-35 *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 35: Laboratorní výroba směsi* a návrhového složení byla namíchána asfaltová směs. Hotová namíchaná směs byla rozdělena na jednotlivé díly, na každé Marshallovo těleso bylo potřeba 950g asfaltové směsi. Směs byla nakonec nahřata na požadovanou teplotu, jak uvádí platná norma. Nahřát se musela i hlava hutnického pěchu a formy na zkušební tělesa, které mají průměr válce $101,6 \pm 0,1$ mm a výšku válce $63,5 \pm 0,1$ mm. Po dosažení předepsané teploty byla směs vyjmuta z pece a na dno formy bylo umístěno kolečko z filtračního papíru. Asfaltovou směsí byla plněna forma a zároveň byla propíchávána tyčinkou. Takto probíhá plnění do jedné třetiny formy. Během tohoto plnění se musí kontrolovat případná segregace. Po naplnění směsí musí povrch jemně srovnán stěrkou a překryt druhým kolečkem filtračního papíru. [2,3, 60, 61]



Obr. 14: Vyrobená Marshallova tělesa

Zhutňování musí následovat okamžitě. Forma se upevnila k hutnicímu podstavci pomocí upínacího zařízení a nasadil se hutnicí pěch. Poté se těleso hutnilo 50 údery z výšky 460 ± 3 mm po dobu 55 až 60 vteřin. Následuje obrácení formy a hutnění z druhé strany. Po dokončení procesu hutnění se odstranila kolečka filtračního papíru a těleso se označilo pro identifikaci. [17]

Forma obsahující horkou zhutněnou směs musí být uložena na válcovou podložku tak, aby směs ležela přímo na podložce. Zkušební těleso se pak ochlazovalo na vzduchu nebo pomocí ventilátoru na teplotu přibližně 40 °C a poté bylo vysunuto z formy výtlačným zařízením. [5,6]



Obr. 15: Marshallova tělesa opatřená průhlednou páskou



Obr. 16: Detail připraveného Marshallova tělesa



3.3 Materiály pro výrobu výplňové malty

3.3.1 Cement

K výrobě výplňových malt se používá různých druhů a tříd cementů, které musí mít předepsané vlastnosti. Všeobecně se pro výrobu betonu používá portlandský cement nebo směsný cement. Portlandský cement je hydraulické pojivo, které se vyrábí mletím portlandského slínku se síranem vápenatým, doplňujícími složkami a přísadami dle normy ČSN EN 197-1 ED.2 Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití. [62]

Pro naši výplňovou maltu do asfaltové kostry byl použit portlandský směsný cement CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R. Ve složení se liší přidáním granulované vysokopecní strusky. Mezi nejdůležitější vlastnosti patří pozvolnější nárůst počáteční pevnosti a pomalejší vývin hydratačního tepla ve srovnání s portlandským cementem. Jako výhodu lze označit velmi dobrou zpracovatelnost.

Tab. 12: Poměr složek portlandského směsného cementu

Poměr složek podle ČSN EN 197-1				
Druh cementu	Hlavní složky			Doplňující složky
	Portlandský slínek	Vysokopecní struska	Vápenec	
CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R	65-79 %	21-35 %		0-5 %

3.3.2 Mikromletý vápenec

Jedním z nejčastěji použitých minerálních disperzních plniv je přírodní a syntetický uhličitan vápenatý. Důvodů, proč je uhličitan vápenatý (CaCO_3) využit jako plnivo betonových výrobků, je nepřeberně. Zejména je CaCO_3 dostatek, jakožto přírodní suroviny a s tím souvisí jeho nízká cena. K dalším přednostem CaCO_3 patří: zdravotní nezávadnost, vysoký stupeň bělosti, hodnota indexu lomu, dostupnost v širokém intervalu velikosti částic, možnost jejich povrchové úpravy, dobrá dispergovatelnost, nízký obsah vlhkosti (bez obsahu krystalické vody) atd. V porovnání s jinými plnivými má CaCO_3 nižší ztužující efekt.



Obr. 17: Mikromletý vápenec v měřítku

3.3.3 Voda

Pro výrobu betonových výrobků je třeba dvojího druhu vody – voda záměsová, která je základní složkou betonu a cementových malt, a voda ošetřovací, kterou se kropí, nebo ve které je ponořen hotový betonový výrobek po určitou dobu tuhnutí a tvrdnutí.

Záměsová voda je nutná k hydrataci cementu a k vytvoření dobře zpracovatelné betonové směsi. Pouze část záměsové vody je nutná k hydrataci, a to takové množství, které se chemicky váže jednotlivými polygrafickými složkami cementu. Toto množství závisí tedy na složení cementu a na jemnosti mletí a bývá okolo 20 % z hmotnosti cementu. Kdyby se betonová směs smíchala přesně jen s tímto množstvím vody, byla by směs příliš suchá, nezpracovatelná, a kromě toho by se ještě při tuhnutí a tvrdnutí v suchém a teplém prostředí část vody odpařila a hydratace by nemohla proběhnout úplně. Proto je celkové množství záměsové vody vyšší. Množství vody v čerstvé betonové směsi se vyjadřuje pomocí vodního součinitele. Pro hydrataci je vodní součinitel minimálně 0,24 - 0,26. V našem případě se jednalo o velmi tekutou směs s vodním součinitelem 0,8 – 1,11 a to díky potřebné tekutosti směsi, které se musí dostat do všech pórů a dutin asfaltové kostry. I díky tomu mohla hydratace proběhnout zcela bez problémů a s dostatkem vody.

Ošetřovací voda se používá pro udržení hotového betonového vzorku během tuhnutí a tvrdnutí ve vlhkém stavu. Odpaří-li se část záměsové vody a není-li nahrazena, snižuje se množství fyzikálně vázané vody ve struktuře čerstvého betonu a vzniká smršťování v době, kdy beton či cementová malta nemají ještě dostatečnou pevnost v tahu a tím nastává vznik trhlin a snížení konečné pevnosti a trvanlivosti výsledného produktu. Proto se betonové a cementové výrobky po odbednění vkládají do vodní lázně, kde leží do doby, než jejich pevnost stoupne na požadovanou hodnotu.



Obr. 18: Vzorky ponořené ve vodní lázni

3.3.4 Betonový recyklát

Betonový recyklát, rozemletý na požadovanou frakci, se používá jako plnivo do betonů. Jedná se o sypký materiál s velmi vysokým měrným povrchem. Zdrojem bývají nejrůznější betonové výrobky, které se v rámci úprav či oprav demontovaly či demolovaly. K tomuto experimentu posloužily jako zdroj betonové pražce z rekonstruované železnice. [13, 14, 41]

Složení použitého betonového recyklátu je uvedeno v tabulce č.13. Analýza recyklátu byla provedena pomocí XRF metody. Rentgenová fluorescence je spektroskopická metoda



analytické chemie, patřící mezi metody elektromagnetické spektroskopie. Jedná se o nedestruktivní analýzu širokého spektra materiálů, která je založena na stimulaci vnitřních elektronů atomu jednotlivých prvků.

Tab. 13: Složení betonového recyklátu

Složení	%		%
SiO ₂	60,1	Na ₂ O	2,2
Al ₂ O ₃	12	TiO ₂	0,4
Fe ₂ O ₃	6,5	SO ₃	0,8
CaO	14,1	P ₂ O ₅	0,1
MgO	1,5	MnO	0,1
K ₂ O	2,1	PbO	0,1

Na základě dosud provedených výzkumných prací a dosažených výsledků lze vliv recyklátu zobecnit a shrnout – obsah drceného betonu:

- ovlivňuje konzistenci betonové směsi
- zvyšuje potřebnou dávku záměsové vody – vliv na pevnost
- snižuje objemovou hmotnost zatvrdělého betonu
- snižuje pevnost v tlaku a modul pružnosti o cca 15 %
- zvyšuje součinitel dotvarování a smršťování o cca 40 %

Jako latentní vlastnost betonového recyklátu se dá předpokládat dodatečná hydratace dosud nezhydratovaných zrn. Množství je závislé na typu použitého cementu a stáří odpadního betonu. Obecně lze odhadovat, že množství zrn nehydratovaných slínek je 10 až 20 % hmotnosti recyklátu. Pokud dojde k úspěšné mechanické aktivaci pomocí vysokorychlostního mletí, lze s recyklátem počítat jako s dodatečným nosičem hydratace a pojivových částic. Zbytek recyklátu sestává z inertních částic a v nových směsích tedy přebírá funkci mikroplniva. [37, 68]

Použití betonového recyklátu je dnes zakotveno i v některých normách a je poměrně rozšířené jako např. v podkladních vrstvách vozovek stmelených cementem, ochranných vrstev silničních komunikací a pražcového podloží (jako mechanicky zpevněná zemina) a hlavně jako náhrady přírodního kameniva do konstrukčních betonů nižších tříd za předcházejících předpokladů.

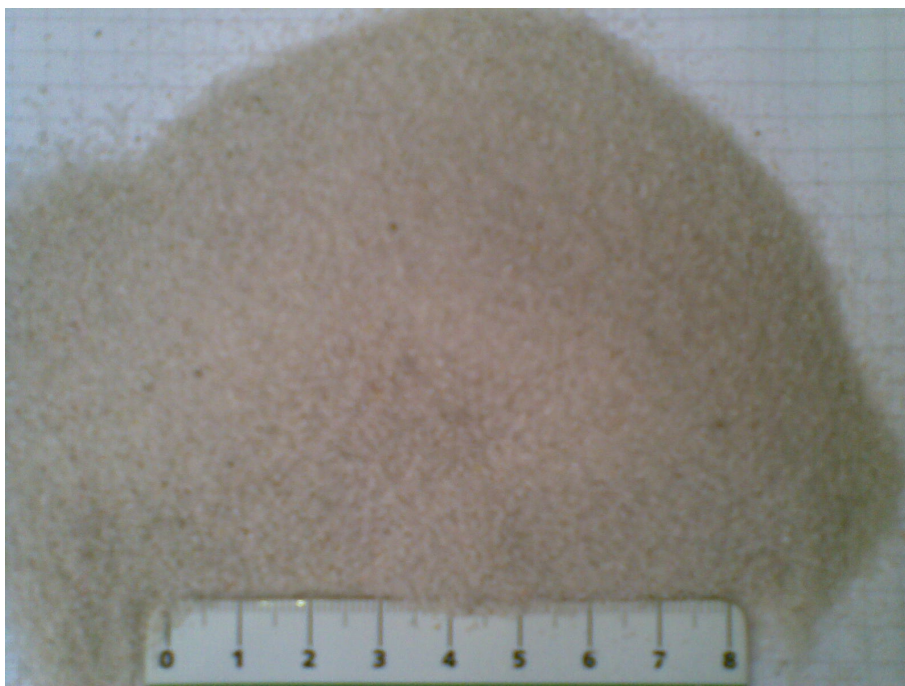
Využití betonového recyklátu do živičných směsí pro výstavbu a opravy živičných vozovek za předpokladu dodržení receptur a pracovních postupů je předepsáno příslušnými normami, jako např. ČSN 73 6121 - "Hutněné asfaltové vrstvy". [59]

3.3.5 Příměsi

Příměsi jsou anorganické, jemné práškovité látky, které se přidávají do betonu ve větším množství než přísady. Většinou se jedná o bezchloridové příměsi, které výrazně zlepšují vlastnosti čerstvých i zatvrdlých směsí. V disertační práci byl použit mikromletý písek ST2.

Tab. 14: Vlastnosti a složení mikromletého písku ST2

Vlastnosti			Složení	%
hustota	2,65	g/ml	SiO ₂	99,6
tvrdost, Mohs	7		Fe ₂ O ₃	0,03
ztráta žíháním	0,20%		Al ₂ O ₃	0,2
vlhkost	0,2		CaO +MgO	0,1
pH	8		Na ₂ O +K ₂ O	0,1



Obr. 19: Mikromletý písek v měřítku



3.3.6 DASTIT UX

DASTIT UX je směsná hydraulická prášková maltovina šedé až šedohnědé barvy na bázi minerálního pojiva. Jako minerální pojivo je označován aktivovaný a upravený popílek. Používá se do betonových směsí s cementem při výrobě transportbetonů, prefabrikovaných výrobků, vibrolisovaného betonového zboží, lehkých betonů a cementových malt a injektážních směsí. Mezi důležité vlastnosti patří zlepšení adheze pojiva a kameniva, zlepšení koheze čerstvé směsi, nehořlavost a schopnost nezvyšovat obsah vzduchu v betonu.

DASTIT UX lze používat pouze v kombinaci (nikoli samostatně) s cementem a plnivem. Použití s dalšími výrobky, jako například s plastifikátory, superplastifikátory, urychlovači tuhnutí, provzdušňovacími přísadami nebo odbedňovacími prostředky je třeba odzkoušet dle platných technických norem.

Doporučené dávkování je od 5 do 70 % z hmotnosti cementu. V našem případě vzhledem k ceně a k dalším přísadám se nahrazovalo 25% dávky cementu.

3.3.7 Popílek

Při výrobě betonu a cementových malt se v posledních letech ve zvýšené míře využívá popílek jako jedné ze složek betonářských receptur. Ne všechny používané popílkové složky však vyhovují normovým předpisům pro betonářská použití.

Popílek byl přehodnocen z odpadu na materiál vhodný pro betonářská nebo stavební použití. Neméně důležité je i snížení ceny betonu a malt při aplikaci popílkové složky jako náhrady za cement. [30]

Z těchto hodnocení pak vyplývá závazná povinnost producenta popílkové složky pečovat o kvalitu výrobku včetně systému jakosti a kontoly výroby.

Popílek jako velmi jemná složka může přispět k optimalizaci granulometrie použitého kameniva ve skladbě betonu. Zároveň zvyšuje podíl jemných částic pro dobrou čerpatelnost čerstvého betonu, zlepšuje zpracovatelnost a soudržnost čerstvého betonu, zmenšuje náchylnost na rozmísení čerstvého betonu při dopravě a zpracování. Příměs popílkové složky při betonáži příznivě ovlivňuje proces tuhnutí a tvrdnutí včetně vývoje hydratačního tepla a zvyšuje odolnost betonu v chemicky agresivním prostředí. Popílek nezhoršuje



mrazuvzdornost ztvrdlého betonu a omezuje proces reversibilního smršťování betonu. Příznivě ovlivňuje hutnost cementového tmelu a těsnost povrchových vrstev ztvrdlého betonu proti působení tlakové vody, zpomaluje proces karbonatace povrchu ztvrdlého betonu.

Negativní působení popílku spočívá v nehomogenní kvalitě či při nadměrném dávkování do betonu. Vysoký obsah oxidu vápenatého v popílku způsobuje objemové změny čerstvého a tuhacího betonu, způsobuje vnitřní napětí s rozvojem trhlin v cementovém tmelu a snižuje pevnost ztvrdlého betonu v tahu za ohybu. Vysoký obsah oxidu síry způsobuje korozi ztvrdlého betonu a jeho objemové změny.

Vysoký podíl spalitelných látek, především obsahu neshořelého zbytkového uhlíku v popílku, ovlivňuje obsah vzduchu v provzdušněném čerstvém betonu, narušuje proces tuhnutí a tvrdnutí čerstvého betonu a snižuje jeho trvanlivost.

Za zmínku stojí zkušenosti, kdy vyšší dávka popílku jako náhrada cementu, která ovlivňuje obsah skutečně potřebné záměsové vody, mění reologické vlastnosti čerstvého betonu a obvykle způsobuje tzv. krvácení betonu (odlučování vody na povrchu uloženého betonu s rizikem následného snížení trvanlivosti ztvrdlého betonu).

Tab. 15: Složení aplikovaných popílků

Název			Hodonín	Tisová
SiO ₂	oxid křemičitý	%	40,9	39,5
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý	%	9,41	24,7
CaO	oxid vápenatý	%	20,33	15,45
MgO	oxid hořečnatý	%	2,88	0,7
TiO ₂	oxid titaničitý	%	0,83	5,47
Fe ₂ O ₃	oxid železitý	%	3,09	7,63
SO ₃	oxid sírový	%	5,68	3,1
Ztráta žíháním		%	5,84	3,27
Měrná hmotnost		kg/m ³	3000	3059,5

3.3.8 Přísady

Přísady jsou chemické látky, které se do záměsi přidávají většinou v kapalném stavu v malém množství, nejvýše do 5 % z hmotnosti cementu.



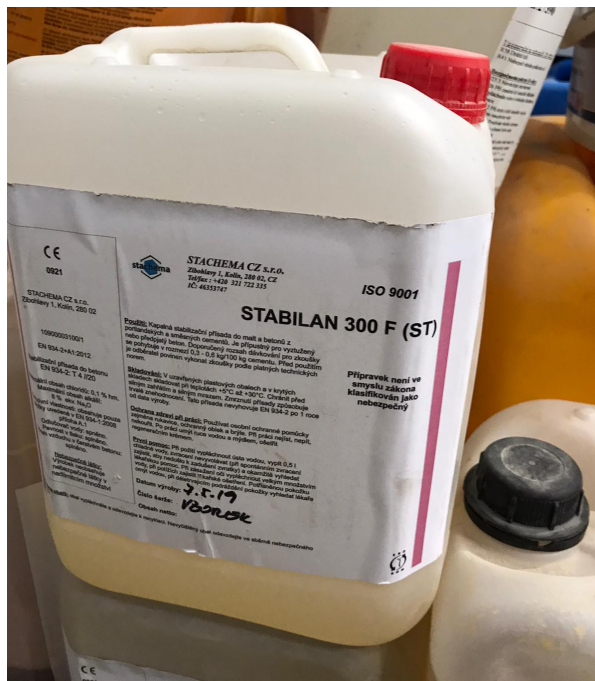
Z chemického hlediska jde o různé sloučeniny anorganické i organické, často získané jako odpad z chemické výroby. Většina těchto přísad je kryta obchodními názvy, takže jejich chemické složení není známo. [42, 43, 58]

Rozdělují se do těchto skupin:

- plastifikační
- superplastifikační
- provzdušňující
- stabilizační
- zpomalující tuhnutí
- urychlující tuhnutí a tvrdnutí
- hydrofobizační
- ostatní

3.3.8.1 Stabilan 300 F

Jako stabilizační přísada byl použit *STABILAN 300 F*, který se vyrábí na bázi derivátů celulosy. Jeho přidáním se zabráňuje segregaci kameniva, odlučování vody a tvorbě výkvětů. Navíc pozitivně ovlivňuje reologické vlastnosti čerstvého betonu, strukturu a konečné pevnosti vyzrálého betonu. Zároveň s tím nezvyšuje obsah vzduchu v betonu a neovlivňuje barvu betonu.



Obr. 20: Stabilizační přísada STABILAN 300 F

Použitý stabilizátor betonových směsí a malt na bázi syntetických kopolymerů, se používá pro výrobu vysoce tekutých betonů, samozhutnitelných betonů, prefabrikátů, předpjatého betonu, a hlavně lehkých betonů u průmyslových podlah.

Hlavním důvodem pro výběr tohoto přípravku je jeho pozitivní ovlivnění konečné pevnosti vyzrálého betonu. Skladován byl v uzavřeném plastovém obalu v místnosti, kde minimální teplota neklesla pod + 5 °C a maximální teplota nepřesáhla + 30°C.

3.3.8.2 SikaViscoCrete -20 Gold CZ

SikaViscoCrete -20 Gold CZ je vysoce účinný superplastifikátor s vysokými počátečními pevnostmi, vhodný především pro výrobu prefabrikátů, pro betony s prodlouženou dobou zpracovatelnosti, pro betony s redukováním vyztužením, pro velmi tekuté betony (konzistence F4-F6) a pro samozhutnitelné betony.



Obr. 21: Superplastifikátor SikaViscoCrete -20 Gold CZ

Mezi hlavní výhody patří:

- zplošuje dispergaci a smáčení zrn cementu
- snižuje třecí síly mezi zrny cementu a kameniva
- snižuje množství záměsové vody
- prodlužuje dobu zpracovatelnosti
- zlepšuje zpracovatelnost při stejném vodním součiniteli
- snižuje vodní součinitel při zachování stejné zpracovatelnosti
- zpomaluje průběh tuhnutí - nižší intenzita hutnění
- vyšší homogenita betonu
- vyšší počáteční a konečné pevnosti v tlaku
- zvyšuje životnost
- snižuje smrštění a dotvarování
- výrazně zlepšuje kvalitu povrchu betonu – pohledové betony

Při výrobě se doporučuje přidávat tento superplastifikátor přímo do betonu během míchání a před přidáním dalších přísad. Minimální doba míchání závisí na typu míchačky, minimálně však 5 minut na celkové množství. Hodnota dávkování se uvádí 0,2- 0,25 % z hmotnost cementu.

3.3.8.3 Syntetická pryskyřice Planicrete MAPEI

Syntetická pryskyřice Planicrete MAPEI je speciální syntetický elastomer ve vodní disperzi. Jedná se o velmi tekutý bílo-zelený latex, který po smíchání s kamenivem a portlandským cementem zlepšuje plasticitu cementových směsí, schopnost zadržovat vodu a celkovou zpracovatelnost. Po konečném vytvrzení a vyzrání cementové směsi s obsahem Planicrete MAPEI, zkušební vzorky vykazují vyšší pevnost v tahu za ohybu, ale také přídržnost ke všem povrchům, vyšší deformační schopností a odolnosti proti kyselinám, hydroxidům, solným roztokům a olejům.



Obr. 22: Tekutá pryskyřice Planicrete MAPEI

Planicrete se využívá především pro cementové potěry vysoké mechanické pevnosti v exteriéru i interiéru, přidává se do cementových malt pro pokládku keramických obkladů a dlažeb a také do vysokopevnostních cementových omítek v interiéru i exteriéru. Dále se dá



využít a aplikovat jako kotevní můstek při provádění potěrů a omítek kotvených ke stávajícímu podkladu. V neposlední řadě se využívá pro cementové malty pro konečnou úpravu povrchů vystavených silnému provoznímu zatížení abrazi, jako jsou průmyslové podlahy, rampy, žlaby a další.

3.4 Výroba výplňové malty

3.4.1 Návrh složení

Vývoj návrhu složení jednotlivých směsí byl poněkud složitý. Bylo potřeba dbát na mnoho faktorů, které ovlivňovaly zpracovatelnost a samozřejmě i konečné pevnosti. První návrh byl proveden po vzoru směsi používané ve světě. Výrobci ovšem nikdy neuveřejní přesné složení, proto bylo potřeba danou směs prozkoušet v menším množství pouze na referenční směsi.

Jako hlavní kritéria byla uvažována pevnost v tahu ohybem, pevnost v tlaku a tekutost směsi měřená trychtýřovou zkouškou.

Tab. 16: Složení první navrhované směsi

Složky	hmotnost (g)
Písek 01/06	450
CEM II 32,5 R	900
mikromletý vápenec	350
Sika ViscoCrete 2700	15
Stabilan DC-1	15
Voda	300

Směs uvedená v tabulce č.16 vykazovala již po 7 dnech pevnosti v tahu ohybem v rozmezí od 9 do 13 MPa a pevnosti v tlaku v rozmezí od 46 do 66 MPa. Obě dvě pevnosti tak výrazně překročily požadované a normou předepsané limitní hodnoty.

Díky zjištění vysokých pevností bylo spočítáno potřebné množství směsi pro všechny vyráběné zkušební vzorky a namíchána srovnávací směs a jedna varianta s náhradou cementu – jmenovitě místo cementu byl použit Dastit UX, který nahradil cement v 25 % hmotnosti (Tab. 16). [29]

Tab. 17: Směsi pro první výrobu zkušebních vzorků



6,5 litru směsi	referenční směs	Dastit UX
Písek 01/06	2925	2925
CEM II 32,5 R	5850	4387,5
mikromletý vápenec	2275	2275
Sika ViscoCrete 2700	97,5	97,5
Stabilan DC-1	97,5	97,5
Voda	1950	1950
Dastit UX	0	1462,5

Obě tyto směsi (tab. č.17) velmi výrazně překročily limit pro tekutost výplňové malty zkoušené trychtýřovou metodou. Limit 40 vteřin obě směsi překročily několikrát. U referenční směsi bylo naměřeno 205 vteřin, u směsi Dastit UX bylo naměřeno dokonce 306 vteřin. Takto vysoké hodnoty tekutosti patrně způsobilo velmi vysoké množství cementu a malé množství vody.

Z těchto důvodů byla navržena další, již vědecky upravená směs – jak referenční, tak i s dalšími náhradami. Náhrada cementu byla provedena ve třech hodnotách – 5, 15 a 25 % hmotnosti z celkového množství cementu. V tabulkách č.18, 19 a 20 jsou uvedena složení směsí při použití tří typů náhrad – Dastit UX a dva druhy popílků.

Tab. 18: Složení směsí při 5 % hmotnostní náhrady cementu

6,5 litru směsi	referenční směs	Dastit UX	Tisová	Hodonín
Písek 01/06	2275	2275	2275	2275
CEM II 32,5 R	2600	2470	2470	2470
mikromletý vápenec	5850	5850	5850	5850
Sika ViscoCrete 2700	30	30	30	30
Stabilan DC-1	50	50	50	50
Voda	2325	2600	2700	2800
Dastit UX	0	130	0	0
Tisová	0	0	130	0
Hodonín	0	0	0	130

Tab. 19: Složení směsí při 15 % hmotnostní náhrady cementu

6,5 litru směsi	referenční směs	Dastit UX	Tisová	Hodonín
Písek 01/06	2275	2275	2275	2275
CEM II 32,5 R	2600	2210	2210	2210
mikromletý vápenec	5850	5850	5850	5850
Sika ViscoCrete 2700	30	30	30	30
Stabilan DC-1	50	50	50	50
Voda	2325	2750	2775	2850



Dastit UX	0	390	0	0
Tisová	0	0	390	0
Hodonín	0	0	0	390

Tab. 20: Složení směsí při 25 % hmotnostní náhrady cementu

6,5 litru směsi	referenční směs	Dastit UX	Tisová	Hodonín
Písek 01/06	2275	2275	2275	2275
CEM II 32,5 R	2600	1950	1950	1950
mikromletý vápenec	5850	5850	5850	5850
Sika ViscoCrete 2700	30	30	30	30
Stabilan DC-1	50	50	50	50
Voda	2325	2850	2850	2900
Dastit UX	0	650	0	0
Tisová	0	0	650	0
Hodonín	0	0	0	650

Z tabulek uvedených výše lze dále vyčíst, že množství vody značně kolísá při použití jednotlivých popílků. Tento trend nárůstá s procentem náhrady cementu. Zkouška tekutosti u všech směsí proběhla dle předpokladů a normou předepsaný limit 40 vteřin byl dodržen.

Dalším postupem bylo využití tekuté pryskyřice ve směsi. Kostra směsi zůstala stejná, jen se do přísad přidala tekutá pryskyřice Mapei. Množství pryskyřice bylo určeno dle technologického listu a doporučení od výrobce. Složení směsí je uvedeno v tabulce č.21.

Tab. 21: Složení směsí s přidáním tekuté pryskyřice

6,5 litru směsi	referenční směs	Tisová 5	Tisová 15	Tisová 25
Písek 01/06	2275	2275	2275	2275
CEM II 32,5 R	2600	2470	2210	1950
mikromletý vápenec	5850	5850	5850	5850
Sika ViscoCrete 2700	30	30	30	30
Stabilan DC-1	50	50	50	50
Voda	2175	2650	2700	2750
Tekutá pryskyřice Mapei	350	350	350	350
Popílek Tisová	0	130	390	650

K vyšetření vlivu tekuté pryskyřice na reologii směsí byla využita směs s popínkem z Tisové, kterého bylo pro účely disertační práce k dispozici nejvíce. Tím vznikly další 3 směsí ovlivněné tekutou pryskyřicí.



Tekutá pryskyřice ovlivnila množství vody ve směsi. Tekutost byla dodržena i s menším množstvím vody ve směsi.

Dalším dílčím cílem výroby a návrhu směsi byla náhrada cementu recyklovaným betonem. [24] Na základě výsledků směsí s Dastitem a popílkou, kdy nejlépe vycházely směsi s množstvím náhrady 5 a 15 %, byly upraveny náhrady cementu recyklovaným betonem na 5, 10 a 15 % hmotnosti cementu. Kvůli předpokladu dodatečné hydratace nezhydratovaných zrn v recyklátu byla ponechána i varianta s 25 % náhrady. Složení směsí je uvedeno v tabulce č.22.

Tab. 22: Složení směsí s přidáním betonového recyklátu

6,5 litru směsi	Recyklát 5	Recyklát 10	Recyklát 15	Recyklát 25
Písek 01/06	2275	2275	2275	2275
CEM II 32,5 R	2470	2340	2210	1950
mikromletý vápenec	5850	5850	5850	5850
Sika ViscoCrete 2700	30	30	30	30
Stabilan DC-1	50	50	50	50
Voda	2225	2350	2400	2450
Recyklát	130	260	390	650

Posledním krokem návrhu směsí a postupu výzkumu byla kombinace využití betonového recyklátu a tekuté pryskyřice. Kvůli finanční úspoře a nedostatku betonového recyklátu byly navrženy pouze 2 směsi s největším potenciálem ke splnění všech sledovaných normových parametrů. Dle výsledků předešlých směsí byly vybrány náhrady v množství 10 a 15 % hmotnosti cementu. Složení směsí je uvedeno v tabulce č.23.

Tab. 23: Složení směsí s přidáním recyklátu i pryskyřice

6,5 litru směsi	Recyklát 10	Recyklát 15
Písek 01/06	2275	2275
CEM II 32,5 R	2340	2210
mikromletý vápenec	5850	5850
Sika ViscoCrete 2700	30	30



Stabilan DC-1	50	50
Voda	2375	2400
Tekutá pryskyřice Mapei	350	350
Recyklát	260	390

3.4.2 Způsob výroby

Při výrobě betonových směsí platí určité zásady. Mezi nejdůležitější z nich, které mohou velmi ovlivit vlastnosti hotové betonové směsi, jsou pořadí přidávání jednotlivých složek do míchacího zařízení, přesnost dávkování jejich množství a celková doba míchání.

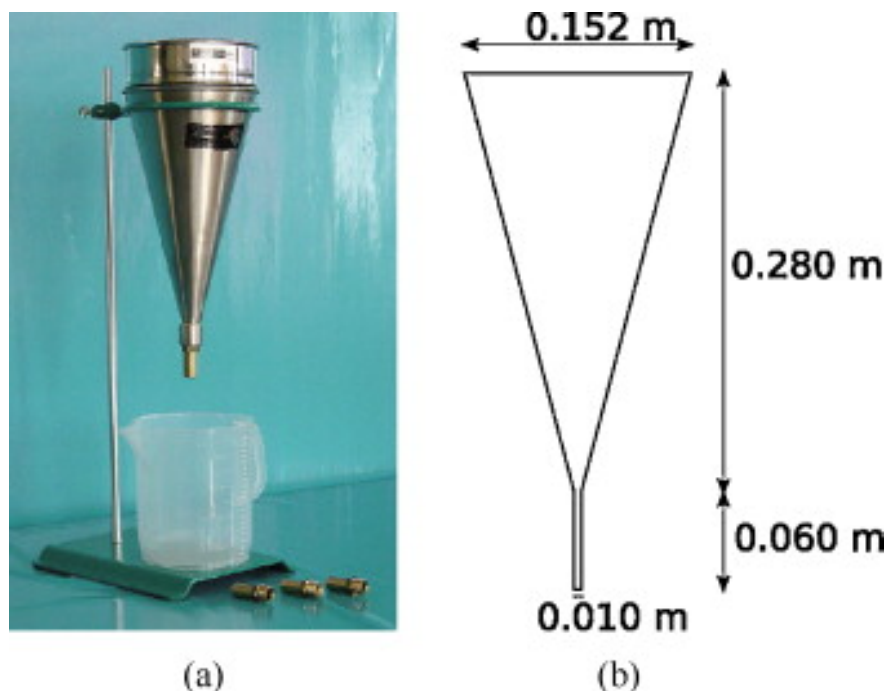
Po navážení jednotlivých složek dané betonové směsi s přesností na jeden gram, bylo vyrobeno 6,5 litru směsi ke zpracování. Pořadí míchání složek bylo následující – nejprve byl smíchán cement s pískem frakce 01/06 a mikromletým vápencem. Poté se přidaly veškeré příměsi a třetina z celkového množství vody. Tato prozatímní směs se nechala promíchat přesně po dobu 2 minut. Jakmile došlo k promíchání, přidaly se přísady a po částech se přilévala zbylá voda. Celková doba míchání byla přibližně 10 minut. [11, 39]

3.5 Trychtýřová zkouška

Tekutost injektážní malty je vyjádřena dobou v sekundách nutnou k průtoku stanoveného množství injektážní malty (1 litr) otvorem trychtýře za stanovených podmínek (viz kapitola 1.5.2 a tabulka č.8).

Pro zkoušku se vyžaduje následující zařízení:

- trychtýř, jehož rozměry jsou uvedeny na obrázku 15b, povrch trychtýře musí být z hladkého nenasákavého materiálu, objem trychtýře musí být $1,7 \pm 0,17$ litru,
- stopky umožňující měření s přesností na 0,1 s,
- odměrný válec o objemu nejméně 1 litr s průměrem asi 60 mm,
- teploměr



Obr. 23: a) Použití trychtýře, b) Rozměry trychtýře

3.5.1 Zkušební postup

Trychtýř se připraví tak, aby měl svou svislou osu a jeho největší průměr byl nahoře. V této poloze se pevně zajistí. Během zkoušky je nutno vyloučit jakékoli vibrace trychtýře. Pod výtok trychtýře se umístí odměrný válec. Všechny vnitřní plochy trychtýře musí být čisté a před zkouškou navlhčené, ale bez přebytečné vody na povrchu. Spodní výtok trychtýře se uzavře.

Do konické části trychtýře se nalije injektážní malta. Injektážní malta se plní pomalu, aby se zabránilo vytvoření vzduchových bublin. Po naplnění konické části trychtýře injektážní maltou se otevře dolní otvor trychtýře a současně se spustí stopky. Zjistí se čas, zaokrouhlený na 0,5 sekundy výtok 1 litru injektážní malty do odměrného válce. Požadavek normy na výtok 1 litru směsi je 40 vteřin. Pokud se požadují další zkoušky injektážní malty, musí se malta dál promíchávat.



Obr. 24: Zapůjčený trychtýř od firmy Eurovia

3.6 Výroba zkušebních těles

Pro potřebu zkoušek materiálových parametrů bylo vyrobeno několik druhů vzorků. Nutnost podstoupit zkoušky v tlaku, v tahu ohybem, zkoušku tekutosti a odolnosti proti chemickým rozmrazovacím látkám předepisuje norma ČSN 73 6127 – 3 *Stavba vozovek – Prolévané vrstvy – Část 3: Asfaltocementový beton*.

Pro zkoušky pevnosti v tahu ohybem a pevnosti v tlaku byly vyrobeny trámečky o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Z každé záměsi bylo vyrobeno 6 trámečků, na kterých se provedla zkouška pevnosti v tahu ohybem v daných časových intervalech. Zkouška pevnosti v tlaku byla prováděna na zbytcích trámečků po zkoušce pevnosti v tahu ohybem. Díky vysoké tekutosti všech záměsí bylo potřeba všechny výrobní formy na trámečky opatřit po obvodě modelínou, aby nedošlo k úniku cementové malty a následnému vylití. [44, 45]



Obr. 25: Připravená oblepená forma na výrobu trámečků



Obr. 26: Vylitá forma cementovou maltou

Pro zkoušky odolnosti proti chemickým rozmrazovacím látkám bylo vyrobeno po třech kusech z každé záměsi. Tyto vzorky byly vyrobeny ve tvaru válce o průměru 150 mm a výšce 50 mm. Po 28 dnech byly všechny vzorky odbedněny. Následně byla tělesa opatřena vodotěsnou objímkou. Jako objímka byl použit vyříznutý pruh z automobilové

vzdušnice pneumatiky. Na horní hranu vzorku, na který byla nasazena objímka, se nanese nejméně dva nátěry kaučukového lepidla. Na část gumové objímky, která bude v dotyku se zkušebním tělesem, se nanese jeden nátěr kaučukového lepidla. Po provedení posledního nátěru lepidla na zkušební těleso se na něj ihned navlékne gumová objímka se zaschlým lepidlem. Následně se přitáhne k boku zkušebního tělesa pomocí kovové stahovací objímky. Před zmrazováním se na těleso nalije voda, která se na něm ponechá nejméně 2 dny. Tato doba slouží zároveň k prověření vodotěsnosti objímky. Dál už se přistupuje k procesu zmrazování.

Pro ověření tekutosti všech navržených záměsí byla Marshallova tělesa prolita cementovou maltou. Po zalití byla tělesa lehce zavibrována pro odstranění vzduchových bublin. I zde bylo riziko úniku cementové malty. Proto byla Marshallova tělesa před prolitím oblepena průhlednou páskou.



Obr. 27: Prolitá Marshallova tělesa

3.7 Legislativa pro výrobu a zkoušení vzorků

3.7.1 Tvar a rozměry zkušebních těles

Česká verze evropské normy EN 445:2007 stanovuje tvar, rozměry a tolerance vyráběných betonových zkušebních těles ve tvaru hranolů a forem požadovaných při jejich výrobě. [51]

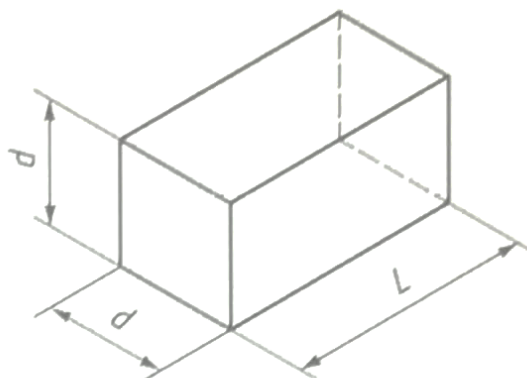
Termíny a definice

- jmenovitý rozměr – běžně používaný rozměr tělesa
- zvolený rozměr – velikost tělesa v milimetrech, vybrána a deklarována uživatelem této normy z přístupného rozsahu jmenovitých rozměrů

Tvar, rozměry a tolerance zkušebních těles – hranoly

Pro každý tvar zkušebního tělesa se zvolí jmenovitý rozměr d (Obr. 28) tak, aby byl nejméně triapůlkrát větší, než je maximální zrno kameniva.

- Jmenovité rozměry



$d, \text{ mm}$	100	150	200	250	300
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----

Obr. 28: Hranol – jmenovité rozměry zkušebních těles (převzato z [51])

- Zvolené rozměry



Zvolené rozměry se mohou lišit od jmenovitých v rozsahu $\pm 10\%$.

- Tolerance

- Tolerance rozměrů povrchů, které byly ve formě je $1,0\%$ od zvoleného rozměru (d).
- Tolerance rozměrů hlazeného povrchu a spodního povrchu z formy je od zvoleného rozměru $1,5\%$.
- Tolerance kolmosti stran hranolu vzhledem ke spodnímu povrchu ve formě je $0,5\text{ mm}$.
- Tolerance přímosti povrchů stran, které budou ve styku s válečky při zkoušce pevnosti v tahu za ohybu je $0,2\text{ mm}$.

Pro zkušební tělesa, která budou použita pro zkoušky pevnosti v příčném tahu je tolerance přímosti zatěžovacího povrchu $0,2\text{ mm}$. [51]

- Měření rozměrů a tvaru zkušebních těles

Pokud zkušební tělesa nemají v záznamu o zhotovení uvedeno, že byla vyrobena v kalibrovaných formách, musí být změřena pro kontrolu shody s požadavky z této normy. [51]

3.7.2 Zkoušky pevností a tekutosti směsí

Při laboratorních experimentech byly provedeny dvě základní zkoušky pevnosti, a to zkouška pevnosti v tahu ohybem a zkouška pevnosti v tlaku. Pro zkoušku tekutosti bude prováděná trychtýřová zkouška.

3.7.3 Zkouška pevnosti v tahu ohybem

Podstata zkoušky

Hranolová zkušební tělesa jsou vystavena ohybovému momentu od zatížení přenášeného prostřednictvím horních zatěžovacích a spodních podpěrných válečků (tzv. tříbodový ohyb). Největší dosažené zatížení se zaznamenává a vypočte se pevnost v tahu ohybem. [52]

Zkušební zařízení

- Zkušební lis

Zkouška se provádí na zkušebním lisu, který vyhovuje ČSN EN 12390-4.

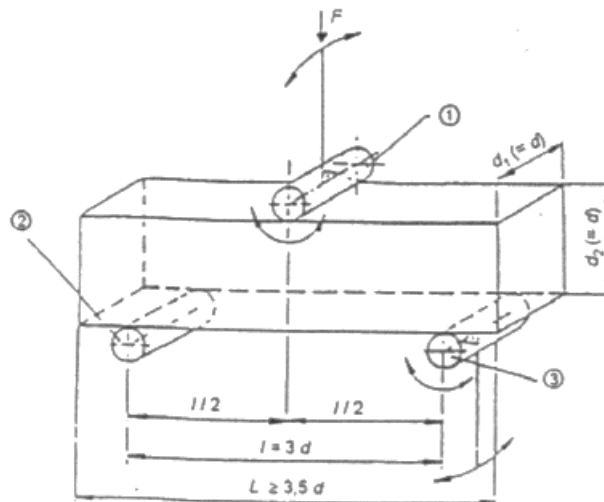
- Zatěžování

Zařízení pro zatěžování podle obr. 29 se musí sestávat z/ze:

- dvou podpěrných válečků;
- jednoho horního zatěžovacího válečku, kloubově připojeného k příčnému závěsu.

Všechny válečky musí být vyrobené z oceli s kruhovým průřezem o průměru 20 mm až 40 mm. Musí být nejméně o 10 mm delší, než je šířka zkušebního tělesa. [52]

Vzdálenost mezi podpěrnými válečky (tj. rozpětí) musí být rovna $3d$, kde d je šířka tělesa. Zatěžovací váleček musí být umístěn uprostřed mezi podpěrnými válečky, jak je vidět na obr. 29. Všechny válečky musí být osazeny v polohách, uvedených na obr. 29 a to s přesností $\pm 2,0$ mm. [52]



Obr. 29: Uspořádání zatěžování zkušebního tělesa tříbodým ohybem (převzato z [52])

Zkušební tělesa

- Všeobecně

Zkušební tělesa musí být hranoly, vyhovující ČSN EN 12390-1. Tělesa zhotovená ve formách musí vyhovovat ČSN EN 12350-1 a ČSN EN 12390-2. Směr ukládání betonu musí být označen na tělese. [52]

Lze také zkoušet vyřazená zkušební tělesa, která vyhovují požadavkům ČSN EN 12390-1.

Zkušební tělesa musí být zkontrolována a jakékoliv odchylky musí být zaznamenány.



- Úprava zkušebních těles

Pokud rozměry nebo tvary zkušebních těles nevyhovují požadavkům uvedené v ČSN EN 12390-1, protože jsou překročeny dovolené odchylky, musí se zkušební tělesa vyřadit nebo upravit. Vzorky lze následně upravit zbrúšením nerovných ploch a odchylky úhlů se musí upravit odřezáním nebo zbrúšením. [52]

Zkušební postupy

- Příprava a usazení těles

Otřou se všechny dotykové plochy lisu a odstraní se všechny zbytky písku nebo jiného uvolněného materiálu z povrchů tělesa, které budou ve styku s válečky.

Z povrchu těles, která byla ošetřena ve vodě, se otře voda před jejich vložením do zkušebního lisu.

Těleso se do lisu umístí centricky, podélnou osou kolmo k podélným osám horních a dolních válečků.

Je nutno zajistit, aby referenční směr zatěžování byl kolmý na směr ukládání betonu zkušebního tělesa.

Výsledek může být ovlivněn, jestliže směr zatěžování je rovnoběžný se směrem ukládání betonu. [52]



Obr. 30: Zařízení pro zkoušku pevnosti v tahu ohybem - MTS

- Zatěžování

Zatěžování se nesmí zahájit, dokud všechny zatěžovací a podpěrné válečky nespočívají rovnoměrně na zkušebním tělese.

Nastaví se konstantní rychlost zatěžování v rozsahu od 0,04 MPa (N/mm².s) do 0,06 MPa/s (N/mm².s). Po počátečním působení zatížení, nepřesahujícím asi 20 % předpokládaného zatížení při porušení, se zatěžuje plynule, bez nárazu, a zatížení se nepřetržitě zvyšuje stanovenou konstantní rychlostí ± 1 % až do porušení. [52]

Požadovaná rychlost zatěžování ve zkušebním lisu je dána následujícím vztahem

$$R = \frac{2d_1d_2^2s}{3l}$$

kde R - požadovaná rychlost zatěžování, v MPa (N/mm².s);

s - přírůstek napětí, v MPa/s (N/mm².s);

l - vzdálenost mezi podpěrnými válečky, v mm;

d_1 a d_2 - rozměry příčného řezu tělesa, v mm (viz obr. 29).

Pokud se používá zkušební lis ručně ovládaný, je třeba upravovat vhodným kontrolním zařízením tendenci ke snižování stanovené rychlosti zatěžování před porušením tělesa.[52]

Zaznamenává se dosažené maximální zatížení.





Obr. 31: Použitý nástavec v přístroji MTS na zkoušku pevnosti v tahu ohybem

Vyjádření výsledků

Pevnost v tahu ohybem je dána následujícím vztahem:

$$f_{cf} = \frac{1,5Fl}{d_1 d_2^2}$$

kde f_{cf} - pevnost v tahu za ohybu, v MPa (N/mm²);

F - maximální zatížení, v N;

l - vzdálenost mezi podpěrnými válečky, v mm;

d_1 a d_2 - rozměry příčného řezu tělesa, v mm (viz obr. 29).

Pevnost v tahu ohybem se zaokrouhlí na nejbližší 0,1 MPa (N/mm²) [52]

3.7.4 Zkouška pevnosti v tlaku

Podstata zkoušky

Zkušební tělesa jsou zatěžována až do porušení ve zkušebním lisu, který vyhovuje ČSN EN 12390-4. Maximální zatížení při rozdrčení tělesa se zaznamená a vypočte se pevnost betonu v tlaku. [53]

Zkušební zařízení

Zkouška se provádí na zkušebním lisu, který vyhovuje ČSN EN 12390-4.

Zkušební tělesa

- Požadavek

Zkušební těleso musí být krychle, válec nebo vývrt, vyhovující požadavkům ČSN EN 12350-1, ČSN EN 12390-1, ČSN EN 12390-2 nebo ČSN EN 12504-1. [53, 63]

- Úprava zkušebních těles

Pokud rozměry nebo tvary zkušebních těles nevyhovují požadavkům uvedeným v ČSN EN 12390-1, protože jsou překročeny dovolené odchylky, musí se zkušební tělesa vyřadit nebo upravit. [53]

Zkušební postup

- Příprava a usazení zkušebních těles

Otřou se dotykové plochy tlačných desek lisu a odstraní se všechny zbytky písku nebo jiného uvolněného materiálu z povrchu zkušebního tělesa na plochách, které budou v dotyku s tlačnými deskami. [27, 53]

Mezi těleso a tlačné desky zkušebního lisu se nesmí použít žádná podložka, kromě přídavných desek nebo středících bloků (viz ČSN EN 12390-4).

Z povrchu ploch se otre voda před vložením zkušebních těles do zkušebního lisu.

Krychle se osadí tak, aby směr zatěžování byl kolmý na směr ukládání betonu.

Těleso se umístí na střed spodní tlačné desky s přesností na 1 % určené velikosti krychle nebo průměru zkušebních válců.

Jestliže jsou používány přídavné desky, musí se osadit na spodní i horní plochu zkušebního tělesa.

Pokud se používá zkušební lis se dvěma sloupy, má se zkušební krychle osadit plochou, která byla urovnaná hladítkem, směrem ke sloupu. [53]



Obr. 32: Zkouška pevnosti v tlaku na zbytcích trámečků

- Zatěžování

Nastaví se konstantní rychlost zatěžování od $0,6 \pm 0,2$ MPa/s ($N/mm^2 \cdot s$). Po nastavení počátečního zatížení, které přibližně není větší než 30 % zatížení při porušení, se zatěžuje

plynule, bez nárazu, a nepřetržitě se zvyšuje zatížení stanovenou konstantní rychlostí s přípustnou odchylkou $\pm 10\%$ až do porušení. [53]

Pokud se používá zkušební lis ručně ovládaný, je třeba upravovat vhodným kontrolním zařízením tendenci ke snižování stanovené rychlosti zatěžování před porušením tělesa.

Zaznamená se dosažené maximální zatížení v kN.

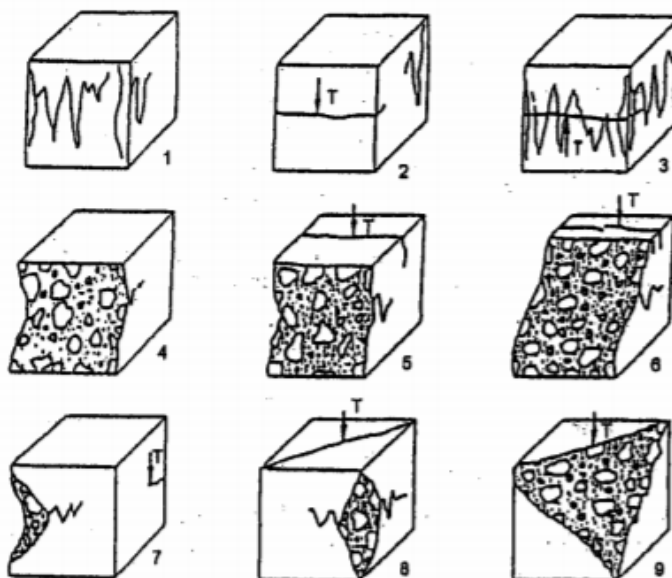
- Posouzení způsobu porušení

Příklady porušení zkušebních těles pro krychle jsou uvedeny na obr. 33 a ukazují vyhovující způsoby porušení. [15]

Příklady nevyhovujícího způsobu porušení zkušebních těles pro krychle jsou uvedeny na obr. 34. Příčiny nevyhovujícího způsobu porušení mohou být nedostatečná pečlivost při postupu zkoušení, zvláště při osazení zkušebního tělesa nebo chyba vyvolaná zkušebním lisem. [53]



Obr. 33: Vyhovující způsoby porušení zkušebních krychlí [53]



Obr. 34: Některé nevyhovující způsoby porušení zkušebních krychlí [53]

- Vyjádření výsledků

Pevnost v tlaku je dána následujícím vztahem:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

kde f_c - pevnost v tlaku v MPa (N/mm²);

F - maximální zatížení při porušení zkušebního tělesa, v N;

A_c - průřezová plocha zkušebního tělesa, na kterou působí zatížení v tlaku, vypočtená ze jmenovité velikosti tělesa nebo ze změřených rozměrů tělesa, v mm².

Pevnost v tlaku se zaokrouhlí na nejbližších 0,1 MPa (N/mm²). [55]

3.7.5 Trychtýřová zkouška

Princip zkoušky

Tekutost injektážní malty, je vyjádřena dobou v sekundách, nutnou pro průtok stanoveného množství injektážní malty (1 litru) otvorem trychtýře za stanovených podmínek. [54]

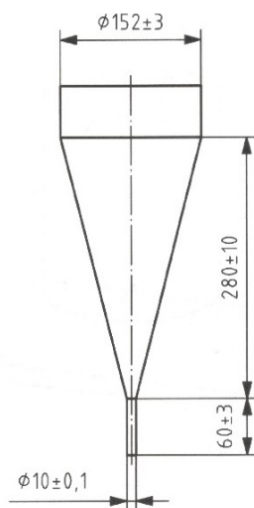
Zkušební zařízení

Pro zkoušku se vyžaduje následující zařízení:

- a) trychtýř, rozměry jsou uvedeny na obr. 35, povrch trychtýře musí být z hladkého nenasákavého materiálu, objem trychtýře (s vyloučením válcových částí nahoře a dole) musí být $(1,7 \pm 0,17)$ litru.

Rozměry jsou v milimetrech

Rozměry jsou vnitřní



Obr. 35: Rozměry trychtýře pro zkoušku tekutosti [53]

- b) stopky, umožňující měření s přesností na 0,1 s.
c) odměrný válec o objemu nejméně 1 litr s průměrem asi 60 mm.
d) teploměr. [54]

Zkušební postup

- Příprava zkoušky

Trychtýř byl připraven tak, aby měl svou osu svislou a jeho největší průměr nahoře a v této poloze se pevně zajistil. Během zkoušky bylo nutno vyloučit vibrace trychtýře. Pod výtok trychtýře se umístil odměrný válec. Všechny vnitřní plochy trychtýře musely být čisté a před zkouškou navlhčené, ale bez přebytečné vody na povrchu. Spodní výtok trychtýře se uzavřel. [54]

- Postup zkoušky

Do konické části trychtýře se nalila cementová směs. Cementová směs se plnila pomalu, aby se zabránilo vytvoření vzduchových bublin. Po naplnění konické části trychtýře cementovou směsí se otevřel dolní otvor trychtýře a současně se spustily stopky. Zjistí se čas,

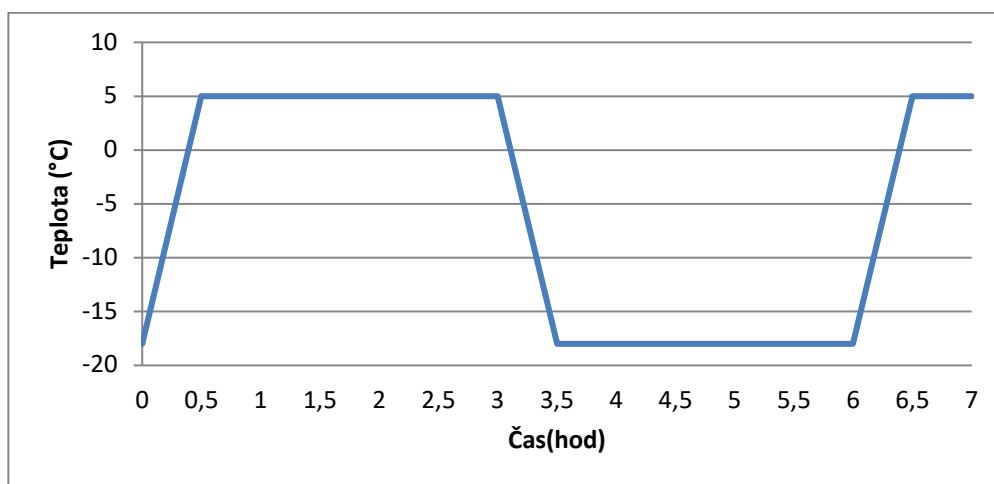
zaokrouhlený na 0,5 sekundy výtoku 1 litru cementové směsi do odměrného válce. Pokud se požadují další zkoušky cementové směsi, musí se směs promíchat. [54]

- Záznam výsledků

Zaznamená se zjištěný čas ve vteřinách. [54]

3.7.6 Odolnost proti CHRL

Na připravené vzorky se nalije 3% roztok NaCl v tloušťce vrstvy přibližně 5 mm a vloží se do klimatizační komory. Teplota cirkulujícího vzduchu se pak mění cyklicky dle schématu na obr. 36. Po 25 šestihodinových cyklech se tělesa vyjmou z klimatizační komory. Slaný roztok se opatrně slijí a uvolněné částice betonu se splaví do předem připravené misky. Omytý povrch zkušební tělesa se okartáčuje tvrdším kartáčem a znovu omyje. Z mísy se opatrně slijí voda a částice betonu se splaví do odpařovací misky předem zvážené a označené číslem zkoušeného zkušební tělesa. Odpařovací miska se vloží do sušárny, ve které se udržuje teplota 105°C. [25]



Obr. 36: Teplotní cyklus během zkoušení vzorků na odolnost proti CHRL

Na omyté zkušební těleso se opět nalije voda. Po 24 hodinách se voda slijí a na povrch zkušební tělesa se nalije znovu 3% roztok NaCl. Celý proces se tak znovu opakuje. [40]

Na obrázcích 37 a 38 jsou vidět připravené vzorky před zmrazovacími cykly. Na obrázcích 39 a 40 je vidět odpad, který vznikl působením chemických rozmrazovacích látek v nízkých teplotách.



Obr. 37: Zabalené vzorky v mrazicí komoře před prvními 25 cykly



Obr. 38: Připravené vzorky k mrazicímu zařízení na druhých 25 cyklů



Obr. 39: Povrchová krusta, která odpadla po prvních 25 cyklech



Obr. 40: Vysušený zbytek z prvních 25 cyklů

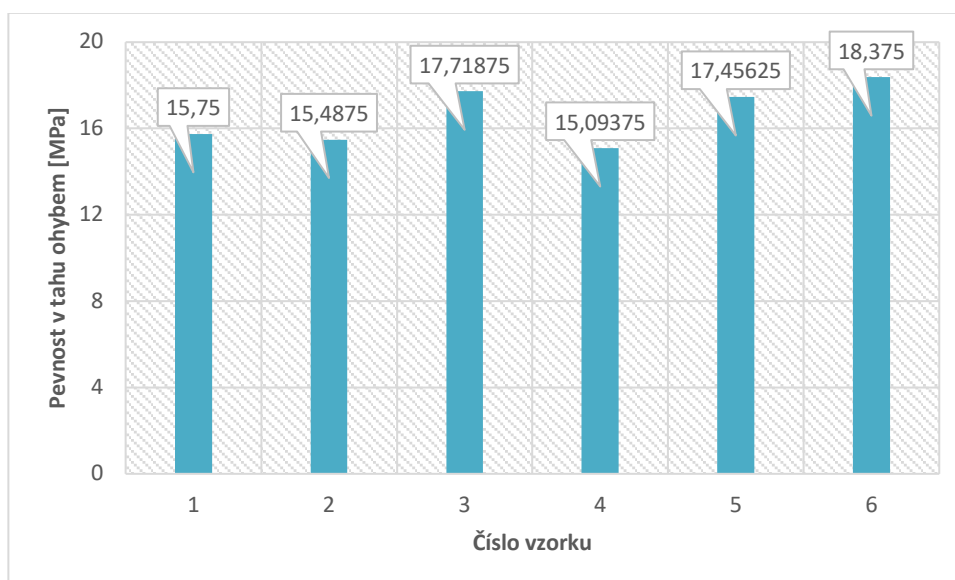
4 Výsledky experimentální části

V této části jsou uvedeny výsledky ze všech experimentů. Postupně jsou zmíněny pevnosti v tahu ohybem, pevnosti v tlaku, tekutost směsí, odolnost proti chemickým rozmrazovacím látkám a pevnost výsledného asfaltocementového kompozitu. Pro detailnější popis vlastností jednotlivých směsí jsou uvedeny vodní součinitele, dle návrhu a reálného stavu při výrobě. Na konci této kapitoly jsou ještě pro názornost doloženy řezy výslednými kompozity, pro potvrzení tekutosti směsí.

4.1 Pevnost výplňové malty v tahu ohybem

Dle návrhu směsi byla podrobena první pilotní série vzorků zkoušce pevnosti v tahu ohybem. Výsledky zkoušek ukázaly (Obr. 41), že směs je předdimenzovaná a pro účely tohoto experimentu postačí jednodušší směs s nižšími pevnostmi.

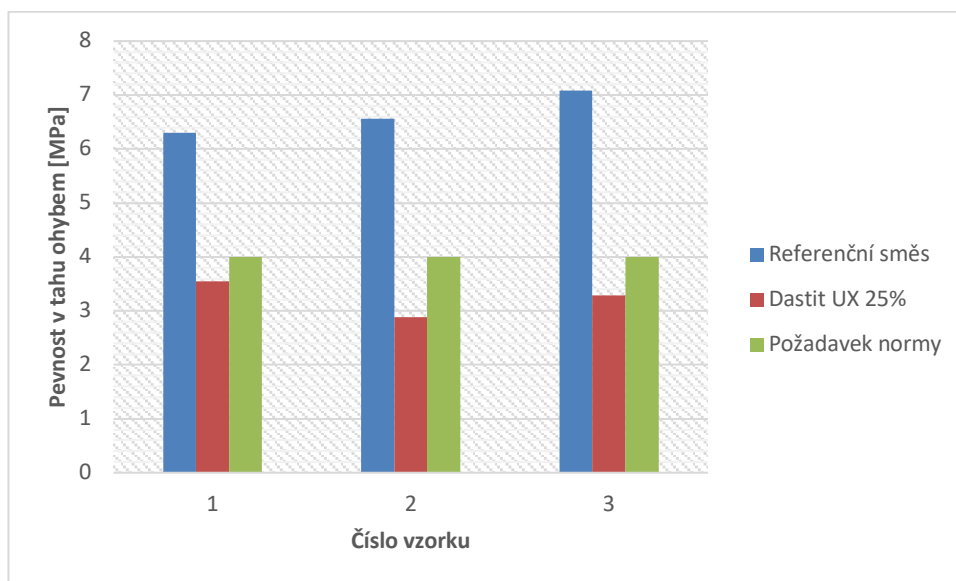
Dvě série po třech trámečcích vykázaly výsledky, které několikanásobně převýšily požadavky normy. Ta stanovuje pevnost v tahu ohybem na minimální hranici 4 MPa. Pilotní směs vykázala v průměru 16,64 MPa. Proto následně došlo k úpravě návrhu směsi.



Obr. 41: Pevnosti v tahu ohybem u pilotní směsi experimentu

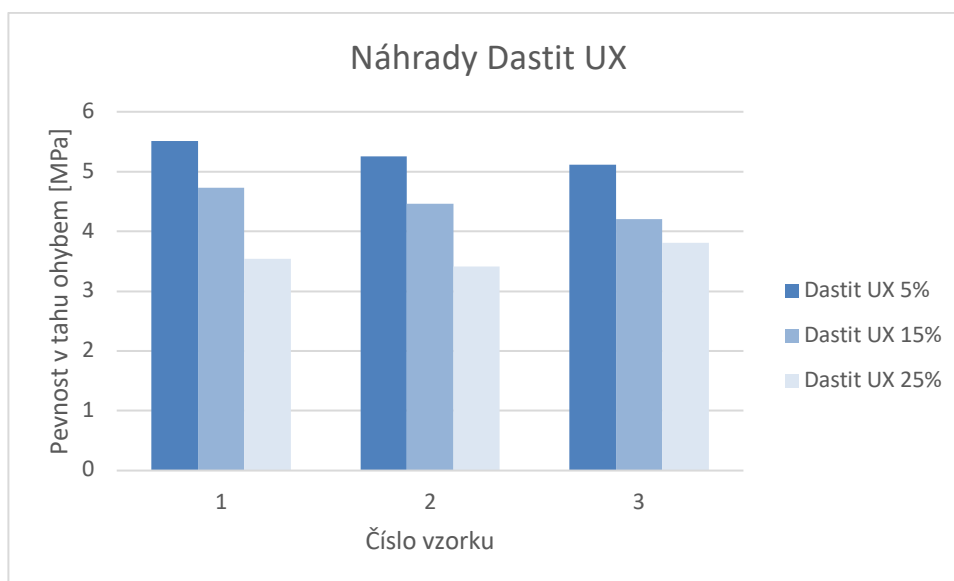
V další fázi došlo k výrobě nových vzorků upravené referenční směsi. K tomu se vyrobila jedna směs s náhradou cementu ve výši 25 % hmotnosti Dastitem UX. Výsledky jsou uvedeny na Obr. 42 i s porovnáním požadované hodnoty normou.

Referenční směs již vykázala dostačující výsledky pro další ladění. Náhrada 25 % cementu Dastitem UX těsně normovým požadavkům nevyhověla.

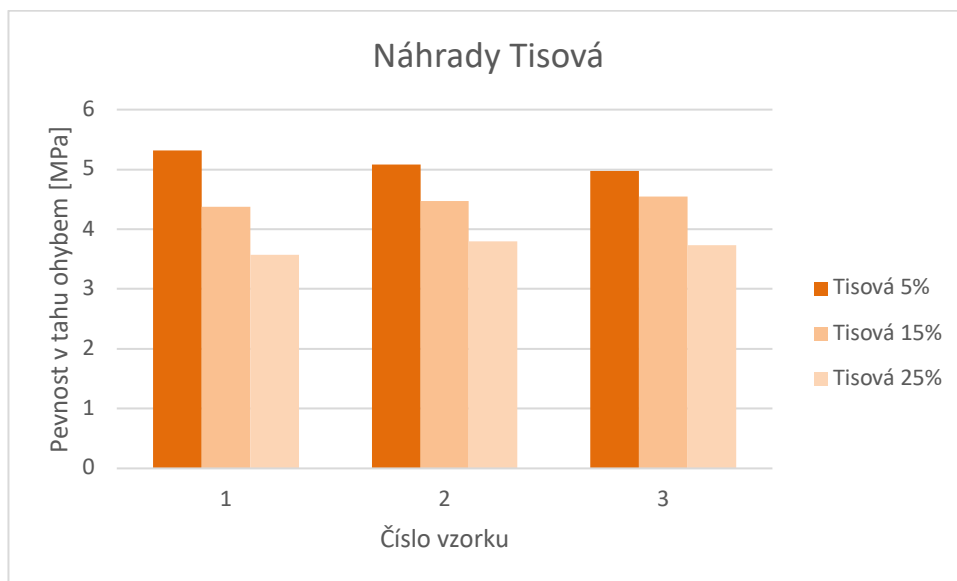


Obr. 42: Pevnosti v tahu ohybem po první úpravě návrhu směsi

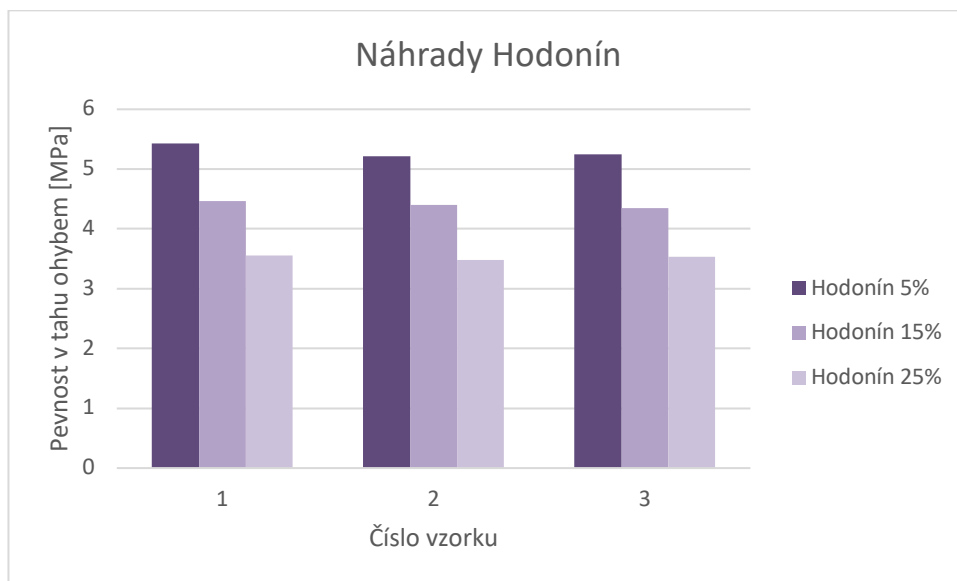
Z takto upravené referenční směsi (viz výsledky z Obr. 42) se vycházelo pro další zkoumání náhrady cementu Dastitem a popílkou ve třech hodnotách – 5, 15 a 25 % hmotnosti cementu. Výsledky jsou zobrazeny na Obr. 43, 44 a 45.



Obr. 43: Porovnání pevností v tahu ohybem u náhrad Dastitem UX

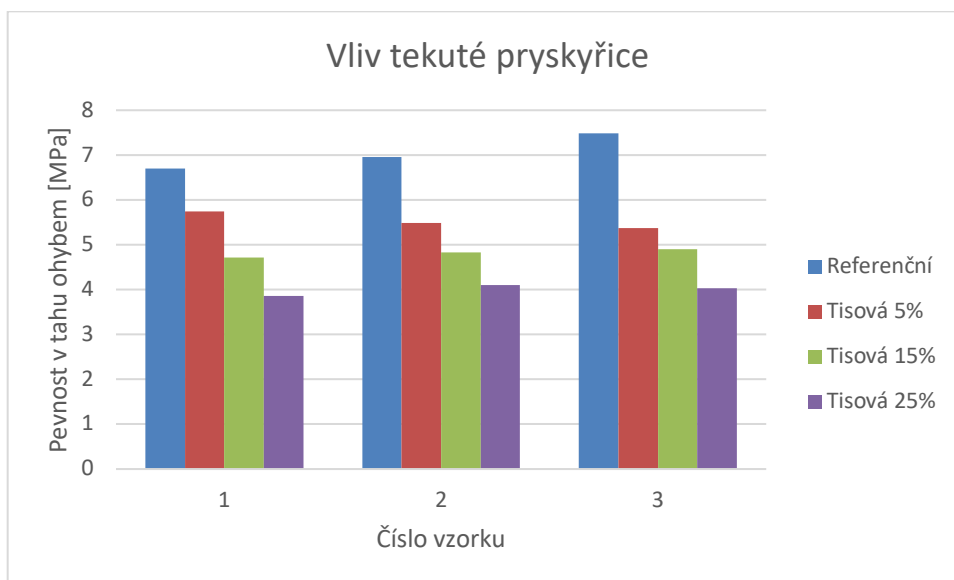


Obr. 44: Porovnání pevností v tahu ohybem u náhrad popílkem Tisová



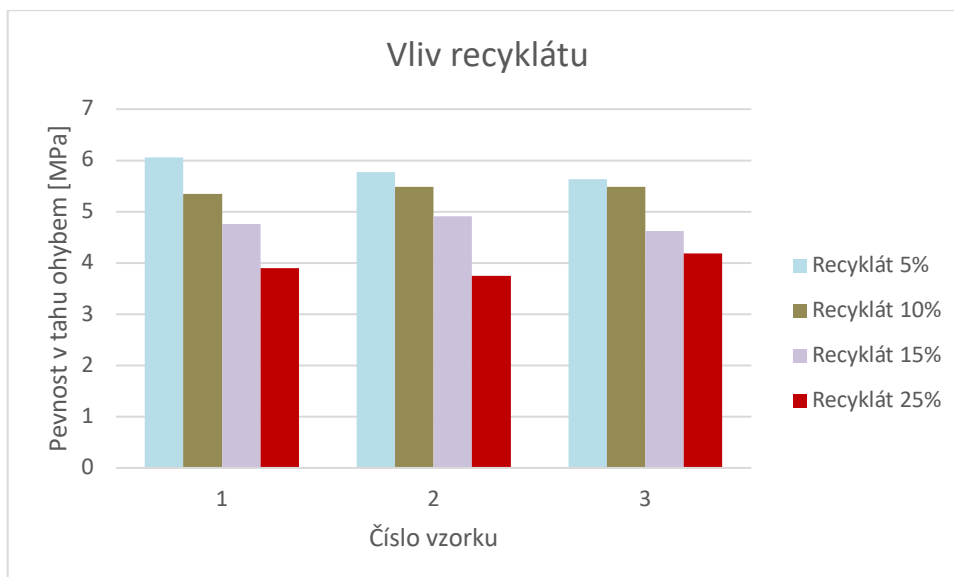
Obr. 45: Porovnání pevností v tahu ohybem u náhrad popílkem Hodonín

Na Obr. 46 je znázorněno porovnání pevností v tahu ohybem směsí s přidáním tekuté pryskyřice do směsi. Výsledky vypovídají o přínosu tekuté pryskyřice ve směsi. Pevnost v tahu ohybem je vlivem pryskyřice zvýšena v průměru o 4 % u každé směsi.



Obr. 46: Porovnání pevností v tahu ohybem po přidání tekuté pryskyřice

Na Obr. 47 je znázorněno porovnání směsí s obsahem betonového recyklátu. Pro porovnání byly vybrány 4 směsi – s 5, 10, 15 a 25 % náhrady cementu.

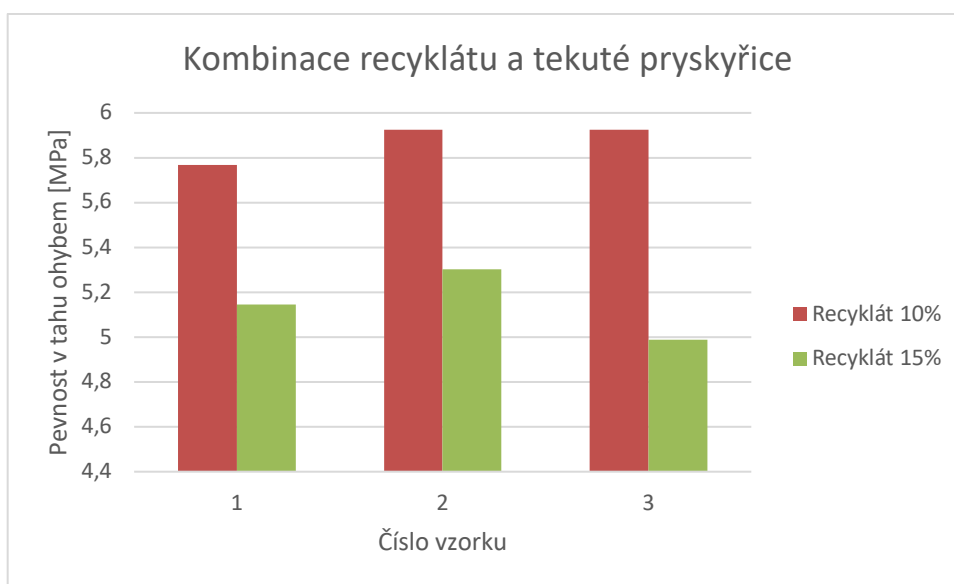


Obr. 47: Porovnání pevností v tahu ohybem při přidání betonového recyklátu

Výsledky vypovídají a potvrzují předpoklad dodatečné hydratace recyklátu, která zvyšuje výslednou pevnost výplňové malty. Při porovnání výsledků pevnosti v tahu ohybem s náhradou popílky je jednoznačné, že recyklát má přívětivější vliv a účinek na směs.

Na Obr. 48 je znázorněna poslední zkoumaná závislost. Do směsi byla přidána tekutá pryskyřice i betonový recyklát. Dle předešlých výsledků byly využity náhrady cementu v hodnotách 10 a 15 %, které se v předchozích směsích chovaly nejlépe.

Oba přídatky v předešlých výsledcích vykazovaly pozitivní vliv na výslednou pevnost v tahu ohybem. V kombinaci vykazují výsledky, které směsi napomáhají vyhovět normovým požadavkům.

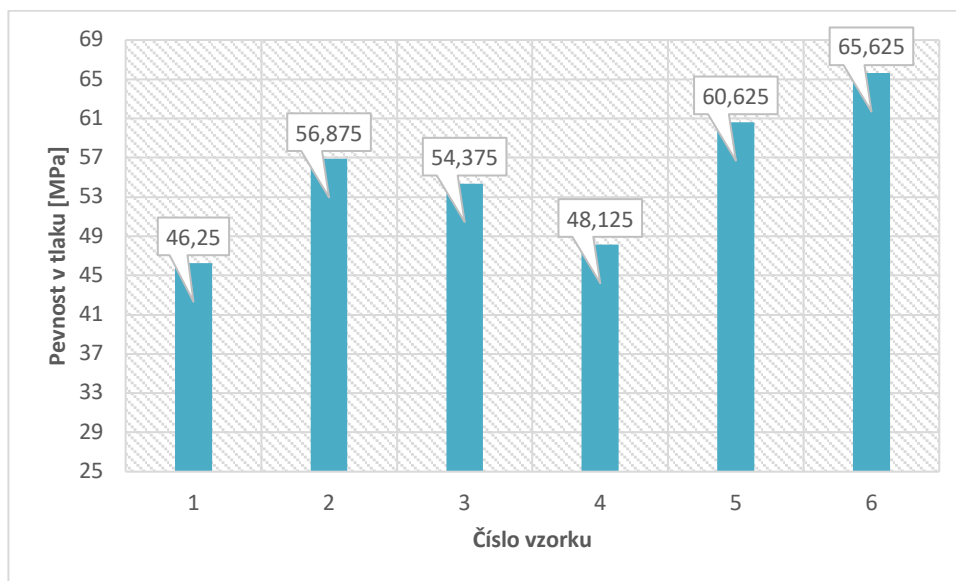


Obr. 48: Porovnání pevností v tahu ohybem u směsí s recyklátem a tekutou pryskyřicí

4.2 Pevnost výplňové malty v tlaku

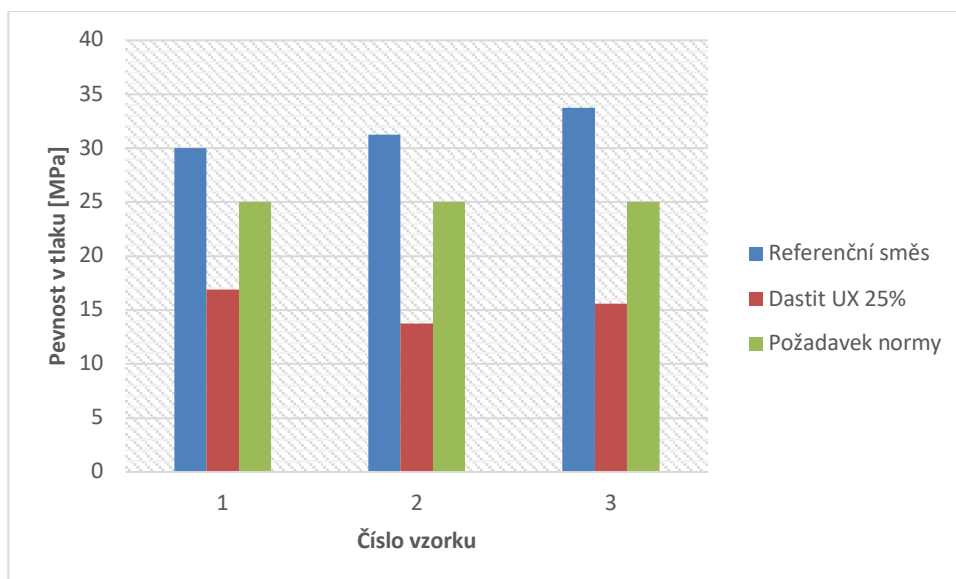
Dalším sledovaným parametrem byla pevnost v prostém tlaku. Normou daná hodnota, kterou musí výplňové směsi splňovat, je 25 MPa. Zkouška pevnosti v tlaku byla provedena na stejných směsích jako zkouška pevnosti v tahu ohybem. Jako zkušební vzorky byly využity odlomené zbytky trámečků ze zkoušky v tahu ohybem.

Na Obr. 49 jsou vyobrazeny pevnosti v tlaku pilotní směsi, které požadovanou normovou hodnotu překonaly téměř dvojnásobně.



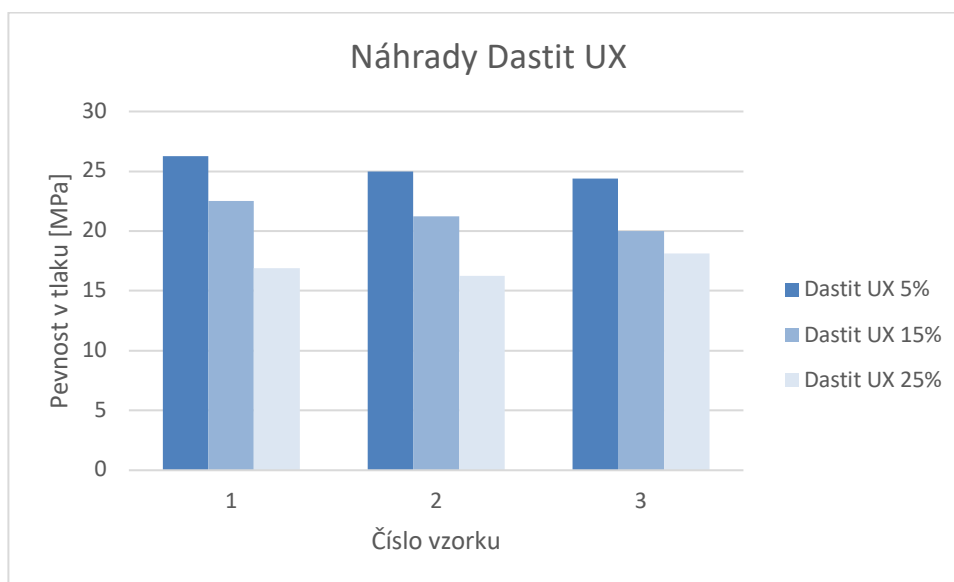
Obr. 49: Pevnost v tlaku u pilotní směsi experimentu

Upravená pilotní směs již vykazovala očekávané hodnoty, a hlavně optimální hodnoty pro další experimentální zkoušení. Na Obr. 50 jsou vidět pevnosti v tlaku upravené pilotní směsi vhodné pro další úpravy a jedna zkušební směs s náhradou cementu 25 % Dastitem UX.

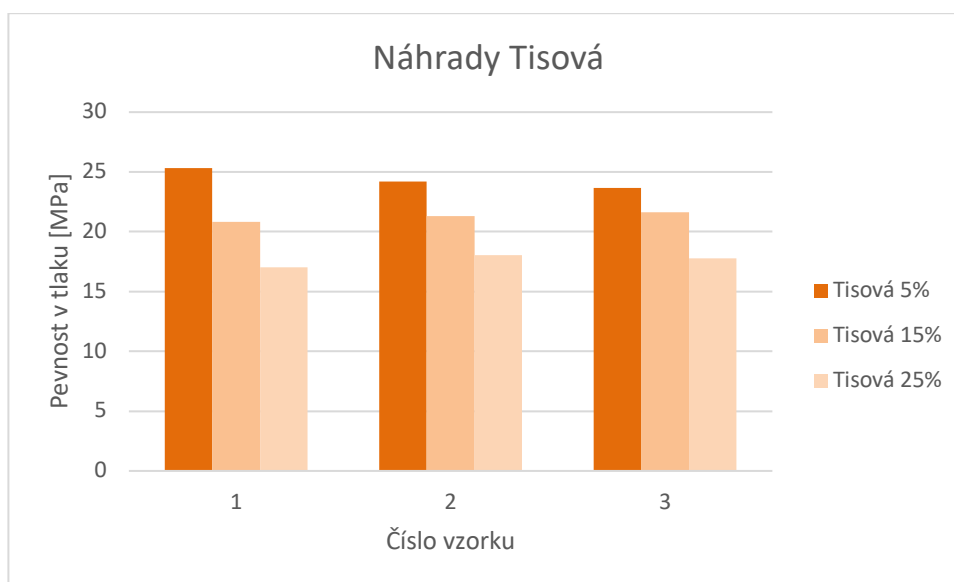


Obr. 50: Pevnosti v tlaku po první úpravě směsi

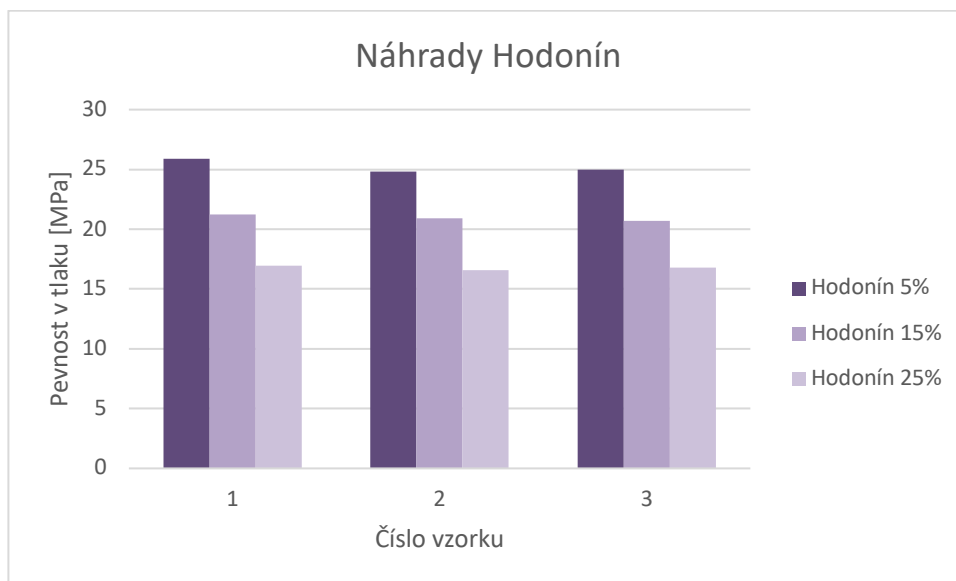
Na obrázcích 51, 52 a 53 jsou znázorněny výsledky pevností v tlaku směsí s náhradou cementu v množstvích 5, 15 a 25 %. Směsi s náhradou 5 % normový požadavek splňují, ikdyž jen těsně. Další dvě hmotnostní náhrady normový požadavek nespĺnily s velkým propadem až k 15 MPa.



Obr. 51: Porovnání pevností v tlaku při náhradě cementu Dastitem UX

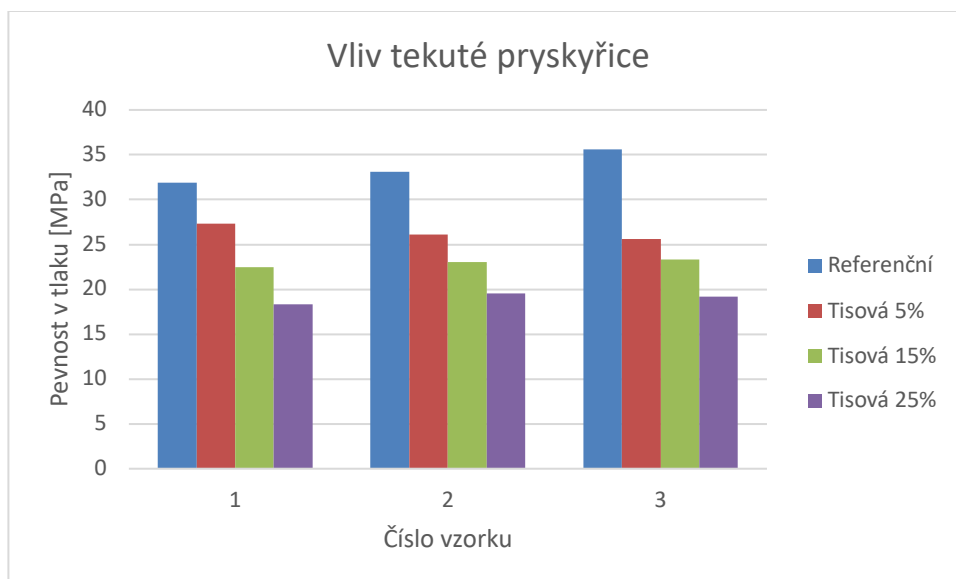


Obr. 52: Porovnání pevností v tlaku při náhradě cementu popílkem z Tisové



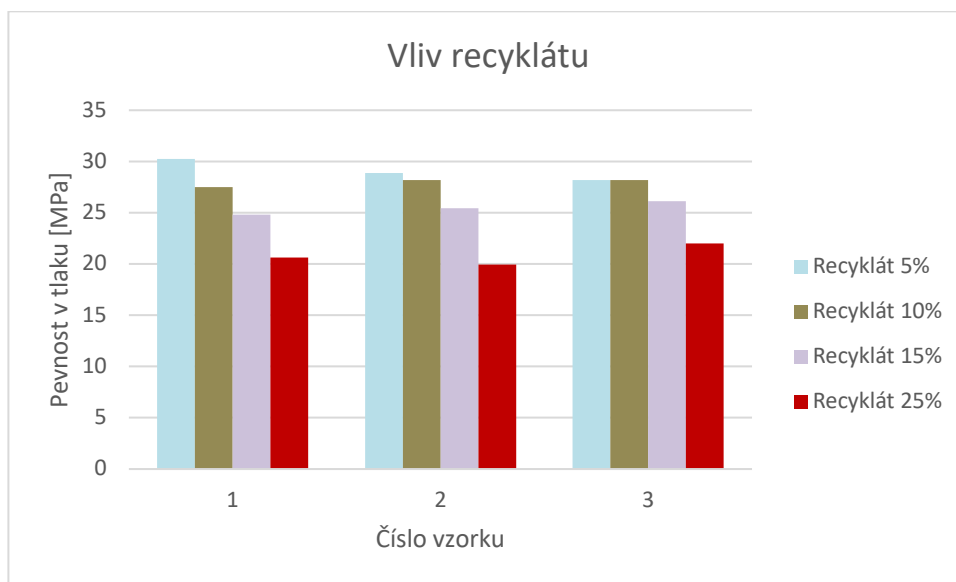
Obr. 53: Porovnání pevností v tlaku při náhradě cementu popílkem z Hodonína

Na Obr. 54 je porovnání pevností v tlaku směsí s přidáním tekuté pryskyřice. Výsledky potvrdily předpoklady, přidání tekuté pryskyřice dodalo směším pevnost. Navýšení je v průměru o 8 %.



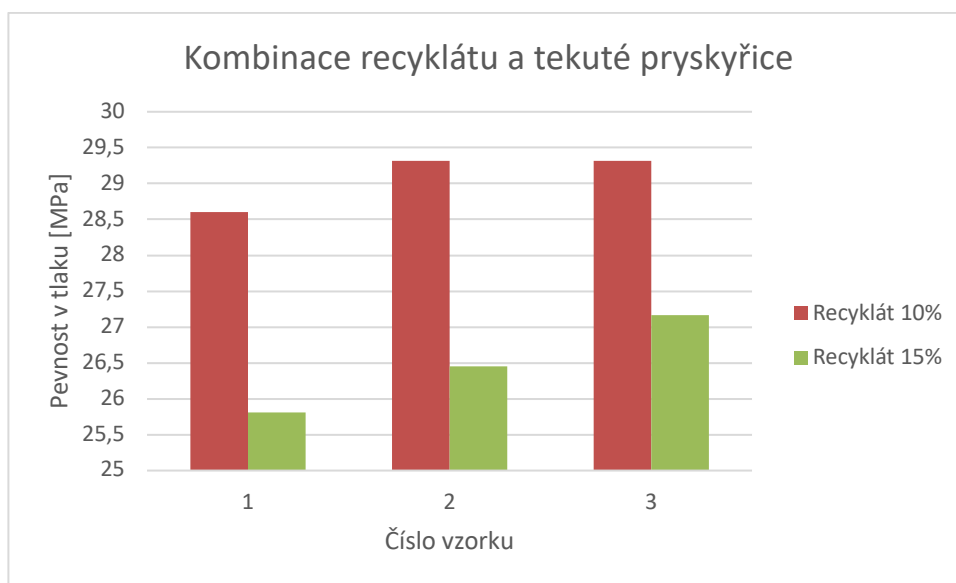
Obr. 54: Porovnání pevností v tlaku s přidáním tekuté pryskyřice

Na Obr. 55 je znázorněn vliv betonového recyklátu na pevnost v tlaku. Z výsledků je patrné, že množství náhrady 5, 10 a 15 % vyhovělo normovým požadavkům.



Obr. 55: Porovnání pevností v tlaku s přidáním tekuté pryskyřice

Jako poslední vzorky při zkoušce pevnosti v tlaku posloužily směsi s přidavkem tekuté pryskyřice a s náhradou cementu betonovým recyklátem (Obr. 56). Zkoušení proběhlo pouze na dvou typech směsí, které dle předchozích výsledků měly největší potenciál na splnění normových požadavků. Obě směsi normové požadavky splnily a naplnily očekávání experimentu.

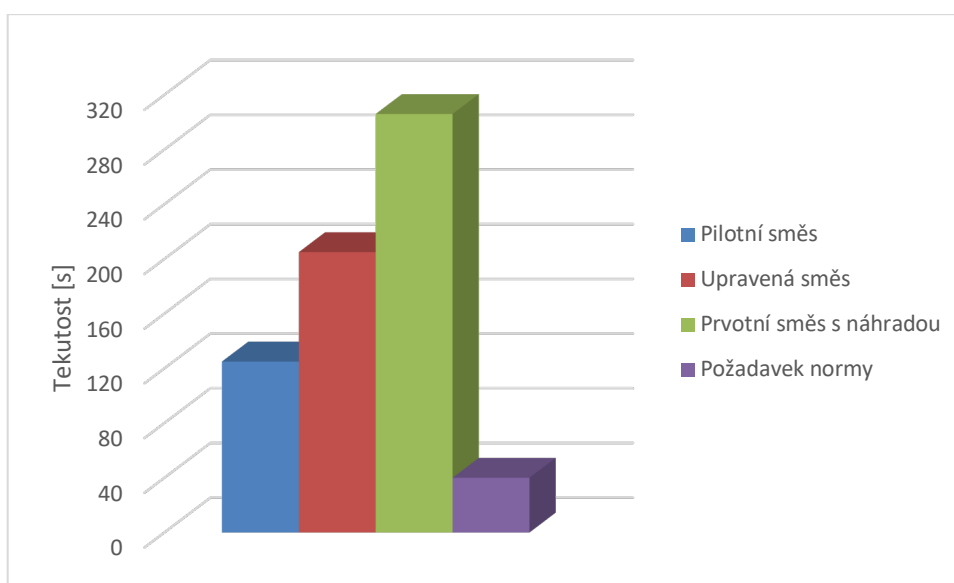


Obr. 56: Porovnání pevností v tlaku s přidáním tekuté pryskyřice

4.3 Tekutost

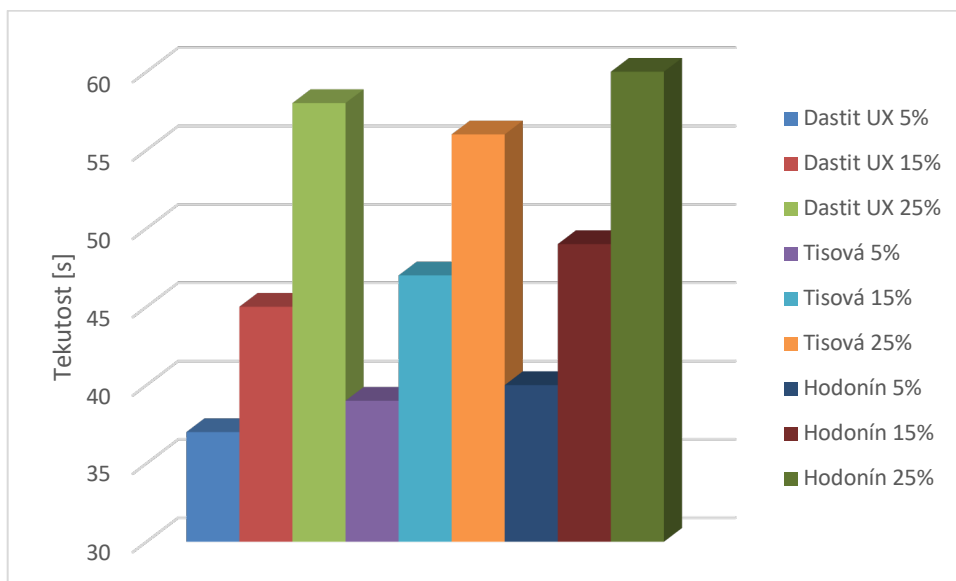
Jak již bylo zmíněno v kapitolách 3.5 a 3.7.5, tekutost je definována trychtýřovou zkouškou směsi, která se provádí ihned po ukončení procesu míchání směsi. Normová hodnota pro protečení jednoho litru směsi trychtýřem je 40 vteřin.

Některá složení směsí, přesněji řečeno vodní součinitele směsi, byly dodatečně upravovány kvůli splnění normových požadavků.



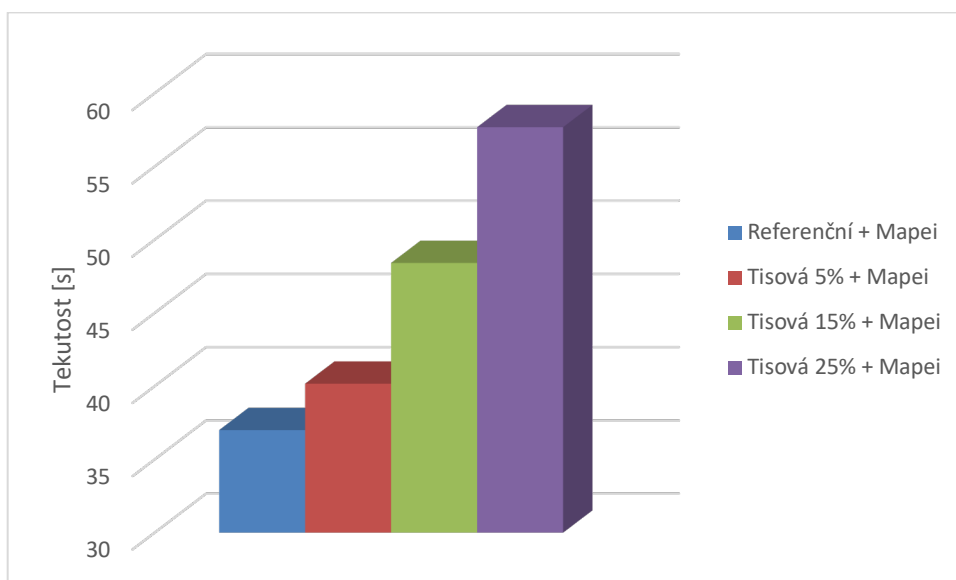
Obr. 57: Vývoj tekutosti s návrhem směsi

Na Obr. 57 je znázorněn vývoj tekutosti s návrhem referenční směsi. Pilotní návrh vykazoval tekutost 125 vteřin, což výrazně převyšuje normový požadavek. Proto se směs upravila i v závislosti na vysoké pevnosti, kterou směs také vykazovala. Upravená směs se pevnostmi blížila předpokladu, nicméně tekutost byla výrazně horší než v pilotní směsi. Proto se ještě upravil vodní součinitel směsi tak, aby příliš neovlivnil pevnosti. Výsledkem jsou přiměřené tekutosti již s náhradami, které jsou znázorněny na Obr. 58.



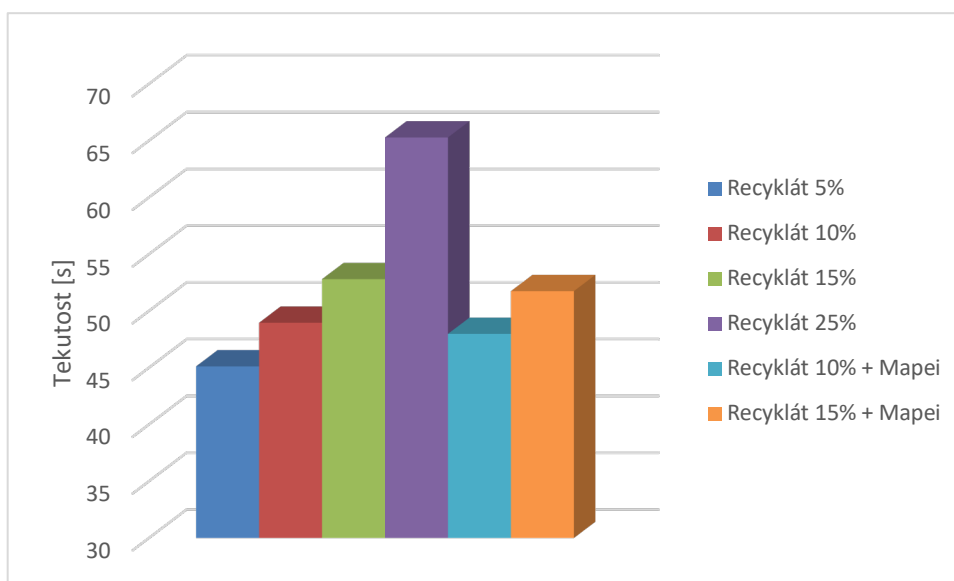
Obr. 58: Porovnání tekutosti u směsí s náhradou cementu

Na Obr. 59 je znázorněno porovnání tekutosti s vlivem tekuté pryskyřice, která byla přidána do referenční směsi a do směsi s popínkem z Tisové ve třech hodnotách náhrady cementu. Opět se prokázal předpoklad, že vyšší množství náhrady cementu způsobí vyšší hodnotu tekutosti, tzn. zhoršení protečení směsi. Tekutá pryskyřice má také svůj podíl na zhoršení tekutosti, jakožto elastomer tím potvrzuje svoje základní vlastnosti.



Obr. 59: Porovnání tekutosti s vlivem tekuté pryskyřice

Na Obr. 60 je znázorněno porovnání tekutosti s vlivem recyklátu a s vlivem kombinace recyklátu a tekuté pryskyřice. Vyšší množství recyklátu ve směsi opět zhoršilo tekutost směsi, náhrady ve výši 10 a 15 % tekutost zhoršily jen minimálně. To samé platí i o kombinaci recyklátu a pryskyřice, kdy tekutost těchto směsí je 48 a 52 vteřin. Stále hodnoty převyšují normové požadavky, ale na výsledné vlastnosti takto malý nárůst nemá výrazný vliv. Dle kontroly výsledných kompozitů i s pomalejšími tekutostmi se dá bez problémů dosáhnout plného prolití asfaltové kostry výplňovou maltou.



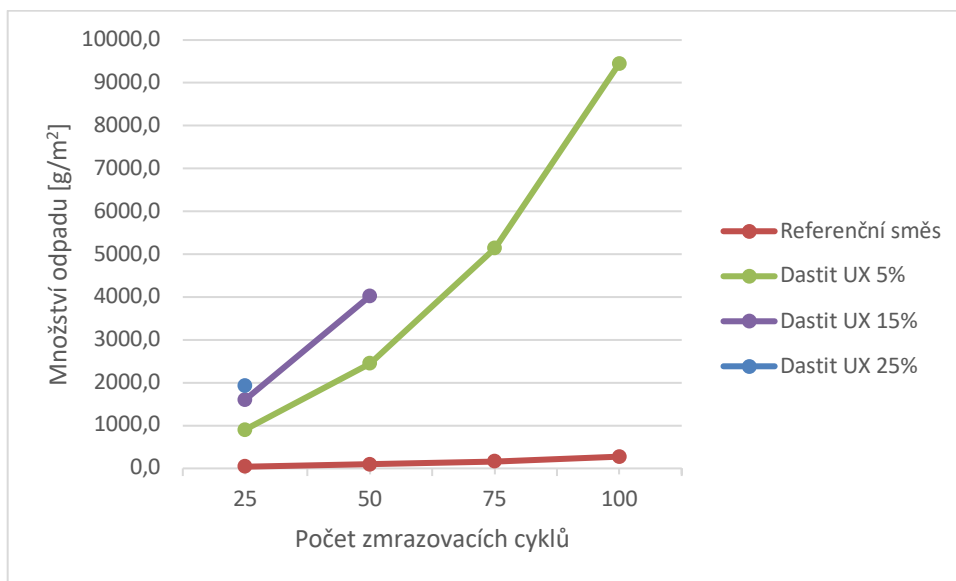
Obr. 60: Porovnání tekutosti s vlivem recyklátu a pryskyřice

4.4 Odolnost výplňové malty proti CHRL

Výsledky zkoušky odolnosti proti chemickým rozmrazovacím látkám jsou zobrazeny níže v grafech. Hodnoty jsou zobrazovány vždy po 25, 50, 75 a 100 cyklech zmrazování. Uvažuje se hodnota odpadu daného vzorku v gramech, která se přepočítá na metry čtvereční. Jedná se o sčítací metodu, v každém dalším bodě měření se přičítá nově vzniklý odpad. [67]

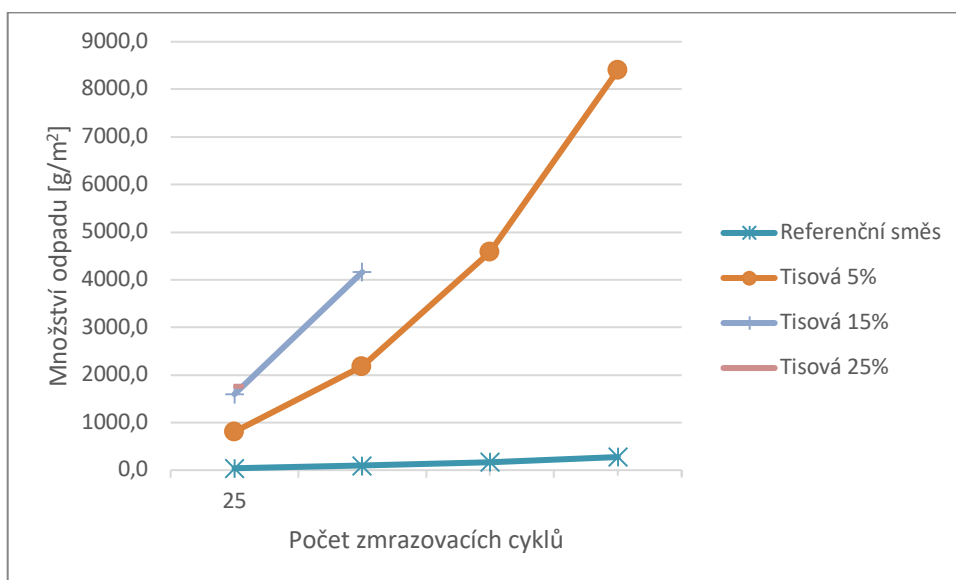
Na Obr. 61 a 62 jsou porovnání množství odpadu referenční směsi a směsí s náhradou cementu Dastitem UX a popílkem z Tisové ve třech množstvích náhrady. Popílek z Hodonína nebyl pro tuto zkoušku z důvodu nedostatku vzorků využit.

Dle výsledků lze říci, že referenční směs dle limitních hodnot zkoušek CHRL spadá do skupiny vzorků slabě narušených, která se vyznačuje množstvím odpadu do 500 g/m².

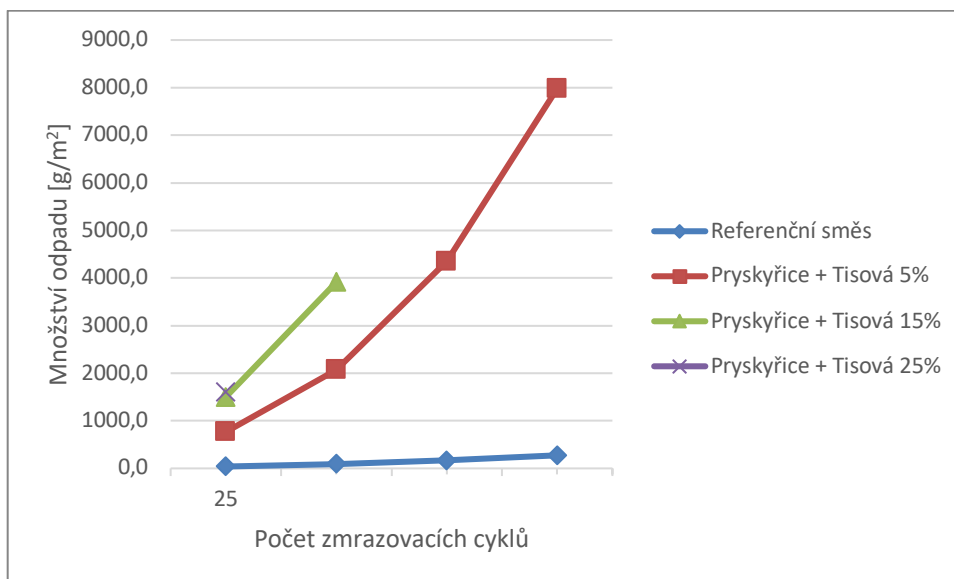


Obr. 61: Množství odpadu u zkoušky CHRL při náhradě Dastitem UX

Hodnoty u směsí s náhradou cementu spadají do skupiny vzorků rozpadlých, které se vyznačují množstvím odpadu přes 3000 g/m². Příčinou narušenosti u směsí s náhradou bude jistě velký podíl vody v návrhu směsi kvůli zkoušce tekutosti a nedostatečné provzdušnění, které je třeba u směsí s popílkou.



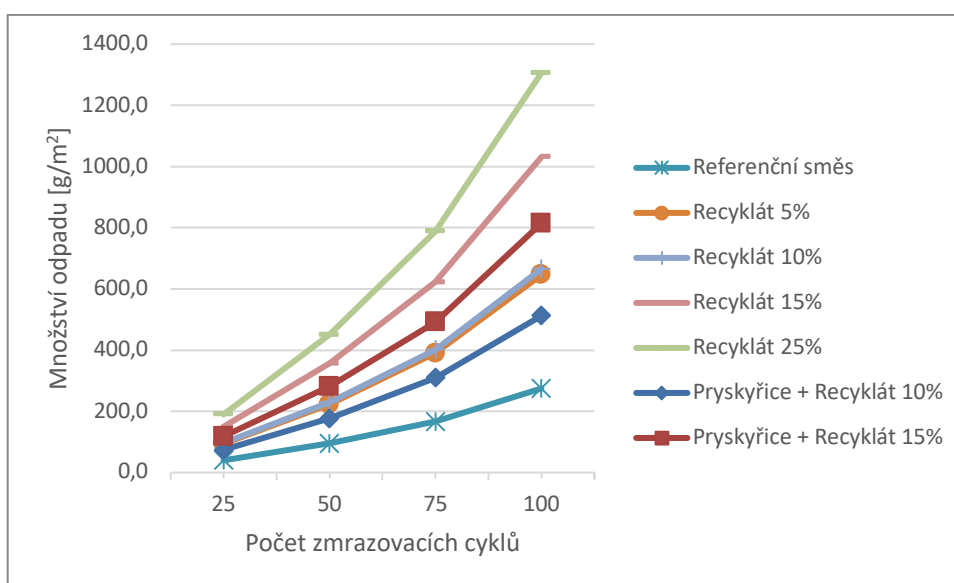
Obr. 62: Množství odpadu u zkoušky CHRL při náhradě popílkem Tisová



Obr. 63: Množství odpadu u zkoušky CHRL u směsi s pryskyřicí a popílkem Tisová

Na Obr. 63 je znázorněn vliv pryskyřice na odolnost proti CHRL. Dle výsledků samotného popílku z Tisové s porovnáním se směsí s přidáním pryskyřice lze konstatovat, že pryskyřice má velmi nepatrný vliv na výsledky odolnosti proti CHRL. Při náhradě cementu 15 a 25 % popílkem dojde již během druhého odebrání odpadů k rozpadu vzorků. Proto jsou hodnoty a trendy těchto směsí nekompletní.

Na Obr. 64 je znázorněno porovnání směsí s náhradou cementu recyklátem. Recyklát překvapivě směsi nijak zásadně neovlivnil a odolnost zůstala velmi podobná jako u referenční směsi. Jak bylo zmíněno v předešlém textu, pryskyřice má na odolnost minimální vliv.



Obr. 64: Množství odpadu u zkoušky CHRL při náhradě recyklátem a přidáním pryskyřice

Na Obr. 65, 66, 67 a 68 jsou zobrazeny vzorky směsí s náhradou cementu Dastitem UX a popílky z Tisové. U těchto vzorků došlo k úplnému rozpadu.



Obr. 65: Rozpadlý vzorek směsi s popílky Tisová



Obr. 66: Rozpadlý vzorek směsi s přidáním Dastit UX po 50 cyklech zmrazování



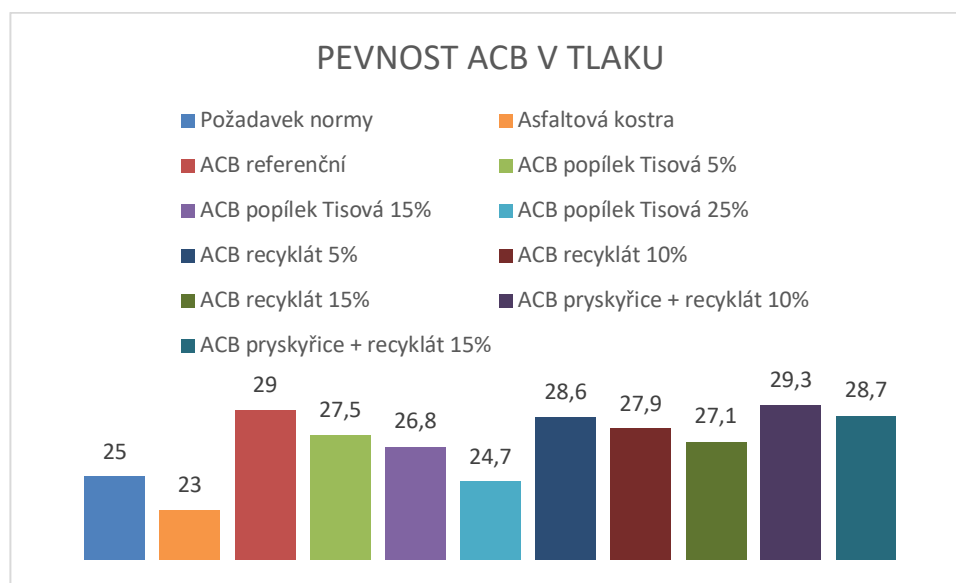
Obr. 67: Rozpadlý vzorek směsi s přidáním popílku Tisová po 50 cyklech zmrazování



Obr. 68: Rozpadlý vzorek směsi s přidáním popílku Tisová po 50 cyklech zmrazování

4.5 Pevnost asfaltocementového kompozitu

Poslední ze sledovaných charakteristik a zkoušených vlastností je pevnost celého kompozitu. Na Obr. 69 je porovnání pevností jednotlivých směsí již aplikovaných v asfaltových kostrách. Pro názornost je uvedena hodnota požadavku normy a pevnost samotné asfaltové kostry.

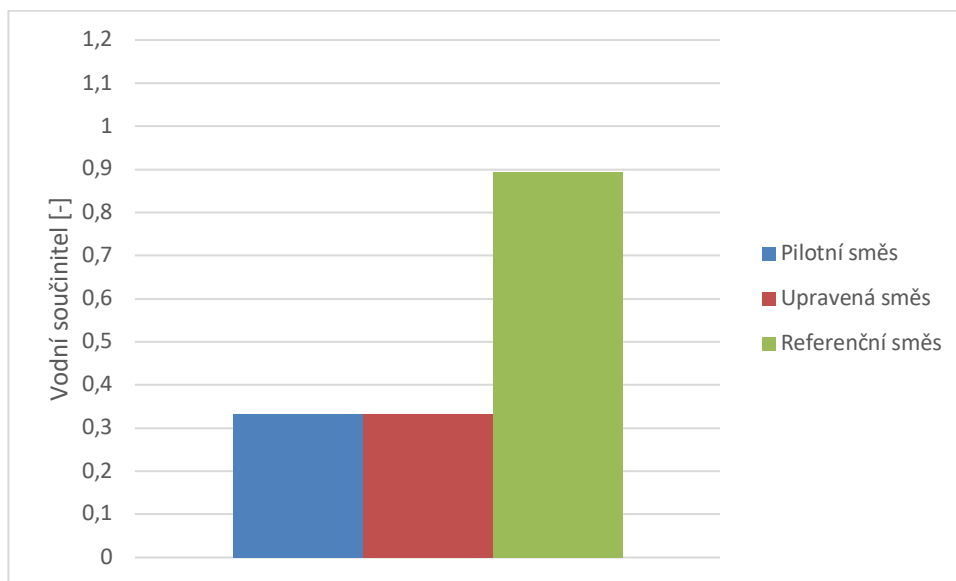


Obr. 69: Porovnání pevností v tlaku asfaltocementových kompozitů

Výsledky pevnosti kompozitů ACB dokazují velký přínos výplňové malty. Všechny směsi napomohly k vyšším pevnostem kompozitu a k překonání požadavku normy. Jen u směsí s náhradou cementu v hodnotě 25 % se hodnoty dostaly pod požadavek 25 MPa. Nutno podotknout, že již samotná asfaltová kostra atakuje požadavek normy na pevnost v tlaku.

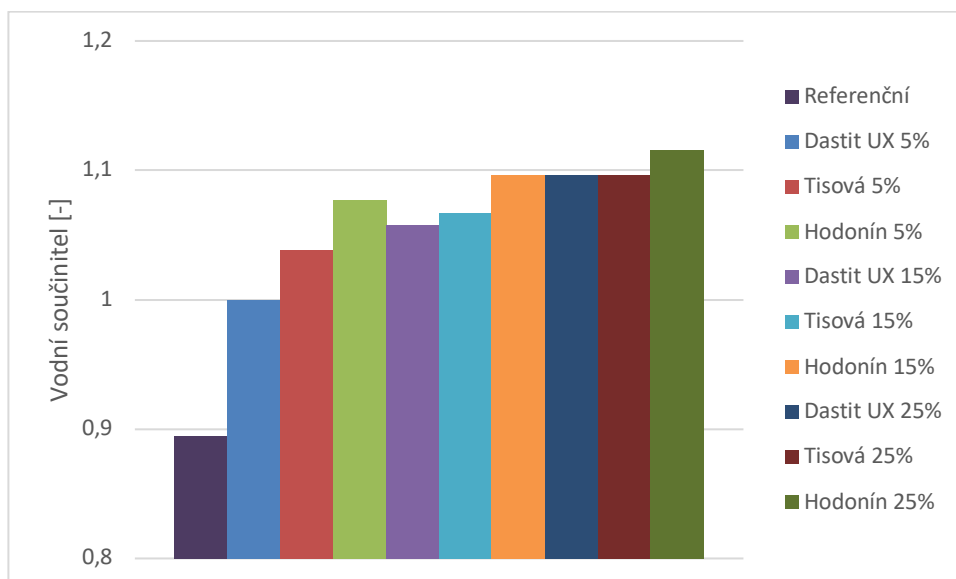
4.6 Vodní součinitel navržených směsí

Na Obr. 70 je porovnání vodního součinitele u pilotní a referenční směsi. Referenční směs má skoro trojnásobně vyšší vodní součinitel z důvodu tekutosti směsi.



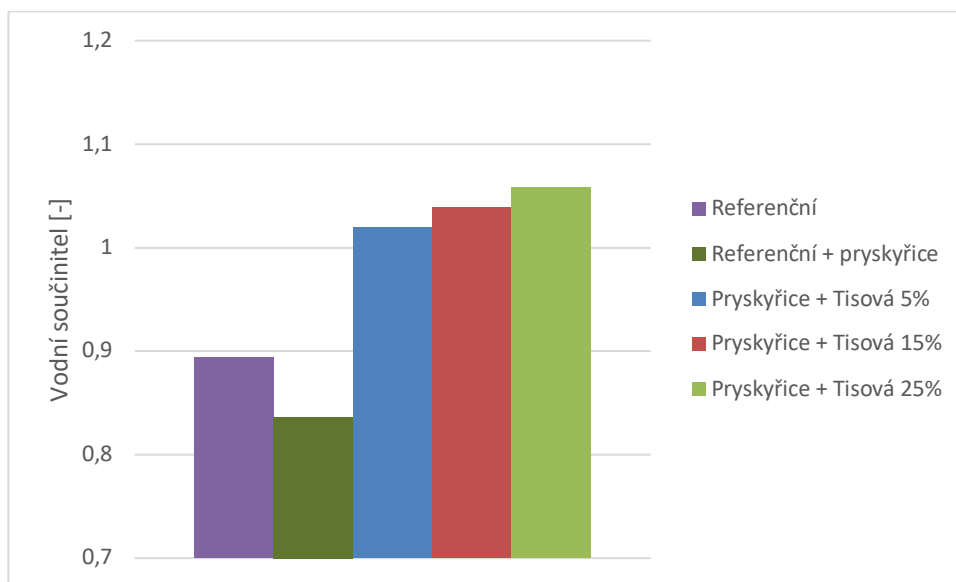
Obr. 70: Porovnání vodního součinitele pilotní a referenční směsi

Na Obr. 71 je porovnání vodního součinitele směsí s náhradou Dastitem UX a popílků z Tisové a Hodonína. Oproti referenční směsi, kdy je vodní součinitel pod hranicí 0,9, potvrdily směsi s náhradou Dastitem UX a popílků předpoklady. Jejich vodní součinitel je ovlivněn náročností popílků na vodu. Návrhy směsí s popílků byly v průběhu výroby zkušebních vzorků upravovány tak, aby splnily zkoušku tekutosti. Proto se směsi s náhradou dostávají i přes 1,1 hodnoty vodního součinitele.

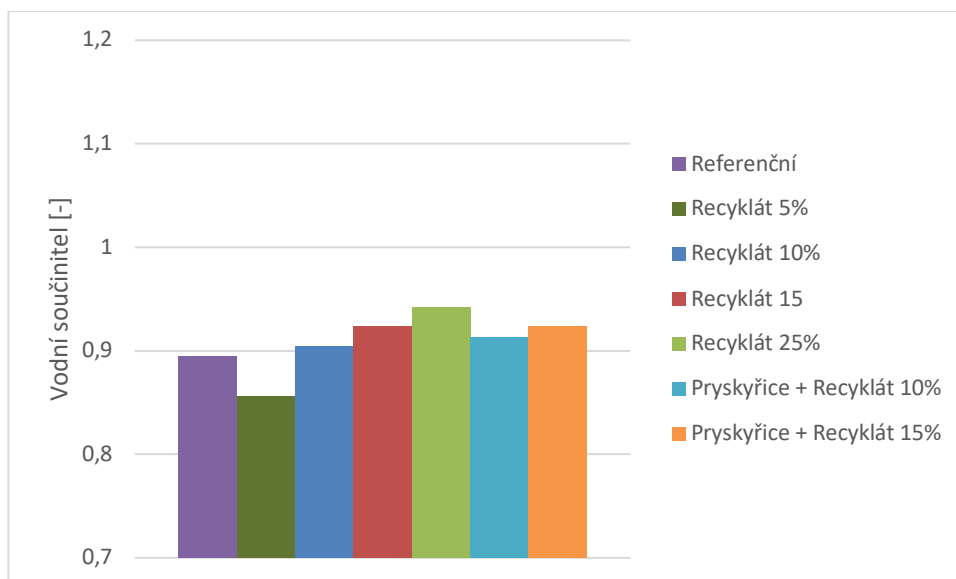


Obr. 71: Porovnání vodního součinitele u směsí s náhradou cementu Dastitem a popílků

Na Obr. 72 a 73 je znázorněn vliv pryskyřice a recyklátu na vodní součinitel směsi. Ani pryskyřice a ani recyklát nejsou tak žízniví jako Dastit UX či popílký. Proto se hodnoty vodního součinitele pohybují blíže referenční směsi.



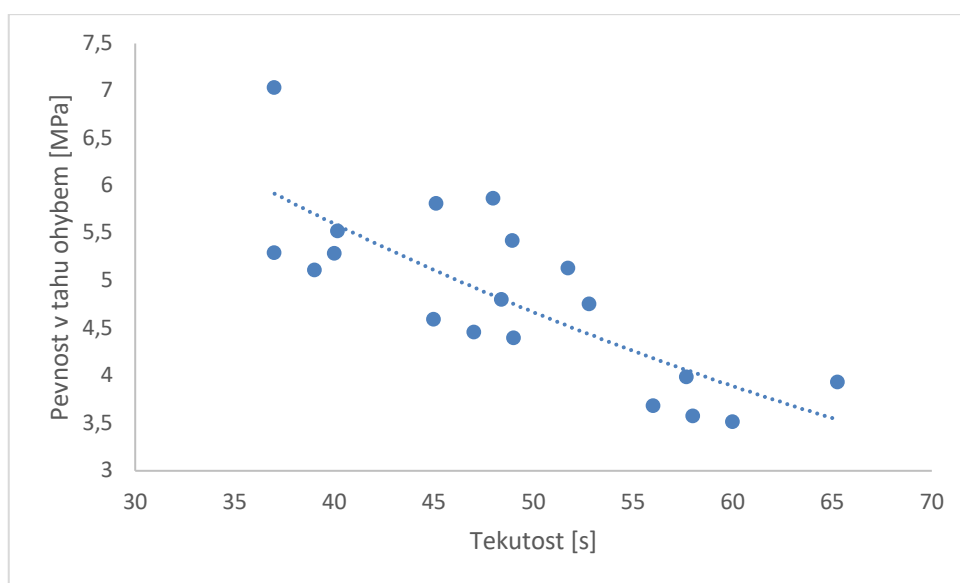
Obr. 72: Porovnání vodního součinitele u směsí s tekutou pryskyřicí



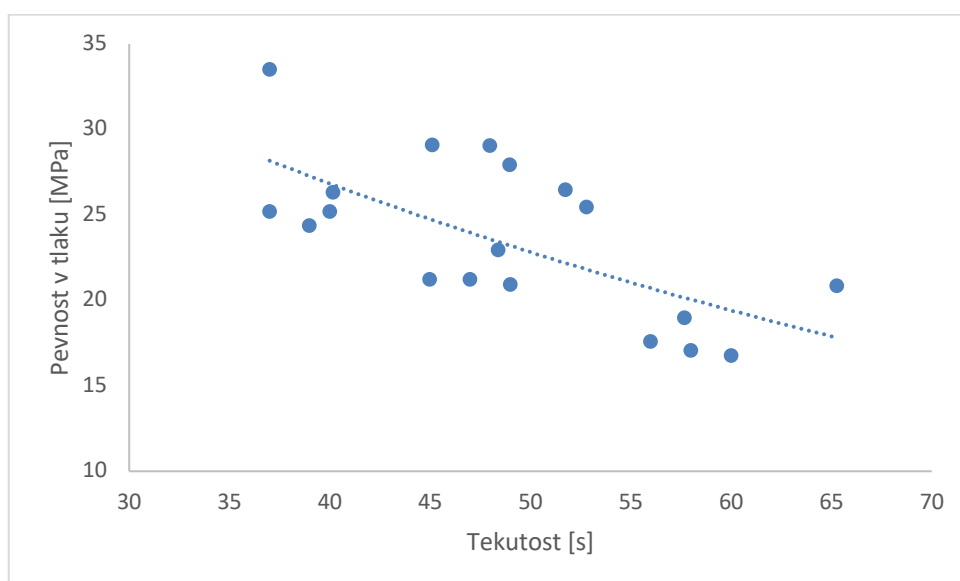
Obr. 73: Porovnání vodního součinitele u směsí s recyklátem a pryskyřicí

4.7 Pevnostní závislosti

Na Obr. 74 a 75 jsou znázorněny závislosti tekutosti na pevnostech v tahu ohybem a na pevnosti v tlaku. Exponenciální křivka běžící oběma grafy je spojnicí trendu obou závislostí. Předpoklady nebyly naplněny, jelikož by se mělo jednat o opačnou závislost = vyšší tekutost by měla znamenat nižší pevnost. Vyobrazení grafu a dané závislosti je ovlivněno náhradami a různým vodním součinitelem jednotlivých směsí.



Obr. 74: Vliv tekutosti na pevnost v tahu ohybem



Obr. 75: Vliv tekutosti na pevnost v tlaku

4.8 Řez ACB

V této kapitole jsou zobrazeny řezy hotovými kompozity, jako důkaz dokonalého prolití asfaltové kostry výplňovou maltou.



Obr. 76: Řez asfaltocementovým betonem referenční směsi



Obr. 77: Řez asfaltocementovým betonem směsi s Dastitem UX



Obr. 78: Řez asfaltocementovým betonem směsí s popílkem z Tisové



5 Závěr

Využití druhotných materiálů ve funkčních stavebních konstrukcích a systémech je téma, jehož výzkumem se zabývá mnoho vědeckých týmů a zajímá se o něj mnoho nadnárodních korporací. Důvod je velmi prozaický – ušetřit materiálové náklady a současně přispět ke zlepšení životního prostředí. Disertační práce tematicky toto aktuální téma rozvíjí a umožňuje nový úhel pohledu na tradiční konstrukční systém asfaltových vozovek. Výzkum cementových kompozitů s využitím druhotných surovin jistě brzy dosáhne větší důležitosti, než tomu bylo dosud, a to zejména ve stavebnictví.

Motivací pro disertační práci bylo využít dosavadních poznatků a znalostí o asfaltocementovém betonu a vytvořit, s využitím dostupných druhotných surovin, konkurenceschopný kompozit asfaltu a cementu, který najde svoje uplatnění na světovém trhu.

V průběhu experimentálních prací byly v recepturách cementového kompozitu uplatněny různé druhotné suroviny a vyrobeny zkušební směsi. Nejprve se však musely provést návrhy referenční směsi z důvodu splnění normových požadavků. Po ověření účinnosti referenčních návrhů směsi se započalo se zapojením druhotných surovin jako náhrad části cementu. K tomuto účelu byly využity různé druhy popílků a jemně mletý recyklovaný beton. Z důvodu komplexnosti výzkumu byla přidána do některých směsí i tekutá pryskyřice, která má historicky své místo v asfaltocementovém betonu.

Všechny směsi byly následně podrobeny důkladnému materiálovému vyšetřování. Na zkušebních vzorcích výplňové malty byly provedeny zkoušky pevností v tahu ohybem a v tlaku, dále tekutost směsi a odolnost vůči chemickým rozmrazovacím látkám. Na vzorcích asfaltové kostry samotné i na vzorcích asfaltocementového kompozitu byla sledována pevnost v tlaku.

Výsledky experimentálního výzkumu hovoří jasně. Tekutost směsi velmi významně ovlivňuje výslednou pevnost materiálu. Čím je směs tekutější, tím se pevnosti snižují. U této veličiny se těžko hledá limitní hodnota a zobecněná závislost. Pevnostní charakteristiky jsou, kromě tekutosti, ovlivněny zejména procentuálním množstvím náhrady cementu druhotnými surovinami. Hraniční hodnotou se zdá být 15 %. Do této hodnoty se dají druhotné suroviny



smysluplně využít. Při náhradách nad 15 % směsi nesplňovaly většinu z normových požadavků.

Při zkouškách odolnosti proti chemickým rozmrazovacím látkám měl na výsledky velký vliv obsah popílků. Při nedostatečném provzdušňování měly směsi s popílkem kritické výsledky. Při náhradách 25 % docházelo k úplnému rozpadu vzorků. Prokázalo se, že je využití popílků do asfaltocementových kompozitů nevhodné.

Jemně mletý recyklovaný beton splnil předpoklady dodatečné hydratace v čase. U všech směsí měl pozitivní vliv na reologické vlastnosti i na pevnostní charakteristiky. Stejně pravidlo platí i pro tekutou pryskyřici. Ta lehce negativně ovlivňuje tekutost, ale pevnosti s její přítomností rostou.

Posledním sledovaným parametrem byla pevnost výsledného kompozitu v tlaku. Hodnoty samotné asfaltové kostry již dosáhly skoro 85 % požadované pevnosti. Prolitím asfaltové kostry cementovým kompozitem (výplňovou maltou), došlo k nárůstu pevnosti v tlaku výrazně nad požadovanou hodnotu. Směsi s náhradou cementu 10 a 15 % vykázaly nejlepší pevnostní vlastnosti.

Požadavky normy hovoří o zkoušení jednotlivých součástí asfaltocementového kompozitu odděleně od sebe. Zvláště se posuzují vlastnosti asfaltové kostry a zvláště vlastnosti cementové výplňové malty. Ze zkušenosti z množství experimentů, provedených v laboratoři, lze potvrdit princip synergismu. Kompozit, jako jeden celek, má výrazně vyšší požadované parametry než jeho jednotlivé součásti, působící samostatně a odděleně. Proto si dovoluji navrhnout úpravu znění normy *ČSN 73 6127-3 Stavba vozovek – Prolévané vrstvy – Část 3: Asfaltocementový beton*, která uvádí požadavky na pevnosti výplňové směsi. Výsledky, uvedené v disertační práci, mě opravňují k názoru, že by se požadavek uvedené ČSN měl vztahovat na pevnost výsledného asfaltocementového kompozitu, nikoli pouze na pevnost výplňové malty.

Pro úplnost přehledně uvádím splnění cílů disertační práce, které byly při jejím zadání specifikovány:



- **Návrh směsi s využitím druhotných surovin (recyklovaný beton, popílký)**

Byl proveden návrh směsi pro výrobu výplňové malty asfaltocementového kompozitu s využitím dvou druhů popílků (Tisová a Hodonín) a s využitím jemně mletého betonového recyklátu, který splňuje všechny požadavky dané normou. Splněno.

- **Návrh směsi s využitím tekuté pryskyřice**

Byl proveden návrh směsi pro výrobu výplňové malty asfaltocementového kompozitu s využitím tekuté pryskyřice, který splňuje všechny požadavky dané normou. Splněno.

- **Pevnostní charakteristiky vyrobených směsí**

Byly provedeny rozsáhlé zkušební série vzorků pro stanovení pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu ohybem, které požaduje norma. Splněno.

- **Tekutost směsí**

Byly provedeny trychtýřové zkoušky u většiny zkušebních sérií, které požaduje norma a jejich vyhodnocení. Splněno.

- **Vyšetření vlivu množství vody na tekutost směsí**

Dle výsledků trychtýřové zkoušky v porovnání s vodním součinitelem jednotlivých směsí byla vyšetřena závislost množství vody na tekutosti. Splněno.

- **Vyšetření vlivu množství druhotných surovin na pevnosti směsí**

Dle výsledků pevnostních charakteristik a na základě složení směsí a množství náhrad byla stanovena optimální hodnota množství druhotných surovin. Splněno.

- **Vyšetření vlivu množství pryskyřice na vlastnosti směsí**

Pryskyřice byla přidána do několika směsí a byly provedeny několikeré zkoušky, které prokázaly pozitivní vliv na vlastnosti směsí. Splněno.

- **Pevnost jednotlivých složek kompozitu**

Byly provedeny zkoušky pevnosti v tahu ohybem a v tlaku u obou složek asfaltocementového betonu. Splněno.

- **Pevnost výsledného kompozitu**

Byly provedeny tlakové zkoušky na zkušebních tělesech vyrobených z asfaltové kostry prolité výplňovou maltou dle návrhu. Splněno.

- **Návrh na úpravu legislativy**

Dle výsledků disertační práce byl vytvořen návrh na změnu legislativy, který je uveden v závěru celé práce. Splněno.



Literatura

- [1] ABBAS, Ala et al. The influence of laboratory aging method on the rheological properties of asphalt binders. *Journal of Testing and Evaluation*. 2002, vol. 30, no. 2, s. 171-176. ISSN 0090-3973. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/profile/A_Papagiannakis/publication/249958844_The_Influence_of_Laboratory_Aging_Method_on_the_Rheological_Properties_of_Aspalt_Binders/links/54524d920cf2bccc490831e1.pdf
- [2] ADHIKARI, Tham Nath. *Quality and durability of rubberized asphalt cement and warm rubberized asphalt cement*. Ann Arbor: Queen's University (Canada), 2013. Order No. MS25360. ISBN 9780499253606. Dostupné z:
<http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://search.proquest.com/docview/1512073516?accountid=119841>
- [3] Advance Market Report Multigrade Asphalt Cement Global Analysis Market Size, Share, Trends, Growth, And Demand fROM, 2017 - 2022. *M2 Presswire*. 2017. Dostupné z:
http://cvut.summon.serialssolutions.com/#!/search?bookMark=ePnHCXMwPV27DsIwDOwAEiC-AXlgbKW2FJqOqLwWhATdq7wMDEiIdmLi07k0lCmLnSWWfRcn50kwAG-1o7_eXSaKcfBZ-442Hbu_vOTRjXWfTK8vaSytm6drEFPZ3YqRV7ynXpmj97vc3zYkp2WMxb8aDWkPwtreQhgb2tgHGDjx-XQMCcUtpwhLmk6DIeM8kXKr3bYqD9Fv1EB0Rf2KtLA2y8VKIqcrZrB8AKnC8iJXSugCcQ9cn2ujjEqWVnKsDcfSjalIV4K161rP_bZ9Pq-d0jCjADV1AlfABBRtmM28mcv-tQuh9iV17QRaQKyAvL54QF7Y
- [4] AGBOVI, Henry Kwame. *Effects of low temperatures, repetitive stresses and chemical aging on thermal and fatigue cracking in asphalt cement pavements on Highway 417*. Ann Arbor: Queen's University (Canada) [online]. 2012. Order No. MS25952. ISBN 9780499259523. Dostupné z:
<http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://search.proquest.com/pqdtscieng/docview/1513232367/fulltextPDF/52DDD0B8E8B24FBFPQ/4?accountid=119841>
- [5] ALBRKA, Shaban Ismael et al. Performance properties of asa polymer modified asphalt binders and mixtures. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2016, vol. 11, no. 8, s. 1155-1164. ISSN 1823-4690. Dostupné z:
<https://doaj.org/article/bdef0a4204b045e981f3e7fa05c8999b>
- [6] ALI, SIA et al. Physical and rheological properties of acrylate-styrene-acrylonitrile modified asphalt cement. *Construction and Building Materials*. 2015, vol. 93, s. 326-334. ISSN 0950-0618. Dostupné z:
<http://ezproxy.techlib.cz/login?url=http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815005139?via%3Dihub>
- [7] ANDERTON, Gary L. *Engineering Properties of Resin Modified Pavement (RMP) for Mechanistic Design*. Engineer Research and Development Center Vicksburg MS Geotechnical Lab, March 2000. [cit. 2017-12-28]. Final report. Dostupné z:
<http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA376263>



- [8] BARTOŇ, Jonáš. *Analýza asfaltové směsi při dlouhodobém zatížení*. Bakalářská práce. ČVUT, FSV, Katedra silničních staveb, Praha, 2008. Záznam dostupný z: https://aleph.cvut.cz/F?func=direct&doc_number=000676228&local_base=DUPL&format=999
- [9] BRANDT, Andrzej M. *Cement-based composites: materials, mechanical properties and performance* [online]. [Oxon]: CRC Press, 2009 [cit. 2017-12-28]. ISBN 978-0-203-88903-9. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=zwmq15Rs-m4C&oi=fnd&pg=PP1&dq=%28asphalt+cement%29+AND+%28composite%29+AND+%28Resin+Modified+Pavement%29+AND+%28production%29+AND+%28properties%29&ots=Cjrv4ExHqz&sig=Bz1DzBRNzRgwyO0Hfgx-K_0k7t0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [10] COLERI, E. a JT HARVEY. Impact of Pavement Structural Response on Vehicle Fuel Consumption. *Journal of Transportation Engineering Part b-Pavements*. 2017, vol. 143, no. 1. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JPEODX.0000004>
- [11] COLERI, Erdem et al. A micromechanical approach to investigate asphalt concrete rutting mechanisms. *Construction and Building Materials*. 2012, vol. 30, no. 1, s. 36-49. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811006726>
- [12] CONG, Peiliang, Shanfa CHEN a Jianying YU. Investigation of the properties of epoxy resin-modified asphalt mixtures for application to orthotropic bridge decks. *Journal of Applied Polymer Science*. 2011, vol. 121, no. 4, s. 2310-2316. ISSN 0021-8995. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.33948/abstract>
- [13] DARANGA, Codrin. *Characterization of aged polymer modified asphalt cements for recycling purposes*. Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College. ProQuest Dissertations Publishing, 2005. ISBN 0542440180;9780542440182. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://search.proquest.com/docview/304990006>
- [14] DHITIVARA, Phattaya. *Development of EXDAW: An expert system for designing asphalt concrete mixture containing waste materials and by-products*. [online] Ann Arbor: Dalhousie University (Canada), 2007. [cit. 2017-12-22] Order No. MR34851. ISBN 9780494348512. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://search.proquest.com/docview/304792698?accountid=119841>
- [15] GNATENKO, Roman, Kateryna TSYRKUNOVA a Valeriy ZHDANYUK. Technological sides of crack sealing in asphalt pavements [online]. In: *Transportation Research Procedia*. 2016. 804-810 s. ISSN 2352-1457;2352-1465. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235214651630028X>
- [16] HAGENS, GRAHAM, STEVEN MANOLIS a GELU VASILIU. *Modified Asphalt Cement and Process for Preparing Same*. Apr 25, 2004. Patent na Espacenet Patent search. [cit. 2017-



- 12-29]. Záznam dostupný z:
<https://worldwide.espacenet.com/searchResults?DB=EPODOC&compact=false&query=CA2409806>
- [17] HARITONOV, V., J. TIHONOV a M. ZAUMANIS. Performance evaluation of high modulus asphalt concrete mixes [online]. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. ISSN 1757-8981. Dostupné z:
<http://ezproxy.techlib.cz/login?url=http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/123/1/012055/meta>
- [18] HO, CH et al. Performance of Fiber-Reinforced Polymer-Modified Asphalt Two-Year Review in Northern Arizona. *Transportation Research Record*. 2016, vol. 2575, no. 2575, s. 138-149. ISSN 0361-1981. Záznam dostupný z: <http://trjournalonline.trb.org/doi/10.3141/2575-15>
- [19] HRUŠKA, Lukáš. *Asfaltocementový beton* [online]. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací. 2012. Vedoucí práce Petr Hýzl. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/11155>
- [20] CHEN, Chien-Ta et al. A Study of the Cost Analysis of the Porous Pavement on a Freeway. In: *Asphalt Material Characterization, Accelerated Testing, and Highway Management*. 2009. 166-172 s. ISSN 0895-0563. Dostupné z:
<http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/detail.action?docID=3115527>
- [21] CHEN, J. -S, M. -C LIAO a H. -H TSAI. Evaluation and optimization of the engineering properties of polymer-modified asphalt. *Practical Failure Analysis*. 2002, vol. 2, no. 3, s. 75-83. ISSN 1529-8159;1547-7029. Dostupné z:
<http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://search.proquest.com/docview/904568479>
- [22] CHEN, Jian-Shiuh et al. Effect of binder types on engineering properties and performance of porous asphalt concrete. *Transportation Research Record*. 2012, no. 2293, s. 55-62. ISSN 0361-1981. Záznam dostupný z: <http://trjournalonline.trb.org/doi/10.3141/2293-07>
- [23] CHEN, Jian-Shiuh, Cheng-Te LEE a Yen-Yu LIN. Influence of Engineering Properties of Porous Asphalt Concrete on Long-Term Performance. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2016, vol. 29, no. 4, s. 4016246. ISSN 0899-1561. Dostupné z:
<http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0001768>
- [24] JAUKL, Milan. *Vliv PVA na vlastnosti cementového kompozitu s recyklovaným betonem*. Diplomová práce. ČVUT, FSV, katedra mechaniky, Praha, 2017. Záznam dostupný z:
https://aleph.cvut.cz/F?func=direct&doc_number=000789650&local_base=DUPL&format=999
- [25] KHAN, Kamran Muzaffar a Ali ASGHAR. Performance of Pavements under Extreme Loading and Temperature Conditions using Polymer Modified Bitumen. *University of Engineering and Technology Taxila. Technical Journal*. 2013, vol. 18, no. 1, s. 52. ISSN 1813-1786. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://search.proquest.com/docview/1519625570>
- [26] KONVALINKA, Adam. *Experimentální analýza asfaltocementového betonu*. Diplomová práce. ČVUT, FSV, experimentální centrum, 2013. Dostupné z:



- https://aleph.cvut.cz/F?func=direct&doc_number=000746618&local_base=DUPL&format=999
- [27] KRISHNAN, J. Murali a K. R. RAJAGOPAL. On the mechanical behavior of asphalt. *Mechanics of Materials*. 2005, vol. 37, no. 11, s. 1085-1100. ISSN 0167-6636. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167663605000591>
- [28] KROPÁČ, Pavel. *Recyklované kamenivo do asfaltových směsí pozemních komunikací* [online]. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací. 2013. Vedoucí práce Dušan Stehlík. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/30055>
- [29] KUNC, Michal. *Latexem modifikované cementové kompozity* [online]. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. Ústav chemie materiálů. 2013. Vedoucí práce Jaromír Havlica. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/25096>
- [30] LIKITLERSUANG, Suched a Thanakorn CHOMPOORAT. Laboratory investigation of the performances of cement and fly ash modified asphalt concrete mixtures. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2016, vol. 9, no. 5, s. 337-344. ISSN 1996-6814. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://search.proquest.com/docview/1847476211>
- [31] LUTONSKÝ, Filip. *Asfaltocementový beton* [online]. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací. 2013. Vedoucí práce Petr Hýzl. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/30056>
- [32] MALPASS, Glen Alan. *The use of reclaimed asphalt pavement in new SUPERPAVE asphalt concrete mixtures*. North Carolina State University. ProQuest Dissertations Publishing, 2003. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://search.proquest.com/docview/305312911>
- [33] MASHAAN, Nuha Salim, et al. A review on using crumb rubber in reinforcement of asphalt pavement. *The Scientific World Journal* [online]. January 2014, vol. 2014. [cit. 2017-12-28]. DOI: 10.1155/2014/214612. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/214612/abs/>
- [34] MONDSCHNEIN, Petr a Adam KONVALINKA. Asphalt Composites for Places with Higher and Atypical Load [online]. In: *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 1054, s. 64-70. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/detail.action?docID=1911012>
- [35] MONDSCHNEIN, Petr, Adam KONVALINKA a Pavel SVOBODA. Durability of Composites Based on Asphalt. *Applied Mechanics and Materials* [online]. 2015, vol. 796, s. 25-33. ISSN 16609336. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://search.proquest.com/docview/1720764284?pq-origsite=gscholar>
- [36] MOREA, F., J. O. AGNUSDEI a R. ZERBINO. The use of asphalt low shear viscosity to predict permanent deformation performance of asphalt concrete. *Materials and Structures*. 2011, vol. 44, no. 7, s. 1241-1248. ISSN 1359-5997. Dostupné z: <https://link.springer.com.ezproxy.vscht.cz/article/10.1617%2Fs11527-010-9696-3>



- [37] PASETTO, Marco a Nicola BALDO. Unified approach to fatigue study of high performance recycled asphalt concretes. *Materials and Structures*. 2017, vol. 50, no. 2, s. 1-15. ISSN 1359-5997. Dostupné z: <https://link-springer-com.ezproxy.vscht.cz/article/10.1617%2Fs11527-016-0981-7>
- [38] PHETCHARAT, Sudniran. Properties comparisons and cost analysis of asphaltic cement grade 80/100 and 60/70 modified with crumb rubber and SBS polymer [online]. In: *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 911, s. 484-488. ISSN 1662-8985; 1022-6680. Dostupné z: <https://www.scientific.net/AMR.911.484>
- [39] RADZISZEWSKI, Piotr. Modified asphalt mixtures resistance to permanent deformations. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2007, vol. 13, no. 4, s. 307-315. ISSN 1392-3730. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13923730.2007.9636451>
- [40] SANTAGATA, Ezio, Orazio BAGLIERI a Pier P. RIVIERA. Effect of anti-icing chemicals on stripping of asphalt concrete mixtures for airport runway wearing courses [online]. In: *Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements - Proceedings of the 2013 Airfield and Highway Pavement Conference*. 2013. 1229-1239 s. ISBN 0784413002;9780784413005. Záznam dostupný z: <https://ascelibrary-org.ezproxy.vscht.cz/doi/10.1061/9780784413005.104>
- [41] SVRČINA, Vít. *Využití asfaltových a betonových recyklátů do pozemních komunikací* [online]. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací. 2015. Vedoucí práce Dušan Stehlík. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/37693>
- [42] WEI, DONGFANG. *Thermal plastic resin modified asphalt compound additives and preparation method thereof*. Jun 9, 2004. Patent na Espacenet Patent search. [cit. 2017-12-29]. Záznam dostupný z: <https://worldwide.espacenet.com/searchResults?DB=EPODOC&compact=false&query=CN1250635C>
- [43] WONG, Winggun, Changbin HU a Xin QIU. Laboratory Performance Evaluation on Polymer Modified Porous Asphalt Concrete. In: *Asphalt Material Characterization, Accelerated Testing, and Highway Management*. American Society of Civil Engineers, 2009. 15-21 s. ISSN 0895-0563. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/detail.action?docID=3115527>
- [44] YANG, BH a XZ WENG. The influence on the durability of semi-flexible airport pavement materials to cyclic wheel load test. *Construction and Building Materials*. 2015, vol. 98, s. 171-175. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815303068>
- [45] ZHONG, Ke, Xu YANG a Xiaohao WEI. Investigation on surface characteristics of epoxy asphalt concrete pavement. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2017, vol. 10, no. 6, s. 545. ISSN 1996-6814. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=https://search.proquest.com/docview/1973115519>



- [46] ANDERTON, Gary Lee. Engineering Properties of Resin Modified Pavement (RMP) for Mechanistic Design. Výzkumná zpráva. Vickburg: Geotechnical Laboratory, 2000. 194 s.
- [47] Salviacim: Eurovia CZ. [online]. Praha: [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://www.eurovia.cz/cs/produkty_technologie/asfaltové_smesi/produkty/1598-salviacim_sup_sup
- [48] Petr's Olomouc. Confalt. [online]. Praha: [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: http://petrs.com/prumyslove_podlahy/confalt
- [49] ČSN 73 6127-3. Stavba Vozovek – Prolévané směsi – Část 3: Asfalcementový beton. Praha: ÚNMZ, 2008
- [50] SVOBODA, Luboš. Stavební hmoty. 2. přeprac. a dopl. vyd. Bratislava: Jaga, 2007. ISBN 978-80-8076-057-1.
- [51] ČSN EN 12390-1 (731302). Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy: Praha. 2009
- [52] ČSN EN 12390-5 (731302). Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles. Praha. 2009
- [53] ČSN EN 12390-3 (731302). Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. Praha. 2009
- [54] ČSN EN 445. Injektážní malta pro přepínací kabely – zkušební metody. Praha. 2011
- [55] ČSN EN 196-1 (722100). Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti. Praha. 2016
- [56] ČSN EN 13043 (721501). Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch. Praha. 2004
- [57] ČSN EN 12591 (657201). Afalty a asfaltová pojiva – Specifikace pro silniční asfalty. Praha. 2009
- [58] ČSN EN 934-2 + A1 (722326). Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Část 2: Přísady do betonu – Definice, požadavky, shoda, označování a značení štítkem. Praha. 2013
- [59] ČSN 73 6121 (736121). Stavba vozovek. Hutněné asfaltové vrstvy. Praha. 1994 až 2008
- [60] ČSN EN 13108-7 ED.2 (736140). Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 7: Asfaltový koberec drenážní. Praha. 2017
- [61] ČSN EN 12697-35 + A1 (736160). Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35: Laboratorní výroba směsi. Praha. 2016 až 2018
- [62] ČSN EN 197-1 ED.2 (722101). Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití. Praha. 2012
- [63] ČSN EN 12504-1 (731303). Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrty – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku. Praha. 2009
- [64] Technické údaje malty Confalt [online]. [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <http://www.petrs.com/prumyslove-podlahy/confalt/>



-
- [65] Vlastnosti kompletního povrchu Confalt [online]. [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <http://www.petrts.com/prumyslove-podlahy/confalt/>
- [66] Mechanická aktivace odpadního betonu: Stanovení efektivity pro různé druhy odpadních betonů. *TZBinfo* [online]. 25.3.2019 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/18808-mechanicka-aktivace-odpadniho-betonu-stanoveni-efektivity-pro-ruzne-druhy-odpadnich-betonu>
- [67] ŠULC, Rostislav, Matouš KRÁSA a Petr FORMÁČEK. Durability of concrete with binder based on sulfocalcic fly ash. In: *Acta Polytechnica CTU Proceedings 22:113-122, 2019*. Czech Technical University in Prague, doi: 10.14311/APP.2019.22.0113, available online at <http://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/app/article/view/5668/5074>



Seznam obrázků

Obr. 1: Logo firmy Eurovia.....	12
Obr. 2: Výsledný produkt – aplikovaný SALVIACIM.....	12
Obr. 3: Logo firmy COLAS	13
Obr. 4: Aplikace gumových stěrek při zalévání cementové suspenze	14
Obr. 5: Logo firmy Contec	15
Obr. 6: Výřez hotového povrchu – Confalt	16
Obr. 7: Logo firmy Densit	16
Obr. 8: Plnění finišeru horkou asfaltovou směsí	27
Obr. 9: Válcování položeného asfaltového koberce.....	27
Obr. 10: Trychtýř pro Trychtýřovou zkoušku	28
Obr. 11: Vibrování, roztírání a hlazení rozlité vrstvy výplňové malty [7].....	29
Obr. 12: Cenové porovnání jednotlivých aplikovaných povrchů.....	30
Obr. 13: Amfibolit	31
Obr. 14: Vyrobená Marshallova tělesa	34
Obr. 15: Marshallova tělesa opatřená průhlednou páskou	35
Obr. 16: Detail připraveného Marshallova tělesa.....	35
Obr. 17: Mikromletý vápenec v měřítku	37
Obr. 18: Vzorky ponořené ve vodní lázni	38
Obr. 19: Mikromletý písek v měřítku.....	40
Obr. 20: Stabilizační přísada STABILAN 300 F	44
Obr. 21: Superplastifikátor SicaViscoCrete -20 Gold CZ.....	45
Obr. 22: Tekutá pryskyřice Planicrete MAPEI	46
Obr. 23: a) Použití trychtýře, b) Rozměry trychtýře.....	52
Obr. 24: Zapůjčený trychtýř od firmy Eurovia.....	53
Obr. 25: Připravená oblepená forma na výrobu trámečků.....	54
Obr. 26: Vylitá forma cementovou maltou.....	54
Obr. 27: Prolitá Marshallova tělesa	55
Obr. 28: Hranol – jmenovité rozměry zkušebních těles (převzato z [51])	56
Obr. 29: Uspořádání zatěžování zkušebního tělesa tříbodým ohybem (převzato z [52])....	58



Obr. 30: Zařízení pro zkoušku pevnosti v tahu ohybem - MTS	60
Obr. 31: Použitý nástavec v přístroji MTS na zkoušku pevnosti v tahu ohybem.....	61
Obr. 32: Zkouška pevnosti v tlaku na zbytcích trámečků	62
Obr. 33: Vyhovující způsoby porušení zkušebních krychlí [53].....	63
Obr. 34: Některé nevyhovující způsoby porušení zkušebních krychlí [53]	64
Obr. 35: Rozměry trychtýře pro zkoušku tekutosti [53].....	65
Obr. 36: Teplotní cyklus během zkoušení vzorků na odolnost proti CHRL	66
Obr. 37: Zabalené vzorky v mrazící komoře před prvními 25 cykly	67
Obr. 38: Připravené vzorky k mrazicímu zařízení na druhých 25 cyklů.....	67
Obr. 39: Povrchová krusta, která odpadla po prvních 25 cyklech.....	68
Obr. 40: Vysušený zbytek z prvních 25 cyklů.....	68
Obr. 41: Pevnosti v tahu ohybem u pilotní směsi experimentu.....	69
Obr. 42: Pevnosti v tahu ohybem po první úpravě návrhu směsi.....	70
Obr. 43: Porovnání pevností v tahu ohybem u náhrad Dastitem UX	70
Obr. 44: Porovnání pevností v tahu ohybem u náhrad popílkem Tisová	71
Obr. 45: Porovnání pevností v tahu ohybem u náhrad popílkem Hodonín	71
Obr. 46: Porovnání pevností v tahu ohybem po přidání tekuté pryskyřice	72
Obr. 47: Porovnání pevností v tahu ohybem při přidání betonového recyklátu.....	72
Obr. 48: Porovnání pevností v tahu ohybem u směsí s recyklátem a tekutou pryskyřicí....	73
Obr. 49: Pevnost v tlaku u pilotní směsi experimentu.....	74
Obr. 50: Pevnosti v tlaku po první úpravě směsi.....	74
Obr. 51: Porovnání pevností v tlaku při náhradě cementu Dastitem UX	75
Obr. 52: Porovnání pevností v tlaku při náhradě cementu popílkem z Tisové	75
Obr. 53: Porovnání pevností v tlaku při náhradě cementu popílkem z Hodonína.....	76
Obr. 54: Porovnání pevností v tlaku s přidáním tekuté pryskyřice	76
Obr. 55: Porovnání pevností v tlaku s přidáním tekuté pryskyřice	77
Obr. 56: Porovnání pevností v tlaku s přidáním tekuté pryskyřice	77
Obr. 57: Vývoj tekutosti s návrhem směsi	78
Obr. 58: Porovnání tekutosti u směsí s náhradou cementu.....	79
Obr. 59: Porovnání tekutosti s vlivem tekuté pryskyřice	79
Obr. 60: Porovnání tekutosti s vlivem recyklátu a pryskyřice	80



Obr. 61: Množství odpadu u zkoušky CHRL při náhradě Dastitem UX.....	81
Obr. 62: Množství odpadu u zkoušky CHRL při náhradě popílkem Tisová.....	81
Obr. 63: Množství odpadu u zkoušky CHRL u směsi s pryskyřicí a popílkem Tisová	82
Obr. 64: Množství odpadu u zkoušky CHRL při náhradě recyklátem a přidáním pryskyřice	82
Obr. 65: Rozpadlý vzorek směsi s popílkem Tisová.....	83
Obr. 66: Rozpadlý vzorek směsi s přidáním Dastit UX po 50 cyklech zmrazování	83
Obr. 67: Rozpadlý vzorek směsi s přidáním popílku Tisová po 50 cyklech zmrazování ...	84
Obr. 68: Rozpadlý vzorek směsi s přidáním popílku Tisová po 50 cyklech zmrazování	84
Obr. 69: Porovnání pevností v tlaku asfaltocementových kompozitů.....	85
Obr. 70: Porovnání vodního součinitele pilotní a referenční směsi	86
Obr. 71: Porovnání vodního součinitele u směsi s náhradou cementu Dastitem a popílkem	86
Obr. 72: Porovnání vodního součinitele u směsi s tekutou pryskyřicí	87
Obr. 73: Porovnání vodního součinitele u směsi s recyklátem a pryskyřicí.....	87
Obr. 74: Vliv tekutosti na pevnost v tahu ohybem	88
Obr. 75: Vliv tekutosti na pevnost v tlaku.....	88
Obr. 76: Řez asfaltocementovým betonem referenční směsi	89
Obr. 77: Řez asfaltocementovým betonem směsi s Dastitem UX.....	89
Obr. 78: Řez asfaltocementovým betonem směsi s popílkem z Tisové	90



Seznam tabulek

Tab. 1: Technické údaje malty CONFALT (převzato z [64])	17
Tab. 2: Vlastnosti kompletního povrchu CONFALT (převzato z [65])	17
Tab. 3: Měření pevností a odolnosti proti CHRL na vrstvách SALVIACIM v ČR (převzato z [47])	18
Tab. 4: Značení technologií ACB (převzato z [49])	19
Tab. 5: Minimální tloušťky vrstev ACB (převzato z [49])	20
Tab. 6: Druhy podkladů pro ACB (převzato z [49])	21
Tab. 7: Požadavky na asfaltu obalenou kostru ACB (převzato z [49])	23
Tab. 8: Požadavky na výplňovou směs pro ACB (převzato z [49])	23
Tab. 9: Požadavky na ACB (převzato z [49])	24
Tab. 10: Poměr složek v asfaltové kostře pro referenční asfaltová tělesa	33
Tab. 11: Poměr složek v asfaltové kostře pro ACB	33
Tab. 12: Poměr složek portlandského směsného cementu	36
Tab. 13: Složení betonového recyklátu	39
Tab. 14: Vlastnosti a složení mikromletého písku ST2	40
Tab. 15: Složení aplikovaných popílků	42
Tab. 16: Složení první navrhované směsi	47
Tab. 17: Směsi pro první výrobu zkušebních vzorků	47
Tab. 18: Složení směsí při 5 % hmotnostní náhrady cementu	48
Tab. 19: Složení směsí při 15 % hmotnostní náhrady cementu	48
Tab. 20: Složení směsí při 25 % hmotnostní náhrady cementu	49
Tab. 21: Složení směsí s přidáním tekuté pryskyřice	49
Tab. 22: Složení směsí s přidáním betonového recyklátu	50
Tab. 23: Složení směsí s přidáním recyklátu i pryskyřice	50