

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Bakalářská práce

Denis Nanič

2018

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michaela Frantová, Ph.D.**



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Nanič</u>	Jméno: <u>Denis</u>	Osobní číslo: <u>423778</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra betonových a zděných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vliv cyklického zatěžování teplotou na soudržnost betonových vrstev

Název bakalářské práce anglicky: The effect of Cyclic Thermal Loading on Concrete-to-concrete Bond

Pokyny pro vypracování:
rešerše témat


- soudržnost betonu, čím je ovlivněna se zaměřením na teplotní namáhání
- spoj dvou betonových vrstev - mechanické i chemické hledisko


výroba vlastních třívrstvých vzorků se střední vrstvou z malty, případně polymerbetonu
provedení zkoušky cyklickým namáháním
mechanická zkouška vzorků po stanoveném počtu cyklů teplotního namáhání
vyhodnocení zkoušek a stanovení reziduální únosnosti

Seznam doporučené literatury:
Khmurovska, Štemberk; Numerical Modelling of the Polymer Cement Bonding Under Cyclic Thermal Load; MECHANIKA 2016
Khmurovska, Štemberk; Experimental Analysis of Effect of Cyclic Thermal Load on Concrete-to-concrete Bonding; MECHANIKA 2017

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michaela Frantová, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 15.2.2018 Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku



Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

15.2.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury a za odborného vedení vedoucí bakalářské práce Ing. Michaely Frantové, Ph.D.

V Praze dne

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych velice rád poděkoval vedoucí své bakalářské práce Ing. Michaele Frantové, Ph.D. za odborné rady a vedení této práce. Dále bych rád poděkoval za cenné připomínky a pomoc s experimentální částí práce doc. Ing. Petru Štemberkovi, Ph.D., Mgr. Yulii Khmurovské a Ing. Martinu Petříkovi, Ph.D. V neposlední řadě děkuji celé své rodině za podporu při studiu.

**Vliv cyklického zatěžování teplotou
na soudržnost betonových vrstev**

*The effect of Cyclic Thermal Loading on
Concrete-to-concrete Bond*

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá soudržností betonových vrstev při cyklickém zatěžování teplotou. V práci je popsána problematika soudržnosti betonu se zaměřením na teplotní namáhání spoje dvou betonových vrstev. V druhé části této práce je detailně popsán experiment od výroby vzorků, slepení vzorků polymer cementem, provedení zkoušky cyklickým namáháním teplotou, mechanické zkoušky vzorků a následné vyhodnocení. Vzorky byly vyráběny ve dvou variantách, a to konkrétně s hladkým a s předem definovaným drsným povrchem.

Výsledkem experimentu je vyhodnocení vlivu cyklického zatěžování teplotou na soudržnost betonových vrstev. Dále bylo vyhodnoceno, jaký vliv bude mít drsný povrch vzorků na soudržnost betonových vrstev po cyklickém zatěžování teplotou.

KLÍČOVÁ SLOVA

beton, soudržnost betonových vrstev, spoj betonových vrstev, cyklické namáhání teplotou, polymer cement, chemická soudržnost, mechanická soudržnost, smykový zámek

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the effect of cyclic thermal loading on concrete-to-concrete bond. The thesis describes the concrete-to-concrete bond with focus on the effect of the thermal stress on the two concrete layers joint. In the second part of this thesis is described in detail an experiment from production samples, bonding samples with polymer cement, cycling thermal loading, mechanical testing and evaluation of results. Concrete samples were produced in two variants. The first variant was produced with a smooth surface and the second variant was produced with a defined rough surface.

The result of the experiment is the evaluation of the influence of cyclic loading on concrete-to-concrete bond and the evaluation of the rough surface on concrete-to-concrete bond after thermal cycling loading.

KEYWORDS

concrete, concrete-to-concrete bond, bonding of concrete layers, cyclic thermal loading, polymer cement, chemical adhesion, mechanical adhesion, shear lock

Obsah

1	Úvod	9
2	Motivace	11
3	Teoretická část	12
3.1	Soudržnost betonových vrstev	12
3.2	Vlivy na soudržnost betonu	15
3.2.1	Vliv drsnosti povrchu na soudržnost betonových vrstev	16
3.3	Vliv teploty na soudržnost betonu	17
3.3.1	Cyklické namáhání teplotou	21
4	Experimentální část	23
4.1	Výroba zkušebních vzorků	23
4.1.1	Materiál	24
4.1.2	Výroba vzorků	24
4.1.3	Spojování destiček	26
4.2	Zkouška cyklickým zatěžováním	27
4.2.1	Přístroje na cyklické zatěžování teplotou	27
4.2.2	Mechanická zkouška	29
4.3	Výsledky experimentu	30
4.3.1	Normalizovaná plocha spoje drsného povrchu	33
5	Závěr	35
	Literatura	36
	Příloha č. 1	38

1 Úvod

Každý den je na stavbách řešena situace, kdy je potřeba zajistit soudržnost betonových vrstev, tedy spolupůsobení vyzrálého a čerstvého betonu, a to zejména z důvodu, aby nedocházelo k poruchám v těchto rizikových místech. Je velmi důležité provést spoj jako spolehlivý a trvalý, především pokud se jedná o nosnou konstrukci.



Obrázek 1-1 – a) Lepení na betonový podklad b) prefabrikovaná konstrukce – filigránové dílce [1] c) pracovní spára, následující betonáž proběhne na vyzrálý beton [2]

V praxi je tak potřeba se tímto tématem zabývat zejména v následujících případech:

Při opravách betonových konstrukcí je jedním z nejdůležitějších úkolů zajistit spolupůsobení starého betonu s novým betonem. U železobetonových konstrukcí je pak velmi důležité, aby konstrukce působila jako jeden monolit a byla schopna roznášet napětí stejně jako v původním návrhu.

Při spojování prefabrikovaných dílců musí být dílce kvalitně spojené, aby zajistily potřebnou únosnost (obr. č. 1-1-b).

Při realizaci lepení dlaždic nebo betonových dílců na betonový podklad, většinou se používá lepidlo na bázi pryskyřice, ale lze využít materiálů na bázi cementu (obr. č. 1-1-a).

Při technologických přestávkách, které jsou nevyhnutelné při betonáži do konstrukcí velkých rozměrů (obr. č. 1-1-c),

Jako simulace betonových vrstev byly vytvořeny betonové destičky, které se následně spojovaly polymer cementem. Polymer cement vykazuje daleko větší odolnost

vůči teplotním změnám [3] [4]. Jednou z největších nevýhod polymer cementu je pak jeho cena, která je několikrát vyšší než u běžné cementové malty. Na druhou stranu mezi hlavní výhody polymer cementu patří široká škála různých druhů polymeru s určitými vlastnostmi. Je tedy možné zvolit takový polymer, aby za určitých podmínek bylo zajištěno optimálních vlastností betonových konstrukcí.

2 Motivace

Většina stavebních prací je vystavena měnícím se klimatickým podmínkám, a proto se jako jedna z hlavních příčin poškození soudržnosti betonových vrstev, jeví zatížení teplotou. Z tohoto důvodu byl v rámci bakalářské práce vyšetřován vliv cyklického zatěžování teplotou na soudržnost betonových vrstev různého stáří.

Mezi dílčí cíle této bakalářské práce patřilo vyrobit vlastní třívrstvé vzorky se střední vrstvou polymer cementu. Následně provést zkoušku cyklickým namáháním a vyhodnotit výsledky po mechanické zkoušce.

Dalším důležitým cílem této bakalářské práce bylo porovnat vliv cyklického zatěžování teplotou na soudržnost betonových vrstev na vzorcích s hladkým povrchem a s předem definovaným drsným povrchem. A následně vyhodnotit jaký vliv bude mít rozdílná drsnost na soudržnost betonových vrstev, po cyklickém zatěžování teplotou.

3 Teoretická část

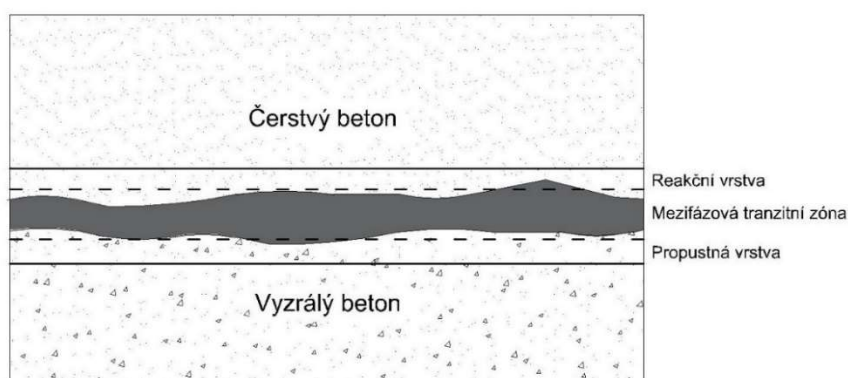
Hlavním tématem této práce je soudržnost betonových vrstev se zaměřením na vliv teplotních změn. V teoretické části práce je rozebrána podstata soudržnosti betonových vrstev a podmínky, které ji ovlivňují. Podrobně je rozebrán vliv teploty na soudržnost betonových vrstev

Hlavní parametry, které ovlivňují soudržnost betonových vrstev, jsou: drsnost rozhraní, čistota povrchu, pevnost a kvalita betonu, excentricita zatížení, procento vyztužení v místě spoje a stav vazby vrstev před zkouškou.

3.1 Soudržnost betonových vrstev

Při snaze o zajištění soudržnosti betonových vrstev je třeba vzít v úvahu přenos zatížení přes jejich rozhraní. Pokud jsou tyto betonové vrstvy jiného stáří, tedy v případě že se betonovalo na již vyzrálý beton, je zapotřebí zajistit perfektní spolupůsobení betonových vrstev, viz obrázek 3-1. Spolupůsobení betonových vrstev je umožněno právě díky soudržnosti.

Soudržnost je fyzikálně-mechanický jev, který se vyskytuje na rozhraní dvou materiálů a který vede k vzájemnému spojení materiálů. Síla potřebná k rozdělení těchto dvou materiálů se dá vyjádřit jako míra soudržnosti. Míra soudržnosti je tedy pevnost vazby. Na rozhraní betonových vrstev může vzniknout několik různých stavů napětí (např. smykové napětí, normálové napětí, kroucení apod.). [5]



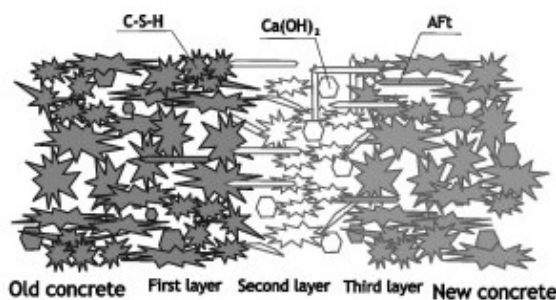
Obrázek 3-1 - Rozhraní betonových vrstev

V kompozitních strukturách přispívají k soudržnosti hlavně tyto tři základní faktory: přirozená adheze, přenos smykového napětí a vyztužení spoje. [5]

Přirozená soudržnost

Přirozenou soudržnost lze dále rozdělit na mechanickou soudržnost a specifickou soudržnost. Mechanická soudržnost využívá nerovnosti povrchu tak, že čerstvý beton (cementová pasta) proniká do těchto nerovností a tím vytváří vazbu. Druhým typem přirozené soudržnosti je specifická soudržnost, která zahrnuje adsorpční jevy (chemické vazby, vodíkové vazby, Van der Waalsovy síly), elektrostatiku a difúzi.

Chemické složení dvou betonových směsí, které se mají spojit, je buď stejné nebo velmi podobné. Mezi-částicové síly působí od okamžiku, kdy čerstvá směs přichází do styku s existujícím betonovým prvkem. Tato skutečnost usnadňuje pronikání cementové pasty do pórů a do nerovností betonového povrchu. Jakmile beton začne tuhnout dochází k chemické přilnavosti, tj. k chemickým reakcím mezi složkami čerstvé betonové směsi a nehydratovaného cementu ve starém betonu (obr. č. 3-2). Reakce, ke které dochází na rozhraní těchto dvou vrstev, je velmi podobná reakci při spojování cementové matrice s kamenivem v betonu. Na rozhraní betonových vrstev vzniká mezifázová tranzitní zóna. V této zóně, jako důsledek vyššího obsahu vody, dochází k hydrataci cementových zrn. Výsledek tohoto procesu je, že se vytváří prázdné prostory místo cementových zrn a produkty hydratace se přesouvají do mezi-krystalového prostoru. V závislosti na použitých přísadách se tato zóna vyznačuje menším nebo větším množstvím pórnosti. Na okraji mezifázové tranzitní zóny vzniká propustná vrstva a reakční vrstva. Zatímco mechanická soudržnost ovlivňuje propustnou vrstvu, tak specifická soudržnost ovlivňuje reakční vrstvu. [5]



Obrázek 3-2 - Chemický spoj vyzrálého a čerstvého betonu [6]

Propustná vrstva leží na rozhraní již vyzrálého betonu. V této vrstvě lze pozorovat mnoho křemičitanu vápenatého, hydrosilikátů C-S-H a v malém množství i ettringit(Aft) nebo Ca(OH)_2 . Mezifázová tranzitní zóna leží na přesném rozhraní vyzrálého a čerstvého betonu. Tato vrstva je velmi porézní, a hlavně se zde vykytuje Ca(OH)_2 a jehličky krystalu

ettringitu. Tyto jehličky krystalu ettringitu se natačejí ve směru kolmém k povrchu již vyzrálého betonu, díky natačení těchto krystalů vzniká v této vrstvě více pórů. Poslední je reakční vrstva, která leží na rozhraní čerstvého betonu. Množství a tvary krystalů se liší od množství a tvarů v mezifázové tranzitní zóně, podobají se krystalům v čerstvém betonu. Tato vrstva je silnější než mezifázová tranzitní zóna. [5]

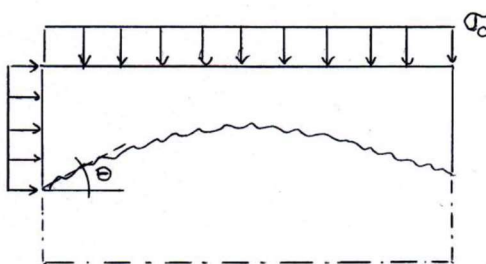
V čerstvém betonu jsou aktivní ionty Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Al_3^{3+} , Ca_2^{2+} a Si^{4+} . Tyto aktivní ionty proniknou do pórů starého betonu a reagují s nehydratovaným cementem. Ve chvíli kdy ionty naplní póry betonu vznikne propustná vrstva. Tloušťka této vrstvy závisí na složení čerstvého betonu a vyzrálého betonu. Čím je beton poréznější, tím je tato vrstva silnější. Stejně tak má vliv vodní součinitel na velikost této vrstvy. Čím vyšší je vodní součinitel, tím je vrstva silnější. Mezifázovou tranzitní zóna je velmi pórovitá a bohatá na $\text{Ca}(\text{OH})_2$, krystaly ettringitu a další chemické produkty. To je způsobeno skutečností, že je beton hydrofilní materiál a vytváří silné proudění vody ve směru starého betonu a následné zvýšení vodního součinitele v těchto místech. Vyšší vodní součinitel vede k zvětšování krystalu ettringitu a $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Díky orientaci těchto krystalů vzniká v těchto místech zvýšená pórovitost. Mezi hlavní faktory, které ovlivňují velikost mezifázové tranzitní zóna například patří: staří a porozita vyzrálého betonu, složení čerstvého betonu atd. Velikost a struktura této vrstvy má veliký význam na kvalitní spoj betonových vrstev. Čím je menší tato vrstva, tím je kvalitnější vazba. A čím více malých krystalů na rozhraní, tím je vyšší síla rozhraní. Vzhledem k tomu, že malé krystaly mají velmi specifický povrch, vytvářejí větší mezifázovou oblast mezi čerstvým a vyzrálým betonem a tím vyšší mechanickou sílu rozhraní a vyšší Van der Waalsovy síly. [7]

Významnější vliv na propojení betonových vrstev má mechanická soudržnost, která způsobuje mechanické blokování. Cementová pasta zastává funkci lepidla, které reaguje s již ztvrdlým betonem.

Tření mezi vrstvami betonu

Na rozhraní betonových vrstev může vzniknout několik variant zatížení. Všechna tato zatížení musí být převedena přímo z betonu do betonu. Pokud působí zatížení rovnoběžně s rozhraním vrstev, vznikají smykové síly. Smykové síly mohou vzniknout i ve chvíli kdy beton vlivem teploty začne měnit svůj objem. V případě, že působí tlakové síly kolmo na rozhraní, může toto zatížení vyvolat takzvaný smykový třecí mechanismus

v závislosti na drsnosti rozhraní. Výztuž a smykové trny mohou vyvolat toto zatížení nepřímo, jelikož smykové napětí způsobí uvolnění spojů výztuže s betonem. [8]



Obrázek 3-3 – Schéma smykového třecího mechanismu [8]

Podle smykové třecí teorie, (viz obr. 3-3) pro kontaktní oblast s obecným zvlněním by smyková odolnost vycházela ze vztahu:

$$\tau = \sigma * \tan \theta$$

V tomto výrazu lze nahradit $\tan \theta$ koeficientem tření μ , který zahrnuje mikrostrukturu a vliv smykového zámku na rozhraní. [8]

Nejlepšího výsledku soudržnosti betonových vrstev lze dosáhnout kombinací jednotlivých mechanismů (specifická adheze, mechanická blokace-adheze, odolnost vůči tření mezi vrstvami). Tyto mechanismy vzájemně spolupracují a maxima lze dosáhnout při nějaké kombinaci. Není možné využít všech maximálních hodnot pro jeden spoj betonu.

V závislosti na síle spoje, drsnosti rozhraní a stupni vyztužení spoje má celkový vliv na přenášení zatížení buď soudržnost nebo smykové tření. Lze tedy rozlišovat následující dvě situace:

- silný adhezní spoj-tuhý spoj – adhezní vazba je hlavním mechanismem, který odolává zatížení
- slabý adhezní spoj-netuhý spoj – hlavním mechanismem odolávající zatížením jsou smykové tření a případná výztuž na rozhraní [8]

3.2 Vlivy na soudržnost betonu

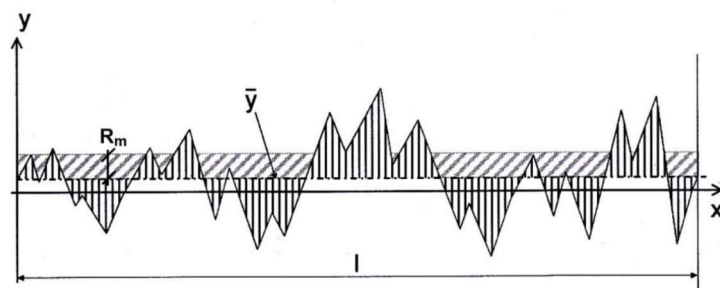
Existuje celá řada vlivů na soudržnost betonových vrstev. Mezi nejvýznamnější vlivy patří například: mikrotrhliny, čistota a stav rozhraní betonových vrstev, mechanické vlastnosti betonu, kvalita betonu, vodní součinitel betonu atd. Avšak pravděpodobně největší vliv na soudržnost betonových vrstev má drsnost povrchu betonu. [9]

Cementová pasta (laitance-překlad) na povrchu – by měla být upravena před tím, než se provede nová betonová vrstva. Lze například použít kartáčování drátěným kartáčem, pískování, frézování, pneumatické kladivo apod. Nejlepší metodou k zajištění co největší soudržnosti betonových vrstev je pískování. Metoda, která využívá pneumatické kladivo, může vyvolat mikrotrhliny v betonové matici a tím snižuje pevnostní vlastnosti betonu. Avšak tato metoda výrazně zvyšuje drsnost povrchu a je tedy doporučována u betonů s vysokou mechanickou pevností. Na druhou stranu u betonu s nízkou mechanickou pevností se doporučuje jemnější metoda (např. pískování)

Objem vlhkosti ve vyzrálém betonu má také vliv na soudržnost betonových vrstev. V případě že je v betonu příliš vlhkosti, nebo pokud je příliš suchý vytváří se slabá vazba mezi vyzrálým a čerstvým betonem. [9]

3.2.1 Vliv drsnosti povrchu na soudržnost betonových vrstev

Nejprve je důležité charakterizovat drsnost betonového povrchu. Existuje mnoho způsobů, jak charakterizovat a popsat drsnost betonových povrchů. Nejpoužívanějším parametrem je střední aritmetická odchylka R_m . Parametr R_m představuje průměrnou odchylku od střední linie. Určuje se jako střední hodnota výška profilu podél délky hodnocení l (obr. č. 3-4).



Obrázek -3-4: Charakteristika povrchu, l -délka hodnocení, R_m -průměrná odchylka, y -odchylka [8]

Existuje několik metod měření a určení drsnosti betonových povrchů. Tyto metody jsou technicky náročné a provádí se hlavně v laboratořích. Výhodou těchto laboratorních měření je, že umožňují přesné měření profilů drsnosti povrchu a podrobnější specifikaci povrchu. Metody na měření drsnosti povrchu lze rozdělit do dvou skupin, a to na kontaktní metody a bezkontaktní metody. Typickou metodou pro kontaktní měření drsnosti povrchu je kontaktní mechanický profilometr. Mezi charakteristické bezkontaktní metody patří například laserová triangulace nebo fotogrammetrie (digitální zobrazení). [8]

Největším vliv na soudržnost betonových vrstev má mechanické blokování – smykový zámek. Smykový zámek blokuje vyvolané síly a zvyšuje mechanické vlastnosti spoje. [9]

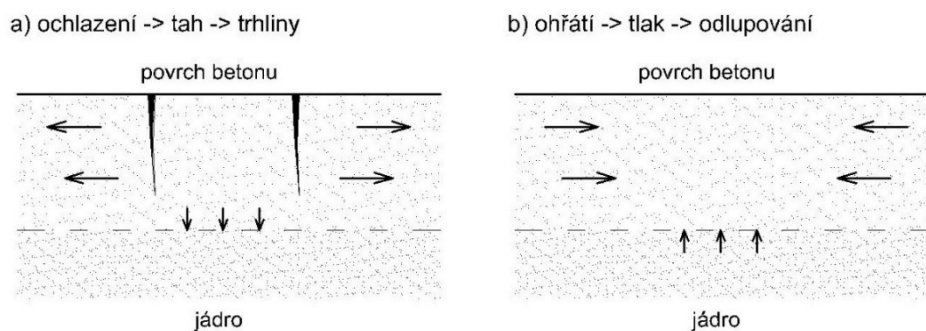
3.3 Vliv teploty na soudržnost betonu

Betonové stavby musí vykazovat dobrou trvanlivost za situace, kdy jsou vystaveny stálému působení proměnlivé povětrnosti. Tato trvanlivost závisí na odolnosti betonu vůči účinkům vyvolanými teplotními a vlhkostními změnami. Vývoj fyzikálně mechanických vlastností vlivem vlhkosti a změny teploty prostředí ovlivňuje nejen tvrdnoucí beton, ale významně ovlivňuje i beton s již prakticky ukončenou hydratací. Důsledkem působení těchto vlhkostních a teplotních změn jsou jednak objemové změny betonu, jednak změny jeho pevnosti. Příznivým jevem je, že se účinky vlivu teploty a vlhkosti, které zpravidla působí protichůdně, sčítají, a tedy výsledné hodnoty těchto změn snižují.

„Nejvýznamnější z tepelných vlastností betonu, na nichž závisí rychlost i velikost změn teploty v různých hloubkách pod jeho povrchem, jsou měrné teplo, tepelná vodivost a teplotní vodivost, která se projevuje při vyrovnání rozdílu teplot mezi povrchem a jádrem, a v neposlední řadě i velikost jeho teplotní roztažnosti. Všechny tyto vlastnosti jsou závislé na různých faktorech jako jsou například vlhkost betonu, měrná hmotnost betonu, hutnost, tučnost mísení, vlastnosti složek atd.“ [10]

Nejvíce jsou vystaveny změnám teploty a vlhkosti povrchové části betonových konstrukcí (obr. č. 3-5). Při oslunění povrchu betonu dochází k rychlému vzrůstu teploty v tenkých povrchových vrstvách (vlivem malé tepelné vodivosti betonu). Důsledkem je odlišné protažení v tenkých povrchových vrstvách a v jádru konstrukce. Tím vzniká napětí v tlaku v teplejší povrchové vrstvě. A naopak v chladnějším jádru (zadržuje povrchové dilatace) vzniká napětí v tahu. Opačný případ je více příznivý pro betonové konstrukce, při náhlém ochlazení se u povrchu objevují napětí v tahu, nebezpečná místa jsou v rozích a na hranách, kde hrozí jiné zkrácení oproti teplejšímu jádru. Při rychlém vysoušení slunečním zářením či větrem je nebezpečný vznik trhlinek z důvodu změn vlhkosti povrchu betonu. Toto platí především u tuhajícího a tvrdnoucího betonu. [10]

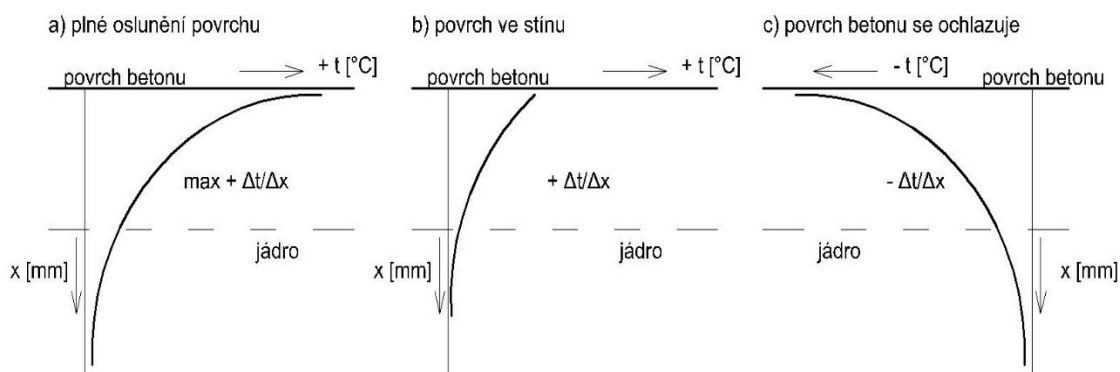
Teplotní rozdíl mezi povrchovou vrstvou betonu a jádrem vyvolává teplotní spád. Velikost tohoto rozdílu teplot ovlivňuje intenzita slunečního záření (radiace), sklon a orientace povrchu vzhledem k dopadu slunečních paprsků, jeho barva a drsnost, teplotní



Obrázek 3-5 Schéma vzniku namáhání v povrchové vrstvě a mezi ní a jádrem betonu a) ochlazení povrchové vrstvy; b) ohřátí povrchové vrstvy

režim ovzduší, tepelná vodivost betonu atd. Kritický teplotní spád s maximálním gradientem $\Delta t/\Delta x$ vzniká při intenzivním slunečním záření, které rychle ohřívá studený povrch betonu. O mnohem menší teplotní spád vzniká, pokud beton není vystaven přímému slunečnímu záření (povrch je ve stínu) a rozdíl teplot vyvolává proudění či vedení tepla (konvekce a kondukce). Například v noci při náhlém ochlazení teplého povrchu betonu je teplota povrchové vrstvy nižší než teplota jádra. Dalším faktorem, který ovlivňuje teplotní spád je intenzita tepelného vyzařování (emise). Přes den tedy vzniká kladný teplotní spád, který za příznivých podmínek může dosáhnout svých maximálních hodnot. Naopak v noci je teplotní gradient záporný (obr. č. 3-6). Změny vlhkosti, působí podobně jako změny teploty, vyvolávají vznik vlhkostního spádu. V suché oblasti působí tahové namáhání, které jde proti působení vlivu změny teploty (teplotní roztažnost). Tato namáhání se od sebe odečítají a vzniká pouze tlakové nebo tahové namáhání. [10]

„Pokud se objemové změny, které jsou důsledkem teplotních a vlhkostních změn, nemohou volně projevit, dochází v dotčených průřezech povrchových částí betonových konstrukcí ke vzniku napětí. Celkem lze rozdělit napětí v betonových prvcích, dle příčiny vzniku napětí, do tří hlavních skupin: vnější napětí vyvozuje tíhové zatížení prvku (velikost, průběh a druh závisí geometrickém uspořádání a rozměrech konstrukčního systému), vnitřní (vlastní) napětí vzniká jako důsledek nestejných objemových změn mezi povrchem a jádrem, konečně u heterogenních hmot, ke kterým patří také beton, se objevují strukturální napětí (prvek struktury betonu tvoří zrno kameniva obalené cementovým kamenem s odlišnou teplotní roztažností, či nasákavostí.“ [10]



Obrázek 3-6 – Znárodnění průběhu teplotního spádu mezi povrchovou vrstvou a jádrem betonu: a) plně oslunění povrchu (maximální kladný teplotní spád) b) povrch ve stínu (kladný teplotní spád) c) povrch betonu se ochlazuje (záporný teplotní spád)

U všech homogenních a heterogenních pevných látek dochází ke vzniku vnitřních napětí. Naopak strukturní napětí jsou omezena jen na heterogenní materiály. Beton je splepenec kamenných zrn, které jsou obalené v pevnou kompozitní hmotu cementovým kamenem. „Velikost strukturního napětí je pak odvislá od rozdílu teplotní roztažnosti jeho složek, které vyjadřují příslušní součinitelé. Je-li součinitel teplotní roztažnosti kamenných větší než součinitel teplotní roztažnosti cementového kamene a stoupá-li teplota prostředí, je obálka cementového kamene namáhána ve směru tečny k povrchu zrna kamene tahem a ve směru kolmém tlakem. V opačném případě, kdy je teplotní roztažnost kamenných zrn menší než teplotní roztažnost cementového kamene, vzniká tah kolmý k povrchu zrna a tlak ve směru tečny. V obou těchto případech mohou dosáhnout napětí poměrně vysokých hodnot.“ [10]

„Předpokladem dobré trvanlivosti (soudržnosti) betonu je spolehlivá kompatibilita (fyzikální i chemická) mezi cementovým kamenem a kamennými zrny, které musí odolávat vzniklým strukturním napětím jak při změnách teploty (odlišné teplotní součinitelé), tak i vlhkosti (smrštění, nabývání).“ [10]

Součinitel teplotní roztažnosti má tedy bezprostředně podíl na velikosti délkových změn při jeho ochlazení či ohřátí. S vzrůstající teplotou beton zvětšuje svůj objem (roztahování-expanze) a s klesající teplotou beton svůj objem zmenšuje (zkracování-kontrakce). Tyto objemové změny je třeba s ostatními druhy přetvoření betonu (např. smršťování a dotvarování).

„Délková změna Δl_t [mm/m] betonového prvku délky l [m] vlivem změny teploty Δt [°C] a při známém součiniteli teplotní roztažnosti betonu α_b [$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$] lze vypočítat ze vztahu:“ [10]

$$\Delta l_t = \alpha_b * \Delta t * l$$

V rozpětí teplot 0°C až 60°C se beton při ohřátí stejnoměrně roztahuje. Součinitel teplotní roztažnosti betonu α_b se předpokládá konstantní, hodnoty kolísají mezi $5 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ až $15 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$. Mezi hlavní faktory, které ovlivňují součinitel teplotní roztažnosti jsou: druh kameniva, vlhkost betonu, poměr mísení, druh cementu, stáří betonu, pórovitost atd. [10]

Vliv nízké teploty na beton – Voda mrazne při 0 °C, při této teplotě se objem vody zvětšuje o 9 %. Zmrzlá voda v kapilárách betonu vyvolává tlak, který narušuje strukturu betonu. Pokud jsou tato vzniklá napětí menší než pevnost pevné fáze, tak se toto napětí projeví pouze pružným zvětšením objemu. V případě, že jsou napětí větší než pevnost pevné fáze, nastávají nezvratné změny ve struktuře a vznikají trhlinky. [10] Odolnost betonu proti nízkým teplotám je závislá na jeho nasákavosti a vodotěsnosti. Tuto odolnost lze ošetřit dvěma způsoby. První varianta řešení je vyrobit dostatečně hutný beton. Jedna ze základních zásad pro výrobu hutného betonu je použití kameniva s dostatečnou odolností proti rozmrazování. Zmenšit pórovitost betonu a zabránit tak vnikání vody do betonu lze i ochrannými nátěry nebo povrchovými úpravami (např. fluátování). Druhou variantou je provzdušnění betonu, které vytváří uměle pórovitý beton s cílem zmenšit vztlakovost vody, kde jsou kapiláry přerušeny kulovými póry. [11]

Vliv vysoké teploty na beton – V případě, že se beton začne zahřívát dochází v betonu k některým mechanickým a chemickým změnám. Při krátkodobém působení teplot nepřesahující bod varu je důsledkem rychlejší odstranění volné vody ze struktury betonu. Do nedávna platná norma pro navrhování betonových konstrukcí definovala součinitel, který vyjadřoval snížení pevnosti betonu, již v případech, kdy byl beton vystaven teplotám vyšším než 50 °C, nepřetržitě po dobu 100 hodin. To naznačuje, že vliv teploty se projevuje již při poměrně nízkých teplotách. [12] Vlastnosti betonu během velmi vysokých teplot se po následném ochlazení nikdy nevrátí do původního stavu, protože velmi vysoké teploty způsobují nevratné změny struktury betonu. Vlastnosti betonu při vysokých teplotách závisí na: typu použitého cementu, druhu kameniva, vodním součiniteli a typu teplotního zatížení. Kolem 100 °C začíná dehydratace cementového tmelu a snižuje se hmotnost v důsledku odpařování vody z makro pórů. [13] V rozmezí teploty mezi 20 °C a 100 °C dochází k hydrataci (přeměny volné vody v chemicky vázanou). Při vyšších teplotách dochází postupně k rozkladu hydrosilikátů (CSH) až tavení jednotlivých složek betonu (cca 1000 °C).

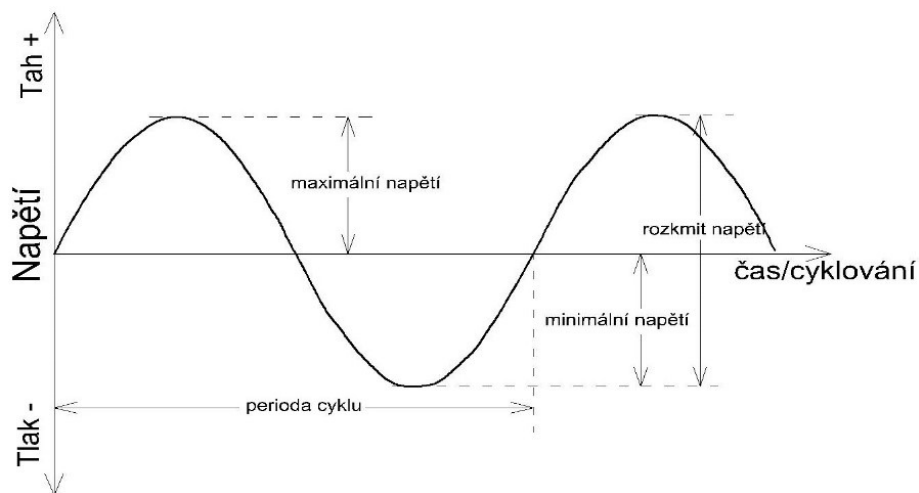
3.3.1 Cyklické namáhání teplotou

Cyklické namáhání je namáhání, které kolísá mezi maximální hodnotou a minimální hodnotou. Toto namáhání je závislé na čase. Obvykle má toto namáhání tvar sinusoidy (obr. č. 3.3-2). Hlavní charakteristické hodnoty cyklického namáhání, které nás zajímají jsou:

perioda cyklu, je doba, po které se napětí znovu opakuje

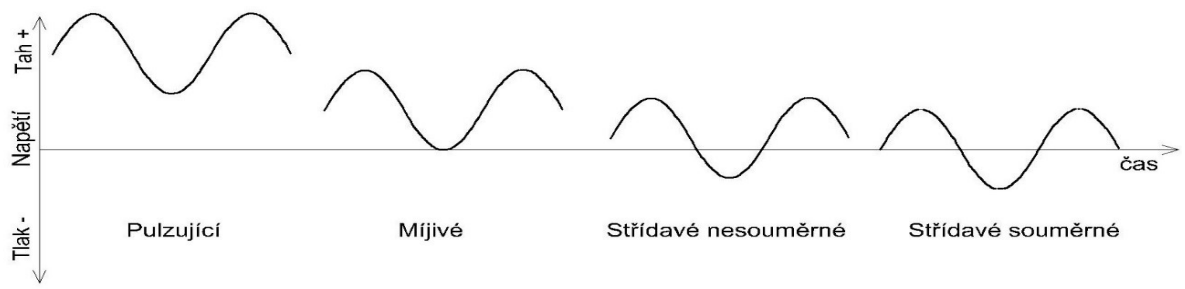
největší a nejmenší napětí cyklu, jsou to maximální a minimální hodnoty během jednoho cyklu

další charakteristické hodnoty: střední napětí cyklu, amplituda napětí cyklu, rozkmit napětí, součinitel nesouměrnosti napěťového cyklu [14]



Obrázek 3-7 - Schéma grafu cyklického namáhání

Cyklické namáhání můžeme rozdělit do několika typů zatěžovacích cyklů. První je **střídavý** cyklus. Střídavý cyklus kolísá jak mezi kladnými, tak mezi zápornými hodnotami (např. tlak/tah, teplota nad/pod nulou). Dalším typem cyklického namáhání je tzv. **pulzující** cyklus. Hodnoty u tohoto druhu namáhání jsou pouze kladné, nebo záporné hodnoty (např. pouze tlak, tah, teplota nad nulou apod.). Tento typ cyklického bude zřejmý i u této práce, kde maximální hodnotou teplotního zatížení bude 50 °C a periodou cyklu 5 minut. Dalšími typy cyklického namáhání jsou míjivé a střídavě nesouměrné cykly. [14]



Obrázek 3-8 - Typy cyklického namáhání

4 Experimentální část

Experimentální část popisuje celý experiment od výroby vzorků až po výsledky a vyhodnocení. Nejprve bylo potřeba vyrobit samotné vzorky. Vzorky byly vyráběny ve dvou variantách, a to s odlišností v drsnosti povrchu vzorků. Dalším krokem bylo slepení vzorků polymer cementem. Následovalo cyklické zatěžování teplotou a tlaková zkouška.

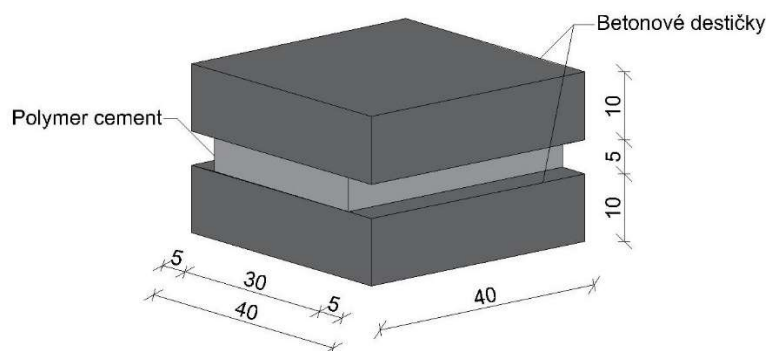
Celkový čas na výrobu vzorků, zkoušku cyklickým zatěžováním, mechanickou zkoušku a vyhodnocení byl omezen dobou stanovenou pro napsání bakalářské práce, tedy necelých 14 týdnů. Během této doby bylo zapotřebí se striktně držet časového harmonogramu (tab. č. 4-1), který jsem si stanovil na začátku této práce. aby se experiment stihl vyhodnotit do odevzdání.

Harmonogram výroby a zkoušení vzorků														
Činnost	Týden													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Výroba destiček	■	■	■	■										
Lepení vzorků			■	■	■	■								
Cyklické zatěžování teplotou							■	■	■	■	■	■	■	■
Mechanická zkouška														■

Tabulka 4-1- Harmonogram výroby a zkoušení vzorků

4.1 Výroba zkušebních vzorků

Výroba vzorků probíhala ve dvou fázích. V první fázi bylo zapotřebí vyrobit betonové destičky a ve druhé fázi spojit jednotlivé destičky do jednoho vzorku (viz. obr. č. 4-1). Destičky mají rozměr 40x40x10 mm a vrstva polymer cementu mezi destičkami 30x40x5 mm.



Obrázek 4-1- Schéma finálního zkušebního vzorku

4.1.1 Materiál

V této práci byly použity dvě odlišné směsi. První směs byla použita na horní a spodní destičky vzorku. Druhá směs byla použita na slepení těchto dvou destiček. První směs se skládala celkem ze čtyř složek (cement, voda, písek a plastifikátor viz.tab. č. 4-2)

Složky betonu	Druh složky	1 záměs [g]	Přepočet na 1 m ³ [kg]
Cement	CEM I 42,5 R	250	487
Písek	0-4 mm	400	779
Voda	Čistá voda	95	185
Plastifikátor		2,05	4

Tabulka 4-2 - Složení betonu, vrchní a spodní destičky

Materiál, kterým se spojovaly destičky, se skládá ze směsi portlandského cementu, křemičitého písku v poměru 1:1 a polyvinylalkoholových vláken (PVA vlákna), tekuté směsi z emulze polymeru ethylenvinylu a vody s velikostí částic v rozmezí od 1 do 100 mikrometrů viz tab. č.4-3.

Složky betonu	1 záměs [g]
Cement+písek+PVA vlákna	50
Polymer ethylenvinyl	7,4
Voda	3,6

Tabulka 4-3 - Složení polymer cementu

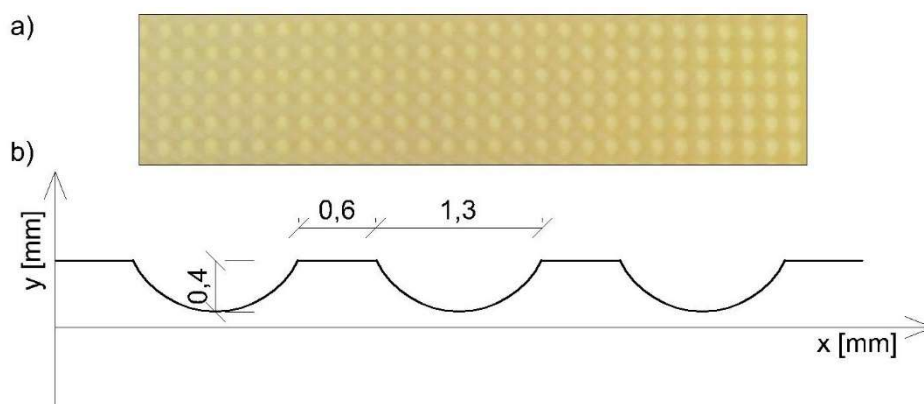
4.1.2 Výroba vzorků



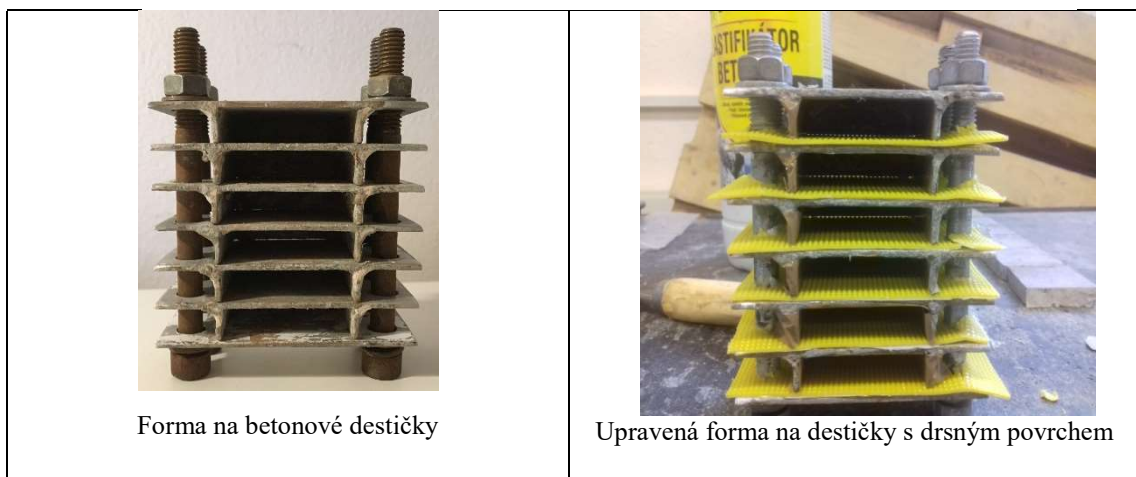
Obrázek 4-2- Rozebraná forma na betonové destičky

Vzorky se vyráběly pomocí speciální rozebíratelné (obr. č. 4-2) formy na destičky, kde se najednou vyrábí 6 destiček (viz. obr. 4-4). Celá forma je z hliníku, aby se vzorek dal odformovat a nepoškodil se během odformování, bylo zapotřebí před každou betonáží vylepit formu lepicí páskou. Vzhledem k tomu, že hlavním cílem bakalářské práce bylo

porovnat vliv cyklického zatěžování teplotou na soudržnost betonových vrstev na vzorcích s hladkým povrchem a s předem definovaným drsným povrchem. Bylo tedy zapotřebí vyrobit vzorky s dvěma různými povrchy. Na výrobu vzorků s hladkým povrchem bylo využito hladké stěny formy. Na výrobu vzorků s předem definovaným drsným povrchem bylo využito protiskluzového povrchu kuchyňského plastového prkénka. Kuchyňské prkénko se nařezalo na přesně požadovaný rozměr a vkládalo se mezi formy na jednotlivé destičky. Tento postup napomohl tomu, aby výška všech vzorků zůstala stejná. Charakteristika drsného povrchu viz. obrázek č. 4-3.



Obrázek 4-3 - a) Detail plastového prkénka b) Graf drsnosti povrchu



Obrázek 4-4 - Fotografie formy na vzorky

Vzorky se vyráběly v Experimentálním centru ČVUT na fakultě stavební. Záměs se míchala ručně dle receptury (viz. tab. č. 4-2) a vibrovala dostatečně dlouho (cca 90 s), aby se beton dostatečně zhutnil a aby v betonu nebyly vzduchové póry. Vzorky byly ponechány ve formě minimálně 24 hodin, pro dosažení minimální pevnosti betonu pro odformování (obr. č. 4-5). Destičky se tedy vyráběly rychlostí 6 destiček za 24 hodin.



Obrázek 4-5 - Fotografie čerstvé betonové směsi ve formě

Pro rychlejší výrobu vzorků bylo vyzkoušeno odformování vzorků po 16 hodinách. Tyto vzorky se při odformování polámaly (obr. č. 4-6) z důvodu malé pevnosti betonu a přešlo se zpět na odformování po 24 hodinách.



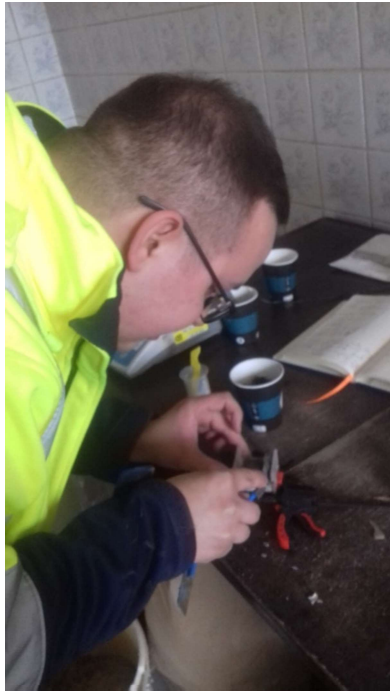
Obrázek 4-6 - Fotografie polámaných vzorků

Celkem bylo vyrobeno 84 destiček, ze kterých bylo 60 použitelných. A z těchto 60 destiček bylo vyrobeno 30 vzorků (15 s hladkým povrchem a 15 s drsným povrchem), které byly připraveny k dalším zkouškám.

4.1.3 Spojování destiček

Destičky se spojovaly polymer cementem ve chvíli, kdy byly 14 dní staré. Po dalších 28 dnech, od spojení s polymer cementem, byl vzorek připraven k cyklickému zatěžování teplotou. Destičky tedy byly 42 dní staré a polymer cement 28 dní starý.

Destičky se pomocí distančních klínů spojily polymer cementem (obr. č. 4-7). Povrch destiček se nejprve navlhčil, aby destičky nepřebíraly vlhkost z čerstvé směsi. Destičky se následně přimáčkly k sobě silou cca 20 kg. A zhruba po třech minutách, tedy ve chvíli, kdy byl polymer cement dostatečně pevný, se distanční klínky vytáhly. Takto hotový vzorek byl připraven po 28 dnech k cyklickému zatěžování.



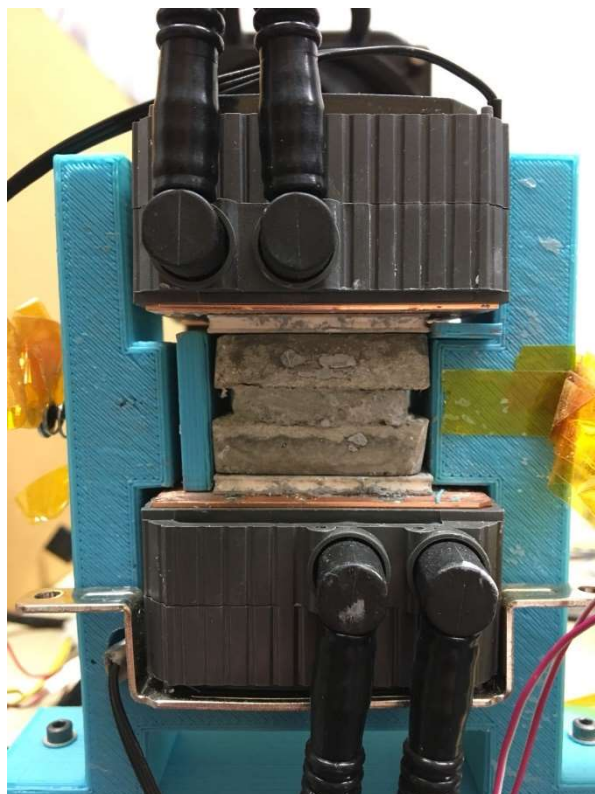
Obrázek 4-7 - a) Fotografie spojování destiček b) Vzorek připraven k cyklování

4.2 Zkouška cyklickým zatěžováním

Celkem se vzorky cyklovaly v různých počtech cyklů, a to obě varianty vzorků (s hladkým a s předem definovaným drsným povrchem). Vzorky se cyklovaly tedy na 50, 100, 200 a 400 cyklů. K vyhodnocení se použil i jeden vzorek, který se necykloval.

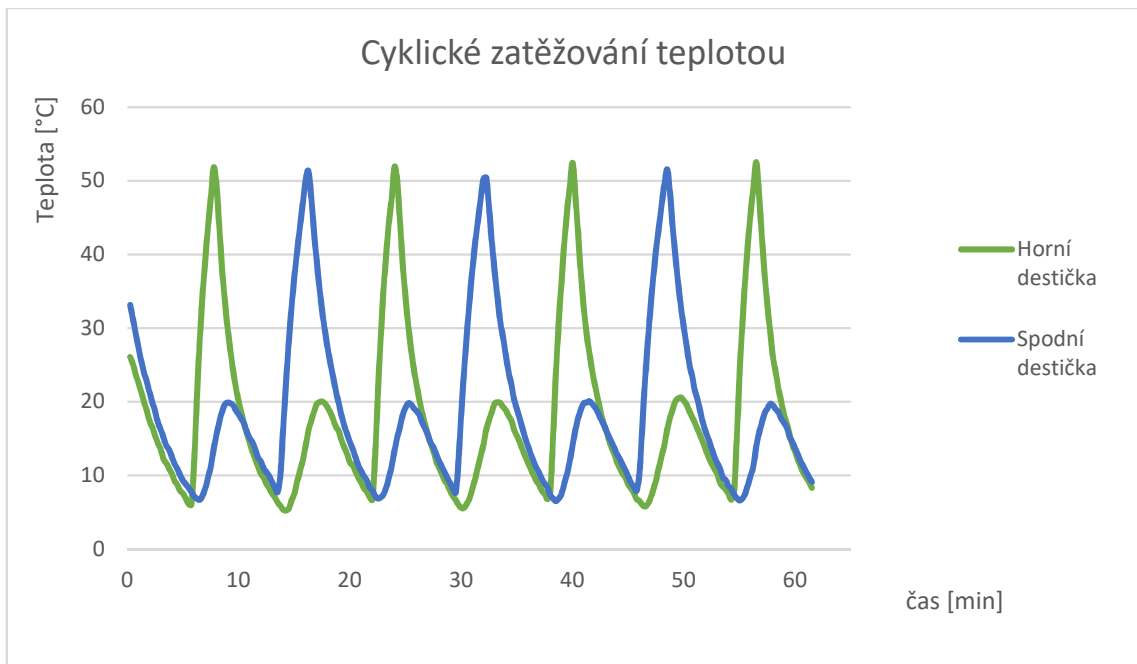
4.2.1 Přístroje na cyklické zatěžování teplotou

Přístroj na cyklické zatěžování teplotou byl vyroben v červnu roku 2016 na fakultě stavební ČVUT v Praze (obr. č. 4-8). Hlavní konstruktérem byl Ing. Martin Petřík, PhD. Cyklické zatěžování teplotou je modelováno pomocí termoelektrických modulů založených na Peltierově efektu, který se používá například v klimatizačních jednotkách. Tyto moduly se mohou zahřívat, nebo ochlazovat v závislosti na směru proudění elektrické sítě. Skript, kterým je tento přístroj na cyklické zatěžování teplotou řízen, je napsaný v programovacím jazyce Python. [4]



Obrázek 4-8 - Přístroj na cyklické zatěžování teplotou

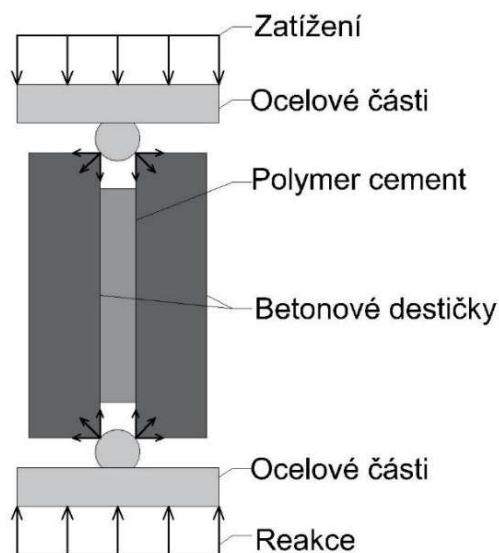
Přístroj na cyklování je nastaven na následující proces. Přístroj zahřívá nejprve horní plochu vzorku a následně spodní plochu vzorku, v průběhu cyklování se měří teplota horní i spodní destičky. Nejdříve se začnou ochlazovat oba dva povrchy a ve chvíli kdy je teplota jak horní, tak spodní destičky menší než 8 °C začne se zahřívát horní destička (spodní destička se stále ochlazuje, ale teplota v jednom okamžiku začne růst, protože přebírá teplo z horní destičky) a v okamžiku kdy překročí 50 °C je ukončen první cyklus a destička se začne opět ochlazovat. Ve chvíli kdy teploty obou destiček klesnou pod 8 °C, začne se zahřívát spodní destička rovněž na 50 °C. V tom okamžiku se začnou obě destičky ochlazovat a končí druhý cyklus. Tento postup se dále opakuje, dokud není dosaženo požadovaného počtu cyklů (viz. obr. č. 4-9).



Obrázek 4-9 - Graf cyklické zatěžování teplotou

4.2.2 Mechanická zkouška

Vzorky se po cyklickém zatěžování teplotou zkoušely na zatěžovacím lise, který se běžně používá ke zkoušce betonu v příčném tahu (obr. č. 4-11). Na přístroji lze nastavit rychlost posunu příčníku a lis zaznamenává sílu, kterou musí vynaložit k určitému posunu. Pro tuto zkoušku, vzhledem k velikosti vzorků, byl nastaven posun 0,2 mm/min. (obr. č. 4-10)



Obrázek 4-11 – Schéma zatížení vzorku

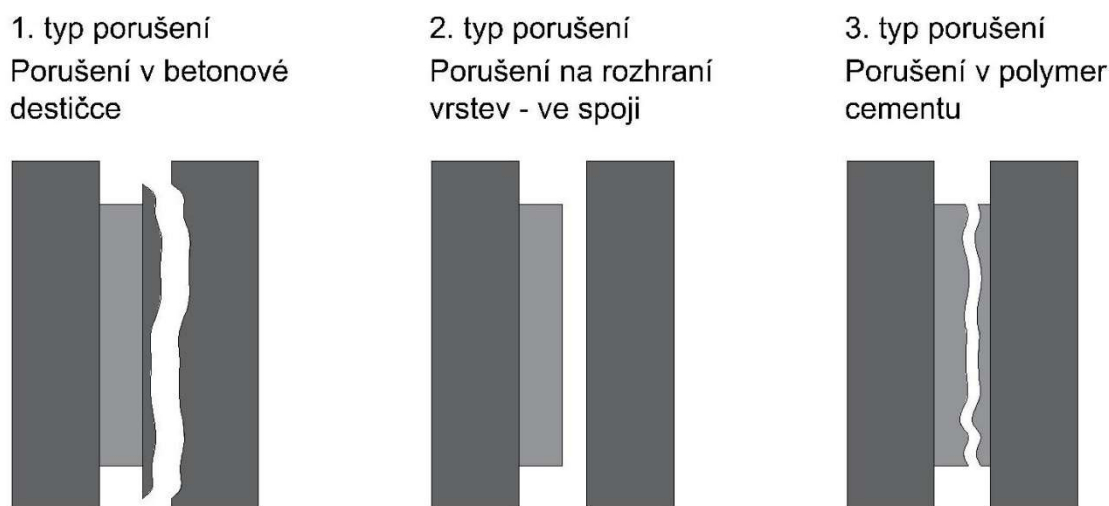


Obrázek 4-10- Fotografie zkoušení vzorku

4.3 Výsledky experimentu

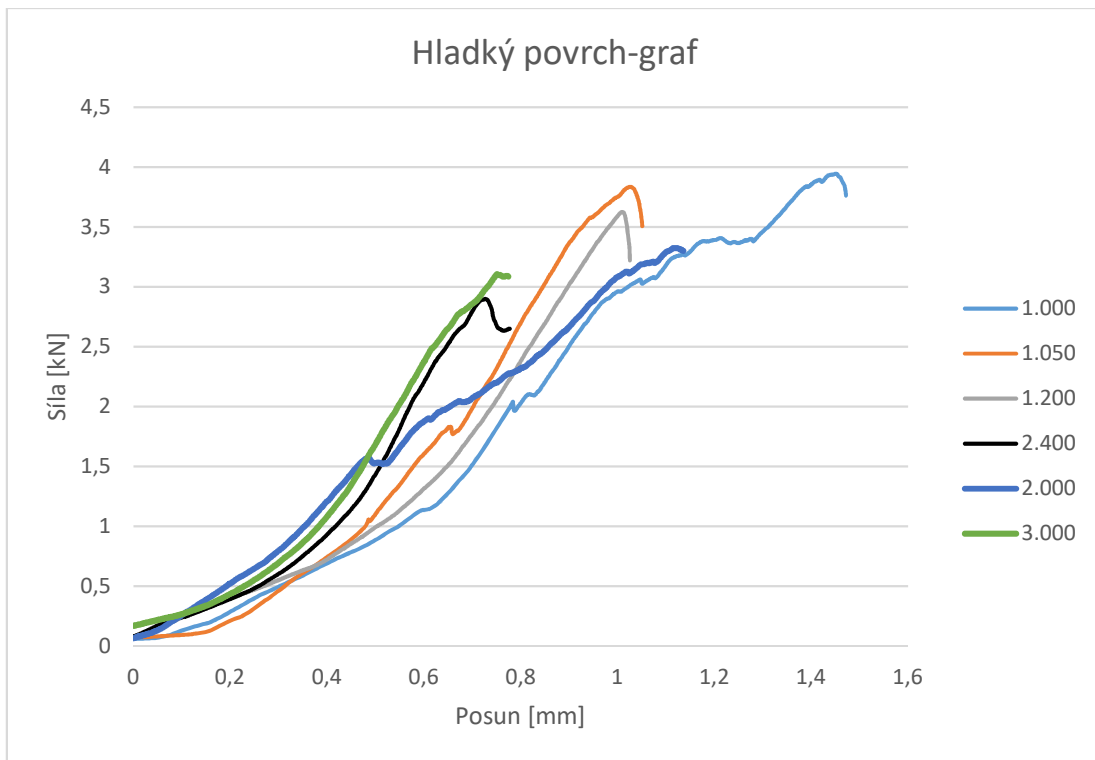
Výsledky experimentu jsou zpracovány v Příloze č. 1, kde jsou popsány všechny zkušební vzorky s fotografií porušení vzorku po mechanické zkoušce. Dále jsou uvedeny v tabulce následující údaje: číslo vzorku (počet cyklů), povrch vzorku, síla porušení, typ porušení a fotografie.

Celkem šlo pozorovat 3 typy porušení vzorků po mechanické zkoušce (obr. č. 4-12). Prvním typem je porušení betonových destiček. Tedy v případě, že spoj a polymer cement vydrží více než betonové destičky. Toto porušení se převážně vyskytuje u vzorku s malým počtem cyklů. Druhým typem porušení je porušení na spoji mezi betonovými destičkami a polymer cementem. Posledním, třetím typem, je porušení polymer cementu.



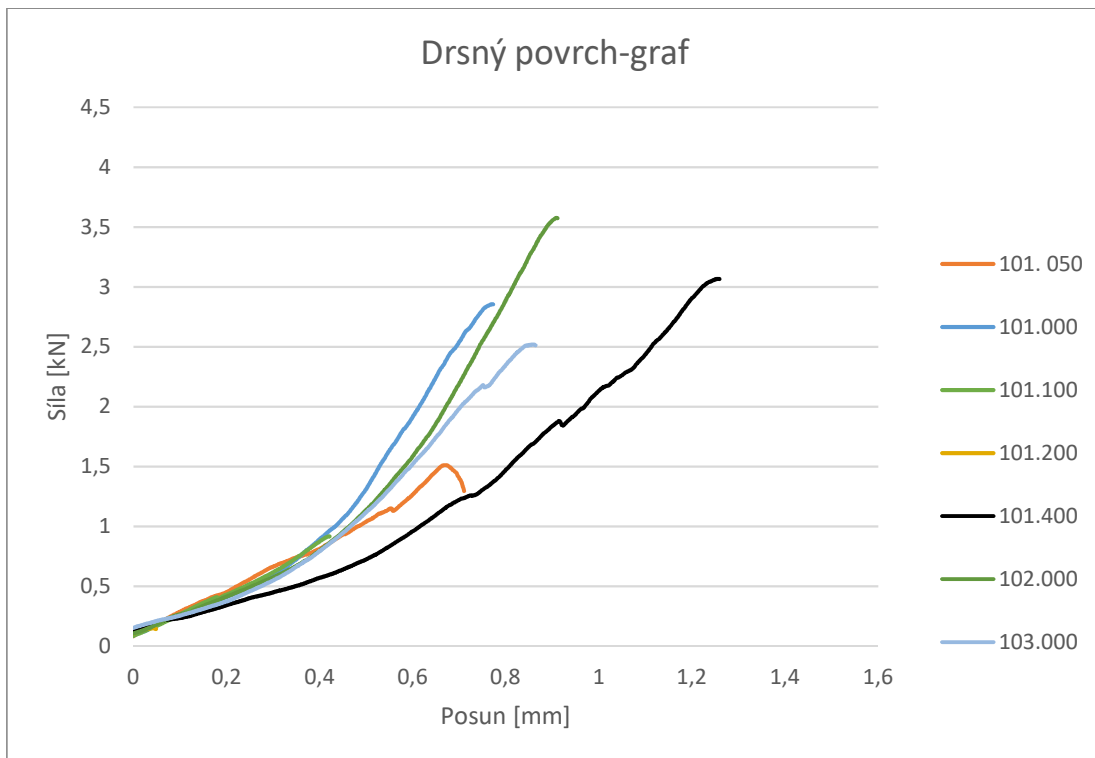
Obrázek 4-12- Typy porušení vzorků

Výsledné hodnoty ze zatěžovací zkoušky jsou vyneseny v grafu závislosti posunu na síle. V tomto grafu (obr. č. 4-13) jsou znázorněny výsledky pro vzorky s hladkým povrchem s 0, 50, 200 a 400 cykly. Pro vzorky s 100 cykly, díky chybě exportu, není k dispozici tento graf. Dalším výsledkem, který není zaznamenán v tomto grafu, je vzorek, který se cykloval jako první na 400 cyklů. Tento vzorek se porušil již při cyklickém zatěžování teplotou. K dispozici je pouze výsledná síla, která je zaznamenána v Příloze č. 1 a v grafech č. 4-13 a 4-1544. Průměrná hodnota zatížení pro vzorky s hladkým povrchem při 0 cyklech je 3,46 kN a pro vzorky s drsným povrchem při 0 cyklech je 2,99 kN.

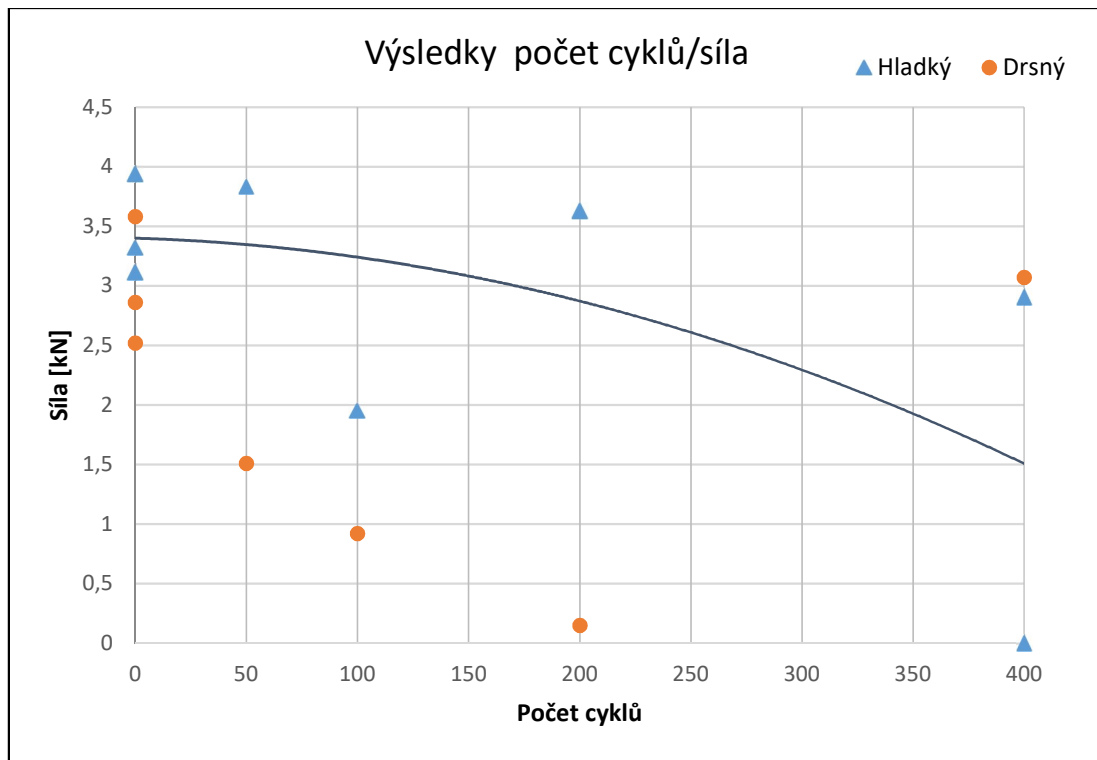


Obrázek 4-13 - Graf závislosti posunu na síle pro vzorky s hladkým povrchem

V následujícím grafu (obr. č. 4-14) jsou znázorněny výsledky pro vzorky s drsným povrchem pro všechny zkoušené cykly (0, 50, 100, 200 a 400 cyklů).



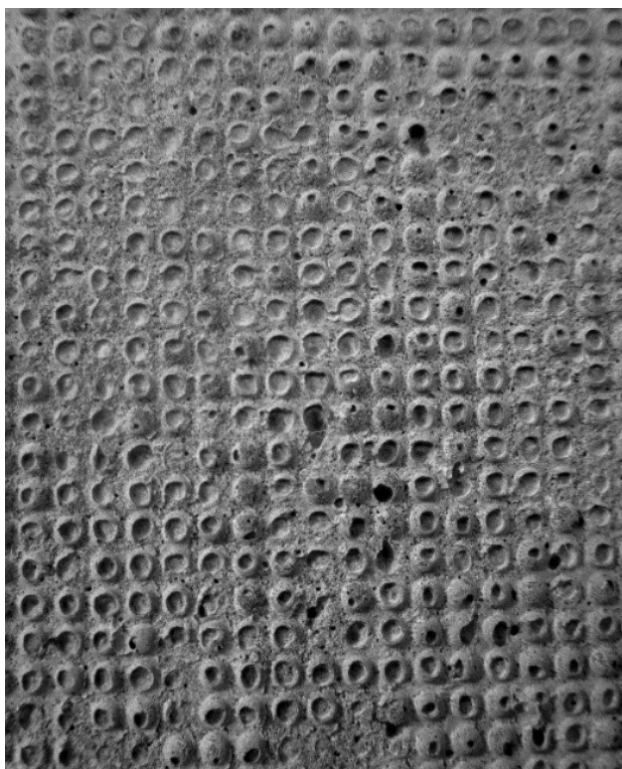
Obrázek 4-14 - Graf závislosti posunu na síle pro vzorky s drsným povrchem



Obrázek 4-15 - Graf závislosti počtu cyklů na síle potřebné k porušení vzorku

Na obrázku č. 4-15 jsou znázorněny výsledky pro obě sady zkušebních vzorků jak pro vzorky s hladkým, tak pro vzorky s drsným povrchem. Na ose x jsou počty cyklů a na ose y síla, která porušila vzorek během zkoušky. V grafu je, čárkovanou čarou, znázorněn předpoklad průběhu funkce. Nejsou znázorněny předpokládané hodnoty, ale pouze předpoklad funkce. Tedy že při zvyšujících se počtech cyklů se bude rapidně zmenšovat výsledná síla potřebná k porušení.

Vzorky s předem definovaným povrchem by měly mít větší plochu spoje než vzorky s hladkým povrchem. Na rozhraní spojů by měl vznikat i smykový zámeček, který by měl soudržnost betonových vrstev zvyšovat. Výsledky experimentu tyto předpoklady však nepotvrzují. Jeden z hlavních důvodů, proč jsou výsledky odlišné od předpokladů, je, že byl zvolen příliš malý profil drsnosti povrchu a tím se do uměle vytvořených nerovností povrchu nedostal polymer cement a tedy plocha, která měla být větší, byla menší. Výsledná síla porušení je tedy menší než u vzorků s hladkým povrchem. Na obrázku č. 4-16 lze pozorovat vzduchové bublinky, které vznikly ve spoji mezi betonovými destičkami a polymerem cementem. Tyto vzduchové bublinky zmenšovaly již zmíněnou plochu spoje.

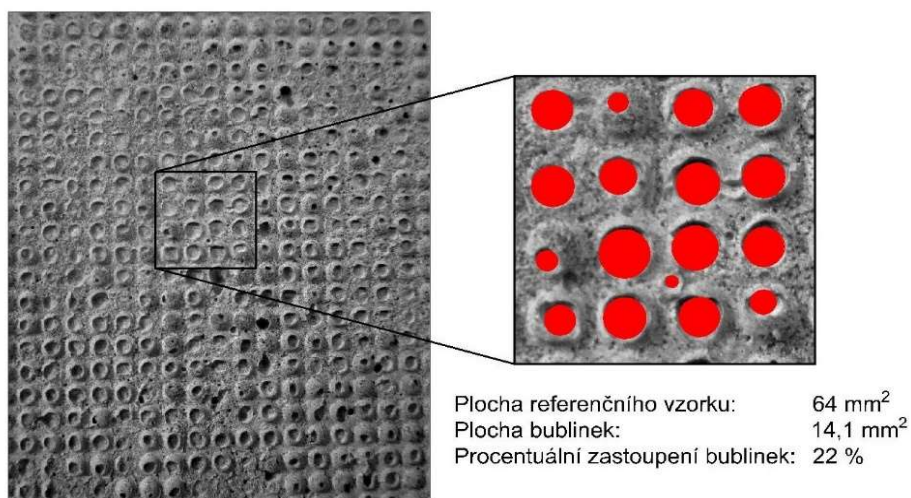


Obrázek 4-16 - Vzduchové bublinky mezi betonovými destičkami a polymer cementem

Výsledky u vzorků s hladkým povrchem vyšly dle očekávání. Potvrzují trend, že soudržnost betonových vrstev, s rostoucím počtem cyklického namáhání teplotou, klesá.

4.3.1 Normalizovaná plocha spoje drsného povrchu

Je tedy zapotřebí se zabývat otázkou velikosti vytvořené povrchové drsnosti a použití správné technologie při betonáži. Aby nedošlo k situaci, kdy zdrsnění povrchu zhorší výsledky soudržnosti betonových vrstev, která by měla být větší.



Obrázek 4-17 – Výpočet zastoupení bublinek ve spoji

V případě, že se vzorek poruší ve spoji polymer cementu a betonové destičky. Dá se u vzorků s drsným povrchem přepočítat síla, která by vyšla v případě dokonalého spoje. Protože síla porušení je přímo úměrná ploše spoje.

Podle obrázku č. 4-17 lze dopočítat jakou by měly vzorky soudržnost v případě, že by ve spoji nevznikly bublinky. Podle referenčního vzorku je 22 % povrchu spoje tvořeno bublinkami. A tedy síla, která je potřebná k porušení vzorku je o 22 % menší než výsledná síla, která vyšla při mechanické zkoušce. Byly přepočítány pouze vzorky, které se necyklovaly, protože u vzorků, které se cyklovaly byl teplotou zatěžován spoj mezi betonovou destičkou a polymer cementem, který měl oslabenou plochu. A v případě, že by byl spoj dokonale vytvořen, poškození by bylo menší. Průměrná hodnota zatížení pro vzorky s drsným povrchem při 0 cyklech se tedy z 2,99 kN zvýšila na 3,83 kN. Tato hodnota je tedy vyšší než u vzorků s hladkým povrchem.

5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zkoumání soudržnosti spoje betonových vrstev různého stáří. Na základě několika pokusných experimentů provedených v minulosti na katedře betonových a zděných konstrukcí, které jsou popsány v [4] [3] a které vedly k ověření funkčnosti přístroje na cyklické namáhání teplotou, byla snaha vytvořit v rámci této bakalářské práce ucelený soubor vzorků s hladkým povrchem a s předem definovaným drsným povrchem. Na jehož základě výsledků z těchto experimentů by pak bylo možné stanovit mechanickou a chemickou soudržnost dvou různě starých betonových vrstev.

V experimentální části byly vyrobeny destičky, spojení těchto destiček do jednoho vzorku, cyklické zatížení vzorků teplotou, mechanická zkouška a následné vyhodnocení výsledků. Všechny tyto cíle se podařilo splnit i přes časovou náročnost experimentu.

Jedním z dílčích cílů této bakalářské práce bylo porovnat vliv cyklického zatěžování teplotou na soudržnost betonových vrstev na vzorcích s hladkým povrchem a s předem definovaným drsným povrchem. Předpokladem bylo, že vzorky s předem definovaným drsným povrchem budou vykazovat vyšší soudržnost a síla potřebná k porušení vzorku bude právě o mechanickou soudržnost způsobenou drsností povrchu vyšší než pro vzorky s hladkým povrchem. Výsledky experimentu tento předpoklad nepotvrzují, v rámci vyhodnocení experimentu byla přepočítána plocha spoje vzorků s drsným povrchem. Tyto přepočítané výsledky potvrzují předpoklad vyšší soudržnosti u vzorků s drsným povrchem. Je tedy zapotřebí zajistit u dalších experimentů dokonalejší technologii spojování vzorků s drsným povrchem. A to například důkladnějším vibrováním, nebo nanesením tenké vrstvy polymer cementu na vzorek a důkladným prolitím polymer cementu do uměle vytvořených nerovností povrchu. Dále je potřeba se zabývat profilem drsnosti povrchu. V případě, že tento profil bude příliš malý, bude snižovat soudržnost betonových vrstev.

Literatura

1. **Prefa Brno a.s.**, *Stropní panely Filigran*. [online], [cit. 23.5.2018] Dostupné z: <http://www.prefa.cz/pozemni-stavby/stropni-dilce/stropni-panely-filigran/>.
2. **Želex kotaca.cz**, *Tahokov - pracovní spára*. [online], [cit. 23.5.2018] Dostupné z: http://www.kotaca.cz/fotogalerie.php?clanek_id=38&foto_id=100&podrubrika_id=9.
3. **Y. Khumurovska, P. Štemberk**. *Numerical Modelling of the Polymer Cement Bonding Under Cyclic Thermal Load*, *Mechanika 2016*, Proceedings of 21th International Conference 2016.
4. **Y. Khumurovska, P. Štemberk**. *Experimental Analysis of Effect of Cyclic Thermal Load on Concrete-to-concrete Bonding*, *Mechanika 2017*, Proceedings of 22nd International Conference 2017.
5. **P. Dybe, D. Waach**. *Evaluation of the Development of Bond Strength between Two Concrete Layers*. místo neznámé : IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. Eng. 245 032056.
6. **A. D. Espeche, J. León**. *Estimation of bond strength envelopes for old-to-new concrete interfaces on a cylinder splitting test*. místo neznámé : Construction and Building Materials 25 1222-1235, 2011.
7. **H. XIE, G. LI, G. XIONG**. *Microstructure Model of the Interfacial Zone Between Fresh and Old Concrete*. Shantou University : Journal of Wuhan University of Technology - Mater.Sci.Ed. Vol. 17 No. 4, 2002.
8. **FIB model code for concrete structures 2010**. Berlin : Ernst&Sohn, 2013, ISBN: 978-3-433-03061-5.
9. **Y. He, X. Zhang, R.D. Hooton, X. Zhang**. Effect of interface roughness and interface adhesion on new-to-old concrete bonding. *Construction and Building Materials* 151 582-590. 2017.
10. **S. Modrý**, *Trvanlivost betonu a železobetonu*. Praha : Sekurkon Praha, 2001. ISBN: 80-902756-3-X, str. 83-88.
11. **A. Jílek, V. Novák**. *Betonové stavitelství I*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1986.






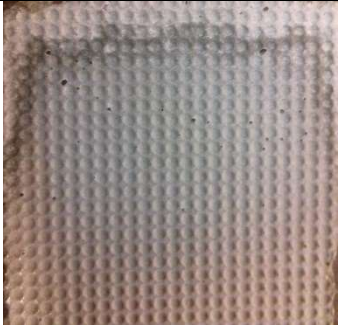
12. **K. Trtík**, *Technologie betonu*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN: 978-80-0-04408-7.







13. **V. Hlavička, É. Lubláy**. Concrete cone failure of bonded anchors in thermally damaged concrete. *Construction and Building Materials* 171 588-597. 2017.





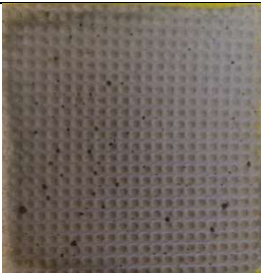
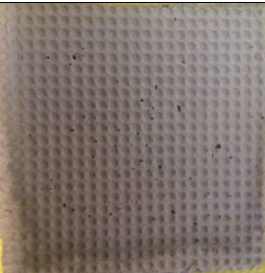
14. **L. Mrňák, A. Drdla**. *Mechanika Pružnost a Pevnost*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980. DT 539.3/4 (075).




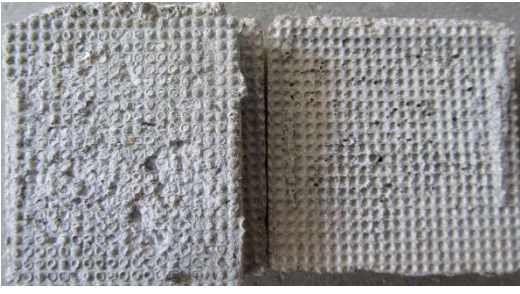

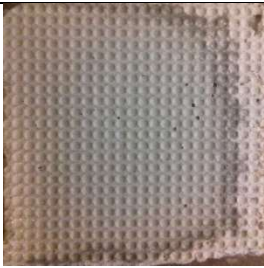
Příloha č. 1





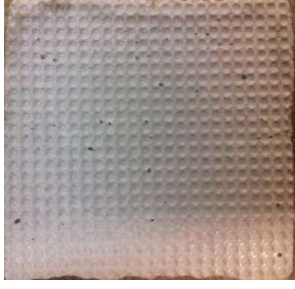
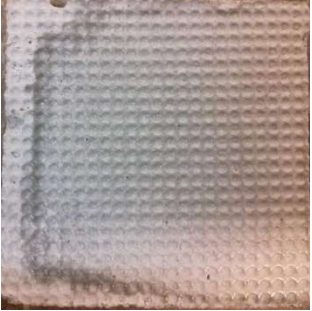

Tabulka výsledků, počet cyklů pro jednotlivé vzorky je obsažen ve sloupci označení vzorku, kde číslo za tečkou (např. xxx.100 – vzorky s 100 cykly) značí počet cyklů.









Označení vzorku	Povrch vzorků	Síla [kN]	Typ porušení	Fotografie
001.000	Hladký	3,94	Beton	
1. strana				2. strana
				
101.000	Drsný	2,86	Spoj	
1. strana				2. strana
				


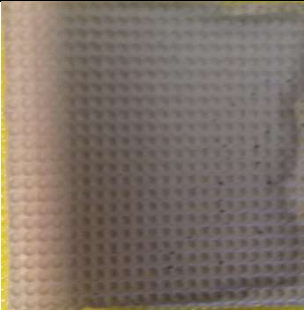


001.050	Hladký	3,83	Beton	
1. strana				2. strana
				
101.050	Drsný	1,51	Spoj	
1. strana				2. strana
				

001.100	Hladký	1,95	Spoj		
1. strana				2. strana	
					
101.100	Drsný	0,92	Spoj		
1. strana				2. strana	
					

001.200	Hladký	3,63	Beton/Spoj	
1. strana				2. strana
				
101.200	Drsný	0,15	Spoj	
1. strana				2. strana
				

002.400	Hladký	2,9	Beton	
1. strana			2. strana	
				
101.400	Drsný	3,07	Beton/spoj	
1. strana			2. strana	
				
002.000	Hladký	3,32	Beton	

1. strana				2. strana			
							
003.000	Hladký	3,11	Beton				
1. strana				2. strana			
							
102.000	Drsný	3,58	Beton				
1. strana				2. strana			
							

103.000	Drsný	2,52		
1. strana				2. strana
				
001.400	Hladký	0	Spoj	
1. strana				2. strana
