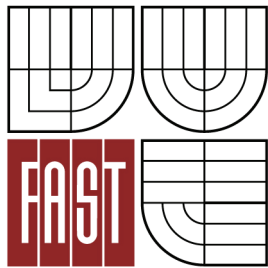




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

VLIV DÁVKOVÁNÍ OCELOVÝCH VLÁKEN NA ÚBYTEK KONZISTENCE ČERSTVÉHO BETONU A PEVNOST V TLAKU ZTVRDLÉHO BETONU.

INFLUENCE OF DOSAGE OF STEEL FIBRES ON THE LOSS OF CONSISTENCY OF FRESH
CONCRETE AND COMPRESIVE STRENGTH OF HARDENED CONCRETE.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VÁCLAV KUŘE

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. TOMÁŠ VYMAZAL, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Václav Kuře

Název Vliv dávkování ocelových vláken na úbytek konzistence čerstvého betonu a pevnost v tlaku ztvrdlého betonu.

Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2012

Datum odevzdání bakalářské práce 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....
prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] ČSN EN 12350 Zkoušení čerstvého betonu, ČNI, 2007
- [2] ČSN EN 12390 Zkoušení ztvrdlého betonu, ČNI, 2007
- [3] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby, ČNI, 2006
- [4] ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, ČNI, 2001

Zásady pro vypracování

Úvod:

Zpracujte stručný úvod do problematiky, vyjádřete se k potřebě řešení problematiky a k formulaci zadání na základě požadavků praxe.

Teoretická část:

V teoretické části proveďte rešerše doporučené a další nalezené literatury a vypracujte podklady pro metodiku řešení bakalářské práce.

Cíl práce:

Posuďte a porovnejte naměřené výsledky, charakteristické vlastnosti betonů získané výpočty podle zadaných specifikací jednotlivých receptur s různým obsahem drátků.

Metodika řešení:

Na základě rešerší literatury a poskytnutých informací z praxe zpracujte metodiku řešení a zhodnoťte vypovídací schopnost jednotlivých metod s ohledem na obsah podílů drátků jednotlivých receptur.

Experimentální část:

Aplikujte metodiku řešení na konkrétní soubory zkušebních vzorků, proveďte analýzy vzorků, zařídíte výsledky podle doporučených specifikací a zpracujte podklady pro diskuzi a zhodnocení výsledků.

Závěr:

V závěru proveďte zhodnocení a krátké shrnutí vlivu obsahu drátků na konzistenci, případně obsah vzduchu a pevnost betonu v tlaku, jasně a přehledně deklarujte výsledky BP a zhodnoťte jejich význam pro praxi.

Předepsané přílohy

.....
doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku konzistence čerstvého drátkobetonu. Konzistence byla charakterizována zkouškou sednutím a zkouškou rozlitím, jak je popsána v ČSN EN 12350. Získané výsledky jsou porovnány s referenčním vzorkem čerstvého betonu a mezi sebou. Dále je tato práce zaměřena na objemové změny během zrání, které jsou nedílnou součástí fyzikálních vlastností betonu. Vliv rozptýlené výztuže je sledován i na krychelnou pevnost v prostém tlaku jednotlivých namíchaných vzorků. V závěru je uvedeno celkové zhodnocení zkoušených parametrů, včetně komentáře o možných způsobech ovlivnění zkoušek.

ABSTRACT

Bachelor work is focused on problems of a consistency of fresh fiber reinforced concrete. The consistency was characterized by a slump test and by a test of spilling how is it described in ČSN EN 12350. Obtained results are compared with a reference sample of a fresh concrete and between themselves. Further the work is focused on volumetric changes during maturation which are integral part of physical properties of the concrete. Influence of a dispersed reinforcement was monitored on the cube strength in plain pressure of individual mixed sample too. Total evaluation of tested parameters is states at the end of the work including comment about possible ways of interference of tests.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Čerstvý beton, zkouška sednutí, zkouška rozlití, obsah vzduchu, objemová hmotnost, objemová změna, frakce kameniva, konzistence, pevnost v tlaku, smršťování betonu

KEYWORDS:

Fresh concrete slump-test, flow table test, air content, density, dimensional change, aggregate size, consistency, compressive strength, shrinkage of concrete

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

KUŘE, Václav. *Vliv dávkování ocelových vláken na úbytek konzistence čerstvého betonu a pevnost v tlaku ztvrdlého betonu..* Brno, 2013. 42 s., 7 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2013

.....
podpis autora
Václav Kuře

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Tomáši Vymazalovi, Ph.D., za věnovaný čas při zpracovávání experimentální části a trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Dále vedoucímu pracoviště zkušební laboratoře BETOTECH s.r.o. Brno Ing. Oldřichu Žaludovi za poskytnutí materiálu a praktických rad pro experimentální část této práce. Děkuji Ing. Petru Misákovi za připomínky a pomoc při vyhodnocení a interpretaci výsledků. Poděkování patří také mým rodičům, kteří mi poskytují zázemí a podporu při studiu. Děkuji všem výše zmíněným i všem ostatním, jejichž náměty, činy a rady mi byli inspirací ve studiu.

OBSAH:

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Úvod | 9 |
| 2 | Cíl práce..... | 10 |
| 3 | Teoretická část..... | 11 |
| 3.1 | Rozdělení betonu obecně..... | 11 |
| 3.2 | Rozdělení betonu podle ČSN EN 206 – 1 | 11 |
| 3.2.1 | Typový beton..... | 12 |
| 3.2.1.1 | Čerstvý beton..... | 12 |
| 3.2.1.2 | Ztvrdlý beton | 12 |
| 3.2.2 | Beton předepsaného složení | 13 |
| 3.3 | Stupeň vlivu prostředí..... | 14 |
| 3.4 | Vlastnosti drátkobetonu..... | 14 |
| 3.4.1 | Vlákna pro vláknobeton..... | 16 |
| 3.4.2 | Drátkobeton | 16 |
| 3.4.3 | Sklobeton..... | 18 |
| 3.4.4 | Beton s polypropylenovými vlákny..... | 18 |
| 3.5 | Podstata drátkobetonu | 18 |
| 3.5.1 | Drátkobeton namáhaný tahem..... | 19 |
| 3.5.2 | Drátkobeton namáhaný tlakem..... | 19 |
| 3.6 | Uplatnění drátkobetonu | 20 |
| 3.6.1 | Obecné výhody | 21 |
| 3.6.2 | Obecné nevýhody | 21 |
| 4 | Experimentální část | 22 |
| 4.1 | Metodika řešení | 22 |
| 4.2 | Receptura | 23 |
| 4.2.1 | Drátky | 24 |
| 4.3 | Příprava, míchání, zkoušení..... | 24 |
| 4.3.1 | Kamenivo | 24 |
| 4.3.2 | Množství záměsové vody | 25 |
| 4.3.3 | Cement a přísada | 25 |
| 4.3.4 | Míchání..... | 26 |
| 4.3.5 | Zkoušení čerstvého betonu | 26 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.6 | Zpracování čerstvého betonu..... | 28 |
| 4.4 | Ošetřování vzorků a měření smrštění..... | 29 |
| 4.4.1 | Uložení krychlí..... | 29 |
| 4.4.2 | Smrštění..... | 30 |
| 4.5 | Zkoušení krychelné pevnosti v tlaku..... | 31 |
| 5 | Vyhodnocení..... | 32 |
| 5.1 | Vliv drátků na změnu Konzistence..... | 33 |
| 5.1.1 | Zkouška sednutím..... | 33 |
| 5.1.2 | Zkouška rozlitím..... | 34 |
| 5.2 | Vliv drátků na objemovou hmotnost..... | 35 |
| 5.3 | Vliv drátků na obsah vzduchu..... | 35 |
| 5.4 | Vliv drátků na smršťování..... | 36 |
| 5.5 | Vliv drátků na pevnost betonu v tlaku..... | 37 |
| 6 | Závěr..... | 38 |
| 7 | Seznam použité literatury..... | 40 |
| 7.1 | Citace..... | 40 |
| 7.2 | WWW odkazy..... | 41 |
| 7.3 | Seznam příloh..... | 42 |

1 ÚVOD

Smícháním plniva, pojiva, vody, přísad a příměsí získáme beton, jeden z dnes nejrozšířenějších stavebních materiálů. V průběhu času se lidé pokoušeli různě vylepšovat složení i technologii tohoto materiálu. Na začátku vždy byly velmi náročné požadavky praxe, které nutily hledat inženýry různé cesty pro zlepšování vlastností. Postupem času se ale neobvyklá řešení stále více stávala běžnějšími a levnějšími. Dnes známe různé druhy betonu, které považujeme za nedílnou součást stavební výroby. Vedle prostého betonu, železobetonu a dalších se vyčlenil i beton s drátky, známý jako drátkobeton.

Jedná se o kompozitní materiál, do něhož jsou navíc vložena vlákna, která nadále vylepšují některé vlastnosti čerstvého betonu. Především vyšší houževnatost a pevnost v tahu za téměř stejné objemové hmotnosti.

V současnosti se výzkum a vývoj ve stavebnictví stále více zaměřuje na zpracování odpadních materiálů, či jiných progresivních materiálů. To vede k rozšíření možností aplikace i vláknobetonů. S rostoucími možnostmi narůstá i nutnost přesně popisovat chování v závislosti na různých vybraných parametrech. Tyto parametry běžně známe u obyčejných betonů. Je to především válcová/krychelná pevnost, modul pružnosti, přetvoření, konzistence, které přímo ovlivňují statický výpočet při návrhu konstrukce.

Tato práce se soustředí na popis vybraných souvislostí mezi prostým betonem a vláknobetonem. S ohledem na rozsah a proveditelnost zkoušek jsou vybrány tři jmenované popisné charakteristiky. Jsou to konzistence čerstvého betonu, smršťování a krychelná pevnost. Popis chování je určován na základě zkoušek, jak je popsáno dále, pro prostý beton. Vybrané sledované vlastnosti zachycují beton v jednotlivých fázích realizace a tím i přiblížení se skutečným podmínkám.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je analyzovat závislost konzistence čerstvého betonu na přidávaném množství ocelových vláken na dvou různých recepturách. Hodnoty změn porovnat s referenčním vzorkem i mezi sebou. Dále stanovit průběh a maximální objemové změny při zrání betonu pomocí Schleibingerova žlabu. Určit krychelnou pevnost betonu v tlaku s různým obsahem ocelových vláken a pevnosti porovnat s pevností referenčního vzorku.

3 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část si klade za cíl seznámit čtenáře s vláknobetonem a metodikou řešení, která byla použita v této bakalářské práci.

3.1 ROZDĚLENÍ BETONU OBECNĚ

Betony obecně lze dělit do různých skupin podle zvolených kritérií. Rozdělení podle objemové hmotnosti ukazuje Tab. 1, zdroj [13].

| Typ betonu | Objemová hmotnost |
|----------------|---------------------------------|
| lehký beton | 800 - 2 000 kg/m ³ |
| obyčejný beton | 2 000 – 2 600 kg/m ³ |
| těžký beton | > 2 600 |

Tab. 1 Rozdělení betonu podle objemové hmotnosti

Další rozdělení betonu je možné podle vyztužení (zdroj [17]) a to na:

- prostý beton - bez výztuže
- železobeton - betonářská tahová výztuž přebírající vzniklé tahové napětí v průřezu
- předpjatý beton - výztuž nedovoluje vznik tahových napětí
- vláknobeton - výztuž ve formě všesměrně rozptýlených vláken
- drátkobeton - výztuž ve formě rozptýlených ocelových vláken

Z technologického hlediska lze betony dělit na:

- monolitické – beton ukládán do předem připraveného bednění na stavbě
- prefabrikované – hotové dílce se dovážejí na stavbu

Z výše uvedeného je patrné, že betony lze dělit podle různých kritérií, např. podle způsobu dopravy, avšak dělení betonů není náplní této práce. Doposud popsané rozdělení však vyplývá z logického členění nepopisující vlastnosti samotného materiálu. Tyto vlastnosti závazně popisuje literatura [1].

3.2 ROZDĚLENÍ BETONU PODLE ČSN EN 206 – 1

Tato norma předpokládá tři způsoby definice betonu, přičemž poslední způsob se v České republice nepoužívá.

- Typový beton je beton, pro který jsou výrobci specifikovány požadované vlastnosti a doplňující charakteristiky betonu a výrobce zodpovídá za dodání

betonu vyhovujícího požadovaným vlastnostem a doplňujícím charakteristikám

- Beton předepsaného složení je beton, pro který je výrobcí předepsáno složení betonu včetně používaných složek a výrobce zodpovídá za dodání betonu předepsaného složení
- Normalizovaný beton je beton, jehož složení je předepsáno v normě platné v místě použití betonu (zdroj [17])

3.2.1 Typový beton

Nejčastějším zadáním betonu pro výrobce je specifikování parametrů. Ty jsou přesně definovány v normě včetně jednoznačného zkušební postupu. Norma [1] rozlišuje vlastnosti čerstvého a ztvrdlého betonu.

3.2.1.1 Čerstvý beton

V čerstvém stavu norma umožňuje zkoušet a hodnotit beton podle konzistence a podle největší frakce kameniva.

Klasifikace konzistence:

- Klasifikace podle sednutí kužele
- Klasifikace podle Vebe
- Klasifikace podle zhutnitelnosti
- Klasifikace podle rozlití

Klasifikace podle největší frakce kameniva

- Beton se označí podle jmenovité horní meze nejhrubší frakce kameniva D_{\max}
Síta frakce kameniva jsou definována v [11]

3.2.1.2 Ztvrdlý beton

Požadavky na ztvrdlý beton předepisuje norma [1] a dále je rozděluje např. podle pevnosti, či objemové hmotnosti. Pokud se beton klasifikuje podle pevnosti v tlaku, platí tabulka Tab. 2.

| Pevnostní třída v tlaku | Minimální charakteristická válcová pevnost $f_{ck, cyl}$ N/mm ² | Minimální charakteristická krychelná pevnost $f_{ck, cube}$ N/mm ² |
|----------------------------|---|--|
| C 8/10 | 8 | 10 |
| C 12/15 | 12 | 15 |
| C 16/20 | 16 | 20 |
| C 20/25 | 20 | 25 |
| C 25/30 | 25 | 30 |
| C 30/37 | 30 | 37 |
| C 35/45 | 35 | 45 |
| C 40/50 | 40 | 50 |
| C 45/55 | 45 | 55 |
| C 50/60 | 50 | 60 |
| C 55/67 | 55 | 67 |
| C 60/75 | 60 | 75 |
| C 70/85 | 70 | 85 |
| C 80/95 | 80 | 95 |
| C 90/105 | 90 | 105 |
| C 100/115 | 100 | 115 |

Tab. 2 Pevnostní třídy obyčejného a těžkého betonu v tlaku

3.2.2 Beton předepsaného složení

U betonu předepsaného složení je specifikátor zodpovědný za to, že specifikace je v souladu se všeobecnými požadavky uvedenými v normě [1] a že předepsaným složením je možné docílit požadovaných vlastností betonu a to jak v čerstvém stavu, tak i ztvrdlého. Specifikátor musí udržovat a aktualizovat veškerou související dokumentaci týkající se návrhu pro požadované vlastnosti. V případě normalizovaného betonu je odpovědná národní normalizační organizace.

Pro beton předepsaného složení je hodnocení shody založeno pouze na dodržení předepsaného složení a ne na jakékoliv vlastnosti, předpokládané specifikátorem. (zdroj Tab. 1)

3.3 STUPEŇ VLIVU PROSTŘEDÍ

Doposud popisované specifikace udávají vlastnosti betonu ve smyslu, jakou konzistenci musí mít, nebo jaké pevnosti musí dosahovat. Nezohledňují prostředí, ve kterém se zhotovená konstrukce, nebo její část, bude nacházet. S betonovými konstrukcemi se můžeme setkat na různých místech lidského působení. Jsou to například mosty, přehrady, haly, občanské stavby aj., které jsou namáhány zatížením nejen stálým a proměnným, ale i více, či méně klimatickými vlivy. Stanovení tohoto zatížení vede i k různé rychlosti procesu degradace a karbonatice betonu. Norma se s tímto problémem vyrovnává zavedením tzv. Stupňů vlivů prostředí. Tato prostředí shrnuje přehledně tabulka Tab. 3.

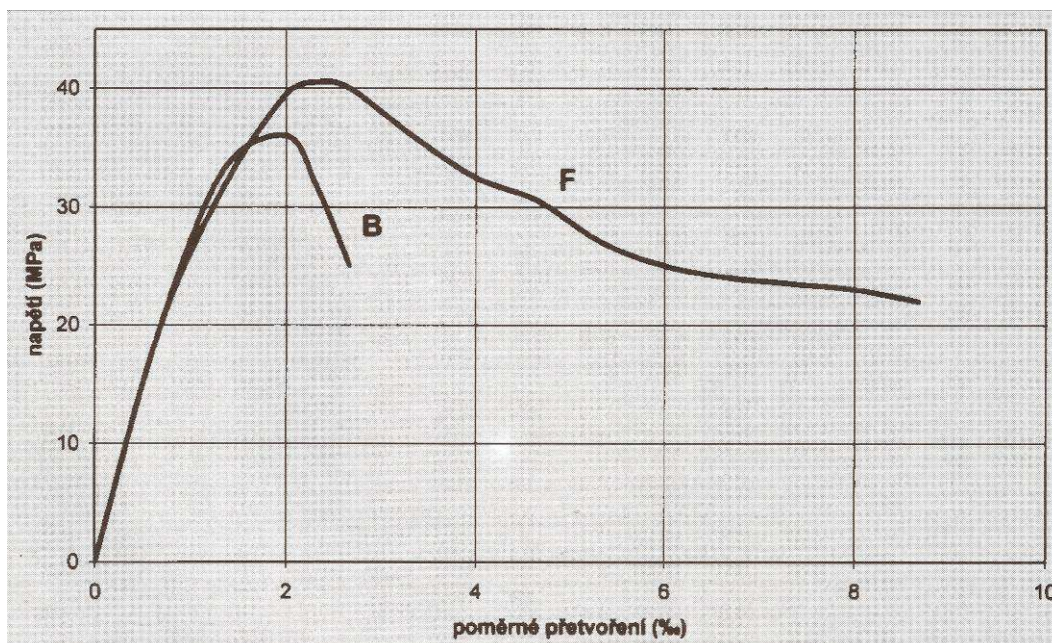
| Stupeň vlivu prostředí | Popis | |
|------------------------|--|--------------------------|
| X0 | pro beton bez nebezpečí koroze nebo narušení | |
| XC1 až XC4 | pro beton s nebezpečím koroze vlivem karbonatice | |
| XD1 až XD3 | pro beton s nebezpečím koroze vlivem chloridů (ne však z mořské vody) | |
| XF1 až XF4 | pro beton vystavený mrazu a rozmrazování | |
| | XF1 a XF3 | bez CHRL |
| | XF2 a XF4 | se současným vlivem CHRL |
| XA1 až XA3 | pro beton vystavený chemicky agresivnímu prostředí (<i>podle tab. 2 normy [1]</i>) | |
| XM1 až XM3 | pro beton s pohyblivým mechanickým zatížením (namáhání obrusem) | |

Tab. 3 Stupně vlivu prostředí

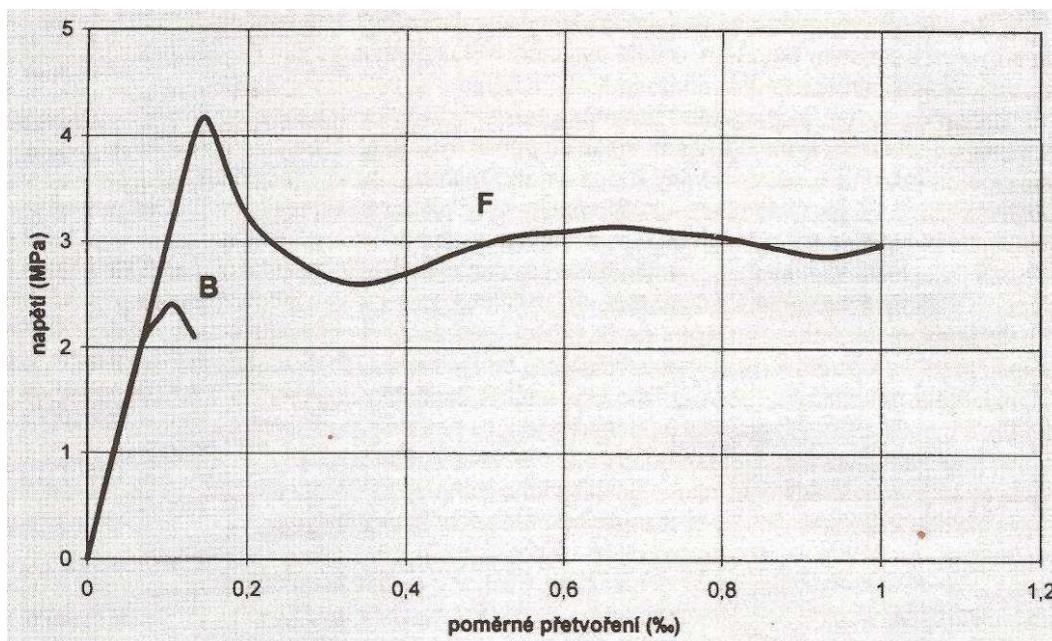
3.4 VLASTNOSTI DRÁTKOBETONU

Nedílnou součástí při popisu chování jakéhokoliv materiálu je nutná znalost jeho vlastností. Vláknobetony, u kterých jsou použity jako rozptýlená výztuž ocelová vlákna – drátky – nazýváme drátkobetony. Vlastnosti betonu jsou obecně známy, proto zde budou uvedeny rozdíly mezi betonem a drátkobetonem. Dále popsané vlastnosti jsou převzaty z literatury [15], jako vlákna byl použit rovný drát bez povrchové a koncové úpravy. U drátkobetonů se mění pracovní diagram v tlaku i v tahu. Porovnání pracovních diagramů prostého betonu a drátkobetonu v tlaku ukazuje Graf 1. Z grafu je patrné, že po dosažení maximálního napětí v drátkobetonu (křivka F) se projeví jeho velká plastická přetvárnost.

Při poklesu napětí asi na 50 % je pracovní diagram téměř vodorovný, s charakterem tečení. Je to projev aktivace drátků po vzniku trhlin v betonu. To je provázeno i velkým mezním stlačením, které je ve srovnání s betonem bez drátků (křivka B) zhruba trojnásobné. Porovnání také ukazuje, že drátky mají příznivý vliv na mezní pevnost betonu v tlaku. Toto zjištění bylo ověřeno i vlastní experimentem.



Graf 1 Porovnání pracovního diagramu drátkobetonu (křivka F) a prostého betonu (křivka B) v tlaku



Graf 2 Porovnání pracovního diagramu drátkobetonu (křivka F) a prostého betonu (křivka B) v tahu

Snahou použití betonářské výztuže je eliminovat malou tahovou pevnost betonu. Přidáním drátků do čerstvé betonové směsi má za následek i změnu pracovního diagramu v tahu, viz Graf 2. Křivka F náleží drátkobetonu, křivka B pak popisuje vlastnosti prostého betonu. Z grafu je patrný velký nárůst pevnosti v tahu. To je zapříčiněno aktivováním vláken při vzniku viditelných trhlin. Drátkobeton se chová jako houževnatý materiál a je schopen přenášet jistá reziduální napětí. Velikost přenosu tohoto napětí je ovlivněn především množstvím a tvarem drátků. Mezní protažení mohou dosahovat až desetinásobných hodnot oproti prostému betonu, který je již při malém protažení porušen křehkým lomem.

Dalším důležitým parametrem při dimenzování konstrukcí je statický modul pružnosti. Hodnota vyjadřuje poměr mezi napětím a poměrným přetvořením. Tento poměr můžeme vyjádřit směrnici a ta je tečná, nebo menší hodnotou sečná. Z průběhů podle Graf 1 je vidět, že napětí a deformace je shodná jak u drátkobetonu, tak bez něj. To nasvědčuje tomu, že i statický modul pružnosti se nebude měnit. Potvrzuje to i závěr výzkumu [19] prováděného na Fakultě Stavební v Brně. Na statický modul pružnosti tedy nemá výrazný vliv množství přidávaných drátků.

Významný vliv rozptýlené ocelové výztuže je také na smršťování a dotvarování betonu. Při dávkování 80 kg ocelových vláken na 1 m³ betonu dojde podle literatury [10] ke zmenšení smrštění až o 40 % v porovnání s prostým betonem. Obecně je smrštění závislé na změně pevnosti drátkobetonu v tahu. Dotvarování je pak závislé na změně pevnosti v drátkobetonu v tlaku.

Rozptýlenou výztuží je možné také zlepšit vodotěsnost a tím trvanlivost konstrukce.

3.4.1 Vlákná pro vláknobeton

Vlákná vhodná pro užití jako rozptýlenou výztuž můžeme dělit podle materiálu na tři hlavní druhy:

- Ocelová vlákna – přidáním těchto vláken do betonu hovoříme o drátkobetonu
- Skleněná vlákna - přidáním těchto vláken hovoříme o sklobetonu
- Polypropylénová vlákna

Na trhu tvoří největší objem v kategorii vláknobetonu drátkobeton, časté je používání i polypropylénových a nejmenší objem v produkci tvoří sklobetony. Množství vláken je vždy určeno hmotnostně a to k objemu betonu. Jednotky dávkování vláken jsou tedy [kg/m³].

3.4.2 Drátkobeton

Charakteristiku těchto vláken můžeme shrnout do tvaru, délky a průměru drátu, pevnosti materiálu, povrchové úpravy a typu ocele. Tento popis dává k dispozici výrobce.

Tvar vláken může být různý v závislosti na upřednostnění požadavku na betonovou konstrukci. Tabulka Tab. 4 charakterizuje nejběžnější tvary vláken.

| Tvar vlákna | Charakteristická délka [mm] | Použití |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Rovná vlákna | 6 – 60 | nepoužívá se |
| Se zahnutými konci | 25 - 60 | Omezení vytrhávání drátku z betonu |
| Vlnková vlákna | 30 - 60 | Omezení šířky smršťovacích trhlin |
| Mikrovlákna | 6 - 15 | |

Tab. 4 Charakteristika vláken pro použití jako rozptýlenou výztuž

Drátky pro drátkobeton se dávkuje v zásadě dvěma způsoby. Při výrobě betonu na betonárně automatickým dávkovacím zařízením. To může obsahovat rozvláknění vláken pomocí sít, nebo proudícím vzduchem. Druhá možnost dávkování je pomocí pásových dopravníků, nebo fukarů přímo do autodomíchávače. Tato možnost není ovlivněna místem – betonárna, stavba.

Samotné drátky jsou dodávány buď samostatně, nebo spojeny pomocí vodou rozpustným lepidlem do větších celků. Způsob, doba míchání a konzistence má zásadní vliv na homogenitu drátkobetonu. Při špatně zvoleném postupu dávkování mohou v čerstvé betonové směsi vytvořit shluky drátků, tzv. ježci Obr. 1.



Obr. 1 Při nevhodném způsobu dávkování se mohou vytvořit tzv. ježci

3.4.3 Sklobeton

Aplikace skleněných vláken do betonu se vyvinula ve druhé polovině 90-tých let. Je tomu tak proto, že dříve nebyly k dispozici vhodné typy pramenů alkalivzdorných skleněných vláken použitelných do betonové směsi.

Technologie výroby vláken musí zajistit i zdravotní bezpečnost výrobku. Kritérium karcinogenity pro vlákna stanovuje jako kritický průměr vláken do 3 μm . Průměry skleněných vláken jsou 14 μm , což je vysoko nad požadovanou hranicí.

Hmoty na cementové bázi však kladou ještě další požadavek na skleněné vlákno a tím je odolnost proti silně alkalickému prostředí. Hodnoty Ph se pohybují mezi Ph 12 až 14.

Běžné skleněné vlákno je v prostředí cementové matrice rychle napadáno a velmi rychle zcela ztrácí výztužnou schopnost. Alkalirezistence vláken byla vyvinuta koncem 60-tých let ve Velké Británii, tzv. vlákno zirkoničitého typu.[20]

Objem sklobetonu v produkci vláknobetonu je nejmenší, ale díky alkalirezistenci se stává skleněné vlákno velmi perspektivním [15].

3.4.4 Beton s polypropylenovými vlákny

Polypropylenová vlákna je však možné do drátkobetonu či železobetonu přidávat, a to z důvodu zvýšení požární odolnosti [16].

Polypropylenová vlákna mají nejčastěji délku 12 mm. Jejich hlavní funkcí je zabránit vzniku smršťovacích trhlin v raném stadiu tuhnutí a tvrdnutí betonu. Po ztvrdnutí betonu jeho vlastnosti již prakticky neovlivňují ([21]). Tato vlákna nemohou být použita jako nosná výztuž betonové konstrukce, protože mají nízký modul pružnosti oproti betonu a i při nízkém zatížení se značně deformují. Navíc ztrácejí mechanické vlastnosti při 50°C a při 165°C tají ([16]). Nejčastěji se používají u jemnozrnných potěrů a vodotěsných betonů. Dávkování se pohybuje v rozmezí 0,6 až 0,9 kg/m^3 . Vlákna jsou dodávána v rozpustných sáčkách a dávkují se nejčastěji do autodomíchávače.

3.5 PODSTATA DRÁTKOBETONU

Prostý beton má velmi malou pevnost v tahu. Při namáhání konstrukce z prostého betonu, při kterém vznikají v kritických průřezích tahová napětí, je mezní stav únosnosti zpravidla dosažen již za pružného chování prvku tím, že tahové napětí dosáhne tahové pevnosti betonu a následuje vznik trhliny, provázený křehkým porušením. Protože tahové napětí od přímého zatížení je v konstrukci z prostého betonu zpravidla doprovázeno vedlejšími tahovými účinky od nepřímého zatížení, jako je např. teplota, či smršťování, je

skutečná hodnota tahového napětí v průřezu nejistá a konstrukce se může porušit i zcela neočekávaně [15].

Z tohoto důvodu, české i většina zahraničních norem, nedovolují uvažovat tahovou pevnost betonu. Při namáhání ohybem je prvek namáhán také tahem a pevnost betonu v tahu z prostého betonu se opět neuvažuje. Výjimečný případ tvoří konstrukce, u nichž porušení ohybem nevede automaticky ke zřícení konstrukce. Jsou to především konstrukce základových patek a podlahy průmyslových hal.

Malá, normami stanovena žádná pevnost prostého betonu v tahu, přisuzuje tomuto materiálu vlastnosti křehkého materiálu. Při použití rozptýlené výztuže se tento efekt snižuje a beton získává i nezanedbatelné vlastnosti v tahu. Ty jsou však ovlivněny minimálním množstvím rozptýlené výztuže, která nesmí být nižší, než 20 kg/m^3 v závislosti podle druhu drátků, viz kap. 3.4.2 Drátkobeton.

3.5.1 Drátkobeton namáhaný tahem

Množství rozptýlené výztuže nad 20 kg/m^3 zajistí, že výztuž po vzniku trhlin převezme tahová namáhání a v kritickém průřezu nedojde k náhlému porušení. Pevnost drátkobetonu v tahu při vzniku trhlin f_{fct} lze vyjádřit vztahem (1)

$$f_{fct} = f_{ct} \left[1,0 + \alpha_t (m_f - m_{f,\min}) \frac{L}{d} \left(\frac{20}{f_c} \right)^{0,25} \right] \quad (1)$$

- kde f_{ct} pevnost v tahu při vzniku trhlin u prostého betonu obdobného složení
 α_t součinitel pevnosti v tahu závislý na druhu a tvaru použitých drátků, platí $0,4 \cdot 10^{-4} < \alpha_t < 0,6 \cdot 10^{-4}$
 m_f hmotnostní dávka drátků
 $m_{f,\min}$ minimální hmotnostní hodnota dávky drátků, $> 20 \text{ kg/m}^3$
 L/d poměr délky a průměru drátku, štíhlostní poměr

3.5.2 Drátkobeton namáhaný tlakem

Přidáním drátků má betonová směs tendenci k nakypření. Správně provedený návrh má toto riziko eliminovat. V takovém případě lze očekávat, že drátky budou mít kladný vliv na zvýšení pevnosti betonu v tlaku na hodnotu f_{fc} . Závislost na pevnosti v tlaku a hmotnosti drátků je přibližně lineární a to podle vztahu (2)

$$f_{fc} = f_c \left[1,0 + \alpha_c (m_f - m_{f,\min}) \frac{L}{d} \frac{20}{f_c} \right] \quad (2)$$

| | | |
|-----|-------------|--|
| kde | f_c | krychelná pevnost v tlaku u prostého betonu v MPa |
| | α_c | součinitel pevnosti v tlaku závislý na druhu a tvaru použitých drátků, a složení směsi. Platí $0,4 \cdot 10^{-4} < \alpha_c < 9,0 \cdot 10^{-4}$ |
| | m_f | hmotnostní dávka drátků |
| | $m_{f,min}$ | minimální hmotnostní hodnota dávky drátků, $> 20 \text{ kg/m}^3$ |
| | L/d | poměr délky a průměru drátku, štíhlostní poměr |

3.6 UPLATNĚNÍ DRÁTKOBETONU

V poslední době se výzkum v oblasti stavebnictví stále více zaměřuje na využívání nových progresivních materiálů a tím počet aplikací vláknobetonu narůstá. Své uplatnění našel jak v konstrukcích náročných na únosnost, tak i u nenosných prvků. Při kombinaci běžné ocelové výztuže spolu s rozptýlenou výztuží jsou přínosy často ještě výraznější (synergický efekt), což je výhodné především u náročných konstrukčních detailů, kdy je provedení běžné výztuže velmi náročné [15]. V praxi má drátkobeton zastoupení v těchto částech:

- Průmyslové podlahy – s výhodou je drátkobeton nahrazen za klasickou betonovou desku ztuženou sítěmi. Dochází tak k úspoře času o vyvazování síťoviny.
- Prefabrikáty – různé druhy prefabrikátů, především ostění tunelů
- Stříkaný beton – tvorba primárního ostění tunelů

Použití rozptýlené výztuže má své výhody, i nevýhody ve srovnání s železobetonem.

3.6.1 Obecné výhody

Pro některé aplikace může být použita výztuž s rozptýlenými vlákny za současného snížení nákladů ve formě:

- Nižší nároky na provádění, při zpracování
- Uskladnění a manipulace drátků
- Úspora oceli a redukce emisí
- Deformace drátkobetonu v tahu při dosažení pevnosti nevzroste skokově, deformace narůstá pozvolna

3.6.2 Obecné nevýhody

Rozptýlená výztuž nemá za úkol nahradit železobeton za současného snížení pevnosti. To je způsobeno odlišným chováním při namáhání. Celková pevnost v tahu je u železobetonu výrazně vyšší. Vlastní materiál ocelových vláken je dražší, než klasická betonářská výztuž. Také pořizovací náklady drátkobetonu jsou vyšší, ve srovnání s konvenčními způsoby.

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 METODIKA ŘEŠENÍ

Tato práce má za cíl popsat vliv drátků na úbytek konzistence, na vliv smrštění a vliv krychelné pevnosti betonu v tlaku. Pro tyto úkoly byla navržena metodika řešení. Ta byla rozdělena do třech samostatných celků, které na sebe navazují. Jsou to:

- Příprava složek do betonu, míchání a zkoušení čerstvého betonu
- Ošetřování vzorků a měření smrštění
- Zkoušení krychelné pevnosti v tlaku

Prvním krokem práce bylo vytvořit referenční vzorek, v tomto případě vzorek bez drátků. Dále byly s týdenním intervalem míchány záměsi se stejnými počátečními parametry stanoveny z referenčního vzorku. Srovnávací parametry míchaného a referenčního vzorku byly:

- Zkouška sednutím dle [3]
- Zkouška rozlitím dle [4]
- Objemová hmotnost dle [5]
- Obsah vzduchu dle [6]

Pokud míchaný vzorek vyhovoval ve všech sledovaných parametrech, bylo přistoupeno k přidání ocelových vláken v předem stanovených hmotnostech. Následně byl cyklus zkoušek opakován a hodnoty zaznamenány. Další fází byla technologická přestávka v míchání, která byla stanovena na 20 min. Po této přestávce byl čerstvý beton promíchán a opět proveden cyklus zkoušek na stanovení konzistence, objemové hmotnosti a obsahu vzduchu. Všechny naměřené hodnoty byly zaznamenány do předem připraveného protokolu, který je součástí přílohy této práce, viz Příloha 1. Po ukončení měření vlastností čerstvého betonu byly naplněny žlaby pro měření smrštění a formy zkušebních těles pro určení pevnosti v tlaku.

Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.4.1, do betonu se hmotnostně dávkuje drátky v předem zvolené hmotnosti. Zvolené množství určovala četnost použití na reálných stavbách, resp. při dodávání drátkobetonu na konstrukce průmyslových podlah. V praxi běžné dávkování drátky neklesne pod 20 kg/m^3 , takže tato dávka byla použita jako nejnižší možná. Další zvolené hodnoty dávky drátků byly voleny 30 kg/m^3 a 40 kg/m^3 . Srovnávací vzorek neobsahoval žádné drátky a byl míchán jako první. Tímto postupem byly získány 4 záměsi se stejnou recepturou betonu. Postup zkoušení srovnávacího vzorku a betonu s

různým množstvím rozptýlené výztuže byl aplikován na dvě různé receptury se stejnou třídou betonu C25/30.

4.2 RECEPURA

Měřené parametry byly posuzovány na dvou různých recepturách s různým cementem. Pro souměřitelnost všech výsledků byla vždy třída betonu C25/30. Se stejnou třídou betonu ale různým typem cementu se měnilo i hmotnostní zastoupení jednotlivých složek. Vždy však byl zachován typ, resp. zdroj kameniva. Pro první sadu zkoušek byl připraven beton s ozn. C 25/30 XC2 S3 D16 se složením:

- Kamenivo frakce 0-4Br 878 kg
- Kamenivo frakce 4-8 180 kg
- Kamenivo frakce 8-16 670 kg
- Cement CEM II B-S 32,5 R 370 kg
- Přísada Sikament 100 3,33 kg
- Voda 200 kg

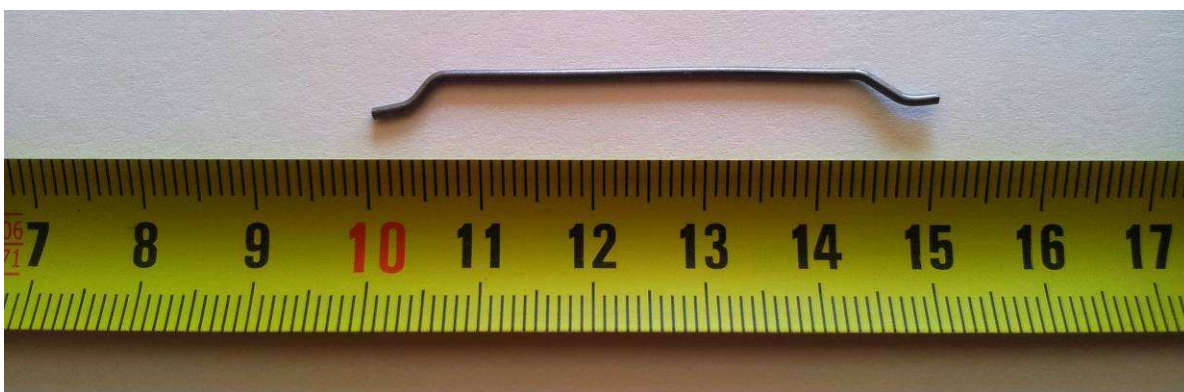
Druhá sada zkoušek probíhala s betonem C 25/30 XC1 S3D16 ve složení:

- Kamenivo frakce 0-4Br 916 kg
- Kamenivo frakce 4-8 180 kg
- Kamenivo frakce 8-16 670 kg
- Cement CEM I 42,5 R 340 kg
- Přísada Sikament 100 3,06 kg
- Voda 200 kg

Obě receptury jsou stanoveny pro 1 m³ betonu s vlhkostí kameniva $w = 0\%$. Pro potřeby experimentu bylo mícháno 32 l čerstvého betonu, který postačoval na všechny zkušební postupy. Technické listy použitých cementů a přísady jsou součástí přílohy, viz Příloha 4, Příloha 5 a Příloha 7.

4.2.1 Drátky

Jako rozptýlená výztuž byly vždy použity drátky se zahnutými konci od firmy KrampeHarex. Drátky jsou vyráběny z drátu normální pevnosti délky 50 mm o průměru 1,0 mm, délka drátku činí 50 mm. Tvar i velikost ilustruje Obr. 2. Výrobce specifikuje vlastnosti výrobku v Technickém listu, který je součástí přílohy, viz. Příloha 6.



Obr. 2 Vlákno použité pro experiment

4.3 PŘÍPRAVA, MÍCHÁNÍ, ZKOUŠENÍ

Před zahájením samotného míchání předcházela důkladná příprava jednotlivých složek a jejich vážení. To zahrnovalo především stanovení vlhkosti kameniva a určení množství vody, o kterou se snížila dávka záměsové vody a přidalo kamenivo.

4.3.1 Kamenivo

Pro určení hmotnostního podílu kameniva byla nejprve stanovena vlhkost kameniva podle vztahu (3). Ten byl modifikován pro snadnější práci a přidána hmotnost nádoby, ve které se vlhkost w stanovovala pro snadnější práci v laboratoři. Vlhkost byla určována pro každou frakci kameniva, i pro každou míchanou záměs.

$$w = \frac{m_{m+n} - m_{s+n}}{m_{s+n} - m_n} * 100[\%] \quad (3)$$

kde m_{m+n} hmotnost vlhkého vzorku včetně nádoby
 m_{s+n} hmotnost vysušeného vzorku včetně nádoby
 m_n hmotnost samotné nádoby

O tuto vlhkost w byla upravena dávka kameniva, takže se vlastní hmotnost složky zvýšila. Hmotnost složky M , kterou bylo nutno navážít je určena vztahem (4).

$$M = m_{k,r} * V_z * (1 + w/100) \quad (4)$$

| | | |
|-----|-----------|--|
| kde | M | hmotnost složky pro navážení |
| | $m_{k,r}$ | hmotnost kameniva dle receptury na 1 m ³ betonu |
| | V_z | požadovaný míchaný objem |
| | w | vlhkost podle (3) v [%] |

Tímto způsobem byly určovány hmotnostní podíly jednotlivých složek frakcí kameniva. Na stanovený objem 32 l čerstvého betonu se hmotnost kameniva pohybovala orientačně následovně:

| frakce | přibližná hmotnost |
|--------|--------------------|
| [mm] | [kg] |
| 0-4 | 28 |
| 4-8 | 6 |
| 8-16 | 22 |

4.3.2 Množství záměsové vody

V experimentu byl zohledněn vliv vlhkosti kameniva na množství záměsové vody. Zvýšení vlhkosti znamená větší množství obsažené vody a nutně vede ke snížení množství přidávané záměsové vody. Tato skutečnost byla v experimentu ošetřena výpočtem obsažené vody v kamenivu a následně snížením dávky záměsové vody. Hmotnostní množství vody v kamenivu M_v opět vyplývá z vlhkosti w kameniva a je dána vztahem (5).

$$M_v = m_{v,r} * V_z - \sum_{i=1} (M_i - m_{k,r,i}) \quad (5)$$

| | | |
|-----|-------------|--|
| kde | M_v | hmotnost vody obsažená v kamenivu |
| | $m_{v,r}$ | hmotnost vody podle receptury |
| | V_z | požadovaný míchaný objem |
| | M_i | navážovaná hmotnost i-té frakce kameniva |
| | $m_{k,r,i}$ | hmotnost i-té frakce kameniva dle receptury na 1 m ³ betonu |

4.3.3 Cement a přísada

Jak již bylo zmíněno v předchozím, experiment porovnával dva cementy při zachování postupů a sledování stejných parametrů. V prvním případě pro první čtyři záměsi byl použit cement s označením CEM II/B-S 32,5 R. Pro druhou sadu zkoušek byl vybrán cement CEM I 42,5 R. Množství určila receptura v závislosti na požadovaném množství míchaného betonu. Pro objem 32 l bylo nutné připravit přibližně 11 kg cementu.

Pro zlepšení vlastností betonu jsou používány různé typy přísad. Pro experiment byla vždy použita jedna přísada a to Sikament Multimix-100. Jedná se o plastifikátor širokého

užití, vyvinut pro výrobu transportbetonu. Technický list je obsahem této práce, viz Příloha 7. Na množství 32 l bylo třeba navázat přibližně 100 g plastifikátoru.

4.3.4 Míchání

Po správném navážení všech složek následovala příprava laboratorní míchačky a všech potřebných zkušebních pomůcek. Pro míchání byla použita laboratorní míchačka s nuceným oběhem a konstantní rychlostí míchání. Nejprve byly všechny části v kontaktu s betonem navlhčeny. Následně do bubnu míchačky vloženo navážené kamenivo a krátce promícháno. Poté byl přidáván cement a záměsová voda. Plastifikátor byl přidáván v průběhu přilévání vody. Malým množstvím záměsové vody se vypláchnula nádoba s plastifikátorem, aby došlo k co nejmenším ztrátám vzhledem k malému množství této přísady k objemu míchaného betonu. Konzistence byla upravena nejprve odborným odhadem, poté zkouškou sednutím podle [3].

4.3.5 Zkoušení čerstvého betonu

Pro dosažení stejné počáteční konzistence ve srovnání s referenčním vzorkem byly provedeny série zkoušek. Zkušební série se vždy skládala ze zkoušek

- Zkouška sednutím dle [3]
- Zkouška rozlitím dle [4]
- Objemová hmotnost dle [5]
- Obsah vzduchu dle [6]

Zkoušky byly prováděny v souladu s popisem jednotlivých zkušebních postupů, jak je vždy předepisuje zmíněná norma v kapitole Zkušební postup a není cílem této práce ho zde uvádět. Obrázky Obr. 3, Obr. 4, Obr. 5 dokumentují průběh zkoušení. Všechny měřené hodnoty byly zaznamenány do předem připraveného formuláře, viz Příloha 1.



Obr. 3 Vyhodnocení zkoušky sednutí



Obr. 4 Vyhodnocení zkoušky rozlitím



Obr. 5 Vyhodnocení zkoušky obsahu vzduchu

4.3.6 Zpracování čerstvého betonu

Po provedení všech plánovaných zkoušek čerstvého betonu jak bylo uvedeno v kap. 4.1 se přistoupilo ke zpracování betonu. Nejprve byly naplněny formy pro měření smrštění jak je patrné z obrázku Obr. 6 a poté formy krychlí. Při vibrování na vibračním stole bylo nutné zajistit, aby elektromagnety sloužící k přidržení formy neovlivňovali uspořádání ocelových drátků ve směsi. Bylo tedy nutné uchytit formu ke stolu ručně mimo dosah elektromagnetů.

Zkušební tělesa byla vyráběna ze zbývajících čerstvého betonu. Vždy však bylo nutné dodržet požadavek [8] na minimální množství čerstvého betonu, který je 1,5 násobkem potřebného množství a nesmí klesnout pod $0,02 \text{ m}^3$. U každé záměsi bylo dosaženo naplnění čtyřech forem. Ty byly opatřeny odbedňovacím nátěrem a po naplnění označeny.



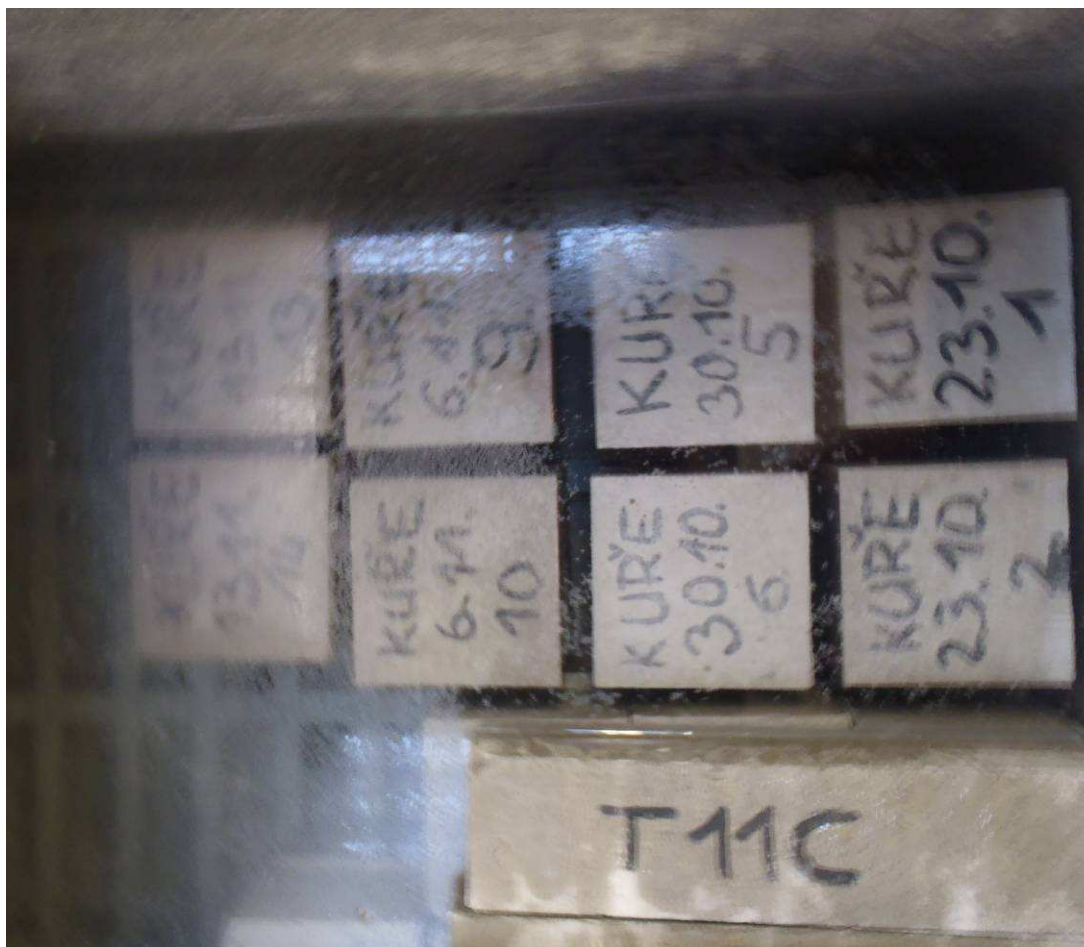
Obr. 6 Plnění forem pro měření smrštění

4.4 OŠETŘOVÁNÍ VZORKŮ A MĚŘENÍ SMRŠTĚNÍ

Ošetřování vzorků bylo prováděno podle daných norem [8] v případě krychelné pevnosti a jiných předpisů [14] v případě měření smrštění.

4.4.1 Uložení krychlí

Označené formy krychlí byly opatřeny víkem a uloženy na 24 hod. v laboratoři při laboratorní teplotě a relativní vlhkosti 68%. Druhý den po betonáži byly vzorky odformovány za pomoci tlakového vzduchu a přeznačeny. Krychelná pevnost byla stanovována po 28 dnech, do této doby zkušební tělesa zrály v mokřém uložení, viz Obr. 7.



Obr. 7 Mokrý uložení zkušebních těles

4.4.2 Smrštění

Zkušební postup i vyhodnocení popisuje [14]. Naplněné formy pro měření smrštění byly deponovány do klimatizované komory. Počátek měření smrštění/nabývání dle [14] stanovuje technologický předpis. V experimentu byl tento čas určen jako jedna hodina od uložení, kdy hydratace cementu dosáhla úrovně takové, že konzistence betonu nevykazovala velké tvarové změny. V tu chvíli byl zahájen záznam pomocí datové ústředny s kontinuálním záznamem měření, viz Obr. 8. Automatický záznam byl používán asi prvních 40 hodin, kdy jsou objemové změny nejvýznamnější.

Ukončením kontinuálního záznamu se přistoupilo k šetrnému odbednění a zkrácení konců zkušebních těles. Takto upravená tělesa byla i nadále ponechána v klimatizované komoře a měřeny deformace pomocí příložného deformometru. Tento způsob měření je prováděn proškolenou osobou, která měřené hodnoty zaznamenává do předpřipraveného formuláře. Viz Příloha 2. Ruční měření pomocí příložného deformometru bylo realizováno v pokud možno pravidelných intervalech každý pracovní den.



Obr. 8 Měření smrštění pomocí automatické záznamové jednotky

4.5 ZKOUŠENÍ KRYCHELNÉ PEVNOSTI V TLAKU

Krychelná pevnost betonu byla stanovována po 28 dnech na zkušebních tělesech v mokřem uložení. Před samotnou zkouškou byly ověřovány rozměry zkušebního tělesa v souladu se [7], [8],[9],[10], Obr. 9. Protokol o zkoušce pevnosti v tlaku je součástí přílohy, viz Příloha 3.



Obr. 9 Ověřování rozměrů zkušebních těles

5 VYHODNOCENÍ

Všechny naměřené hodnoty shrnuje Tab. 5. Z této tabulky jsou vytvořeny grafy v následujících kapitolách a dány do souvislosti s množstvím drátků a použitým cementu.

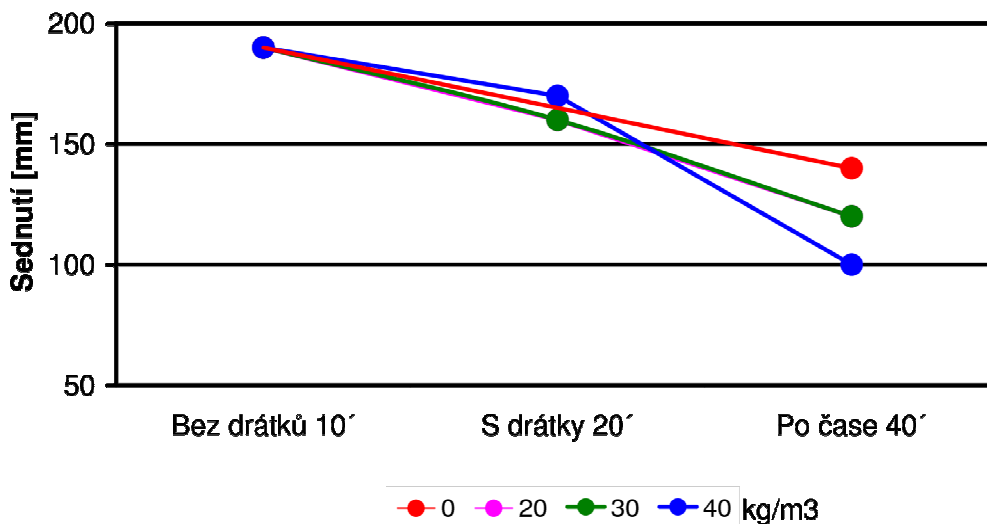
| Cement | Drátky [kg/m ³] | Betónák | Bez drátků 10' | | | | S drátky 20' | | | | Po čase 40' | | | | Po 28 dnech | |
|--------------|--------------------------------|---------|-----------------|-----------------|-------------------------|--|-----------------|-----------------|-------------------------|--|-----------------|-----------------|-------------------------|--|--|------------------|
| | | | Sednutí [mm] | Rozliti [mm] | Obsah vzduchu [%] | Objemová hmotnost [kg/m ³] | Sednutí [mm] | Rozliti [mm] | Obsah vzduchu [%] | Objemová hmotnost [kg/m ³] | Sednutí [mm] | Rozliti [mm] | Obsah vzduchu [%] | Objemová hmotnost [kg/m ³] | Objemová hmotnost [kg/m ³] | Pevnost [MPa] |
| CEM II 32,5R | 0 | 1.B | 190 | 490 | 2,7 | 2300 | | | | 140 | 440 | 3,6 | 2285 | 2303 | 35,8 | |
| | 0 | 9.B | 190 | 490 | 3,2 | 2295 | | | | 150 | 450 | 4,2 | 2260 | 2294 | 36,1 | |
| | 20 | 2.B | 190 | 490 | 1,9 | 2325 | 160 | 460 | 3,7 | 2290 | 120 | 410 | 4,0 | 2285 | 2298 | 36,2 |
| | 30 | 3.B | 190 | 500 | 2,5 | 2290 | 160 | 470 | 2,9 | 2305 | 120 | 460 | 3,6 | 2295 | 2318 | 36,5 |
| CEM I 42,5R | 0 | 4.B | 190 | 510 | 2,4 | 2310 | 170 | 480 | 3,9 | 2295 | 100 | 420 | 3,2 | 2320 | 2324 | 37,6 |
| | 0 | 5.B | 190 | 510 | 4,3 | 2280 | | | | 170 | 470 | 5,5 | 2230 | 2254 | 37,4 | |
| | 20 | 6.B | 190 | 510 | 5,0 | 2250 | 170 | 450 | 5,7 | 2240 | 140 | 450 | 6,1 | 2235 | 2276 | 40,5 |
| | 30 | 7.B | 190 | 530 | 4,3 | 2260 | 160 | 460 | 5,4 | 2250 | 130 | 430 | 5,2 | 2260 | 2292 | 41,3 |
| | 40 | 8.B | 180 | 490 | 5,3 | 2230 | 130 | 440 | 5,7 | 2260 | 130 | 440 | 5,3 | 2260 | 2302 | 42,5 |

Tab. 5 Souhrn naměřených hodnot

5.1 VLIV DRÁTKŮ NA ZMĚNU KONZISTENCE

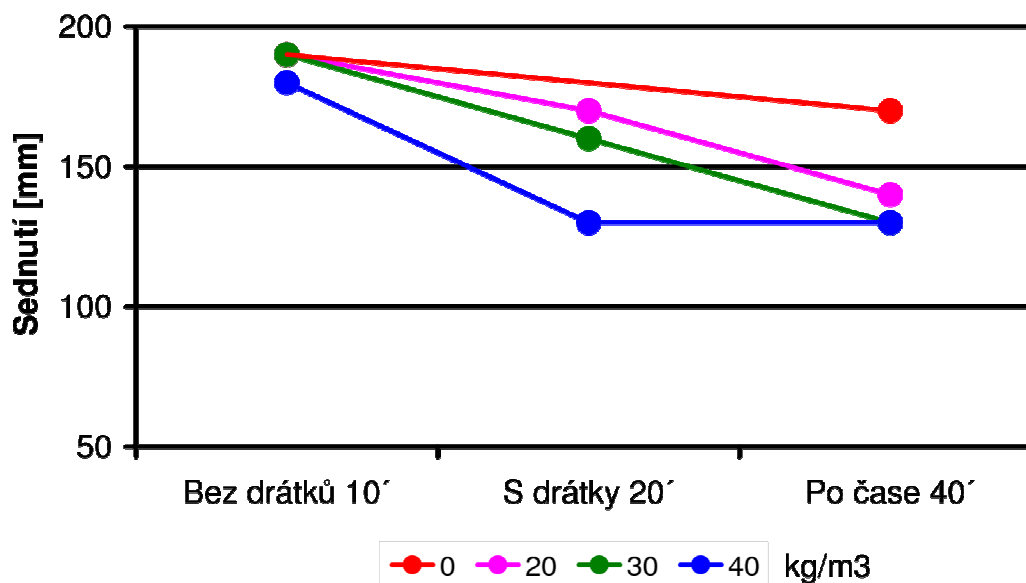
5.1.1 Zkouška sednutím

Zkouška sednutím CEM II/B-S 32,5R



Graf 3 Změna sednutí kužele při různém dávkování drátků s cementem CEM II/B-S 32,5 R

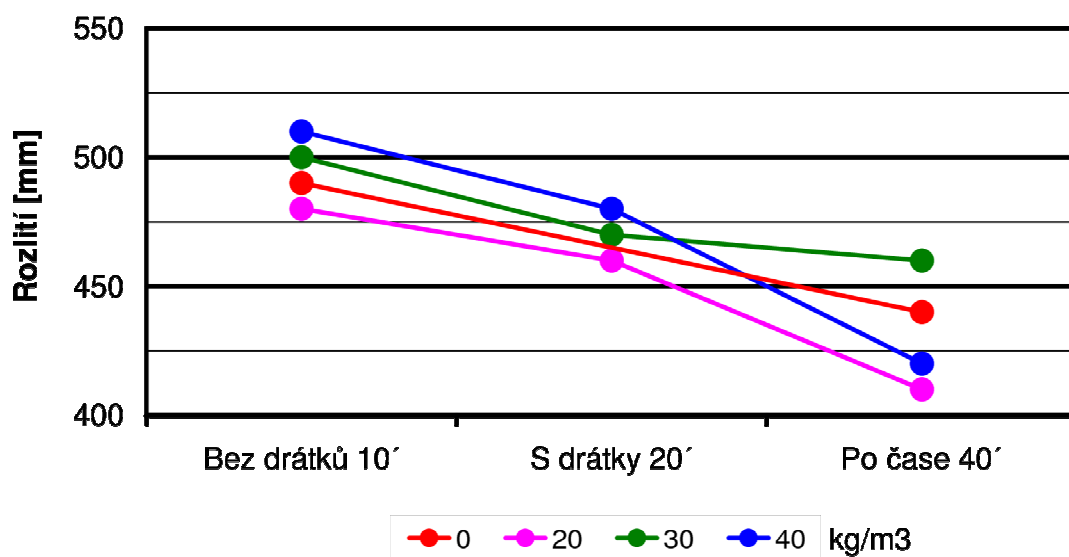
Zkouška sednutím CEM I 42,5R



Graf 4 Změna sednutí kužele při různém dávkování drátků s cementem CEM I 42,5 R

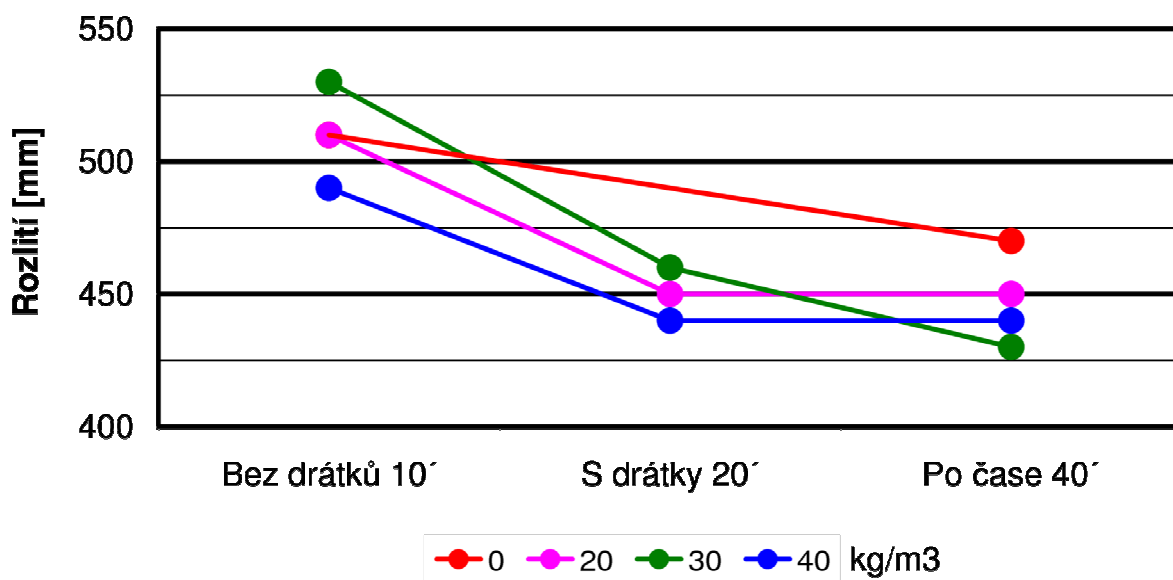
5.1.2 Zkouška rozlitím

Zkouška rozlitím CEM II/B-S 32,5R



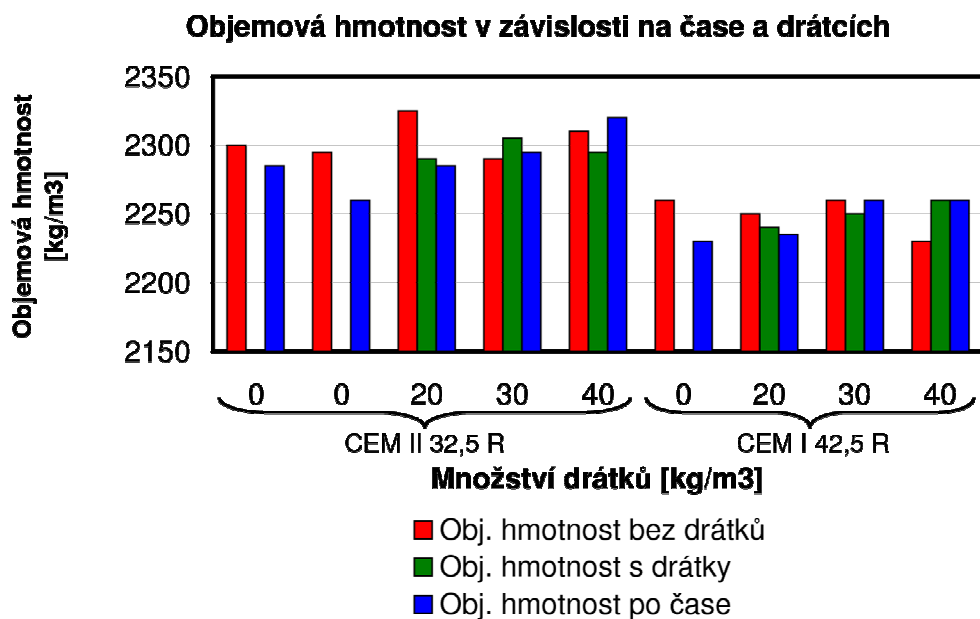
Graf 5 Změna rozliti při různém dávkování drátků s cementem CEM II/B-S 32,5 R

Zkouška rozlitím CEM I 42,5R



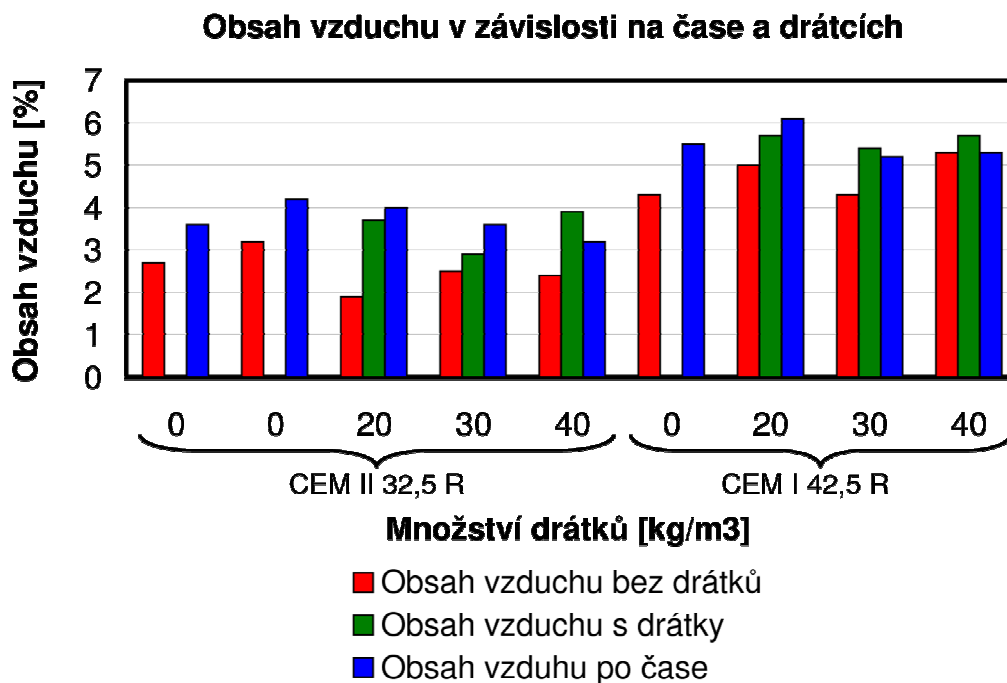
Graf 6 Změna rozliti při různém dávkování drátků s cementem CEM I 42,5 R

5.2 VLIV DRÁTKŮ NA OBJEMOVOU HMOTNOST



Graf 7 Objemová hmotnost v závislosti na čase a drátcích

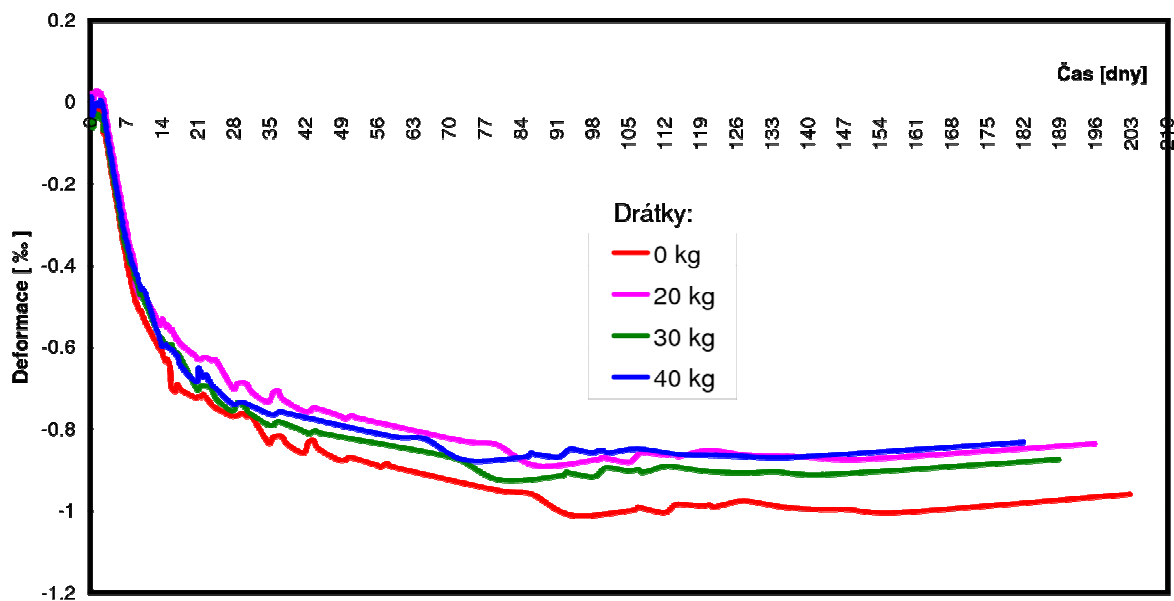
5.3 VLIV DRÁTKŮ NA OBSAH VZDUCHU



Graf 8 Obsah vzduchu v závislosti na čase a drátcích

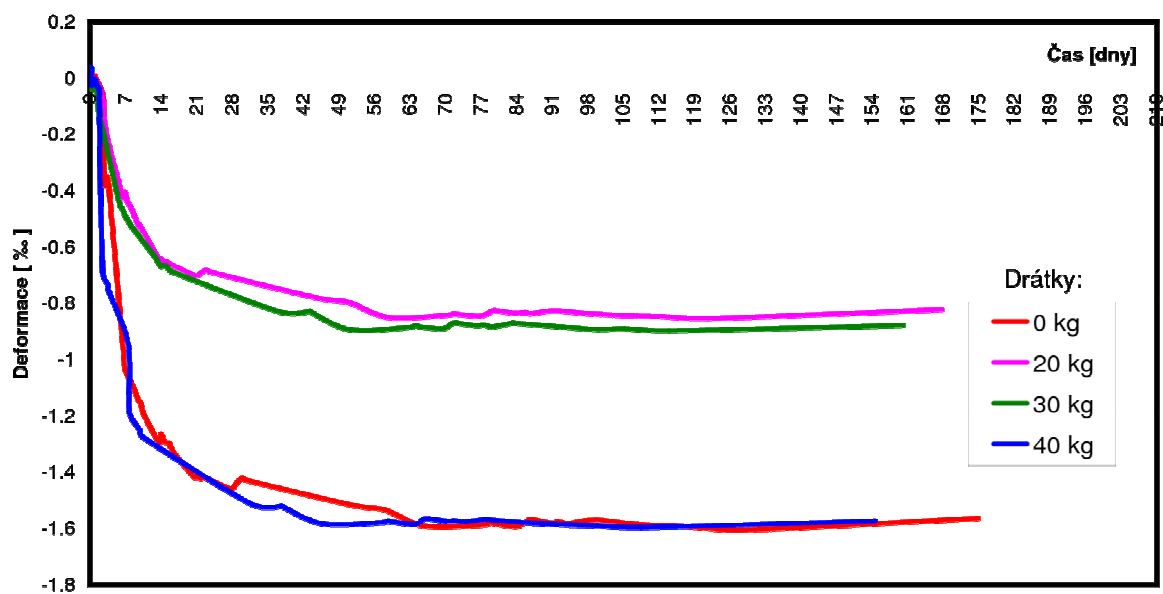
5.4 VLIV DRÁTKŮ NA SMRŠŤOVÁNÍ

Smršťování s CEM II 32,5 R



Graf 9 Smršťování s CEM II 32,5 R

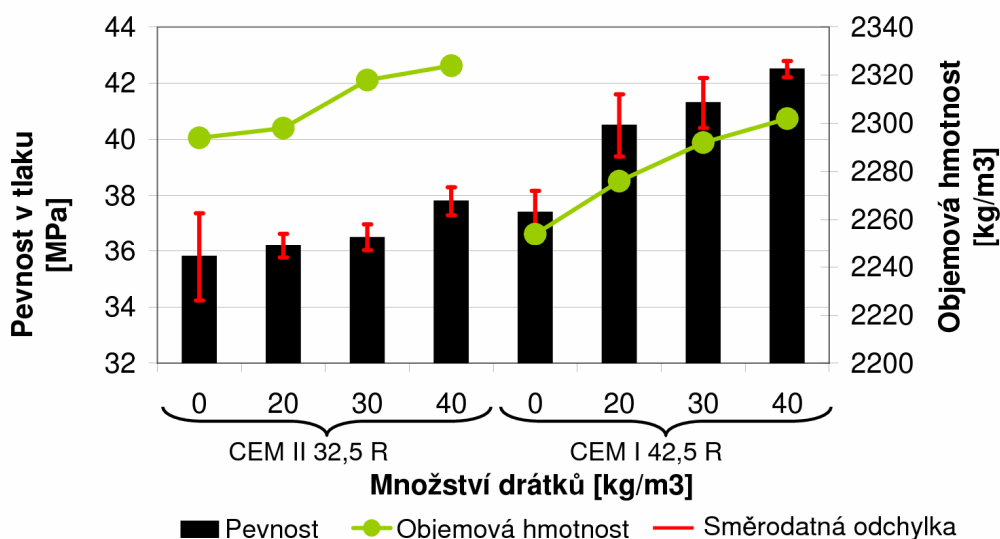
Smršťování s CEM I 42,5 R



Graf 10 Smršťování s CEM I 42,5 R

5.5 VLIV DRÁTKŮ NA PEVNOST BETONU V TLAKU

Pevnost v tlaku po 28 dnech



Graf 11 Pevnost v tlaku po 28 dnech

Výsledky byly statisticky zpracovány pomocí jedno faktorové metody ANOVA (analysis of variance) na hladině významnosti 0,05 pro zjištění vlivu drátků s těmito výsledky:

CEM II 32,5 R: P hodnota = 0.113129 > 0,05

CEM I 42,5 R: P hodnota = 4.302×10^{-5} < 0,05

Průměr a směrodatná odchylka zkoušky krychelné pevnosti betonu v tlaku je vyjádřena tabulkou Tab. 6.

| Cement | CEM II 32,5 R | | | | CEM I 42,5 R | | | |
|-----------------------------|---------------|---------|---------|---------|--------------|---------|---------|---------|
| Drátků [kg/m ³] | 0 | 20 | 30 | 40 | 0 | 20 | 30 | 40 |
| Průměr [MPa] | 35,9 | 36,2 | 36,5 | 37,8 | 37,4 | 40,5 | 41,3 | 42,5 |
| Směrodatná odchylka | 1,57153 | 0,44177 | 0,47767 | 0,49675 | 0,76970 | 1,10759 | 0,88718 | 0,29058 |

Tab. 6 Statistické zpracování zkoušky krychelné pevnosti betonu v tlaku

6 ZÁVĚR

Experimentem bylo ověřeno, že ocelová rozptýlená výztuž má vliv na konzistenci čerstvého betonu. Beton z receptury s použitím CEM II 32,5 R se po nadávkování vláken chová obdobně, jako bez nich. Změna se projeví až s rostoucím časem. Zde dosahuje dávka se 40 kg drátků sednutí o 50 mm méně, tedy na 100 mm ve srovnání s referenčním vzorkem ve stejném čase, který vykazuje hodnotu sednutí 150 mm.

Při použití CEM I 42,5 R je změna sednutí patrná již po nadávkování vláken. Snížení konzistence je nejvýraznější opět s dávkou 40 kg drátků, kde klesne hodnota sednutí o 50 mm. Dávky s 20 a 30 kg drátků ihned po nadávkování mají sednutí prakticky stejné, jako bez nich. Nižší sednutí opět roste s časem, kde i při dávce 20 kg drátků je stejné, jako se 40 kg drátků. Sednutí po čase 40 min se tedy sníží přibližně o 50 mm nezávisle na množství dávkované výztuže a o 40 mm oproti referenčnímu vzorku. Obecně však platí, že typ cementu nemá výrazný vliv na hodnotu sednutí betonu s drátky, protože s rostoucím časem se k sobě tyto hodnoty přibližují.

Zkouška rozlitím obdobně jako zkouška sednutím popisuje úbytek konzistence betonu s drátky. Hodnota rozlití s CEM II 32,5 R po nadávkování vláken je obdobná jako bez nich, avšak opět s časem rozlití klesá o 20 – 30 mm. Při dávce 30 kg drátků bylo zaznamenáno větší rozlití oproti referenčnímu vzorku po čase 40 min. Tuto skutečnost by bylo nutné pro správnost výsledků prokázat více zkouškami. S CEM I 42,5 R se rozlití změní již po nadávkování vláken a klesne o 60 mm a následně se už výrazně nemění.

Vliv drátků na objemovou hmotnost se daným experimentem nepodařilo vysledovat. Objemová hmotnost v čase a s různou koncentrací drátků nepředvídatelně kolísala. Tento efekt je připisován vysokým otáčkám laboratorní míchačky, kdy při míchání betonu docházelo k nekontrolovanému provzdušňování. Obsah vzduchu je patrný ze sloupcového grafu Graf 8. Při porovnání je možné sledovat, že při rostoucí objemové hmotnosti klesá procento obsahu vzduchu. Nižší objemové hmotnosti vykazuje cement CEM I 42,5 R, naopak vyšší objemové hmotnosti CEM II 32,5 R. Podrobnější sledování těchto závislostí by vyžadovalo použití jiného typu míchačky, resp. míchačky s nižším počtem otáček lopatek.

Vyhodnocené průběhy smršťování a nabyvání betonu ukazuje Graf 9 a Graf 10. S použitím cementu CEM II 32,5 R se může jevit, že nadávkování drátků má mírně kladný vliv na objemové změny. Pro ověření přesnosti tohoto tvrzení a dále aplikaci v praxi by bylo nutné provést více měření. Lze však konstatovat, že tyto výsledky ukazují na možnou

spojitost vlivu drátků na smršťování. V případě použití CEM I 42,5 R je možné ovlivnění drátky patrnější, neboť zde dochází k téměř polovičním deformacím proti referenčnímu vzorku. Zvláštností je, že při dávce drátků 40 kg došlo k prakticky stejnému průběhu a deformacím jako u referenčního vzorku. Možný vliv takového chování se nepodařilo doposud odhalit a tak by bylo přezkoumání tohoto zjištění podmínkou k další práci.

Při porovnání mezi cementy referenčních vzorků došlo k vyšším deformacím s CEM I 42,5 R a to téměř na dvojnásobek oproti CEM II 32,5 R. Přidáním drátků při CEM I 42,5 R je však deformace totožná, jako při stejné dávce drátků s CEM I 32,5 R.

Poslední zkušební etapou experimentu byla krychelná pevnost betonu v tlaku stanovována po 28 dnech. Výsledky opět charakterizuje Graf 11 s proloženou objemovou hmotností ztvrdlého betonu. Je možné pozorovat analogii s objemovou hmotností čerstvého a ztvrdlého betonu. Na základě výsledků zkoušek krychelné pevnosti v tlaku a vyhodnocení provedené statistiky jak je popsáno v kapitole 5.5 lze tvrdit, že na hladině významnosti 0,05 nezamítáme, že při použití CEM II 32,5 R nemá rozptýlená výztuž statisticky významný vliv na pevnost v tlaku. Z tohoto závěru lze konstatovat, že použitá vlákna nemají vliv na pevnost v tlaku. S použitím CEM I 42,5 R bylo statisticky testováno, že na hladině významnosti 0,05 zamítáme, že nemá rozptýlená výztuž statisticky významný vliv na pevnost v tlaku. Z toho lze konstatovat, že použitá vlákna mají vliv na pevnost v tlaku. Pro přesnější závěry by bylo nutné provést větší počet zkoušek.

Při použití vyšší třídy cementu může být pevnost pozitivně ovlivněna, ale pro praxi je tento nárůst zanedbatelný, protože až při dávce 40 kg drátků vzroste průměrně pevnost o 5 MPa v případě použití CEM I 42,5.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

7.1 CITACE

- [1] ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [2] EN 14889-1 Vlákna do betonu - Část 1: Ocelová vlákna - Definice, specifikace a shoda
- [3] ČSN EN 12350-2 Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím
- [4] ČSN EN 12350-5 Zkoušení čerstvého betonu – Část 5: Zkouška rozlitím
- [5] ČSN EN 12350-6 Zkoušení čerstvého betonu – Část 5: Objemová hmotnost
- [6] ČSN EN 12350-7 Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu – tlakové metody
- [7] ČSN EN EN 12390-1 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy
- [8] ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti
- [9] ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles
- [10] ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu
- [11] prEN 12620:2000
- [12] ČSN EN 12620 Kamenivo do betonu
- [13] *Příručka technologa BETON*, 2010/1.vydání
- [14] *Standardní operační postup pro stanovení smršťování a nabyvání betonu*. Ústav stavebního zkušebnictví, Fakulta Stavební, Vysoké učení technické v brně, Standardní operační postup -01/09
- [15] *Drátkobetonové konstrukce*, Jiří Krátký, Karel Trtík, Jan Vodička, Betonové stavitelství, Praha, září 1999
- [16] *Tunel: Časopis České tunelářské asociace a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA-AITES*. 21.ročník, č.3/2012. ISSN 1211-0728.

7.2 WWW ODKAZY

[17] <http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI01/beton1.pdf> (citováno 4.4.2013)

[18] <http://www.ebeton.cz/encyklopedie/druhy-beton> (citováno 12.4.2013)

[19] http://www.vustah.cz/wp-content/uploads/vysledky_civak/2010_kocab.pdf (citováno 22.4.2013)

[20] Mikrovýztuž ze skleněných vláken.

URL: <http://www.sklocement.cz/mikrovyz.htm> (citováno 25.6.2013)

[21] Vlákná a drátky. online

URL: <http://www.zapa.cz/vyroba-a-doprava/beton-slozeni-a-vlastnosti/vlakna-a-dratky>
(citováno 26.6.2013)

7.3 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1. Formulář pro zkoušení čerstvého betonu
- Příloha 2. Formulář pro měření smrštění
- Příloha 3. Formulář pro stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles betonu
- Příloha 4. Technický list CEM II 32,5 R
- Příloha 5. Technický list CEM I 42,5 R
- Příloha 6. Technický list ocelových vláken DE 50/1,0N
- Příloha 7. Technický list Sikament Multimix-100