

NĚKOLIK ÚVAH O PROBLEMATICE TVORBY STRUKTURY CEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ S DISPERZNÍ VLÁKNOVOU VÝZTUŽÍ

Josef Knězek, René Čechmánek¹

Abstrakt – Vlákna a zrnité částice jsou zpravidla určujícími strukturotvornými elementy vysoce jakostních cementových kompozitů s disperzní vláknovou výztuží. Omezené možnosti obecných struktur z vláken konstantní štíhlosti. Modelové vláknové struktury. Proměnlivá štíhlost vláken a vláknová struktura. Hybridní vlákna při tvorbě struktury. Dílčí experimenty. O tekutosti matrice pro výrobu vláknocementového kompozitu. Výsledky některých experimentů.

1. Úvod.

Volba skladebných složek pro cementové kompozity - včetně vláknových - se obecně podřizuje představám o požadovaných vlastnostech výsledného vláknocementového kompozitu. Samozřejmě užití portlandského cementu v kombinaci s vhodnou přísadou - spolu s rozhodnutím o užití určité vláknové výztuže podle jejího očekávaného přínosu a komerční dostupnosti - je spojeno s rozhodováním o typu (zpravidla) křemičitého kameniva a příměsí. Potenciál skladebných složek výsledného kompozitu je využitelný v závislosti na způsobnosti technologického zpracování, které se projeví v míře dokonalosti uspořádání výsledné struktury. Technologická zpracovatelnost těchto vláknových směsí je základním předpokladem pro realizaci v praxi. Každý producent má možnost si vybilancovat úroveň fyzikálně mechanických vlastností výsledného kompozitu v rámci přirozených limitů (technických, ekonomických).

Příkladem obvyklého řešení problému může být experimentální odvození množství komerčně dodávaných alkalivzdorných skleněných vláken délky 12 mm pro dosažení maximální hodnoty pevnosti v tahu za

¹KNĚZEK Josef, Ing., CSc., ČECHMÁNEK René, Ing., Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., Hněvkovského 65, 617 00 Brno, tel.:+420 543 529 275, + 420 543 260, fax.:+420 543 216 029, e-mail: knezek@vustah.cz, cechmanek@vustah.cz.

ohybu, je-li matrice tvořena definovanou směsí portlandského cementu a křemičitého písku s $D_{\max} = 1$ mm, a to při daných možnostech strojné technologického vybavení. Rozsah experimentálních prací byl organizován s přihlédnutím k očekávaným výrazným nerovnoměrnostem v uspořádání výsledné struktury. Při dávkování vláken v rozpětí hodnot $G = 2$ až 5 % hmotnostních a shodné úrovni tekutosti použité směsi pro budoucí matici, byly po dosažení stáří 28 dnů výsledného kompozitu na zkušebních tělesech pro stanovení pevnosti ohybu podle ČSN EN 1170-5 stanovovány vlastnosti: tloušťka (t - mm), objemová hmotnost (ρ - kg m^{-3}) a pevnost v ohybu (σ_{oh} - MPa) při rychlosti posunu zatěžovacího břemene 3 mm za minutu.

Meze vstupních charakteristik pro regresní analýzu:

$$(10 \leq t \leq 15) \quad (1880 \leq \rho \leq 2440)$$

Regresní analýza údajů ze 127 zkušebních těles poskytla následující formalizované závislosti

- pro objemovou hmotnost: $\rho = 2248 - 117,9 G + 13,00 G^2$, při statisticky významné úrovni regresního koeficientu $R = 0,47$ a reziduální směrodatné odchylce objemové hmotnosti $s_{\text{rez}} = 73 \text{ kg m}^{-3}$.

- pro pevnost v ohybu: $\sigma_{\text{oh}} = -24,00 + 0,01436\rho - 0,6462t + 8,070G - 1,0288G^2$, při statisticky významné úrovni regresního koeficientu $R = 0,67$ a reziduální směrodatné odchylce pevnosti v ohybu $s_{\text{rez}} = 1,76 \text{ MPa}$.

Prokazuje se tendence, že ve výrobě shodná míra tekutosti disperzní vysoce koncentrované budoucí matrice vytváří s rostoucím podílem obsahu vláken strukturu vláknového kompozitu, vyznačující se rostoucí pórovitostí až mezerovitostí – tak jak tuto stále více navozuje „zahušťující“ se obecný systém uložení vláken ve výsledném objemu kompozitu.

Regresní závislost pevnosti v ohybu vykazuje extrém střední hodnoty pevnosti v ohybu při obsahu vláken G cca 4% hmotn. Podrobná analýza však ukazuje, že variační součinitel pevnosti v ohybu narůstá s rostoucím obsahem vláken. Pro navrhování stavebních prvků a konstrukcí je však podstatná úroveň charakteristické hodnoty pevnosti v ohybu, která dosahuje maximálních hodnot při obsahu vláken G cca 3% hmotnostních. Potenciál vláknové výztuže – složky dominantně ovlivňující mechanické masnosti výsledného kompozitu - je využitelný v závislosti na kvalitě jejich uspořádání ve výsledné struktuře a charakteru spolupůsobení s maticí, při naplnění apriorní kompatibility s maticí – jako předpokladu trvanlivosti.

2. K možnostem modelování vláknové struktury cementových kompozitů.

Reálnou maticí cementových kompozitů tvoří soubor částic zpravidla ve vodě aktivních či inertních. Voda a přísady zprostředkují pohyblivost

strukturotvorných částic. Z procesu tvorby vláknového kompozitu lze v určitém smyslu vyčlenit dva charakteristické okruhy problémů či jevů:

- Okruh geometrických proporcí zrnitých částic a vláknové výztuže konečné – konstantní, či proměnné – délky
- Problematika fluidity vysoce koncentrované disperze budoucí matrice, způsobitelné vytvářet s vláknovou výztuží co možná objemově rovnoměrný hmotový systém budoucí matrice

3. Modelové řešení rovnoměrné struktury z konstantních vláken konečné délky

Proporcím geometrie zrnitých částic a vláknové výztuže konečné (konstantní) délky bylo zatím věnováno jen málo pozornosti. Dosahované efekty jsou výsledkem experimentů. Ve stadiu experimentů dosud zůstávají proporce hybridních vláknových výztuží.

3.1. Návrh modelu

V návaznosti na práce [1] byl navržen ve dvou variantách model strukturního uspořádání vláken s podílem V % *objemových* při proměnném úhlu vzájemného zkosení vláken α uložených v řídicích rovinách. Vlákna jsou uvažována vždy přímá, modelové uspořádání vláken ve struktuře voleno tak, aby úroveň jejich ohybové tuhosti byla eliminována. Modely jsou ukázány na obr.1.:

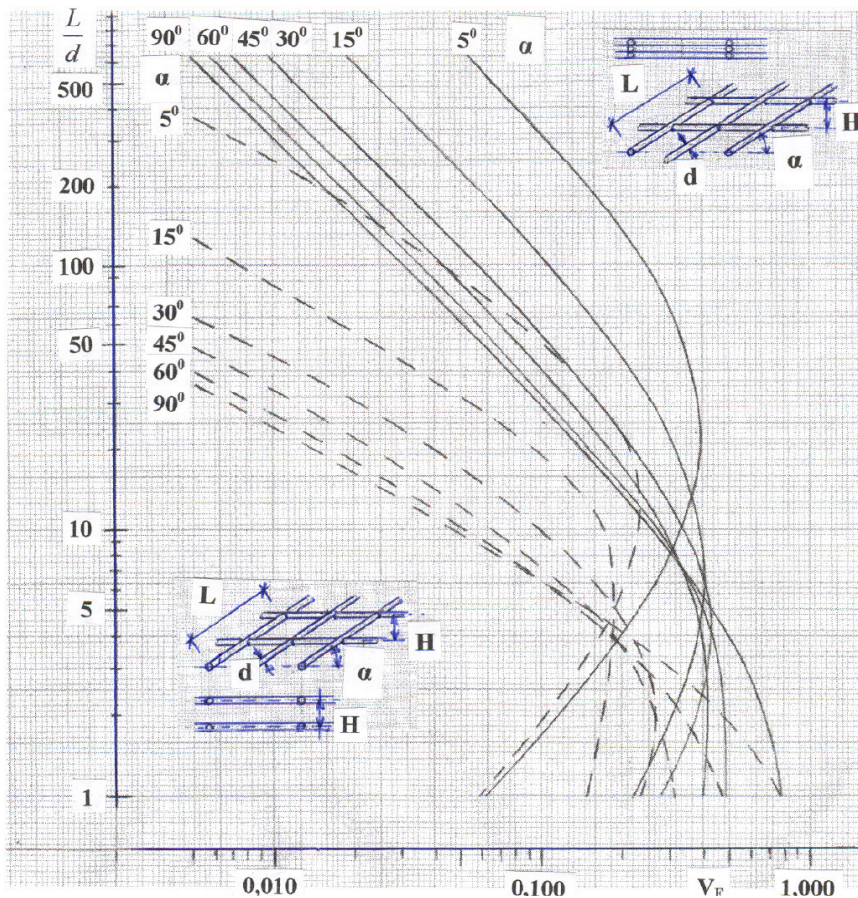
- pro kontaktního uložení vrstev (plné čáry – vztah 1),
- pro vzdálenost H - řídicích vláknových rovin, která je shodná se vzdáleností rovnoběžných řídicích os vláken (čárkované čáry – vztah 2).

Z praktických důvodů jsou čáry vykresleny pro úhly zkosení $\alpha = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ, 15^\circ$ a 5° .

$$V = \frac{\pi \cdot S \sin \alpha}{(S \sin \alpha + \cos \alpha + 1)^2} \quad (1)$$

$$V = \frac{2\pi \cdot S \sin \alpha}{(S \sin \alpha + \cos \alpha + 1)^3} \quad (2)$$

kde $S=L/d$, je zpravidla pojmenována termínem „štíhlost“.

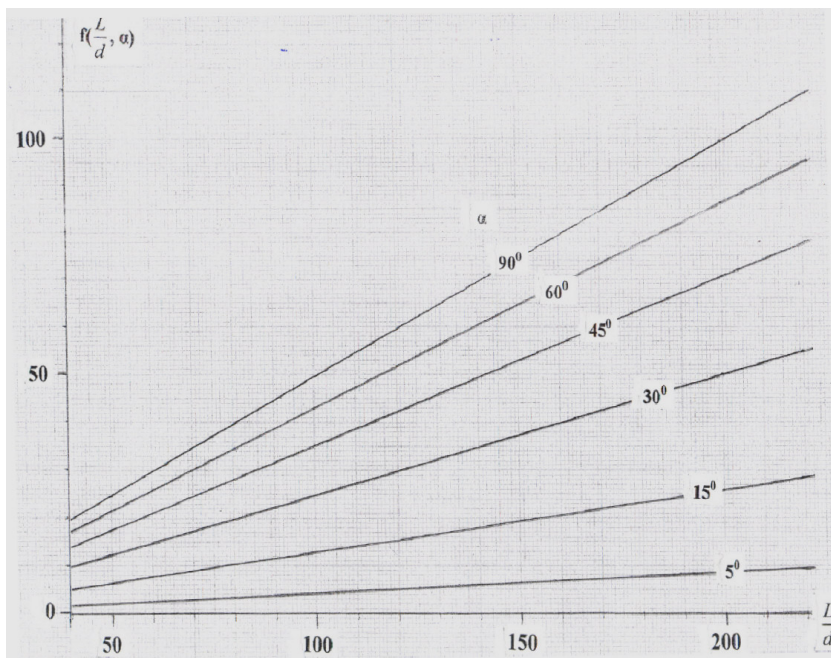


Obr.1. Závislost objemového podílu vláken V_F na štíhlosti vláken L/d a úhlu jejich zkosení α v řídicí rovině.

Maximální velikost kulové částice D_{max} , způsobilé teoreticky procházet prostorem mezi vlákny jak napříč řídicí vláknovou rovinou, tak prostorem mezi řídicími vláknovými rovinami, je dána vztahem (3)

$$D_{max} = f(s, \alpha) d_F/2 \quad (3)$$

kde funkce $f(S, \alpha) = (S \sin \alpha + \cos \alpha - 1)$ je ukázána na obr. 2.



Obr. 2. Funkce $f(S, \alpha)$ pro výpočet maximální velikosti kulové částice D_{max} .

3.2. O akceptovatelnosti modelu

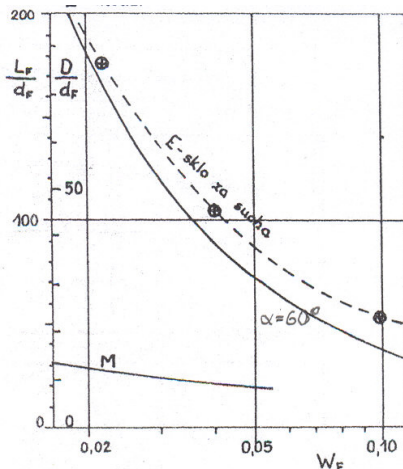
Není pochyb o tom, že pro vláknové struktury lze navrhnout bezpočet modelů. Spíše jde o to, aby navržený model byl co možná jednoduchý a umožňoval realizovat úvahy o tvorbě kompozitních vláknových struktur. Není pochyb o tom, že jakékoliv experimentální ověřování modelu bude poznamenáno reálnou ohybovou tuhostí stochasticky uspořádaných vláken. Velkým problémem může být rozdílné chování vláken i zrnitých částic ve vodě, kdy se zákonitě uplatní řada fyzikálních, fyzikálně chemických a chemických procesů.

Jako jedno z „nejjednodušších“ experimentálních ověření tvorby vláknových struktur z vláken konečné délky a definované štíhlosti lze realizovat stochastické postupné ukládání vláken za sucha a ve vodě. Postupné ukládání dává předpoklad pro analogii se „řídícími rovinami vláken“, jak jsou uplatněny v modelu, ale jen výjimečně nastává takový kontakt vláken, při kterém se neuplatní jejich ohybová tuhost. Současně je možno poznamenat, že postupné ukládání vláken dává předpoklady – především při výrazných štíhlostech – pro výraznou orientaci vláken s rovinou podkladu, což je velmi blízké reálným tenkostěnným kompozitům,

kdy délka vláken je srovnatelná a větší než výsledná tloušťka těchto kompozitů (Výše uvedený příklad dokumentuje, jak s rostoucí tloušťkou – významně překračující délkou užitých vláken – klesá pevnost v ohybu, neboť při stejném obsahu vláken narůstá jejich podíl, jehož orientace podélných os svírá stále větší úhel s řídicí rovinou základny a jejich přínos pro celkovou dosahovanou pevnost v ohybu významně klesá: viz znaménko minus u hodnoty 0.6462)

3.2.1. Experimentální ověření modelu ukládání vláken za sucha

Skleněná vlákna byla ukládána za sucha vibračním podavačem [1] do měrné nádoby o objemu 0,002 m³. Na obr. 3. je ukázán experimentálně zjištěný podíl vláken W_F v jednotkovém objemu v závislosti na jejich štíhlosti L/d . Souběžně je z obr. 1 překreslena i srovnatelná závislost z modelového řešení pro vzájemné zkosení vláken v úhlu $\alpha = 60^\circ$. Jako nejčtetnější pravděpodobnost úhlu zkosení os vláken při experimentálním ukládání za sucha se ale jeví $\alpha = \text{cca } 45^\circ$.



Obr. 3: Ověření ukládání vláken za sucha při $L = 6, 12$ a 20 mm

V technologii premix cementových kompozitů jsou z hlediska zpracovatelnosti výhodná vlákna s $L = 12$ mm. Při štíhlosti $S = 105$ mají jmenovitou tloušťku $d = 0,11$ mm.

Maximální velikost zrnité částice při $\alpha = 45^\circ$ by podle vztahu (3) neměla přesáhnout 4,1 mm. V případě dosažení kontaktního uložení vláken může podle vztahu (1) a obr. 1 činit maximální obsah vláken 4% objemových. Měl – li by být respektován požadavek i na možnost pohybu maximálních zrnitých částic mezi fiktivními řídicími rovinami vláken, pak by maximální obsah těchto vláken podle vztahu (2) neměl přesáhnout úroveň cca 0,1% objemových.

Zpravidla mízný podíl zrnitých částic v úrovni D_{max} , spolu s nezbytností naplnit požadavek na alespoň dostačující úroveň tekutosti výrobní směsi matrice nabízí možnost propočítat možné procento vyztužení V jako vážený podíl podle křivky zrnitosti skladebných zrnitých částic.

3.2.2. Experimentální ověření modelu ukládání vláken ve vodě.

Prameny vláken prakticky shodné gramáže na metr běžný (tex) s rozdílnou povrchovou úpravou a z rozdílných výchozích skel (Cemfil 1, Rezal, E-sklo) byla postupně ukládána sedimentací ve vodě do skleněného válce se síťovým dnem a s průměrem 200 mm (Obr. 4).

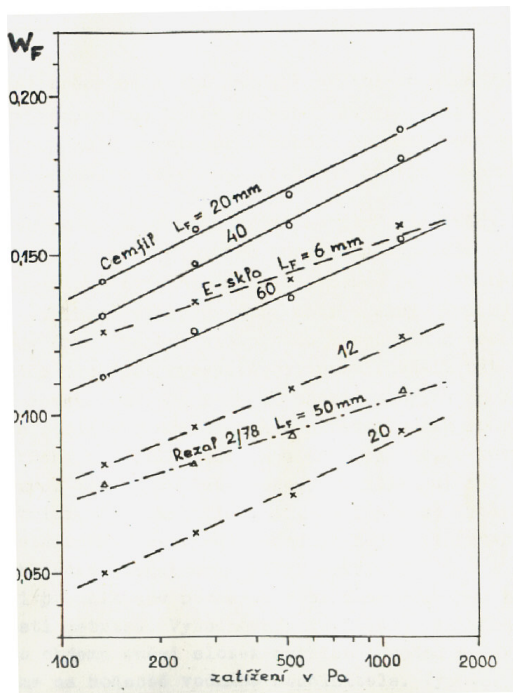


Obr.4: Ukládání vláken sedimentací ve vodě

Po usazení dávky vláken byla síťovým dnem zvolna odpuštěna voda. Původní tloušťka vrstvy vláken se - po razantně snížené hustotě prostředí a hlavně po průchodu vodní hladiny, kdy se zjevně výrazně uplatnilo povrchové napětí vody – významně snížila. Užitím přídavného plošného přitížení byl vyhodnocen vliv zatížení na neformovatelnost vrstvy stochasticky uložených různých typů vláken. Takto experimentálně zjištěný obsah vláken W_F je uveden v závislosti na přitížení (v Pa) na obr. 5.

Experimenty prokázaly dramatický vliv typů povrchové úpravy u různých typů pramenů skleněných vláken. V případě E-skla, kdy povrchová úprava prakticky nemění ve vodě své vlastnosti a vlákna zůstávají i ve vodě prakticky přímá, uchovávají si prameny vláken svou ohybovou tuhost. Naproti tomu prameny vláken Cemfil mají povrchovou úpravu koncipovanu cíleně tak, aby byly při zpracovávání ve vodním prostředí a tvarově přizpůsobivé. Jejich způsobilost vyplnit v neformovatelné podobě

jednotkový objem je výrazná a uplatní se schopností dosahovat výrazně vyšší úrovně hodnot W_F . Formálně se tento jev projeví v navrženém modelu jakoby „snížením“ štíhlosti. Prameny vláken vykázaly rovněž citlivost na vodní prostředí, když ne v takovém rozsahu jaku prameny vláken Cemfil.



Obr. 5. Ověření ukládání pramenů skleněných vláken ve vodě

Z výsledků experimentů s prameny vláken E-skla délky 20 mm . které vykazují štíhlost $S = 175$, byly vyhodnoceny srovnávací charakteristiky hodnot W_F (experimentálně odvozené) - hodnoty V vyčíslené podle navrženého kontaktního modelu. S ohledem na dříve uvedené zjištění o úhlu zkosení byl při vyčíslování údaje z modelu aplikován úhel $\alpha = 45^0$ a získán údaj $V = 0,0247$. Stochastické ukládání pramenů vláken E-skla délky $L = 20\text{ mm}$ za sucha poskytlo údaj $W_{FS} = 0,0219$, vznik vláknové struktury z nich sedimentací ve vodě a po korekci na srovnatelnost podmínek vlivu vlastní tíhy byl získán údaj $W_{FV} = 0,0454$. Nakolik je hodnota W_{FV} vyšší proti zjištěné hodnotě za sucha W_{FS} vlivem

zmenšeného tření při ukládání, nebo odpovídá robustnosti modelu může být předmětem dalších šetření.

Základním poznatkem je potvrzení zásadního významu definování vlivu povrchové úpravy vláken. V technologii výroby oceňovaná tvarová přizpůsobivost vláken Cemfil se výrazně projevuje i při tvorbě vláknové struktury z nich sedimentací ve vodě. Projevuje se cca trojnásobně vyšší tvarová přizpůsobivost vláken Cemfil proti stejné dlouhým vláknům E-skla téže štíhlosti – jak dokládá cca trojnásobně vyšší hodnota W_{FV} . Předběžně lze soudit, že úroveň zvýšené citlivosti vláken na vodní prostředí – jak se projevuje zaznamatelnou a výraznou úrovní deformačního chování při namáhání ohybem, bude možno korigovat ekvivalentním snížením jejich výpočtové hodnoty štíhlosti. Pro aplikaci navrženého modelu strukturního uspořádání vláken se jeví jako nezbytné experimentální ověření hodnot W_{FV} - tedy při ukládání ve vodě.

3.3. Modelové řešení rovnoměrné vláknové struktury z hybridních vláken různé konečné délky.

V návaznosti na modelové řešení vláknové struktury podle odst. 3.1. lze rozvíjet i úvahy o používání hybridních vláken.

Pokud jsou aplikována rozdílná vlákna stejných či přibližně srovnatelných geometrických parametrů, pak již byla experimentálně prokázána [3] technická vhodnost a účinnost, byly-li typy vláken voleny – co do jejich ostatních fyzikálně mechanických vlastností a chemické povahy - podle jasných očekávání možných přínosů. Problémem zůstávají technické možnosti homogenizace těchto výrobních směsí – variabilita finálních užitečných vlastností významně narůstá.

Aplikace rozdílných typů vláken s výrazně rozdílnou geometrií by měla – v zájmu efektivního využívání těchto vláken – vždy respektovat proporce jejich účinného spolupůsobení v dané matici, neboť tato je společná pro všechny přítomné typy vláken. Dokonce i při užití co do podstaty shodného druhu vláken - avšak s výrazně odlišnou jejich délkou - by měl být vždy zachován optimální štíhlostní poměr, tedy vlákna s výrazně odlišnou tloušťkou.

V rámci navrženého modelu v 3.1. je třeba považovat (pokud nevyžadují zvláštní důvody jinak) vlákna o největší délce (L_1) za dominantně určující pro tvorbu vláknové struktury. Další typ vlákna by měl být – pro možnost relativně bezkonfliktní tvorbu hybridní vláknové struktury – co do své délky (L_2) vždy menší než nejvýše roven hodnotě D_{max} podle vztahu (3), při čemž pro praxi by měl být preventivně uvažován úhel zkosení cca $\alpha = 45^\circ$. Počet vláken délky L_2 by měl být podle navrženého model nejvýše shodný s počtem vláken L_1 . Respektování tohoto přístupu k modelovému řešení

vláknové struktury znamená současně požadavek na výrazné snížení přijatelné maximální hodnoty největší zrnité částice.

Jestliže v případě jednoduché vláknové výztuže shodné délky by bylo možno v některých případech pominout požadavek na respektování maximální velikosti zrnité částice, v případě dvouúrovňové délky vláknové výztuže (tj. L_1 a L_2) se jeví jako zásadně významné respektovat charakteru křivky zrnitosti užitých částic.

V případech cementových kompozitů s hybridní vláknovou výztuží je nutno počítat s vyššími nároky na tekutost „mateční směsi“ budoucí matrice, jak j pojednáno dále.

4. O fluiditě koncentrovaných cementopískových suspenzí

V této části pojednání je věnována pozornost vláknocementovým kompozitům, které jsou vybaveny vláknovými složkami o délce zpravidla cca řádově větší než maximální velikost skladebných zrnitých částic. Základním předpokladem pro vytvoření technicky efektivního vláknocementového kompozitu je technologická zpracovatelnost výchozí vláknocementové směsi. Dominantní objemový podíl kompozitu představuje matrice - v procesu tvorby kompozitu představuje matrice koncentrovanou vodní suspenzi disperzních částic cementu a příměsí. Je žádoucí, aby tato „mateční směs“ vykazovala - prakticky obtížně definovatelnou – fluiditu.

Termínem fluidita je označována převrácená hodnota viskozity, která je jen obtížně definovatelná u koncentrovaných suspenzí cementu a dalších zrnitých částic a s eventuelním podílem dalších vláknových složek. V další části proto bude používán termín „tekutost“.

Tekutost „mateční směsi“ mohou významně ovlivňovat - vedle přítomného podílu vody – další ztikuující přísady. Právě tato tekutost koncentrované vodní suspenze disperzních částic má zabezpečit spojitě obklopení všech přítomných vláknových složek, jako jednoho ze základních předpokladů pro jejich statické spolupůsobení s finální matricí budoucího kompozitu. S narůstajícím objemovým podílem vláknových složek v objemu kompozitu rostou i nároky na úroveň tekutosti „mateční směsi“. Složitost procesu zlepšování rovnoměrnosti rozptýlení vláknových složek v objemu „mateční směsi“ je při procesu míchání dále komplikována určitým časovým omezením - po relativně krátké době se mohou projevit tendence ke tvorbě samostatných, relativně kompaktních shluků, jejichž vzájemná soudržnost je ve výsledném kompozitu srovnatelná jen s úrovní pevnosti v tahu jemnozrné matrice. Globální rozměry těchto shluků jsou ovlivňovány úrovní ohebnosti vláken za mokra a jsou zpravidla srovnatelné s délkou přítomných nejdelších vláken.

Uvedené skutečnosti v současnosti rozhodují o praktickém využívání především dvou principiálně odlišných způsobů přípravy vláknových kompozitů :

- technologie souběžného nástřiku „mateční směsi“ a vláken, kdy hutněním na místě lze vytvářet vláknocementové kompozity s objemovým podílem vláken v úrovni až cca 4%
- technologie míchání „mateční směsi“ s vláknovou výztuží podstatně kratších délek, kdy lze vytvářet vláknocementové kompozity s objemovým podílem vláken jen málo přesahujícím úroveň 2 %.

Stanovování tekutosti koncentrovaných složených cementových disperzí byla již věnována značná pozornost, aniž by bylo dosaženo možnosti vzájemné převoditelnosti výsledků hodnocení mezi jednotlivými postupy.

V této části je presentován způsob formalizace tekutosti patrně nejjednodušším možným způsobem, kdy jako tekutost je stanovována podle roztečení „mateční směsi“ z prstence definovaného tvaru a objemu. Takto stanovována tekutost je v dalším označována termínem „roztékavost“.

4.1. O parametrech roztékavosti.

Uznání světové odborné komunity dosáhlo posuzování tekutosti „mateční směsi“ podle [4], kdy výroba vláknocementu probíhá (více či méně efektivním) mícháním mokré směsi a maximální velikost použité částice nemá přesáhnout 2,4 mm. Předepsaný kovový prstenec kruhového profilu má vnitřní průměr 57 mm a výšku 55 mm. Roztékavost „mateční směsi“ je podle uvedené metody definována pořadovými čísly 1 až 9, která odpovídají adekvátně průměrům kružnice 65,85,105,125,145,165,185,205 a 225 mm.

Podle některých doporučení by se roztékavost „mateční směsi“ homogenizované mícháním za mokra měla pohybovat v rozmezí čísel 6 až 8.

4.2. Navržená varianta formalizace výsledků hodnocení roztékavosti a její ověření.

Volba roztékavosti matrice nabývá na významu zvláště v případech kompozitů s hybridní vláknovou výztuží, a to při aplikaci vláken výrazně rozdílné geometrie, o dalších odlišnostech vlivu jejich povrchových vlastností nemluvě. Byla realizována základní velmi jednoduchá úvaha nad jevem - roztékavost „mateční směsi“.

Po vykování výchozí „práce“ – umístění „mateční směsi“ do válcového prstence nabyl její vzniklý válcový objem potenciální energie e_0 . Odstraněním prstence se vytvoří na povrchu rozteklé „mateční směsi“ nová

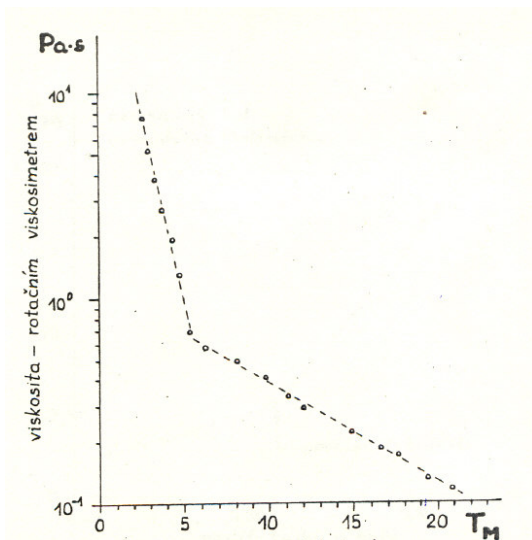
rovnováha silového působení „globálního povrchového napětí“, vlastní tíhy při uplatnění „globální viskozity“ „mateční směsi“. Výsledný tvar rozlité má přibližně formu více či méně plochého kruhového disku, jemuž z původní potenciální energie e_0 zůstává zachována zbytková potenciální energie e_z . Tento problém byl řešen již před léty [6] a opětovně uplatněn i nedávna v zásadní práci [7]. Z matematické formulace vyplývá možnost označit jako ukazatel roztékavosti „mateční směsi“ parametr $T_M = e_0 / e_z$. Poněvadž objem výchozí i konečné „mateční směsi“ zůstává prakticky konstantní, pak v tomto zjednodušeném pojetí lze pro danou geometrii měrného prstence formalizovat roztékavost vztahem (4):

$$T_M = \left(\frac{R_z}{R_0} \right)^2 \quad (4)$$

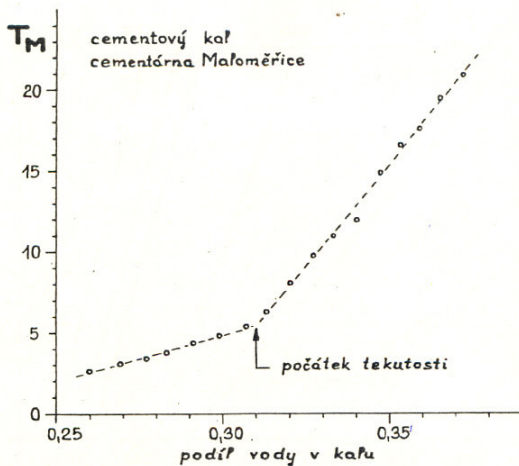
Kde R_z je poloměr „disku“ rozlité směsi

R_0 vnitřní poloměr použitého prstence.

Navržený zjednodušený popis roztékavosti byl principiálně ověřen na výsledcích měření roztékavosti (použit prstenc o výšce 55 mm a vnitřním poloměru $R_0 = 32,5$ mm) uvedených v [5]. Získané pozitivní výsledky byly zveřejněny v [6] a charakterizují je obr. 6 a 7.



Obr. 6: Souvislost viskozity (v Pa.s) cementového kalu a roztékavosti T_M



Obr. 7: Souvislost podílu vody v cementovém kalu a roztékavosti T_M

Společným a významným rysem tohoto hodnocení je

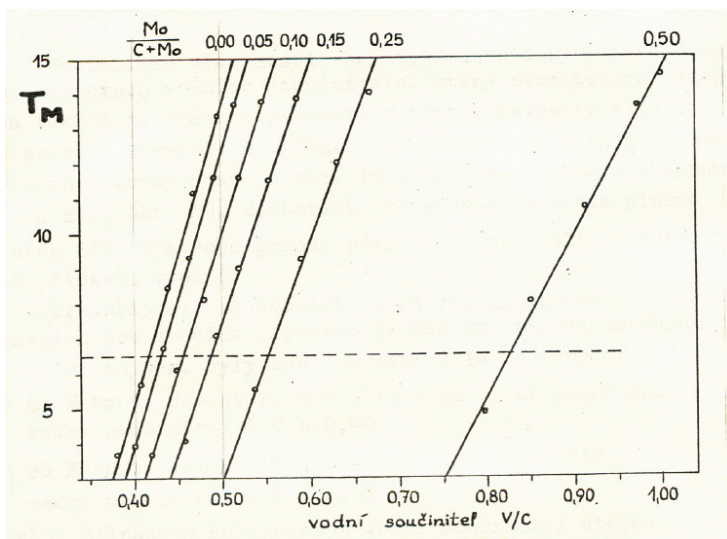
- zaznamenání existence kvalitativně výrazné „meze počátku roztékavosti“
- lineární průběh experimentálních výsledků T_M v závislosti na obsahu vody (vodním součiniteli), který otevírá prostor pro zjednodušení postupu vymezování žádoucí úrovně roztékavosti.

V návaznosti na uvedená zjištění bylo realizováno [6] několik experimentálních stanovení roztékavosti T_M koncentrovaných cementových disperzí při odstupňovaném obsahu křemenné moučky a úletu SiO_2 . Získané výsledky ukázané na obr.8 a 9. potvrdily akceptovatelnost navrženého vyjadřování roztékavosti v technické praxi.

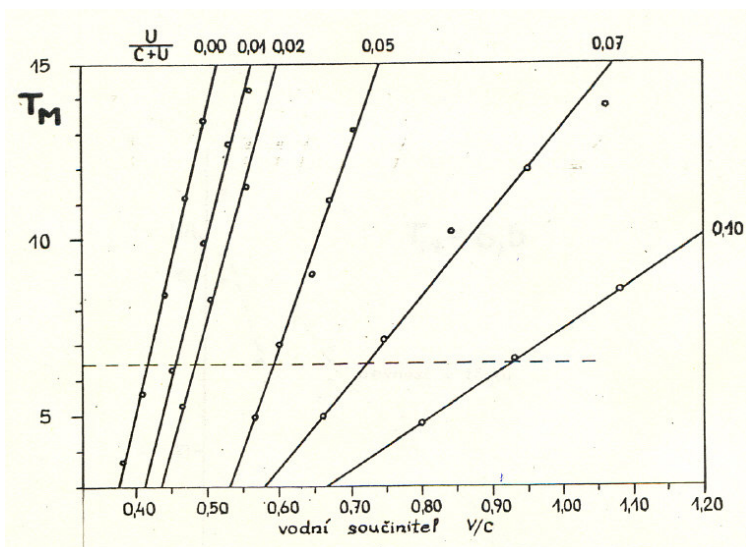
Závěr

Navržené modelování vláknových struktur umožňuje vyčíslit odhad možného podílu vláknové výztuže konečné délky a definované štíhlosti na základě distribuce zrnitých částic. Otevřenou otázkou zůstává vliv kapalného prostředí matrice na ohybovou tuhost vláken a charakter dominantního vzájemného zkosení vláken. Modelování vláknových struktur lze aplikovat i v případě hybridní vláknové výztuže.

Navržený způsob hodnocení úrovně tekutosti výrobní směsi pro matici vláknových kompozitů parametrem roztékavosti T_M dává možnosti operativního postupu v provozních podmínkách. Tento přístup lze efektivně



Obr. 8: Závislost roztékavosti T_M koncentrované cementové suspenze s odstupňovaným podílem křemenné moučky na vodním součiniteli



Obr. 9: Závislost roztékavosti T_M koncentrované cementové suspenze s odstupňovaným úletem SiO_2 na vodním součiniteli

uplatnit i při experimentálním řešení otázek vhodnosti či účinnosti plastifikátorů.

Poděkování.

Tento příspěvek byl zpracován s využitím poznatků při řešení projektu MPO ČR reg.č. FT-TA/019, projektu MŠMT 1M06005 - CIVAK a projektu GA ČR reg.č. 103/06/1474.

Literatura

1. Knězek J.: Přetvárné vlastnosti deskových materiálů s vláknitou výztuží, VUT Brno, Disertační práce, srpen 1981.
2. Knězek J.: Příspěvek k modelové analýze vláknitých struktur, Sborník z konference „Betony vyztužené dispergovanými vlákny a jejich použití v hornictví, geotechnice a stavitelství“, Ostrava, 7.-9.9.1982, DT Ostrava, I. díl, str.253 – 265.
3. Knězek J., Čechmánek R., Svobodová R.: New variants of cement composite reinforced with dispersed hybrid fibers., 11th INTERNATIONAL CONFERENCE Ekology and new building materials and products, Telč, 5. – 7.6.2007, pp.313 -316.
4. Specification for the manufacture, curing and testing of GRC products. International Glassfibre Reinforced Concrete Association, Sekond edition June 2000.
5. Těhník V.: Užití ztekucovatel cementářského kalu, Výzkumná zpráva VUSH Brno, prosinec 1971
6. Knězek J.: Hodnocení tekutosti cementových kaší a podobných látek prstencovým fluidimetrem, Zpravodaj VUSH, č. 6. 1980, str. 24 -30
7. Saak a.w., Jennings H.M., Shah S.P.: A generalized approach for the determination of yield stress by slum pand slump flouw., Cement and Concrete Research, 2004, pp.363 – 371.