

Drátkobeton

Určování parametrů materiálových modelů z výsledků experimentů

Vypracovala: Tereza Sajdlová
Datum: 13. 4. 2011

Obsah

1. Charakteristika materiálu	4
1. Charakteristika materiálu	4
1. 1 Vlastnosti drátkobetonu.....	4
1. 2 Poufřivaný materiál.....	4
1. 3 Sou asný výzkum	5
2. Modelování drátkobetonových konstrukcí	5
2.1 Model SBETA	5
2.2 Model 3D Nonlinear cementitious 2.....	6
2.3 Zkou-ení drátkobetonu.....	6
3. Ur ování parametr drátkobetonu podle výsledk experiment ve ty bodovém ohybu	8
4. Drátkobeton se 40 kg drátk v 1 m ³	11
4.1 Zkou-ky jednotlivých materiálových model	11
4.2 Porovnání materiálových model drátkobetonu se 40 kg/m ³ drátk	16
5. Drátkobeton se 60 kg drátk v 1 m ³	17
5.1 Porovnání materiálových model pro drátkobeton se 60 kg/m ³ drátk	17
6. Obecné charakteristiky model pro drátkobeton.....	19
7. Ov ování výsledk zji-t ných p i výzkumu.....	22
8. Záv r	23

Seznam obrázk

Obr. 1: Model rozet ených trhlin pro chování v tahu normálního betonu.....	5
Obr. 2: Graf vyjad ující vztah mezi nap tím a otev ením trhliny pro materiál SBETA drátkobeton.....	6
Obr. 3: Trámce z drátkobetonu poufřité p i experimentech i po íta ových simulacích	7
Obr. 4: Model tráme ku v Atena 2D ó ty bodový ohyb	7
Obr. 5: Model tráme ku v Atena 3D ó ty bodový ohyb	7
Obr. 6: Pracovní diagram prostého betonu stanovený experimentem.....	8
Obr. 7: Porovnání chování materiálu 3D Nonlinear cementitious 2 s nam enými hodnotami	9
Obr. 8: Porovnání chování materiálu SBETA s nam enými hodnotami	10
Obr. 9: Pracovní diagram drátkobetonu se 40 kg/m ³ drátk	11
Obr. 10: Pracovní diagram upraveného materiálu SBETA	11
Obr. 11: Pracovní diagram upraveného modelu SBETA SFRC	12
Obr. 12: Pracovní diagram modelu 3D Nonlinear Cementitious 2	13
Obr. 13: Zobrazení trhlin a jejich velikostí na modelu 3D Nonlinear cementitious 2 ve vrcholu pracovního diagramu.....	14
Obr. 14: Pracovní diagram upraveného materiálu Cementitious user.....	15
Obr. 15: Upravená tahová funkce 3D Nonlinear cementitious 2 User.....	15
Obr. 16: Upravená tlaková funkce 3D Nonlinear cementitious 2 User.....	16
Obr. 17: Porovnání ty druh materiálových model pro drátkobeton s 40 kg/m ³ drátk	16
Obr. 18: Pracovní diagram drátkobetonu s 60 kg/m ³ drátk	17
Obr. 19: Porovnání ty druh materiálových model pro drátkobeton s 60 kg/m ³ drátk	18
Obr. 20: Graf znázor ující vhodné nastavení parametru Gf pro drátkobeton - SBETA.....	19
Obr. 21: Hodnoty tahové pevnosti pro r zné typy beton ó SBETA.....	19
Obr. 22: Graf znázor ující vhodné nastavení parametru zm k ení C1 pro drátkobeton ó SBETA SFRC.....	20
Obr. 23: Hodnoty tahové pevnosti pro r zné typy beton ó SBETA SFRC	20

Obr. 24: Graf znázor ůjící vhodné nastavení parametru G_f pro drátkobeton ó 3D Nonlinear Cementitious 2.....	21
Obr. 25: Závislost velikosti kritické tlakové deformace na množství drátk ó3D NL cementitious 2.....	21
Obr. 26: Hodnoty tahové pevnosti pro r zné typy beton ó3D NL cementitious 2	21
Obr. 27: Hodnoty tahové pevnosti pro r zné typy beton ó 3D NL cementitious user 2	22
Obr. 28: Pracovní diagramy pro materiálové modely drátkobetonu s 40 kg/m^3 a jedním prutem výztuže v porovnání s nam ěnými hodnotami.....	23

Seznam tabulek

Tab. 1: Vygenerované vlastnosti materiálových model 3D Nonlinear cementitious 2 a SBETA.....	9
Tab. 2: Vlastnosti modelu 3D Nonlinear cementitious 2 pro prostý beton	9
Tab. 3: Vlastnosti modelu SBETA pro prostý beton.....	10
Tab. 4: Vlastnosti modelu SBETA odpovídající drátkobetonu se 40 kg/m^3 drátk	12
Tab. 5: Vlastnosti modelu SBETA SFRC odpovídající drátkobetonu se 40 kg/m^3 drátk	13
Tab. 6: Vlastnosti modelu 3D Nonlinear cementitious 2 pro 40 kg/m^3 drátk	13
Tab. 7: Základní vlastnosti materiálového modelu Cementitious user	14
Tab. 8: Vlastnosti upraveného materiálu 3D Nonlinear cementitious 2 user pro 40 kg/m^3 drátk	15
Tab. 9: Upravené hodnoty parametr pro jednotlivé materiálové modely ó drátkobeton 40 kg/m^3 drátk	17
Tab. 10: Upravené hodnoty parametr pro jednotlivé materiálové modely ó 60 kg/m^3 drátk	17

1. Charakteristika materiálu

Drátkobeton patří k moderním kompozitním materiálům, tzn. materiálům kombinujícím 2 různé složky s odlišnými vlastnostmi. Díky ocelovým drátkům, které jsou přidávány do betonu, vzniká materiál s obdobnými vlastnostmi, jaké má flezobeton vyztužený klasickým způsobem, tedy betonáskou výztuží. Drátkobeton vyniká tahovými vlastnostmi a odolností proti vzniku a šíření smršťovacích trhlin. V posledních letech jeho využívání roste a stále se objevují nové typy konstrukcí, kde je možné částečně nebo úplně nahradit klasickou prutovou výztuž ocelovými drátky rozptýlenými rovnoměrně v betonu a tím uspořádat práci, čas a finanční prostředky. Využívání drátkobetonu pro prmyslové podlahy a základové desky se rozrůstá o použití materiálu na ostění tunelů, tenkostěnné konstrukce a vodohospodářské stavby.

Pro dosažení očekávaných vlastností drátkobetonu verstvém i ztvrdlém stavu je nutné rovnoměrně rozptýlit drátky v drátkobetonové směsi a rovnoměrně je obalit cementovou maltou. Při určité hmotnostní koncentraci mají ocelové drátky během míchání směsi tendenci tvořit shluky, tzv. jeřky. Aby tomuto jevu bylo zabráněno, procházejí vlákna před zamícháním dávkovacím a rozdružovacím zařízením.

Drátkobetonové konstrukce se realizují pomocí dvou odlišných technologií. První z nich je klasické ukládání drátkobetonové směsi do bednění a její následné zpracování. V tomto případě je třeba věnovat zvláštní pozornost konzistenci používané směsi, aby byla dosažena požadovaná homogenita výsledného materiálu. Druhou technologií je tvorba konstrukcí nástřikem drátkobetonu, používá se suchý i mokrý způsob nástřiku.

1.1 Vlastnosti drátkobetonu

Rozptýlenou výztuží v podobě drátů je výrazně ovlivněn pracovní diagram materiálu v tlaku ale zejména v tahu. Tím se materiál kvalitativně odlišuje od prostého betonu, dosahuje vyšších pevností a vyznačuje se vyšší houževnatostí. Díky těmto vlastnostem je drátkobeton velmi odolný vůči rázům, a proto se využívá také u dynamicky namáhaných konstrukcí, jako jsou piloty, vozovky atd.

1.2 Používaný materiál

Charakteristickou složkou drátkobetonu jsou ocelové drátky. Drátky by měly být dostatečně dlouhé, měly by protínat celý prostor mezi sousedními zrny hrubé frakce kameniva a zasahovat nejlépe až za ně, aby se o tato zrna mohly opírat. Z toho vyplývá, že délka drátů se odvozuje z použité velikosti a množství hrubé frakce kameniva. Další důležitou vlastností drátů je jejich ohybová tuhost, která musí být tak velká, aby drátky zachovaly při míchání, ukládání a hutnění směsi svou původní tvar.

Kamenivo použité v drátkobetonech by mělo odpovídat kamenivu používanému v ostatních konstrukčních betonech a jeho jakost by tomu také měla odpovídat. Pro návrh betonové směsi platí obdobná pravidla jako v případě prostých betonů, jediný rozdíl se objevuje ve vodním součiniteli, který se v případě drátkobetonu pohybuje maximálně kolem 0,4. Touto hodnotou je zajištěno, aby se drátky během výroby, dopravy a zpracování směsi neshlukovaly ani neodloupaly. Pro zlepšení obtížně zpracovatelnosti drátkobetonové směsi se doporučuje používat plastifikátory nebo ztekucující přísady.

1.3 Sou asný výzkum

Vzhledem k tomu, že vyuffivání drátkobetonu stále roste a je snahou projektant i výrobce pouflití tohoto materiálu co nejvíce roz-ít, je třeba znát jeho skute nou únosnost. Pro navrhování drátkobetonových konstrukcí neexistují v sou asné dob fládné normy, a proto je hlavním cílem této studie zjistit, jak závisí chování materiálu na konkrétním množství drátk , které vlastnosti to ovliv uje a které ne. Cílem této práce a po íta ových výpo t by m lo být ur ení vhodných hodnot parametr materiálových model odpovídajících ur itým typ m drátkobetonu (r zné množství drátk), které by se v budoucnu pouflivaly na navrhování konstrukcí z tohoto materiálu.

2. Modelování drátkobetonových konstrukcí

Modelování drátkobetonových konstrukcí probíhá v programech, které vyuffivají k výpo t m nelineární analýzu. Konkrétn pro tento výzkum byly pouflity programy ATENA 2D a ATENA 3D. Pro tyto programy existují dva základní materiálové modely simulující chování betonu. Jedná se o model SBETA a 3D Nonlinear cementitious 2.

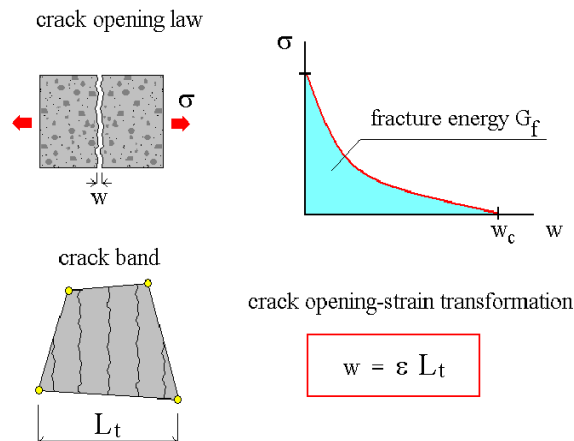
2.1 Model SBETA

Model SBETA je charakterizován stavem rovinné napjatosti a je popsán pomocí rovnice:

$$\mathbf{s} = \mathbf{D}\mathbf{e}, \mathbf{s} = \{\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}\}^T, \mathbf{e} = \{\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}\}^T$$

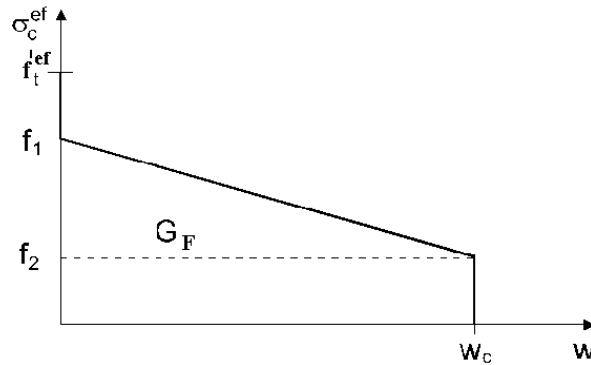
kde \mathbf{s} je vektor nap tí, \mathbf{D} je matice tuhosti materiálu a \mathbf{e} je vektor deformací.

SBETA popisuje chování betonu ve 2D modelech, vlastnosti v tahu jsou modelovány nelineární lomovou mechanikou v kombinaci s metodou í ky pásu trhlin a konceptu rozet ení trhlin. Hlavní parametry týkající se tahových vlastností jsou tahová pevnost, lomová energie a tvar k ivky znázor ující vztah mezi nap tí a otev ením trhlin. Základnímu modelu SBETA odpovídá chování v tahu dle Obr. 1.



Obr. 1: Model rozet ených trhlin pro chování v tahu normálního betonu

Pro model SBETA existují další modifikace, jednou z nich je SBETA drátkobeton, kde je upraven tvar funkce nap tí a otev ení trhliny podle Obr. 2.



Obr. 2: Graf vyjad ující vztah mezi nap tí a otev ením trhliny pro materiál SBETA drátkobeton

2.2 Model 3D Nonlinear cementitious 2

Model 3D Nonlinear cementitious 2 je obecn j-í materiálový model pro beton, který se dá použít i pro konstrukce ve 3D. Chování v tahu je charakterizováno obdobn jako u SBETA modelu a chování v tlaku je plastické. Popis materiálového modelu je založen na rozložení deformací na elastickou, plastickou a deformaci p i vzniku trhlin:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^p + \varepsilon_{ij}^f$$

Nap tí je poté vyjad eno rovnicí:

$$\sigma_{ij}^n = \sigma_{ij}^{n-1} + E_{ijkl} (\Delta \varepsilon_{kl} - \Delta \varepsilon_{kl}^p - \Delta \varepsilon_{kl}^f)$$

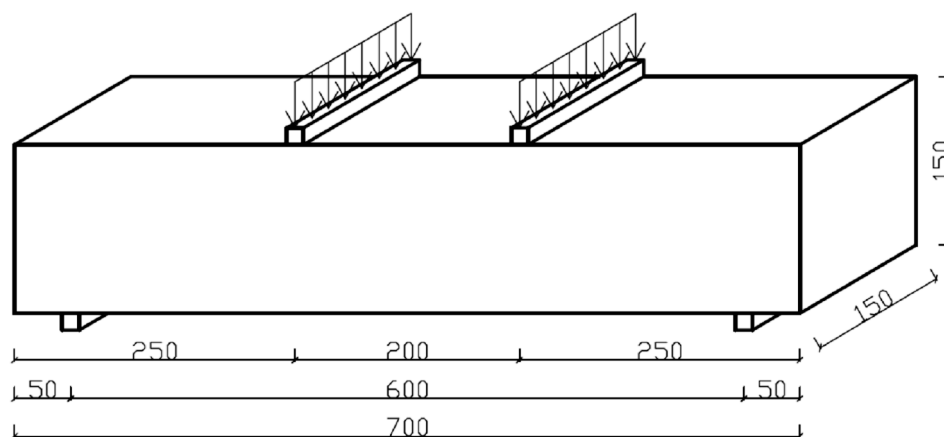
Jednou z modifikací tohoto materiálu je 3D Nonlinear cementitious 2 user, kde je možnost nastavit si funkci odezvy betonu v tlaku i tahu podle konkrétního materiálu.

2.3 Zkoušení drátkobetonu

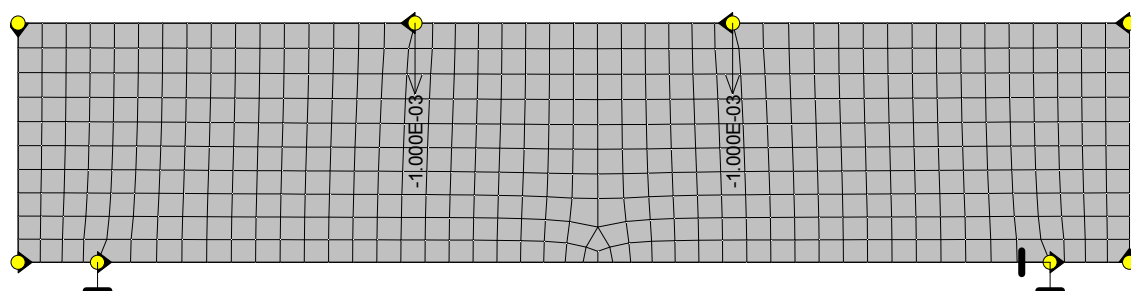
Dle TP FC 1-1 *Technické podmínky 1: Vláknobeton - část 1 : Zkoušení vláknobetonu* [3] se vlastnosti drátkobetonu v tahu za ohybu a duktilita zkouší ve čtyřbodovém ohybu na trémkách o rozměru 150/150/700 mm, stejné trémky byly vymodelovány také ve výpočetním programu viz.

Vstupní hodnoty materiál pro drátkobeton není snadné zjistit, jelikož např. lomová energie se nedá při experimentech přesně změřit (experimenty se nedají dovést do takového stavu, kde by bylo možné změřit celkovou hodnotu lomové energie). Proto se simuluje únosnost trémky ve čtyřbodovém ohybu ve výpočetních programech a nastavují se materiálové parametry tak, aby odezva co nejvíce odpovídala skutečnému trémce. Tímto způsobem se vstupní veličiny určují nepřímo, tzv. inverzní analýzou.

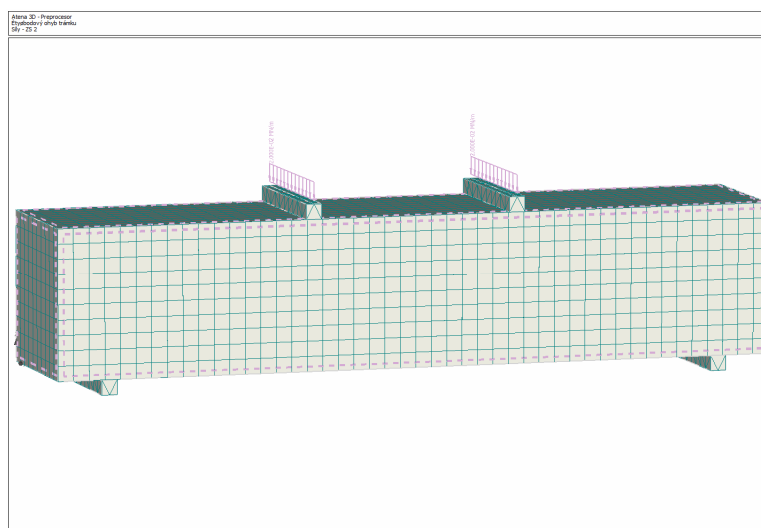
Cílem této studie je usnadnit určení materiálových parametrů na základě finančně dostupných informací o použitém drátkobetonu, tzn. množství betonu a procento drátů. Je snahou parametry určit alespoň zhruba, přesné parametry přitom obecně nelze určit, jelikož každá směs drátkobetonu je jiná, obsahuje jiné drátky a jiný druh betonu.



Obr. 3: Trámce z drátkobetonu použité p i experimentech i po íta ových simulacích



Obr. 4: Model tráme ku v Atena 2D ó ty bodový ohyb



Obr. 5: Model tráme ku v Atena 3D ó ty bodový ohyb

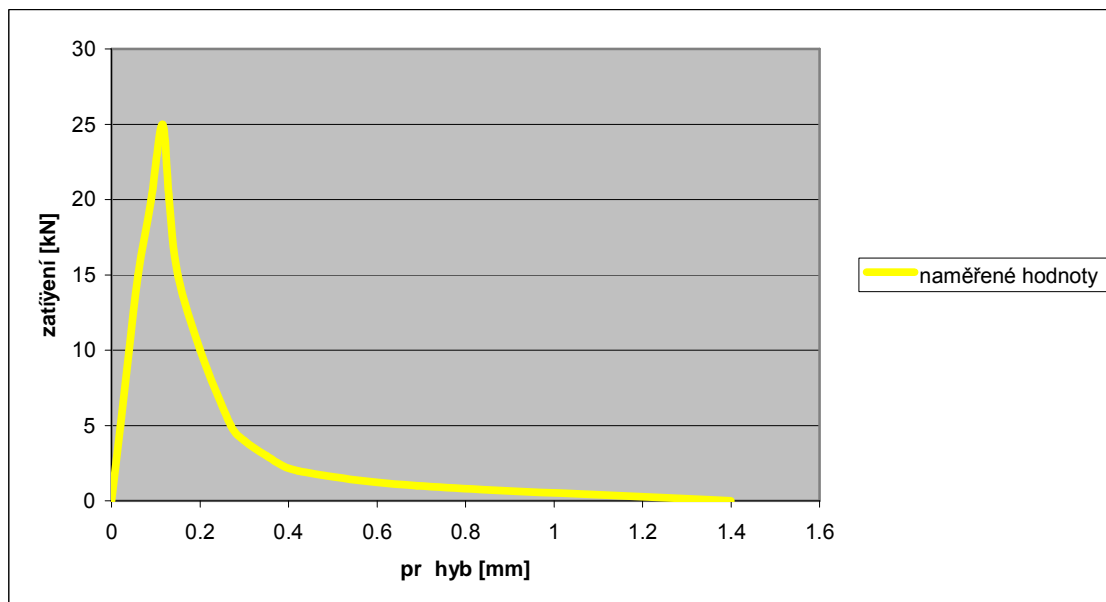
3. Ur ování parametr drátkobetonu podle výsledk experiment ve ty bodovém ohybu

P sobení drátkobetonu se zkou-í na tráme cích, které jsou zatífleny ty bodovým ohybem. S navy-ujícím se zatíflením je sledován nár st pr hybu a -í ka vznikající trhliny. Zkou-ky betonu bez drátk se provád í na tráme cích, které jsou oslabeny vrubem, ímfl je p edem definováno místo vzniku trhliny. Beton bez drátk se zkou-í ve ty bodovém ohybu.

Konkrétní experimenty, ze kterých se v této práci vycházelo, jsou popsány v lánku [1] a jsou provád ny na trámecích o rozm rech 150/ 150/ 700 mm. Zkou-elo se n kolik variant materiálu, a to prostý beton, drátkobeton s 40 kg/m^3 a drátkobeton s 60 kg/m^3 drátk .

Vlákna pouflitá pro drátkobeton byla typu Arcelor HE 75/50 a prutová výztufl z oceli 10 505. Betonová sm s byla navržena tak, aby byla vyrobitelná v reálných podmínkách a aby bylo možno dávkovat afl 60 kg drátk na 1 m^3 betonu. Tato sm s dosahovala ve stá í 28 dn tlakové pevnosti 46 MPa (nejnífl-í nam ená hodnota). Trámce byly zat flovány dv ma stejnými silami ve ty etinách rozp tí.

Jako první probíhaly zkou-ky prostého betonu. Dle rozm r trámce byl v programu Atena 2D vytvo en výstifný model. Pozd ji byl tentýfl model vytvo en také v programu Atena 3D. Jako výchozí byl pouflit materiál s vygenerovanými parametry tak, aby dob e popisoval skute ný beton (velikost krychelné pevnosti 46 MPa , velikosti parametr v). Po dokon ení výpo t se porovnávaly LD diagramy numerického modelu a reálného trámce, LD diagram z experiment je na Obr. 6 Parametry modelu byly poté upravovány tak, aby odezva materiál byla p íblífln stejná.

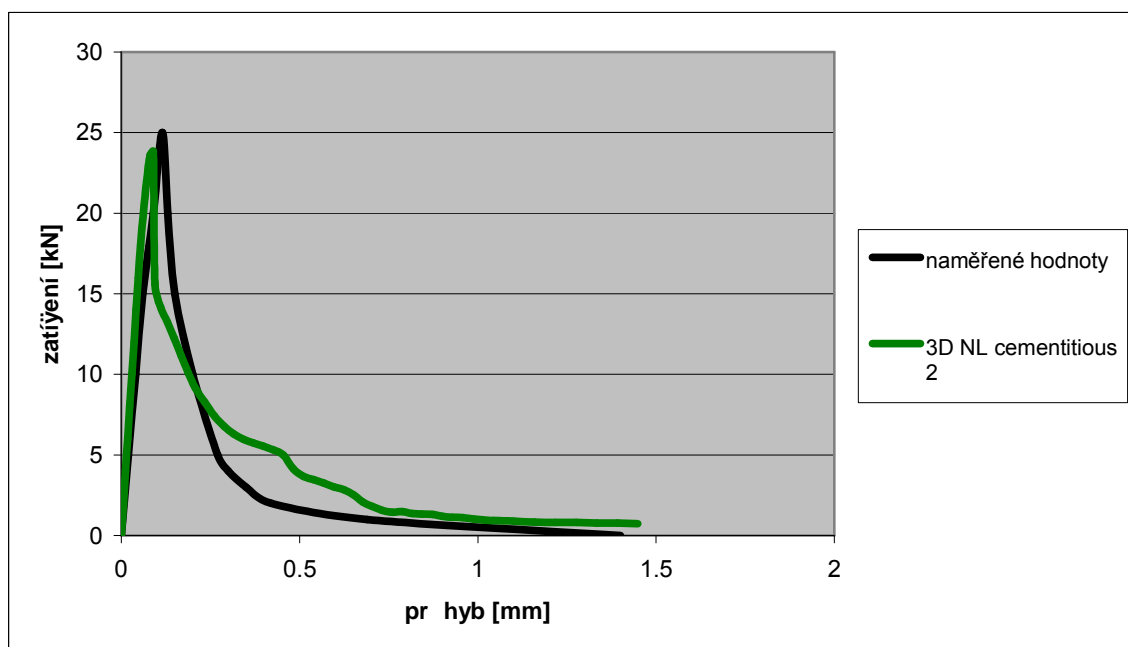


Obr. 6: Pracovní diagram prostého betonu stanovený experimentem

	3D Nonlinear cementitious 2	Beton SBETA materiál
Modul pružnosti [MPa]	3.586E+04	3.586E+04
Poissonovo číslo [-]	0.200	0.200
Pevnost v tahu [MPa]	3.081E+00	3.081E+00
Pevnost v tlaku [MPa]	-3.910E+01	-3.910E+01
Specifická lomová energie [MJ/m ³]	7.703E-05	7.703E-05
Kritická tlaková deformace [m]	-5.0000E-04	-5.0000E-04

Tab. 1: Vygenerované vlastnosti materiálůvých model 3D Nonlinear cementitious 2 a SBETA

Zkou-ely se dva materiálóvé modely pro beton v programu Atena 2D. Jako první z nich byl zkou-ěn 3D Nonlinear cementitious 2, jehož pracovní diagram v porovnání s nam-ěnými hodnotami je zobrazen na Obr. 7, vlastnosti tohoto materiálu jsou v Tab. 2 (upravené hodnoty jsou ozna-eny tu n).

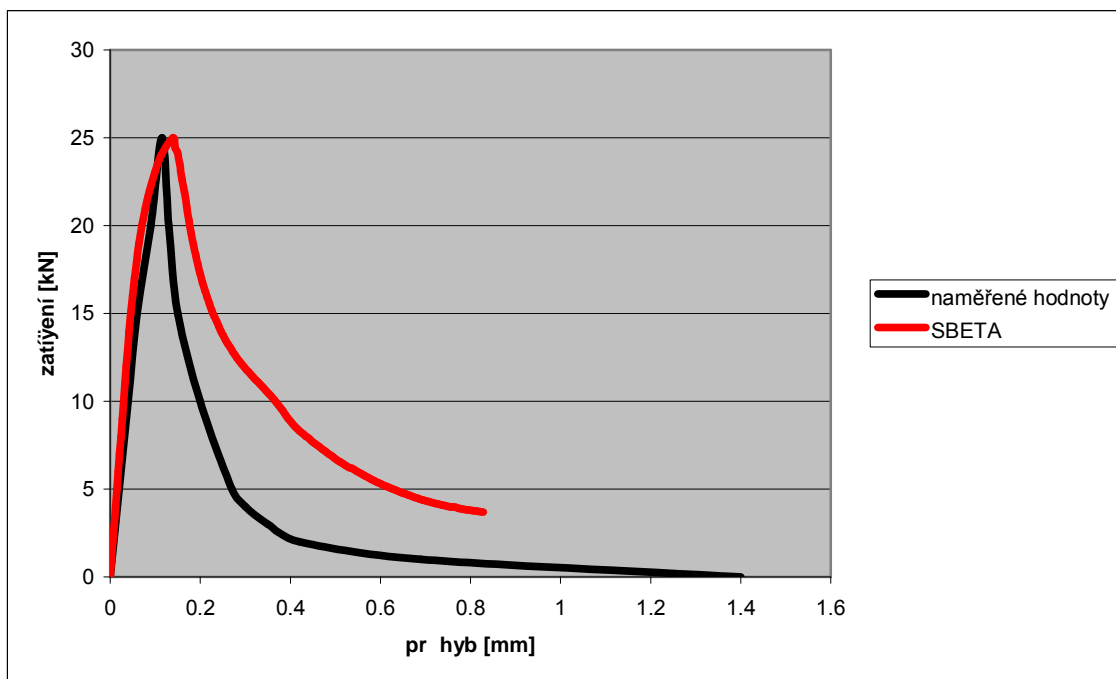


Obr. 7: Porovnání chování materiálu 3D Nonlinear cementitious 2 s nam-ěnými hodnotami

3D Nonlinear cementitious 2	
Modul pružnosti E [MPa]	3.586E+04
Poissonovo číslo [-]	0.200
Pevnost v tahu [MPa]	2.800E+00
Pevnost v tlaku [MPa]	-3.910E+01
Specifická lomová energie [MJ/m³]	9.000E-05
Kritická tlaková deformace [m]	-5.0000E-04

Tab. 2: Vlastnosti modelu 3D Nonlinear cementitious 2 pro prostý beton

Dalším zkoušeným materiálem je model SBETA. LD diagramy trámců jsou na Obr. 8 a parametry modelu v Tab. 3, kde jsou tučně označeny upravené hodnoty.



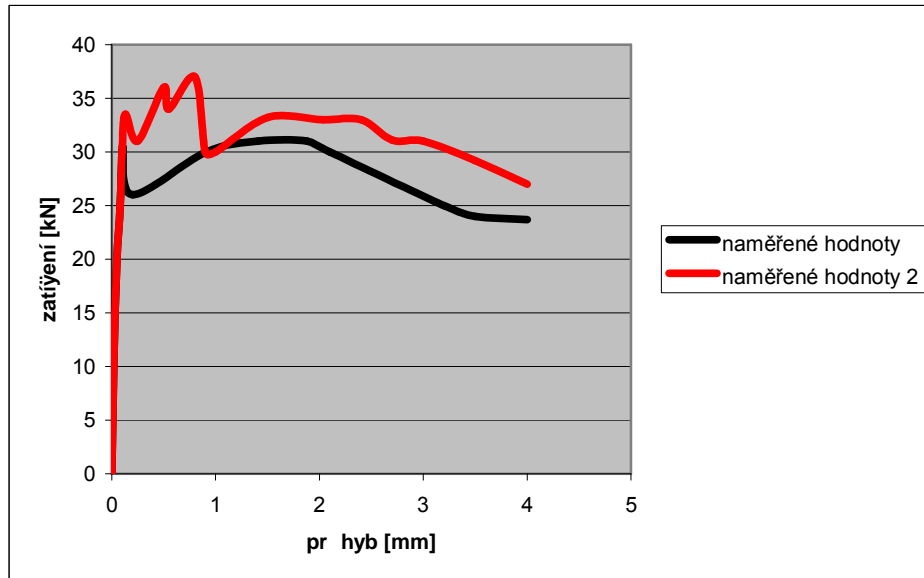
Obr. 8: Porovnání chování materiálu SBETA s naměřenými hodnotami

Beton SBETA materiál	
Modul pružnosti [MPa]	3.586E+04
Poissonovo číslo [-]	0.200
Pevnost v tahu [MPa]	2.250E+00
Pevnost v tlaku [MPa]	-3.910E+01
Specifická lomová energie [MJ/m]	3.000E-04
Kritická tlaková deformace [m]	-5.0000E-04

Tab. 3: Vlastnosti modelu SBETA pro prostý beton

4. Drátkobeton se 40 kg drátek v 1 m³

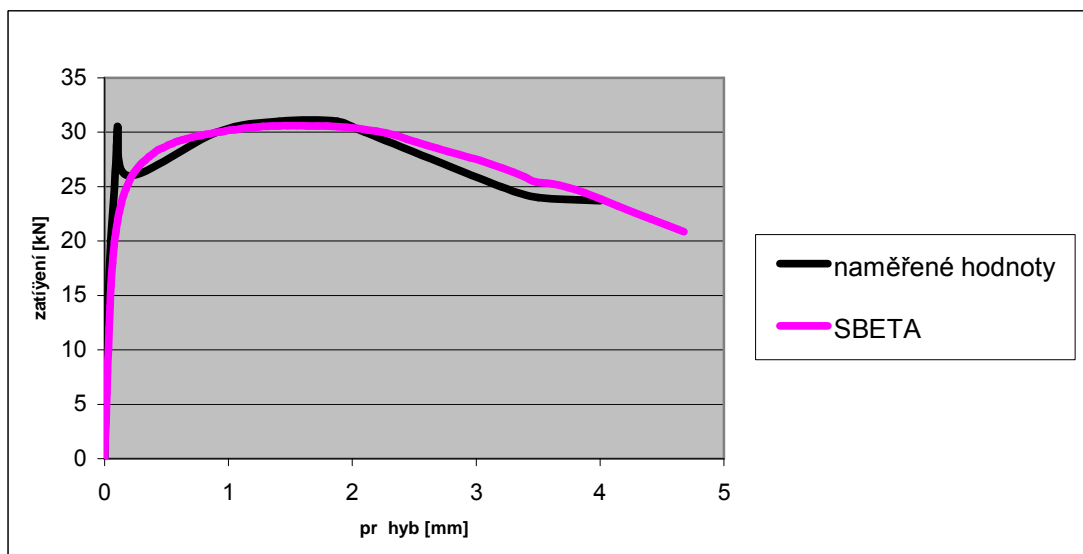
Stejným způsobem jako u prostého betonu byly zjištěny vlastnosti drátkobetonu, který obsahuje 40 kg drátek na 1 m³. Z výsledku experiment byly vybrány 2 typické křivky charakterizující chování materiálu a podle nich byly hledány hodnoty parametr materiálového modelu. Pro drátkobeton jsou vhodné všechny 4 typy modelů.



Obr. 9: Pracovní diagram drátkobetonu se 40 kg/m³ drátek

4.1 Zkoušky jednotlivých materiálových modelů

Prvním zkoušeným materiálem byl model SBETA. V tomto případě bylo nutné zvýšit hodnotu lomové energie na 60násobek původní hodnoty pro prostý beton a zároveň snížit hodnotu tahové pevnosti na 0,66násobek. Poté materiálový model výstižně interpretoval odezvu zkoušených vzorků.



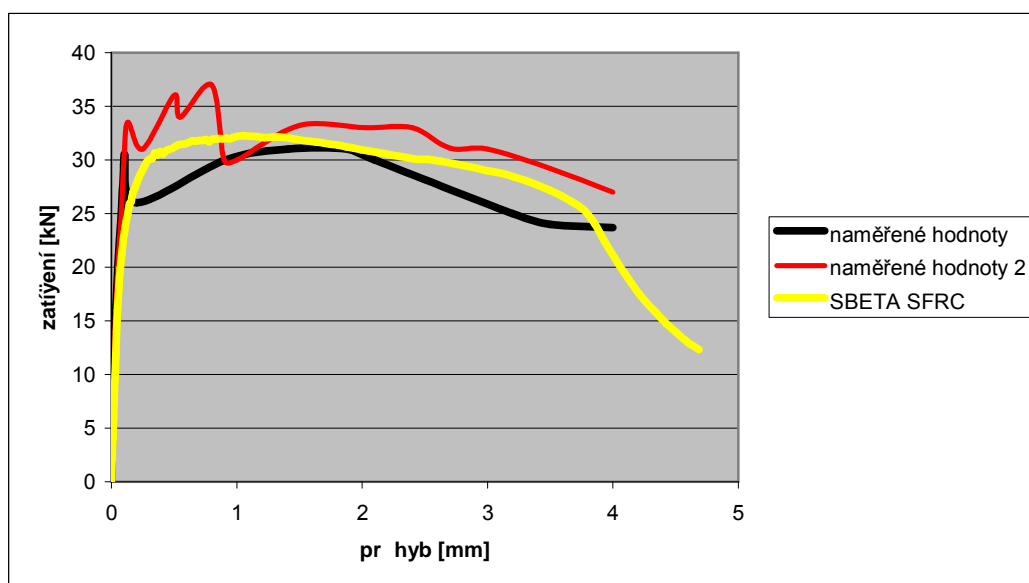
Obr. 10: Pracovní diagram upraveného materiálu SBETA

Beton - SBETA materiál	
Modul pružnosti [MPa]	3.586E+04
Poissonovo číslo [-]	0.200
Pevnost v tahu [MPa]	2.000E+00
Pevnost v tlaku [MPa]	-3.910E+01
Specifická lomová energie [MN/m]	4.500E-03
Kritická tlaková deformace [m]	-5.0000E-04

Tab. 4: Vlastnosti modelu SBETA odpovídající drátkobetonu se 40 kg/m³ drátk

Dalším použitým materiálovým modelem je SBETA SFRC, což je materiál, který by měl svými vlastnostmi lépe odpovídat drátkobetonu než klasický model SBETA. V jeho popisu se objevují dvě nové vlastnosti, a to parametr změny C1 a parametr změny C2, které se upravovaly tak, aby výsledek co nejpešněji kopíroval pracovní diagram vycházející z laboratorních experimentů.

Ve výsledné úpravě bylo nutné změnit lomovou energii na 50násobek původní hodnoty, velikost parametru změny C1 byla po několika pokusech nastavena na 0,7 a hodnota C2 na 0,2. V tomto modelu nebylo nutné měnit hodnotu vygenerované tahové pevnosti.

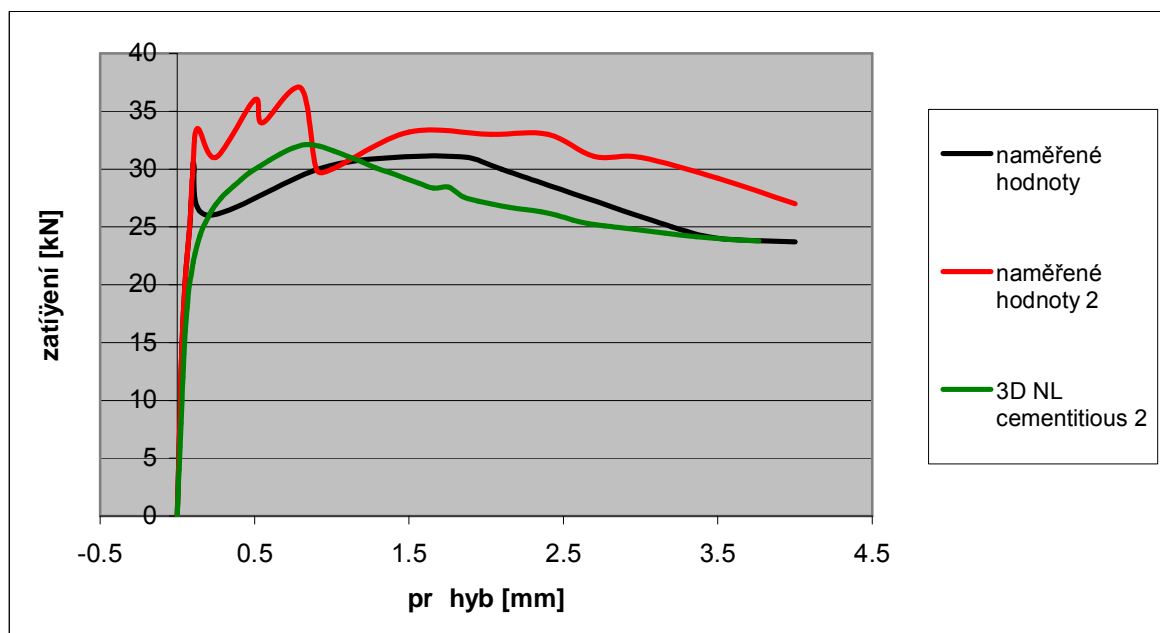


Obr. 11: Pracovní diagram upraveného modelu SBETA SFRC

Beton - SBETA materiál	
Modul pružnosti [MPa]	3.586E+04
Poissonovo íslo [-]	0.200
Pevnost v tahu [MPa]	3.081E+00
Pevnost v tlaku [MPa]	-3.910E+01
Typ tahového zm k ení	Drátko-beton
Specifická lomová energie [MJ/m]	3.750E-03
Parameter zm k ení [-]	7.000E-01
Parameter zm k ení [-]	2.000E-01

Tab. 5: Vlastnosti modelu SBETA SFRC odpovídající drátkobetonu se 40 kg/m³ drátk

Zkou-en byl i model 3D Nonlinear cementitious 2, kde se po n kolika pokusech ukázalo, že je třeba pro správnou odezvu materiálu upravit také tlakové parametry, jako je kritická tlaková deformace W_d . Ve výsledné verzi materiálu byla zvý-ena hodnota lomové energie na 500ti násobek p vodní hodnoty a zároveň byla 500x navý-ena hodnota W_d . Pevnost v tahu byla snížena stejn jako u poufitého modelu SBETA na 0,66násobek p vodní velikosti. Pro tento materiálový model je na Obr. 13 zobrazena deformace a velikosti trhlin ve vrcholu pracovního diagramu.



Obr. 12: Pracovní diagram modelu 3D Nonlinear Cementitious 2

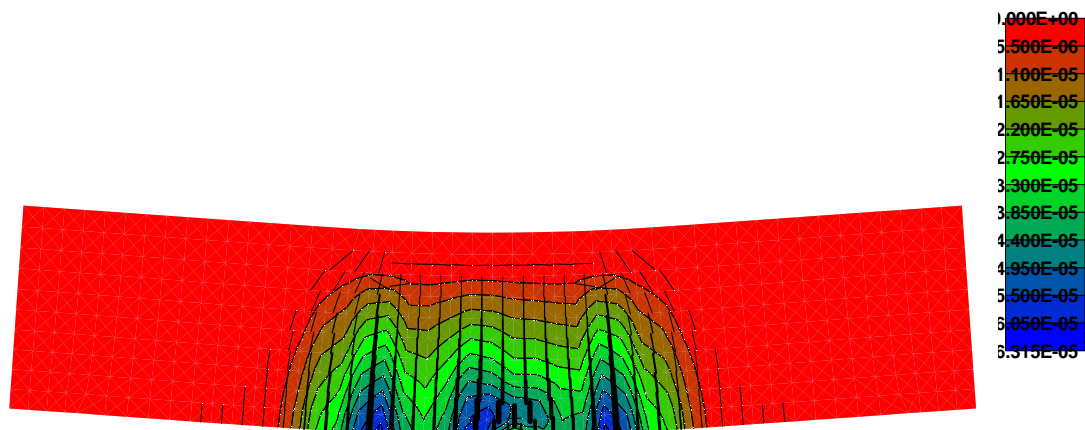
3D Nonlinear Cementitious 2	
Modul pružnosti [MPa]	3.586E+04
Poissonovo íslo [-]	0.200
Pevnost v tahu [MPa]	2.000E+00
Pevnost v tlaku [MPa]	-3.910E+01
Specifická lomová energie [MJ/m]	3.7500E-02
Kritická tlaková deformace [m]	-2.5000E-01

Tab. 6: Vlastnosti modelu 3D Nonlinear cementitious 2 pro 40 kg/m³ drátk

Step 30, Zkoušky trámu

Skaláry: izoplochy, Basic material, in nodes, Crack Width, Cod1, <0.000E+00;6.315E-05>[m]

Cracks: in elements, opening: <7.092E-08;7.405E-05>[m], Sigma_n: <1.953E+00;2.000E+00>[MPa], Sigma_T: <1.666E-02;2.280E+



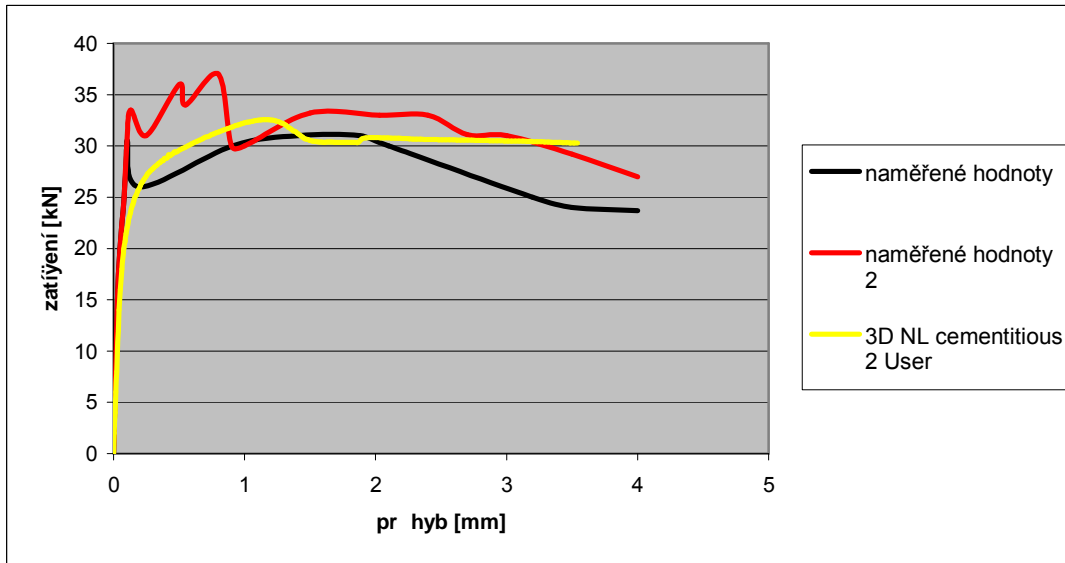
Obr. 13: Zobrazení trhlin a jejich velikostí na modelu 3D Nonlinear cementitious 2 ve vrcholu pracovního diagramu

Posledním zkoušeným materiálem je 3D Nonlinear cementitious 2 User, který se od modelu 3D Nonlinear cementitious 2 liší tím, že je zde možnost ručně zadat funkce tahového a tlakového změkčení a tím mít chování materiálu. Pro pořádkovou odezvu materiálu bylo třeba upravit jak funkci tahovou, tak funkci tlakovou.

Výsledný model Cementitious user má tahovou pevnost sniženou na 0,66násobek povodní hodnoty a jsou upraveny funkce tlakového a tahového chování podle Obr. 15, Obr. 16.

3D Non Linear Cementitious 2 User	
Modul pružnosti [MPa]	3.586E+04
Poissonovo číslo [-]	0.200
Pevnost v tahu [MPa]	3.081E+00
Pevnost v tlaku [MPa]	-3.910E+01
Function tensile hardening/softening law [-, -]	(0.000E+00; 1.0000), (1.926E-03; 0.2500) (1.284E-02; 0.0000)
Function compressive hardening/softening law [-, -]	(-6.090E-03; 0.0000), (-1.090E-03; 1.0000) (-5.452E-04; 0.8000) (0.000E+00; 0.2500)

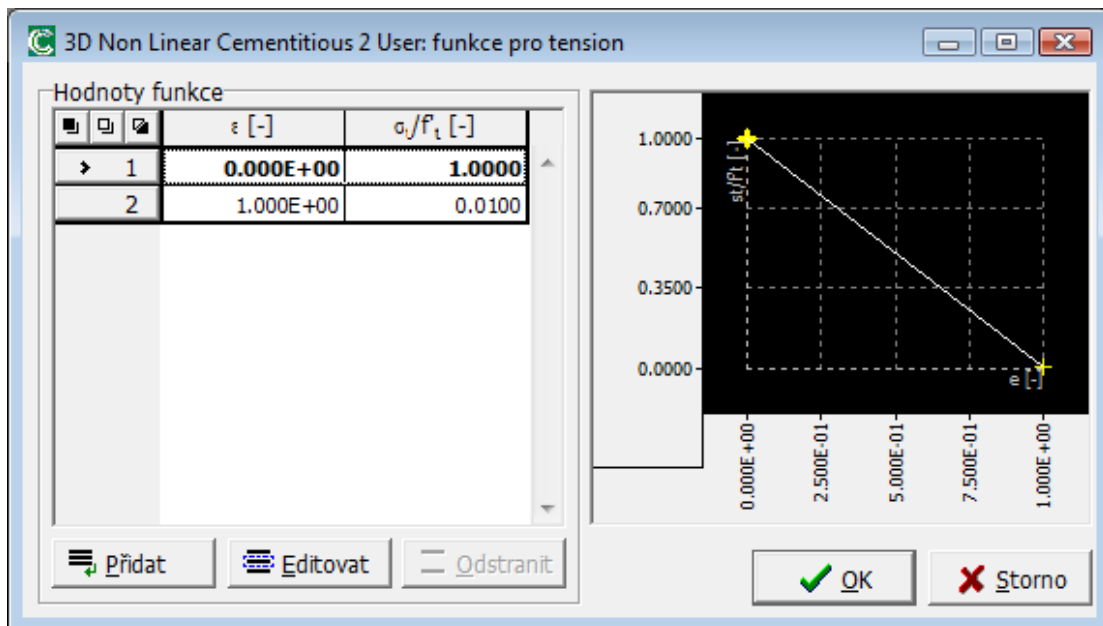
Tab. 7: Základní vlastnosti materiálového modelu Cementitious user



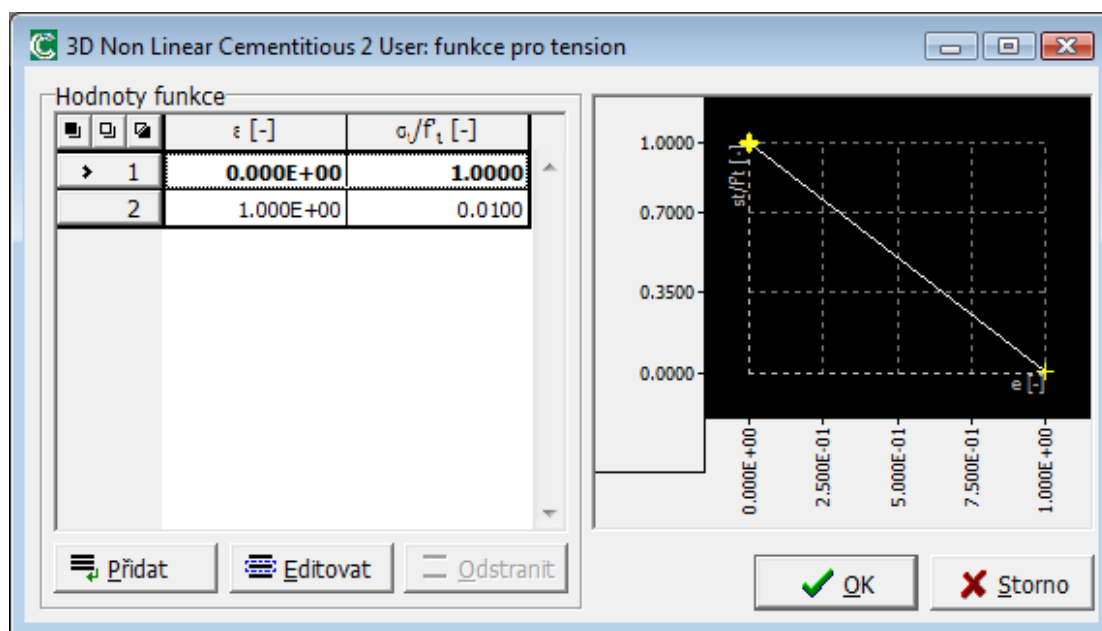
Obr. 14: Pracovní diagram upraveného materiálu Cementitious user

3D Non Linear Cementitious 2 User	
Modul pružnosti [MPa]	3.586E+04
Poissonovo číslo [-]	0.200
Pevnost v tahu [MPa]	2.000E+00
Pevnost v tlaku [MPa]	-3.910E+01
Function tensile hardening/softening law [-, -]	(0.000E+00; 1.0000) (1.000E+00; 0.0100)
Function compressive hardening/softening law [-, -]	(-6.090E-01; 0.0000) (-1.090E-03; 1.0000) (-5.452E-04; 0.8000) (0.000E+00; 0.2500)

Tab. 8: Vlastnosti upraveného materiálu 3D Nonlinear cementitious 2 user pro 40 kg/m³ drátko



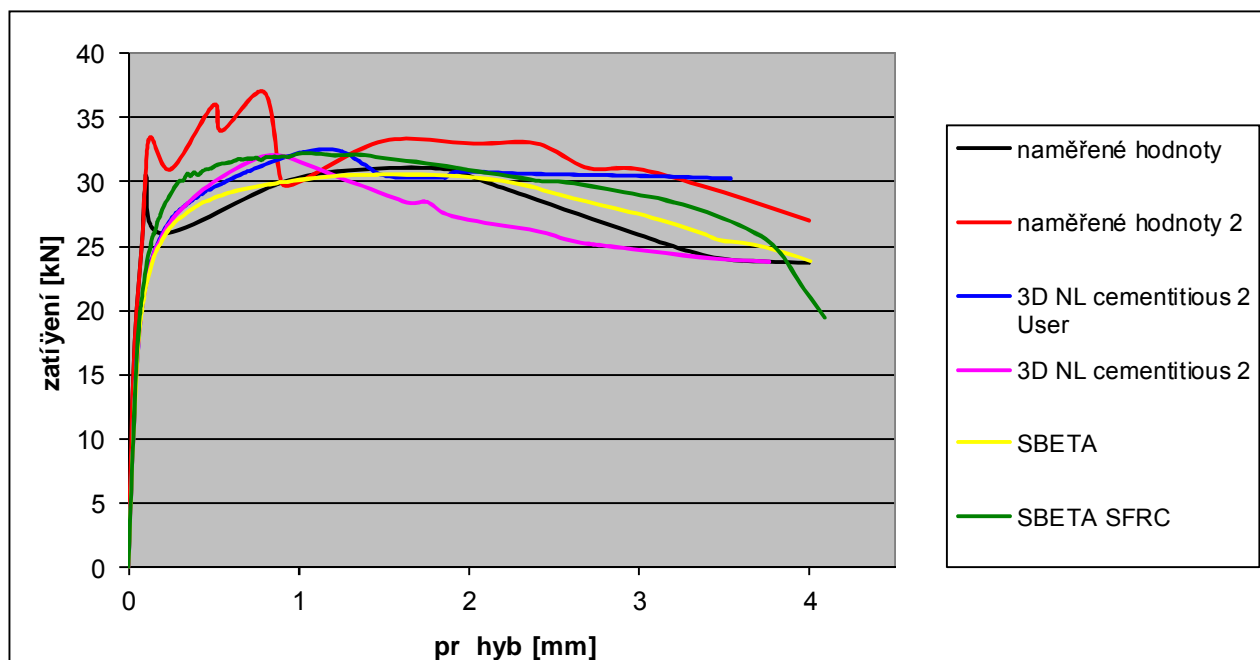
Obr. 15: Upravená tahová funkce 3D Nonlinear cementitious 2 User



Obr. 16: Upravená tlaková funkce 3D Nonlinear cementitious 2 User

4.2 Porovnání materiálových modelů drátkobetonu se 40 kg/m^3 drátů

Po úpravě určitých hodnot parametrů materiálových modelů se dají pro modelování drátkobetonu použít všechny tyto materiálové modely. Porovnání jejich odezvy s naměřenými hodnotami je zobrazeno na Obr. 17. Hodnoty, které bylo třeba upravovat, jsou v Tab. 9.



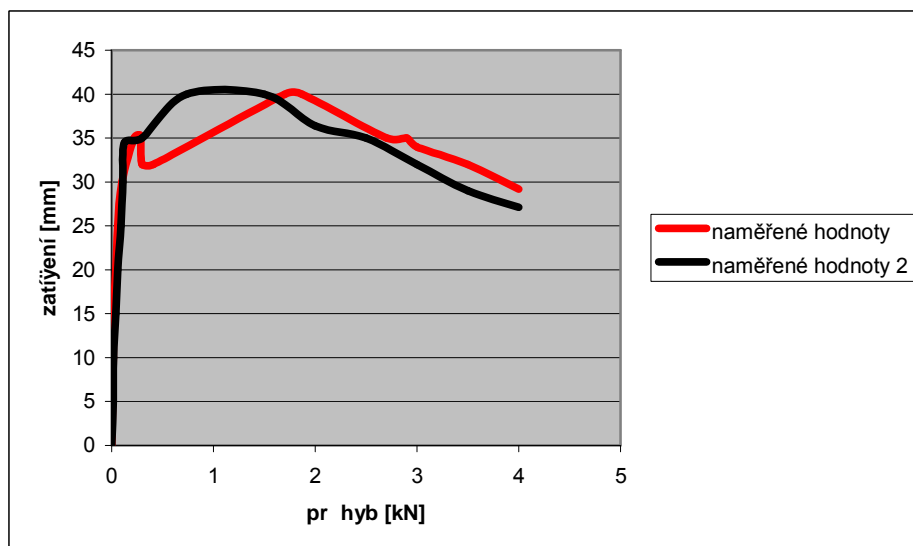
Obr. 17: Porovnání různých druhů materiálových modelů pro drátkobeton s 40 kg/m^3 drátů

Typ materiálu	f _t [MPa]		G _f [N/m]		W _d [m]	
Absolutní/Relativní hodnota	A	R	A	R	A	R
SBETA	2	0.6666	4500	60	-	
3D NL CEMENTITIOUS 2	2	0.666	37 500	500	-0.25	500
SBETA SFRC	-		3750	50	c1 = 0.7	c2 = 0.2
3D NL CEMENTITIOUS 2 User	2	0.667	Popsáno f _c tahového změkčení		Popsáno funkcí odezvy v tlaku	

Tab. 9: Upravené hodnoty parametrů pro jednotlivé materiálové modely drátkobetonu 40 kg/m³ drátek

5. Drátkobeton se 60 kg drátek v 1 m³

Stejně jako pro předchozí varianty materiálů byl hledán model pro drátkobeton s obsahem 60 kg/m³ drátek. Byly vybrány 2 pracovní diagramy charakterizující chování drátkobetonu zjištěné zkouškou v tyčkovém ohybu a podle nich byl vytvořen odpovídající materiálový model. Hledání vhodných parametrů bylo v tomto případě jednodušší, protože se vycházelo z hodnot zjištěných pro drátkobeton se 40 kg/m³ a ty se odpovídajícím způsobem upravovaly.



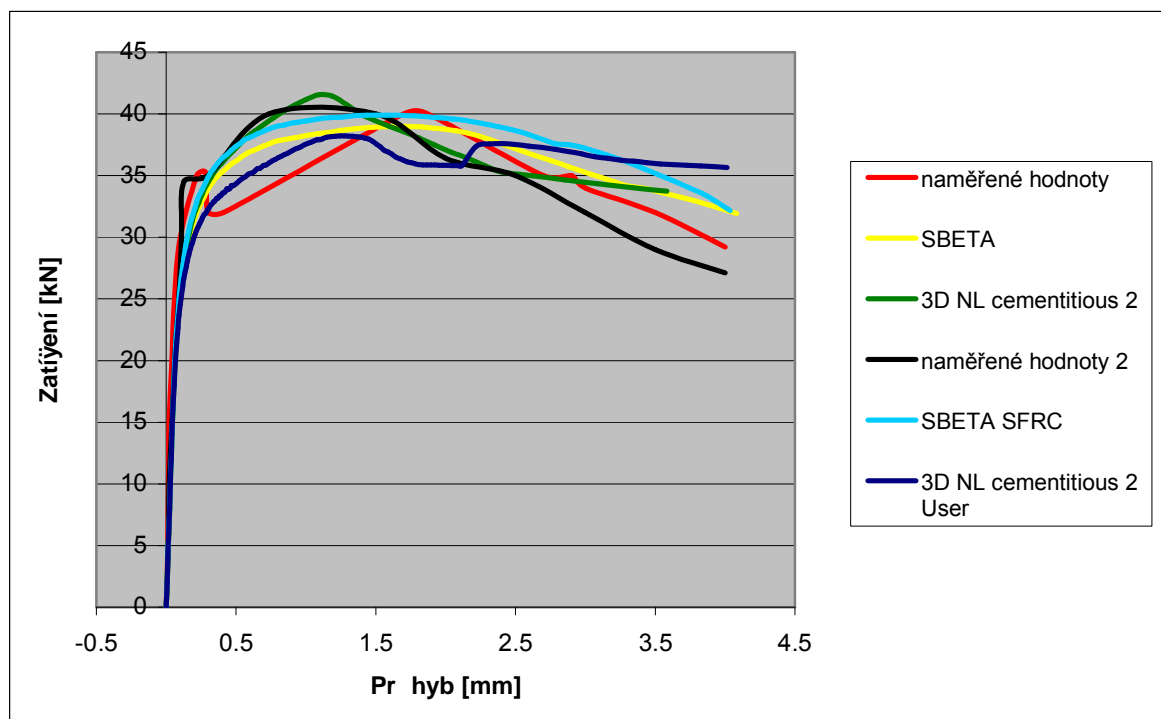
Obr. 18: Pracovní diagram drátkobetonu s 60 kg/m³ drátek

5.1 Porovnání materiálových modelů pro drátkobeton se 60 kg/m³ drátek

Vhodnou úpravou materiálových modelů se dosáhlo chování srovnatelného s chováním drátkobetonu s vyšším obsahem drátek. Navyžovala se dále lomová energie a upravovaly se tahové a tlakové vlastnosti. Porovnání odezvy jednotlivých materiálových modelů je na Obr. 19. Upravené hodnoty parametrů jednotlivých modelů jsou v Tab. 10.

Typ materiálu	f _t [MPa]		G _f [N/m]		W _d [m]	
Absolutní/Relativní hodnota	A	R	A	R	A	R
SBETA	2.6	0.84	6750	90	-	
3D NL CEMENTITIOUS 2	2.6	0.84	75000	1000	-0.5	1000
SBETA SFRC	3.35	1.1	3750	50	c1 = 0.8	c2 = 0.2
3D NL CEMENTITIOUS 2 User	2.4	0.8	Popsáno f _c tahového změkčení		Popsáno funkcí odezvy v tlaku	

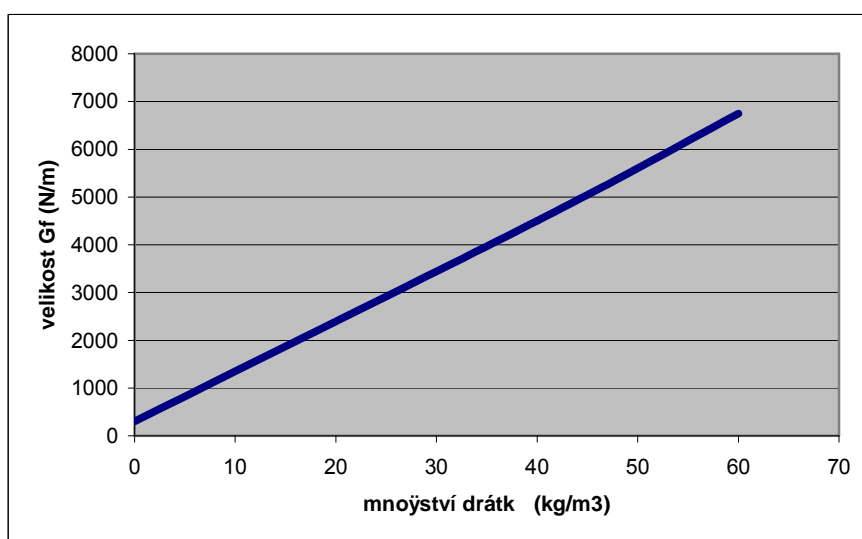
Tab. 10: Upravené hodnoty parametrů pro jednotlivé materiálové modely drátkobetonu 60 kg/m³ drátek



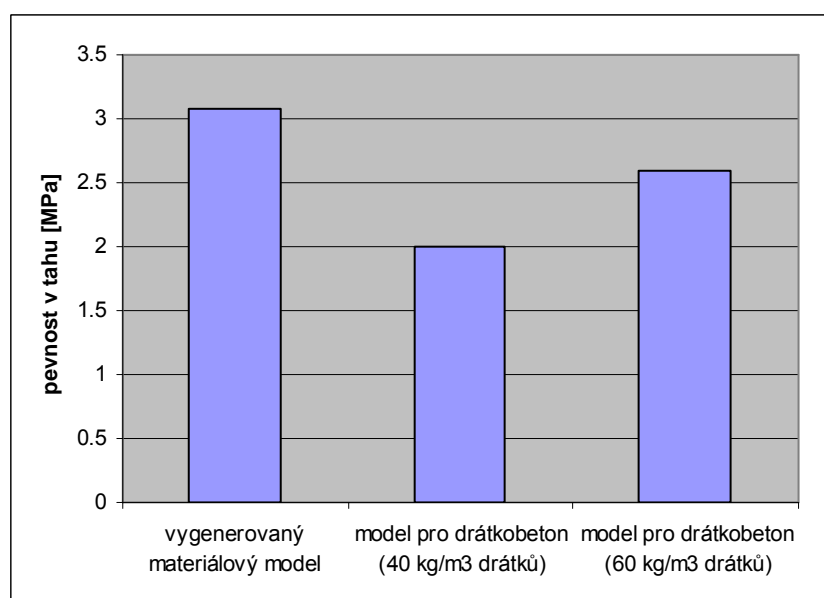
Obr. 19: Porovnání ty druh materiálůvých model pro drátkobeton s 60 kg/m³ drátk

6. Obecné charakteristiky model pro drátkobeton

Z uvedených výsledk po íta ových výpo t lze pro každý model betonu ur ít p íslu-né parametry tak, aby se materiál choval jako drátkobeton. Pro model SBETA lze íci, že je t eba úm rn s obsahem drátk v betonu navy-ovat lomovou energii. Zárove bylo t eba snífovat tahovou pevnost v í vygenerované hodnot programem Atena 2D. Tato hodnota byla vygenerována z betonu o krychelné pevnosti 46 MPa, cožl odpovídá základnímu poufitemu materiálu.

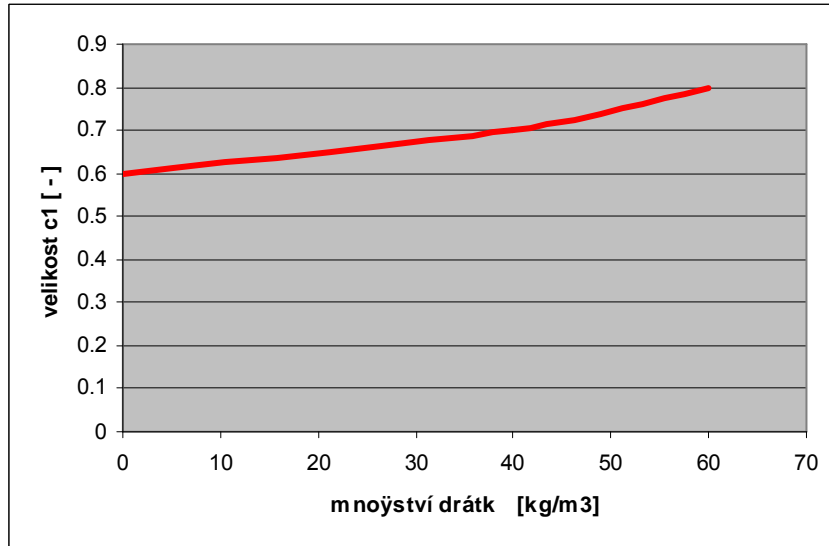


Obr. 20: Graf znázor ující vhodné nastavení parametru Gf pro drátkobeton - SBETA

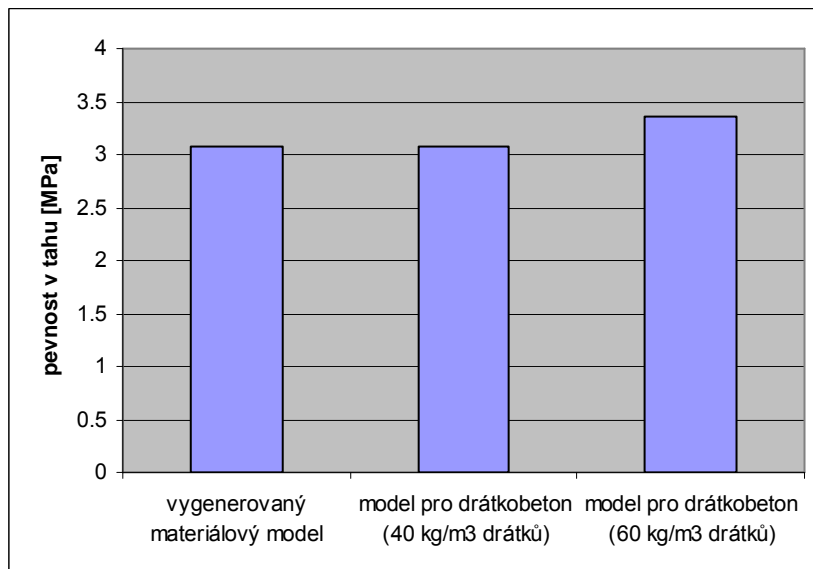


Obr. 21: Hodnoty tahové pevnosti pro r zné typy betonu í SBETA

V závislosti na množství drátů v drátkobetonové směsi je třeba pro SBETA SFRC upravit hodnotu tahové pevnosti a parametr změny C1. Hodnota lomové energie je konstantní a její velikost je 3750 N/m. Parametr C2 má hodnotu 0,2 a je také konstantní.

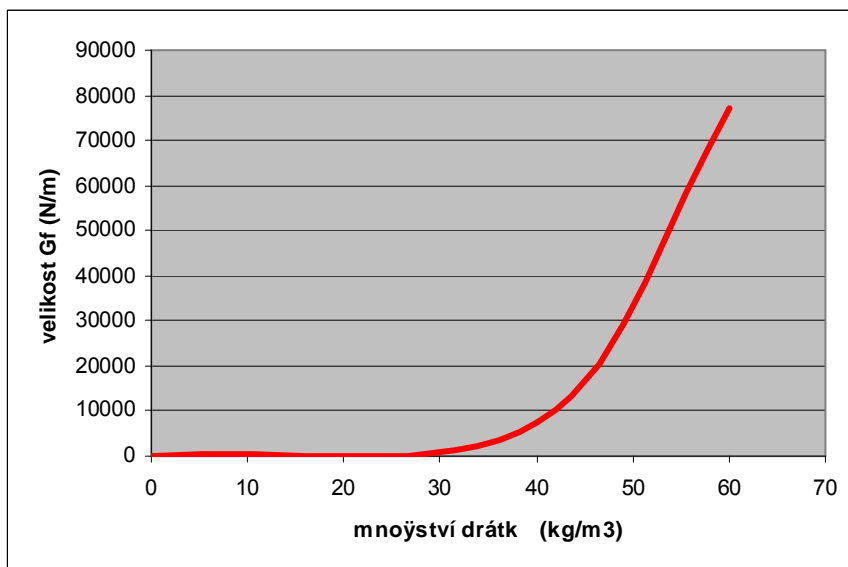


Obr. 22: Graf znázorňující vhodné nastavení parametru změny C1 pro drátkobeton 6 SBETA SFRC

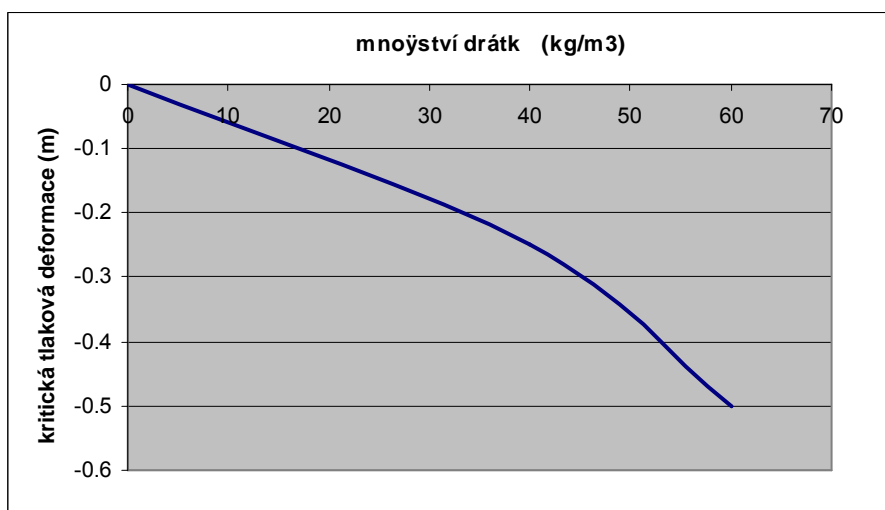


Obr. 23: Hodnoty tahové pevnosti pro různé typy betonů 6 SBETA SFRC

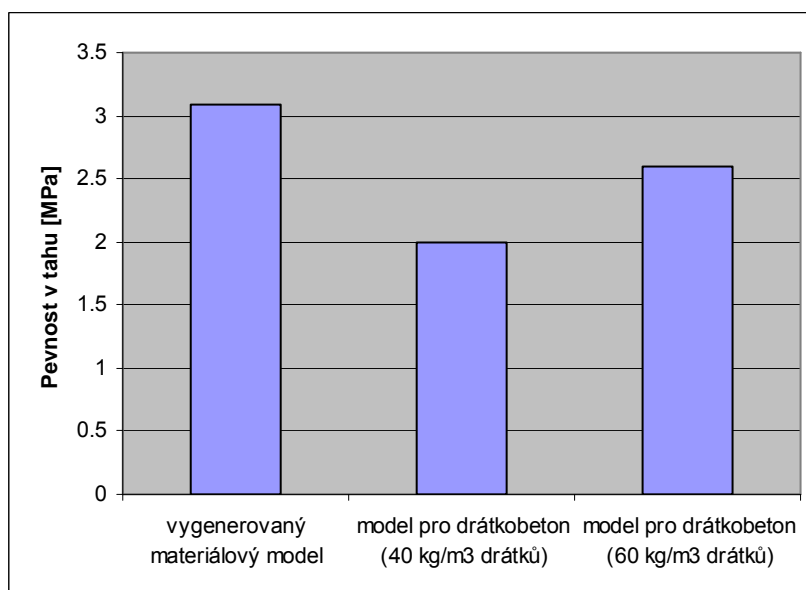
Model 3D Nonlinear Cementitious 2 byl upravován stejně jako SBETA pomocí lomové energie a pevnosti v tahu, změna lomové energie je zobrazena na Obr. 24 a úpravy tahové pevnosti na Obr. 26. Navíc bylo třeba je také upravit kritickou tlakovou deformací, což je znázorněno na Obr. 25.



Obr. 24: Graf znázor ůjící vhodné nastavení parametru G_f pro drátkobeton ó 3D Nonlinear Cementitious 2

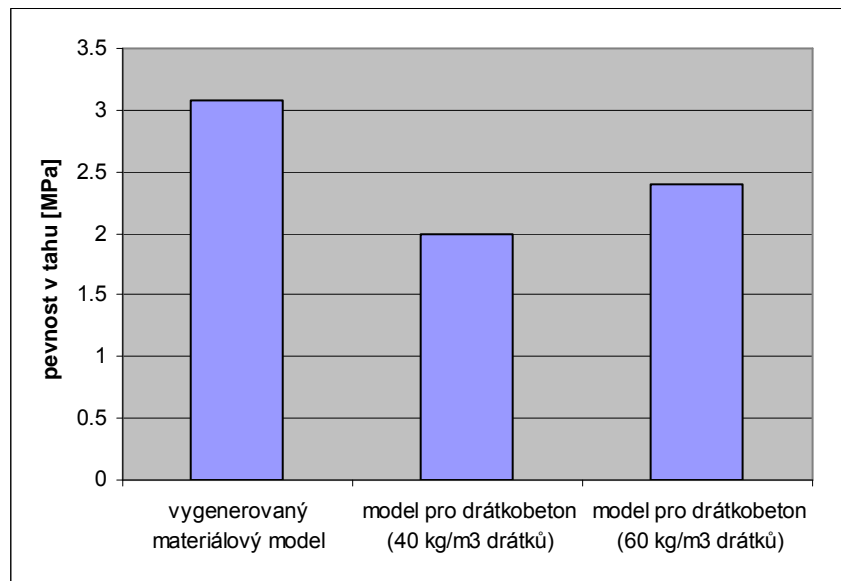


Obr. 25: Závislost velikosti kritické tlakové deformace na množství drátk ó3D NL cementitious 2



Obr. 26: Hodnoty tahové pevnosti pro r ůzné typy beton ó3D NL cementitious 2

U tvrdého modelu Cementitious user docházelo k úpravám tahové pevnosti a hledaly se vhodné funkce tlaku a tahu.



Obr. 27: Hodnoty tahové pevnosti pro různé typy betonu – 3D NL cementitious user 2

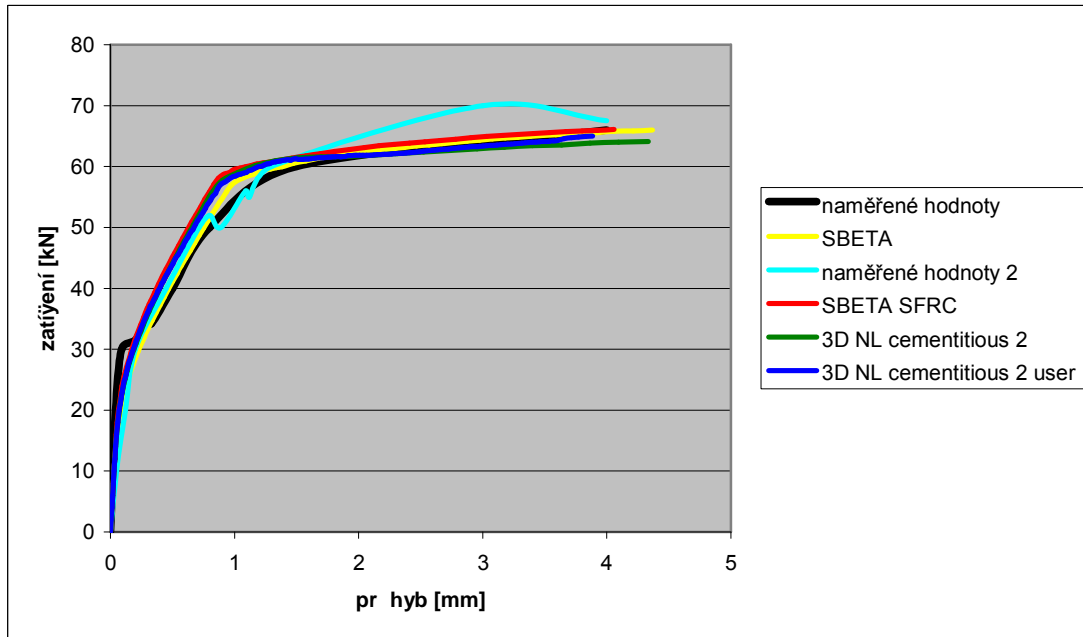
Z výsledků experimentů je možno říci, že přítomnost drátů v betonu ovlivňuje především lomovou energii materiálu, jeho tahovou pevnost a u některých modelů je třeba upravit i tlakové parametry jako je kritická tlaková deformace.

7. Určování výsledků zjištěných při výzkumu

Parametry materiálových modelů, které byly zjištěny při výzkumu a byly vyhodnoceny jako vhodné pro drátkobeton, byly určovány na trácích vyztužených zároveň i bílou betonáskou výztuží o průměru 8 mm. Vyhodnocování výsledků probíhalo stejným způsobem jako u předchozích výpočtů, tedy se porovnávaly LD diagramy získané experimentem a počítačovou simulací.

Zkušební tělesa odpovídala tělesům pro drátkobeton, tzn. jednalo se o trávce o rozměrech 150/150/700 mm a použitý beton byl také stejný. Byly vymodelovány trávce s jedním prutem výztuže, podle výsledků předchozích výpočtů byly dosazeny hodnoty pevností v tahu, lomové energie a dalších upravovaných parametrů. Výsledky z těchto experimentů jsou zobrazeny na Obr. 28.

Po porovnání pracovních diagramů jednotlivých kivek bylo zjištěno, že materiálové modely SBETA, SBETA SFRC a 3D Nonlinear Cementitious 2 user dobře simulují chování drátkobetonu s betonáskou výztuží, zatímco u modelu 3D Nonlinear Cementitious 2 je třeba pro variantu s 40 kg/m³ drátů snížit hodnotu lomové energie.



Obr. 28: Pracovní diagramy pro materiálův modely drátkobetonu s 40 kg/m^3 a jedním prutem výztuže v porovnání s naměřenými hodnotami

8. Závěr

Cílem této práce bylo na základě dříve provedených zkoušek trámek ve čtyřbodovém ohybu dle metodiky TP FC 1-1 určit vstupní veličiny pro modelování konstrukcí z drátkobetonu s různým obsahem drátka. K modelování byly použity různé materiálové modely dostupné v používaném programu ATENA.

Bylo zjištěno, že všechny modely jsou po úpravě určitých vstupních hodnot vhodné pro modelování drátkobetonu a byly stanoveny závislosti mezi jednotlivými veličinami a množstvím drátka, kterými je beton vyztužen. Tyto výsledky byly použity i na modelování trámek, které obsahují ocelové drátky zároveň s klasickou výztuží, viz. kapitola 7.

Výsledky získané tímto výzkumem lze používat jako výchozí parametry pro modelování drátkobetonových konstrukcí, které je případně třeba upravit dle konkrétní drátkobetonové směsi.

Použitá literatura:

- [1] KRÁTKÝ, Jiří; TRTÍK, Karel; VODIČKA, Jan. Drátkobetonové konstrukce. Praha : IČKAIT, 1999. 107 s.
- [2] VÍTEK, Jan L.; SMÍŠŇSKÝ, Stanislav. Spolupůsobení klasické a rozptýlené výztuže. Beton. 2010, 2, s. 48 - 52.
- [3] TP FC 1-1. *Technické podmínky 1: Vláknobeton - část 1 : Zkoušení vláknobetonu.* Praha : eskomoravský beton, a.s., 2007. 34 s.