

VLIV DOBY OŠETŘOVÁNÍ A TEPLoty BETONU NA RYCHLOST JEHO ZPEVNĚOVÁNÍ

THE EFFECT OF THE TIME OF CURING AND TEMPERATURE OF CONCRETE ON ITS HARDENING SPEED

ALAIN ŠTĚRBA, TOMÁŠ ŠTĚRBA

Mnohé technologické fáze výroby monolitického a prefabrikovaného betonu jsou závislé na znalosti rychlosti zpevnění betonu. Pro vysokou variabilitu místních podmínek se nejspolehlivěji vychází z výsledků experimentální činnosti a ze zažitých zkušeností. Při jejich nedostatku jsme odkázáni na teoretické znalosti. Pro jejich popsanou složitost může pomoci i v závěru uvedený výpočetní program Maturibet.

Numerous technological phases of production of monolithic and prefabricated concrete depend on the knowledge of concrete hardening speed. In order to achieve a high variability of local conditions as reliably as possible, professionals ensue from the outcomes of experiments and experience gathered. If those are missing, engineers are left to their theoretical knowledge. The calculation program Maturibet presented at the end may also be of help to solve their described complexity.

Zralost (maturity) betonu [1] je zpravidla posuzována podle růstu krychelné pevnosti a to ve vztahu k pevnosti po 28 dnech normálního vlhkého ošetřování (v tolerovaných mezích kolem 20 °C). U jiných vlastností betonu je průběh poněkud jiný (z hlediska vodotěsnosti jde např. o významnější vliv dlouhodobějšího ošetřování, naopak u pevnosti v tahu je rychlost zpevnění zpravidla vyšší). V tomto příspěvku bude až na výjimky sledován pouze růst **krychelné pevnosti obyčejného neprovzdušněného betonu**, případně i těžkého betonu. (Pro nepříznivý vliv pórovitého kamene a vzduchových pórů na dlouhodobé pevnosti se zpevňují lehké a provzdušněné betony relativně rychleji.)

PŘÍKLADY OBLASTI VYUŽITÍ

- odhad doby ukončení ošetřování v době záporných teplot (ošetřování krytím povrchu do pevnosti povrchu betonu alespoň 5 MPa),
- odhad doby odformování svislých stěn,

- odhad doby ošetřování do získání vlastností odpovídajících požadavkům na odolnost proti vlivům prostředí (v roce 2007 bude ČSN P ENV 13670-1 [2] doplněna o nároky na třídy ošetřování s požadavky na podíly pevnosti 30, 50 a 70 % z charakteristické pevnosti),
- stanovení doby odformování (případně uvolnění podpěr) vodorovných konstrukcí v závislosti na požadavcích statika,
- stanovení doby ošetřování do doby předpínání (zpravidla požadováno dodržení pevnosti 70 % charakteristické pevnosti).

Některé soudobé požadavky na technologické pevnosti v prefabrikaci uvedl Čížek [3]: Pro železobetonové dílce s výslednou pevností 45 až 55 MPa se požaduje po 14 ± 2 h (jednodenní výrobní cyklus) odformovací pevnost 22,5 ± 2,5 MPa, pro předem předpjaté dílce s výslednou pevností 55 až 75 MPa se po stejné době požaduje pevnost 37,5 ± 2,5 MPa. Ve vztahu k průměrné dvacetiosmidenní pevnosti se tedy obvykle vyžadují relativní pevnosti 45 a 58 %.

V zájmu hospodaření cementem (tím i energií) lze v soulahu s ustanovením čl. 8.2.1.3 ČSN EN 206-1 [4] využít růst pevnosti po 28 dnech k provádění kontroly shody ve stáří betonu 56 nebo 90 d. V případě použití cementů s vyšším obsahem latentně hydraulických složek (strusky a pucolánů) a/nebo podobně působících příměsí se tak zvětší krychelná pevnost o 15, resp. 25 % (i více). Takto lze v odůvodněných případech eliminovat negativní vliv uvedených pojiv na rychlost tvrdnutí, a tím využít jejich kladný vliv na odolnost betonu proti některým vlivům prostředí.

Požadavky norem

Pro velký vliv a rozmanitost výchozích podmínek je třeba pro specifikaci rychlosti tvrdnutí spoléhat v prvé řadě na výsledky zkoušek. (Dále uvedená zobecnění jsou uvedena hlavně pro použití při nedostatku experimentálních údajů).

Tato skutečnost je v ČSN EN 206-1 normativně respektována pouze tím, že

je pro stanovení doby ošetřování v čl. 7.2 „Informace od výrobce betonu odběrateli betonu“ dána možnost uvedení informace o průběhu nárůstu pevnosti betonu buď údaji podle tabulky 12, nebo křivkou průběhu nárůstu pevnosti při 20 °C v době mezi 2 a 28 d. V článku je dále specifikován pevnostní součinitel (v další části příspěvku je součinitel označován jako ϕ_2) jako poměr poměrné pevnosti v tlaku po 2 d ($f_{cm,2}$) k průměrné pevnosti v tlaku po 28 d ($f_{cm,28}$). Dále je zde uvedeno, že tento součinitel se stanoví při průkazných zkouškách, nebo že je založen na známých vlastnostech betonu srovnatelného složení. V normativní příloze normy A (Průkazná zkouška) však požadavky uvedeného druhu chybějí.

Z tohoto důvodu se zkouška krychelné pevnosti po 2 d provádí spíše výjimečně. Pro sobotní a nedělní pracovní volno v laboratořích je dalším možným důvodem i skutečnost, že z uvedeného důvodu je provádění průkazných zkoušek omezeno pouze na pondělí, úterý a středu. Účelnost dvoudenních zkoušek je však pro odhad růstu pevnosti nezpochybnitelná. Jedním z důvodů je i potřebná návaznost na zkoušení cementu (až na výjimku u cementů třídy 32,5 N se cementy CEM povinně zkoušejí i po 2 d).

Ve vztahu k otázce zralosti a normalizaci je zajímavá zpráva [5], že v Holandsku platí norma NEN 5970 „Stanovení nárůstu pevnosti mladého betonu v tlaku na základě vážené zralosti“, která byla uveřejněna po dobrých zkušenostech s metodou vypracovanou panem de Vree.

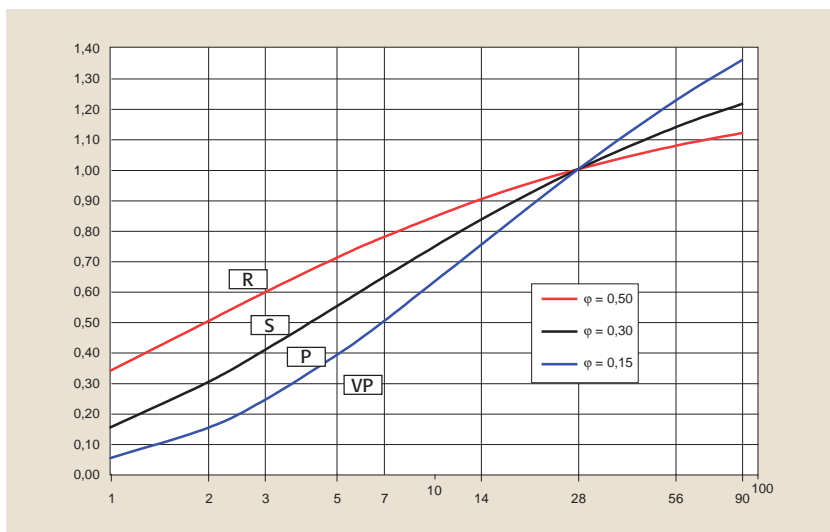
ZÁVISLOST KRYCHELNÉ PEVNOSTI NA DOBĚ OŠETŘOVÁNÍ PŘI TEPLOTĚ 20 °C

Jak bylo uvedeno výše, je třeba v prvé řadě spoléhat na údaje získané experimentem. Teoretická znalost průběhu zpevnění může však účinně pomoci v případě nedostatku uvedených údajů, případně ke zpřesnění interpolace.

Proti dřívějšímu stavu se nyní významně rozšířila škála používaných materiálů (hlavně širším používáním přísad a příměsí) a technologií (včetně samozhutni-

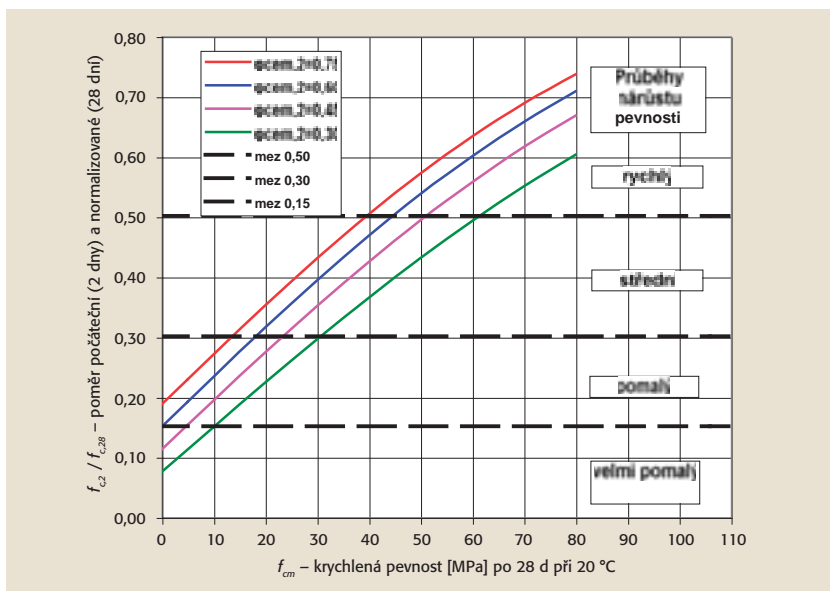
Obr. 1 Průběhy nárůstu pevnosti podle vztahu v EN 1992 [6] v závislosti na pevnostním součiniteli $\varphi = f_{cm,t} / f_{cm,28}$. Průběhy nárůstu pevnosti dle ČSN EN 206-1 [4]: R – rychlý, S – střední, P – pomalý, VP – velmi pomalý.

Fig. 1 Strength growth diagrams by the relation in EN 1992 [6] depending on strength coefficient $\varphi = f_{cm,t} / f_{cm,28}$. Strength growth diagrams in accordance with ČSN EN 206-1 [4]: R – fast, S – medium, P – slow, VP – very slow



Obr. 2 Závislost měrné dvoudenní pevnosti $\varphi_2 [1] = f_{c,2} / f_{c,28}$ betonu na jeho krychelné pevnosti R28 [MPa] po 28 d a na poměru počáteční a normalizované pevnosti cementu $\varphi_{cem,2} [1] = f_{cem,2} / f_{cem,28}$. Teplota betonu během ošetřování: 20 °C.

Fig. 2 Dependence of specific two-day strength $\varphi_2 [1] = f_{c,2} / f_{c,28}$ of concrete on its compressive cube strength R28 [MPa] after 28 days on the ratio of the initial and standardized strength of cement $\varphi_{cem,2} [1] = f_{cem,2} / f_{cem,28}$. The temperature of concrete during curing is 20 °C.



telného betonu). Z tohoto důvodu nelze obecně používat dříve (i nyní) publikované vztahy, které modelují růst pevnosti pevným vztahem, např.

$$\varphi_2 = \frac{f_{cm,t}}{f_{cm,28}} = 0,159 + 0,7\sqrt{\log(t)}, \quad (1)$$

kde je $f_{cm,t}$ krychelná pevnost [MPa] betonu v době t , $f_{cm,28}$ krychelná pevnost [MPa] betonu po 28 d (obvykle střední hodnota pevnosti betonu v tlaku), t stáří [d] betonu.

Vztah (1) byl určen [6] jen pro intenzivně zhutňované betony vysokých tříd a nelze jej použít pro stáří menší než 1 d.

Pro hrubější odhady je velmi dobře použitelný vztah uvedený v EN 1992 [7]:

$$\varphi_2 = \frac{f_{cm,t}}{f_{cm,28}} = e^{s \left(1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{0,5} \right)}, \quad (2)$$

kde s je koeficient závislý na druhu cementu a na všech dalších parametrech betonu. S cílem propojit tento vztah s výše uvedeným hodnocením dle ČSN EN 206-1 jsou v obr. 1 ilustrovány prů-

běhy růstu pevnosti pro normativní rychlosti růstu pevnosti betonu (rychlý, střední, pomalý a velmi pomalý).

Jediným součinitelem s nelze samozřejmě vyjádřit další vlivy působící na rychlost tvrdnutí v období kratším než cca 2 d, nebo naopak v pozdějším období po 28 d. V prvním případě závisí mimo jiné na rychlosti tuhnutí betonu, a tím i na konzistenci a na vlastnostech přísad a příměsí. V druhém případě (např. z hlediska stáří betonu po 56 a 90 d) narušuje plynulost vztahu pozdější hydratace příměsí (resp. některých hlavních složek směsných cementů) s pucolánovými a/nebo latentně hydraulickými vlastnostmi. Nevýhodou většího počtu volnosti

(dalších proměnných součinitelů) je naopak nebezpečí fyzikálně výjimečného nemonotónního průběhu.

Pro případ, že pevnostní součinitel φ_2 není znám, lze jej odhadnout pomocí vztahu (3), kde je $\varphi_{cem,2}$ poměr počáteční pevnosti cementu po 2 d k jeho normalizované pevnosti (po 28 d) a regresní součinitel a_i mají přibližné hodnoty: $a_1 \approx 0,25$, $a_2 \approx 13$, $a_3 \approx 80$. Exponent a_4 vyjadřuje přibližný vliv konzistence, příměsí a přísad. Jeho průměrná hodnota je $a_4 = 1$. Jeho směrné mezní hodnoty jsou: $a_{4,min} = 0,8$; platí pro velmi tuhé konzistence, pro betony bez pucolánů (např. popílku) a latentně hydraulických látek, případně pro přísady, které

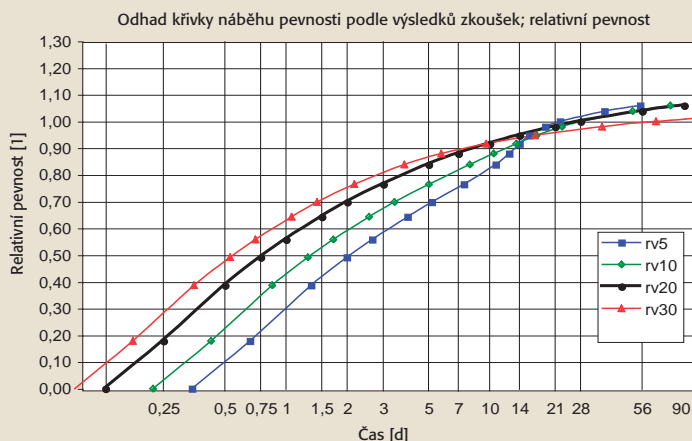
$$\varphi_{2,odhad} \approx \left[a_1 \varphi_{cem,2} + (1 - a_1 \varphi_{cem,2}) \operatorname{tgh} \left(\frac{f_{cm,28} \varphi_{cem,2}}{a_2 + a_3 \varphi_{cem,2}} \right) \right]^{a_4}, \quad (3)$$

1. Zadání výsledků zkoušek

čas	teplota	dosažená pevnost
t [d]	T [°C]	rz [1]
3	20	0,8
7	20	0,8
90	20	1,03
180	20	1,05
3	5	0,6
7	5	0,8
28	5	1,05

Poznámky

Beton – Herstellung nach Norm (Beton – výroba podle normy), 2001 Verlag Bau+Technik; str. Horní meze pevností při použití cementů tříd 42,5R, 52,5N a 52,5R.

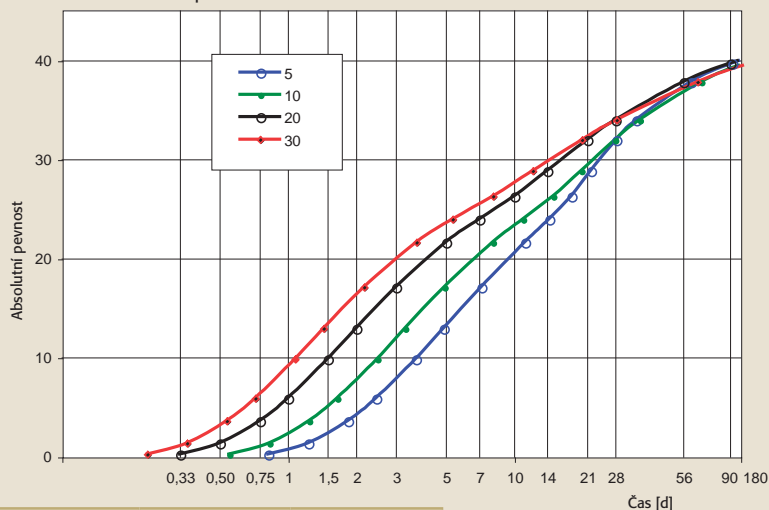


Obr. 3 Výtah z výstupu „Maturibet I“: tabulka dat zadaných pro regresní analýzu, poznámky (použité zdroje), grafický výstup průběhů zpevňování při teplotách betonu 5, 10, 20 a 30 °C.

Fig. 3 Extract from the „Maturibet I“ output: a table of data set for the regression analysis, notes (sources used), graphical output of the courses of hardening under the temperatures of concrete equal to 5, 10, 20 and 30 °C

Maturibet IVAB: směrný odhad bez znalosti výsledků zkoušek; odhad náběhu absolutní pevnosti betonu

Název skupiny odhadů	Příklady
Název odhadu	Obr 4
Druh cementu	CEM II/A
Pevnostní třída cem.	32,5 R
Znalost rc2, rc7	rc2 i rc7 neznámé
rc2	
rc7	
Příměsí *)	50 až 119 kg/m ³
Typ stanovení konzistence	sednutí kužele
Konzistence	S4 (160-210 mm)
T [°C]	20
R28 [MPa]	34
Plastifikační přísady mírně zpomalující tuhnutí	TRUE
Snižový vliv teploty, např. použitím vhodné přísady na bázi PCE	FALSE
Další zpoždění tuhnutí [h]	
Z hodnot průběhu pevnosti při 20°C jsou provedeny odhady pro A=5,3	



Vypočtené výsledky

Průběh nárůstu pevnosti dle Tab.12 ČSN EN 206-1	pomalý			
T [°C]	5	10	20	30

Tabulka absolutních pevností betonu v MPa (podklad pro graf)

R [MPa]	t [d]	t [d]	t [d]	t [d]
0,2	0,82	0,55	0,33	0,24
1,4	1,2	0,83	0,50	0,36
3,6	1,8	1,2	0,75	0,54
5,9	2,5	1,7	1,0	0,72
9,9	3,7	2,5	1,5	1,1
12,9	5	3,3	2,0	1,4
17,1	7	5	3,0	2,2
21,6	11	8	5	3,7
24,0	14	11	7	5
26,3	18	15	10	8
28,8	22	20	14	12
32,0	28	28	21	20
34,0	35	36	28	28
37,8	60	67	56	65
39,7	92	105	90	111
41,8	175	205	180	235

Vysvětlivky

T [°C]
 průměrná teplota betonu
 R28 [MPa]
 krychelná pevnost ve stáří 28 dní při teplotě 20 °C
 rc2 [1]
 poměr pevnosti cementu po 2 a 28 dnech
 rc7 [1]
 poměr pevnosti cementu po 7 a 28 dnech
 t [d]
 stáří betonu (doba od zamíchání do provedení zkoušky krychelné pevnosti)
 r [1]
 relativní pevnost = R/R28
 R [MPa]
 absolutní krychelná pevnost při zvolených podmínkách
 rch [%]
 požadovaná relativní pevnost ve vztahu k charakteristické pevnosti f_{ck}
 *) Obsah popílku a/nebo strusky

Obr. 4 Výstup řešení „Maturibet IVAB“ (minimální výchozí údaje: nejsou známy jiné výsledky zkoušek než zadané údaje).

Fig. 4 Output of the „Maturibet IVAB“ solution (minimal initial data: no other test results are known except for the set data)

příznivě ovlivňují rychlost zpevňování; $a_{4,max} = 1,2$; platí pro velmi tekuté konzistence a/nebo pro vysoké dávky méně účinných přísad (např. hnědouhelného popílku).

ZÁVISLOST KRYCHELNÉ PEVNOSTI NA TEPLOTĚ

Rychlost zpevňování betonu není závislá pouze na rychlosti chemických reakcí vyjádřené např. Arrheniovou rovnicí nebo poučkou van't Hoffa. Pro relativní hrubost pojivových zm průběh závisí i na rychlosti difúzních procesů; po zpevnění do zralosti odpovídající směrně pevnostnímu součiniteli $\varphi = 0,3$ se stávají převládajícím mechanismem zpravidla difúzní procesy. Nema-rou roli hraje i vliv teploty na charakter vznikajících hydrosilikátů. Při modelování matematických vztahů je třeba vzít v úvahu i vliv teploty na pevnost ztvrdlého betonu: při zvýšené teplotě výroby a ošetřování betonu dostaneme zpravidla nižší výsledné pevnosti než při běžné nebo dokonce snížené teplotě betonu (např. 5 °C) [8].

Z uvedených důvodů se tato část při-

spěvku bude zabývat jen vztahy pro počáteční obor pevnostního součinitele (nejvýše do $\varphi = 0,7$). Vztahy publikované do roku 1989 (autoři Saul, Papadakis, Bresson, metoda CEMIJ, Říha, Kolísko) přehledně a výstižně zhodnotil Kolísko [9].

Pro teploty ošetřování do 30 °C vyjadřuje poměrně dobře vliv teploty na dobu ošetřování jednoduchý vztah (4):

$$t_T \approx t_{20} \frac{20 + A}{T + A}, \quad (4)$$

kde je T [°C] průměrná teplota betonu během doby ošetřování, t_T [d] doba ošetřování při teplotě T [°C], t_{20} [d] doba ošetřování při teplotě 20°C, A parametr závislý na vlastnostech betonu; při použití pomalu tvrdnoucích pojiv a při vyšších vodních součinitelích (nízkých pevnostech betonu) je $A \approx 0$. Střední hodnota je kolem $A \approx 4$. Směrná horní mez je $A \approx 10$ (hodnota podle Saula); vyšší hodnota byla pro počáteční obor zpevňování zjištěna zcela výjimečně.

Pro teploty ošetřování nad 30 °C vyhověl pro stanovení odformovacích pevností vztah (5):

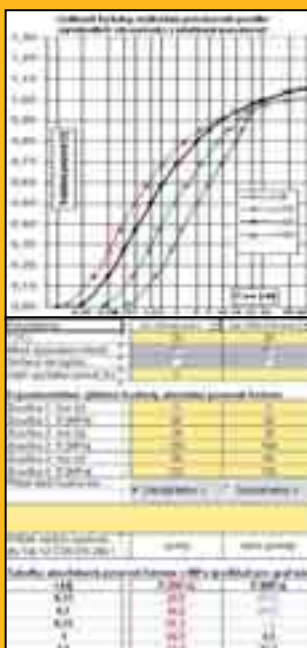
$$t_T \approx t_{20} e^{0,031 \times (20 - T)}, \quad (5)$$

Na rozdíl proti vztahu (4) vztah (5) lépe vystihuje kladný vliv vyšších teplot (směrně do 80 °C) na počáteční fázi tvrdnutí (směrně do pevnostního součinitele $\varphi = 0,4$).

NEPŘESNOST UVEDENÝCH VZTAHŮ

Výše uvedené vztahy nevyjadřují dostatečně výstižně závislost na důležitých faktorech jako:

- druh a třída cementu,
- plastifikační a další přísady (zpomalovač tuhnutí, hyperplastifikátory druhu PCE),
- přísady (hlavně popílek) a jejich obsah,
- vodní součinitel, případně jeho vliv vyjádřený (při známých vlastnostech cementu) výslednou pevností betonu v tlaku,



www.unibet.cz
www.loudin.eu

Maturibet program pro stanovení zralosti betonu (maturity, maturité, maturitas)

- usnadňuje uživateli stanovit nárůst pevnosti betonu jak v závislosti na době a teplotě ošetřování, tak i na vlastnostech betonu (složení, konzistence) a jeho složek (zvláště cementu),
- umožní lépe odhadnout doby ošetřování v závislosti na technologické pevnosti potřebné pro odformování, předpínání a pro odolnost proti vlivům prostředí (včetně vlivu záporných teplot)

Unibet II nové a doplněné vydání programu Unibet vydaného v době zavádění ČSN EN 206-1

Kromě programů pro řešení receptur betonu, pro vyhodnocování zkoušek a dalších pomůcek Unibet II nově obsahuje:

- automatické řešení zrnitosti kameniva a všech pevných složek,
- inverzní program k programu receptur (výpočet pevnosti podle zadané záměsi),
- komentář k aktualizovaným požadavkům TKP 18,
- Technicko-kvalitativne podmienky, časť 18, Betón na konštrukcie.

Autoři programu:

Ing. Alain Štěrba a.sterba@volny.cz

Ing. Tomáš Štěrba tomas.sterba@gmail.com

Objednávky na uvedených webových stránkách, nebo na adrese:

Loudin a spol., s.r.o.

Smetanova 1263, 390 02 Tábor

tel./fax: 381 256 108, 602 661 803

e-mail: obchod@loudin.eu

$$t'_T \approx t_{20} \frac{20+A}{T+A} \left[1 + \alpha f_1(1-T/20) f_2(t, T) f_3 \right], \quad (6)$$

• konzistence; ovlivňuje průběh tvrdnutí i prodloužením doby tuhnutí.

Nejzávažnějším nedostatkem vztahů (4) a (5) je jejich nevhodnost v oblasti vyšších zralostí: špatně vyjadřují výše uvedený nepříznivý vliv teploty na výslednou pevnost betonu. Při vyšším stupni hydratace se kladný vliv teploty na rychlost hydratace zmenšuje, často dochází až k zápornému vlivu (zvláště při použití rychle tvrdnoucích cementů) – viz komentované obr. 3 a 4.

ŘEŠENÍ SOFTWAREM PROGRAMEM „MATURIBET“

Pro současné možnosti výpočetní techniky lze nepřesnosti uvedených vztahů částečně omezit i za cenu zvýšení jejich složitosti a jejich vzájemné provázanosti. Nikdy nebude však možno všechny vlivy vyjádřit stejně výstižně jako zkouškami v konkrétních podmínkách. Proto je dále popsán program Maturibet v prvé řadě zaměřen na vyhodnocení experimentů. Pro obvyklou nedostatečnost experimentálních údajů byla však úprava (modifikace, doplnění) uvedených vztahů nutná i v tomto případě.

Ve vztahu (2) doporučeném v EN 1992 je např. pevná hodnota exponentu (0,5) nahrazena exponentem e vypočteným ze získaných zkoušek za použití nelineární regrese. Podle provedených zkoušek byl tento exponent v oboru $\langle 0,25; 0,75 \rangle$. Tím byla nepřímo prokázána i vhodnost doporučené hodnoty 0,5 (resp. v originálu uvedené druhé odmocniny).

Podle vztahu (2) začíná zpevňování v čase $t = 0$. Tento nedostatek pozdější fázi zpevňování ovlivňuje jen nepatrně; má však velký vliv na počáteční fázi zpevňování. Proto je dále v uvedeném vztahu (i v dalších vztazích) počátek zpevňování posouván tak, aby přibližně odpovídal procesu tuhnutí. Pro obvyklou neznalost dob tuhnutí je tato doba odhadována z údajů o použitém pojivu (cementu, příměsí), přísadách a konzistenci. Nepřímo lze dále uvedenou dobu určit minimalizací reziduální odchylky.

Výše uvedené vztahy vynikají na pohled plynulým (hladkým) průběhem. Ve skutečnosti je v případě použití pucolánových a latentně hydraulických látek (jak složek cementu, tak i příměsí) plynulost průběhu částečně narušena opožděným

začátkem jejich hydratace, a tím i dobou jejich největšího vlivu na rychlost zpevňování betonu. Proto je v zaváděném programu využit i složitější model zpevňování vyznačený kombinací tří různých průběhů zpevňování zvolených tak, aby nebyla narušena monotónnost výsledného průběhu a aby byl přesněji modelován průběh zpevňování i v dobách po 28 d.

Program je určen především pro použití při výrobě monolitického betonu. Proto je zaměřen na vliv teplot od 5 do 30 °C. (Pro současné pokroky v technologii betonu a pro potřebu snižovat spotřebu energie vyhovuje uvedený obor částečně i potřebám prefabrikace.) Pro uvedené teploty používá program rovnici (4). V případě dostatečného počtu výchozích dat (viz obr. 3 a jeho část „1. Zadání výsledků zkoušek“) je hodnota A automaticky určena regresní analýzou.

Pro vyjádření vlivu teploty v oblasti pokročilé zralosti (směrně při pevnostním součiniteli nad $\varphi = 0,3$) byl dále vztah (4) nahrazen výrazem t'_T ; (6), kde je α součinitel určený regresní analýzou nebo pevnou hodnotou 1,2, $f_1(1 - T/20)$ funkce teploty s nulovou hodnotou pro $T = 20$ °C, $f_2(t, T)$ funkce modelující negativní vliv vyšší zralosti na průběh zpevňování a na výslednou pevnost, f_3 funkce vyjadřující vliv obsahu pucolánových a latentně hydraulických složek betonu.

Nevýhodou uvedených nových vztahů je jejich relativní složitost. Vlivem množství sledovaných faktorů je navíc výpočetní systém dosti nepřehledný, a tím bez výpočetního programu prakticky nepoužitelný.

Program obsahuje čtyři části. Pro nezástupitelnou důležitost experimentálních údajů je hlavní část určena vyhodnocení výsledků zkoušek, případně údajů uvedených v odborné literatuře: (obr. 3) a zde uvedený cenný pramen o vlivu teploty. Další důležité specifikace tohoto vlivu jsou uvedeny v knize [10].

Další části jsou určeny pro případy omezeného počtu výsledků zkoušek. Část IV se použije v případě, kdy vedle znalosti 28d pevnosti (f_{cm}) jsou známy jen údaje o složení betonu a o konzistenci (obr. 4).

Hlavním výstupem jsou grafy, které

Literatura:

- [1] ČSN 73 0001-2:2003 Navrhování stavebních konstrukcí – Slovník – Část 2: Betonové konstrukce
- [2] ČSN P ENV 13670-1: 2001 Provádění betonových konstrukcí – Část 1: Společná ustanovení
- [3] Čížek P.: Poznatky z BIBM kongresu o prefabrikaci – Amsterdam 2005, 3. konf. „Prefabrikace a betonové dílce 2005“
- [4] ČSN EN 206-1:2001 Beton-Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [5] Druckfestigkeit: NEN 5970 vorgelegt (Pevnost betonu v tlaku: zavedena v NEN 5970), beton 5/2002
- [6] Voves B., Včelová H.: Předpjatý vysokopevnostní beton – křehké porušení výbuchem, 6. konference Technologie betonu, Pardubice 2007
- [7] Procházka J.: Zavádění EN 1992 „Navrhování betonových konstrukcí“ do praxe – Úvodní část, Beton TKS 1/2003
- [8] Štěrba A.: Poznámky k vlivu teploty na vlastnosti betonu, Beton TKS 5/2003
- [9] Kolísko J.: Diplomní práce „Zralost a pevnost betonu“, 1989, ČVUT, Fakulta stavební
- [10] Příručka technologa – Beton – suroviny – výroba – vlastnosti, 2005, Českomoravský beton, a. s., Českomoravský cement, a. s., Českomoravské štěrkovny, a. s.

zpravidla vyjadřují jak závislost na době ošetřování, tak i závislost na teplotě betonu. S výjimkou regresních výpočtů lze graficky porovnat i několik alternativ. V jednotlivých částech výpočtu lze volit vstupy i výstupy buď v absolutních nebo relativních hodnotách (jako poměry k 28d pevnosti při teplotě 20 °C). Program provádí i inverzní výpočty (výpočet doby ošetřování pro požadovanou pevnost a teplotu ošetřování).

Autoři děkují za podklady a spolupráci, především ZAPA beton, a. s., Stachema Kolín, s. r. o., a BASF Stavební hmoty, s. r. o.

Ing. Alain Štěrba
e-mail: a.sterba@volny.cz

Ing. Tomáš Štěrba
e-mail: tomas.sterba@gmail.com

oba: Loudin a spol., s. r. o.

Marie Pujmanové 1582, 140 02 Praha 4