

ČEMU VĚŘÍ BETONÁŘI? WHAT DO CONCRETERS BELIEVE IN?

VÁCLAV KUČERA

V článku jsou rozebrány a vysvětleny některé pojmy uváděné v normě ČSN EN 2006-1 v souvislosti s charakteristickou pevností – kvantil 5 %, náhodný výběr, kontrola shody a kritéria shody v ČSN EN 206-1 a operativní charakteristiky.

This paper analyzes and explains some of the notions listed in the ČSN EN 2006-1 standard. They concern characteristic strength, quantile of 5 %, random selection, check of agreement and the agreement criterion in ČSN EN 206-1 and operating characteristics.

Slangový výraz „betonář“ zahrnuje několik specializací, jako betonář statik, betonář technolog, betonář výrobce betonových výrobků apod. Někde v pozadí je také betonář zkušebník, který pracuje ve zkušební laboratoři. Tento zkušebník, i když je málo vidět, má nezastupitelnou úlohu při zajištění bezpečnosti konstrukce. Provádí zkoušky betonu a na jejich základě rozhoduje zda beton vyhovuje, nebo nevyhovuje určité třídě betonu. Hodnocení výsledků zkoušek, tzv. „posouzení shody“ – rozumí se posouzení shody s normou nebo jiným technickým předpisem, se v lepším případě provádí podle kritérií obsažených v současně platné normě, v horším případě podle způsobu, který je v dané laboratoři obvyklý a který se zakládá na ustanovení některé dříve používané normy. V mnoha laboratořích se pro vyhodnocení výsledků zkoušek betonu užívají výpočetní programy, které přímo uvedou na základě vložených výsledků třídu betonu. Pokud se používá program, obvykle uživatel programu neví, jaký je matematický model vyhodnocení zkoušek.

Vždy se předpokládá, lépe řečeno věří, že pokud beton je ve shodě s normou, má takové vlastnosti jako uvádí norma. Pro zařazení betonu do určité třídy je ve většině případů rozhodující pevnost v tlaku – válcová nebo krychelná, která je definována tzv. „charakteristickou pevností“. Tuto pevnost definuje ČSN EN 206-1 Beton- Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, v čl. 3.1.32 takto:

Charakteristická pevnost (*characteristic strength*): hodnota pevnosti, pro kterou lze očekávat nižší hodnoty nejvýše

u 5 % základního souboru všech možných výsledků zkoušek pevnosti hodnoceného objemu betonu.

V části 4 normy je uvedeno, jaká charakteristická pevnost odpovídá jednotlivým třídám betonu a v části 8 normy jsou uvedena kritéria, kterým musí zkoušený beton vyhovovat, aby mohl být zařazen do určité třídy. Pokud jsou uvedená kritéria splněna, není pro důvěřivého betonáře o čem pochybovat. Je to v normě, tak to musí být pravda. Méně důvěřivý betonář, který ví, že ne vše co je napsáno, je také pravda, si položí tyto otázky:

- Pevnost betonu je náhodná veličina a hodnocení se provádí na základě vybraných vzorků. Je počet vzorků dostatečný?
- Výběr vzorků závisí na náhodě. Co se stane, když vyberu špatné vzorky?
- Jsou uvedená kritéria pro posouzení shody dostatečná tak, abych zatídlil beton do správné třídy ve shodě s deklarací?
- Jak je možné, že každá norma pro kontrolu betonu v minulých letech měla jiná kritéria pro určení charakteristické pevnosti i když tato pevnost byla vždy stejně definována?

Odpověď na tyto otázky v normě nenajdeme a musíme hledat jinde, tj. v normách a literatuře o statistických metodách. Pojem „5 % základního souboru“ je totiž čistě statistická záležitost, kterou nelze vykládat libovolně, ale zase jen v rámci statistiky. Bohužel statistické metody nejsou ve stavebních profesích příliš oblíbeny, dokonce někteří pracovníci k nim přistupují s těžko zakrývaným odporem.

V dalším se pokusím odpovědět na některé výše položené otázky takovým způsobem, abych respektoval i tu část případných čtenářů, kteří zatím měli pouze omezenou možnost seznámit se podrobněji se skrytou krásou statistických metod.

KVANTIL 5 %

Krychelná pevnost betonu je náhodná veličina, tj. taková veličina, u které výsledek zkoušky závisí na náhodě a před provedením zkoušky nelze tento výsledek určit. Náhodná veličina je charakterizová-

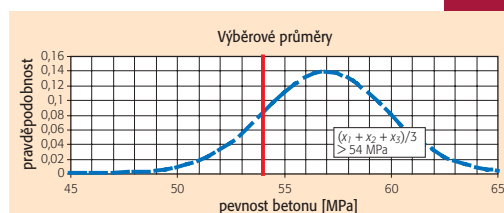
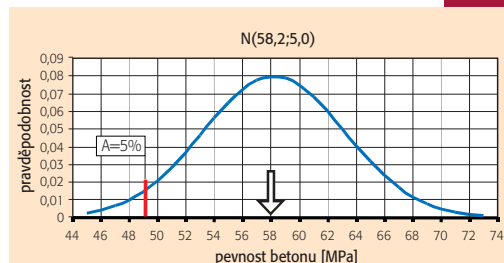
na svým rozdělením a některými parametry. Pro jednoduchost výkladu se omezíme na náhodnou veličinu, která má **normální rozdělení** a je tudíž charakterizována dvěma parametry, střední hodnotou a rozptylem. Druhá odmocnina z rozptylu je **směrodatná odchylka**, která se obvykle používá při výpočtech. Většina pracovníků ve zkušebnictví z praxe ví, že pevnost betonu je náhodná veličina, protože při zkouškách jednoho druhu (jedné třídy) betonu se dostávají odlišné výsledky. Konkrétní výsledek zkoušky se ve statistické terminologii nazývá „realizace náhodné veličiny“.

Na obr. 1 je znázorněno rozdělení četností základního souboru pevností betonu, který má střední hodnotou $f_b = 58,2$ MPa a směrodatnou odchylkou $\sigma = 5,0$ MPa. Kvantil 5 % tohoto základního souboru se rovná 50 MPa, tj. $f_{0,05} = 58,2 - 1,645 \cdot 5,0$.

Koeficient $-1,645$ je kvantil 5 % pro tzv. „normované normální rozdělení“, které má střední hodnotu rovnou „nula“ a směrodatnou odchylku rovnou „jedna“. Tyto koeficienty jsou např. v ČSN 01 0250 Statistické metody v průmyslové praxi nebo v každé publikaci o statistice. Kvantil 5 % znamená takovou hodnotu náhodné proměnné (zde pevnosti betonu), která z plochy pod křiv-

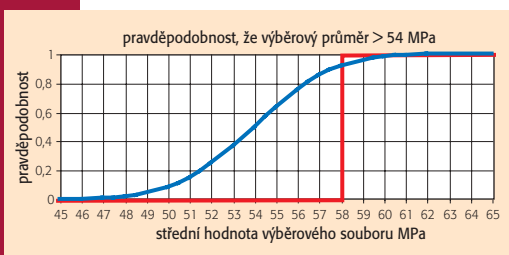
Obr. 1 Normální rozdělení $N(58,2;5,0)$ a kvantil 5 %

Fig. 1 Normal distribution $N(58,2;5,0)$ and quantile of 5 %



Obr. 2 Kritérium (1) pro beton C40/50

Fig. 2 Criterion (1) for concrete C40/50



Obr. 3 Pravděpodobnost splnění kritéria (1)
Fig. 3 Probability of attainment of criterion (1)

jsou vybrány, nebo naopak. Matematická statistika v případě, že se jedná o náhodně vybrané prvky, umí kvantifikovat chybu, které se při výběrovém šetření můžeme dopustit. Z podstaty výběrového šetření vyplývá, že více prvků ve výběru dá lepší výsledky, tj. menší možnou chybu, než výběrové šetření založené na málo prvcích. Z hlediska požadovaného počtu zkoušek nelze tvrdit, že ČSN EN 206-1 by byla mamotratná. Např. pro tzv. počáteční výrobu požaduje zkoušky tří krychlí na 600 m³. Na první pohled nevypadá tento počet tak malý, pokud si neuvědomíme, že vedle sebe stojí odlišné jednotky. Zkušební krychle o hraně 150 mm a kubické metry. Objem betonu 600 m³ představuje ve skutečnosti téměř 180 tisíc zkušebních krychlí, na které se vztahuje výsledek posouzení shody. Těmito krychlemi by bylo možno pokrýt polovinu Václavského náměstí. Z této plochy velkoryse odebereme tři krychle na zkoušku, abychom na základě výsledků zkoušek těchto tří krychlí rozhodli o shodě nebo neshodě všech ostatních.

KONTROLA SHODY A KRITÉRIA SHODY V ČSN EN 206-1

V části 8 uvedené normy jsou uvedena kritéria, kterými se prokazuje shoda s uvedenou normou, tj. vlastnosti betonu, které norma deklaruje. Vzhledem k možnému rozsahu článku se omezím na prokázání shody pro počáteční výrobu. Kritérium, které uvádí norma, má tvar

$$(x_1 + x_2 + x_3)/3 > f_{ck} + 4 \text{ [MPa]}, \quad (1)$$

kde x_1, x_2, x_3 jsou krychelné pevnosti tří náhodně vybraných krychlí a f_{ck} je charakteristická pevnost betonu dané třídy.

Kritérium (1) říká: Aritmetický průměr krychelných pevností tří náhodně vybraných krychlí musí být větší než určitá konstantní hodnota, v tomto případě charakteristická pevnost betonu příslušné třídy plus čtyři MPa. Pokud toto kritérium je splněno, odpovídá beton třídě betonu s uvedenou charakteristickou pevností.

Doplňující kritérium $x_i > f_{ck} - 4$ nemá prakticky vůbec význam, protože pokud by se mělo uplatnit, měly by výsledky takový rozptyl, že by nebyly použitelné pro jakékoli hodnocení.

Dříve než je možno provést rozbor to-

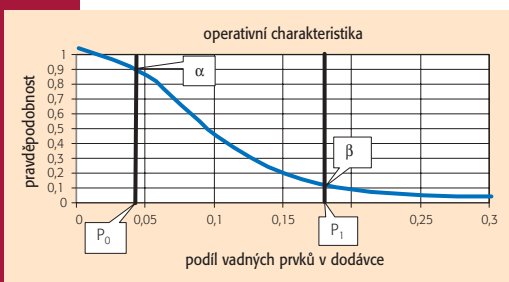
hoto kritéria, je nutné čtenáře seznámit s následující statistickou poučkou: „Pokud provedeme výběr ze základního souboru s normálním rozdělením a zjistíme aritmetický průměr výsledků, dostáváme tzv. „výběrový průměr“. Tyto výběrové průměry mají také normální rozdělení, střední hodnotu stejnou jako základní soubor a rozptyl rovný rozptylu základního souboru dělený počtem prvků ve výběru. Směrodatná odchylka výběrových průměrů je pak rovna směrodatné odchylce základního souboru dělená odmocninou z počtu členů ve výběru.“

S touto znalostí můžeme posoudit, jak kritérium (1) splňuje požadavek normy vzhledem k charakteristické pevnosti. Při jeho splnění by nejméně 95 % všech možných výsledků zkoušek pevností mělo být vyšší, než je charakteristická pevnost.

Vybereme-li tři krychle na zkoušku tak, jak uvádí norma, tj. jednu krychli na 200 m³ a zjistíme jejich krychelnou pevnost a vypočítáme průměr ze získaných výsledků, víme velmi málo o tom, z jakého základního souboru jsme krychle vybrali. Mohli jsme vybrat tři špatné krychle z dobrého souboru, tj. krychle s nízkou pevností i když střední hodnota základního souboru je vyšší, a zrovna tak tři dobré krychle ze špatného základního souboru. Pomocí statistických metod, ani žádných jiných, nemůžeme určit jaký základní soubor zkoušené krychle zastupují. Nejvýše můžeme s určitou pravděpodobností určit, v jakém intervalu se budou parametry základního souboru pohybovat, tzv. intervalový odhad, nebo s jakou pravděpodobností základní soubory s různou střední hodnotou a předpokládanou směrodatnou odchylkou 5,0 MPa splní kritérium (1). Podstatu vysvětlíme na konkrétním případě betonu třídy C40/50.

Z obrázku 1 je vidět, že za daných předpokladů, tj. normálního rozdělení a známé směrodatné odchylky 5,0 MPa vyhovují deklarované charakteristické pevnosti 50 MPa všechny základní soubory, které mají střední hodnotu vyšší než 58,2 MPa. Kritérium (1) požaduje pro tuto třídu betonu, aby výběrový průměr výsledků tří krychlí byl vyšší než 54 MPa.

Na obr. 2 je jako příklad zakresleno rozdělení výběrových průměrů ze základního souboru N(57,0;5,0) při třech členech ve výběru. Toto rozdělení výběrových průměrů má střední hodnotu rovněž 57 MPa a směrodatnou odchylku 2,89 MPa, tj.



Obr. 4 Operativní charakteristika
Fig. 4 Operating characteristic

kou určující rozdělení četností vymezuje plochu o velikosti 5 %. Z obrázku vidíme, že uvedený základní soubor by z hlediska shody krychelné pevnosti splňoval podmínky pro beton třídy C40/50. Při stejné směrodatné odchylce by podmínky pro beton třídy C40/50 splňovaly také všechny základní soubory, které mají vyšší střední hodnotu než 58,2 MPa a nesplňovaly soubory se střední hodnotou nižší než 58,2 MPa. Pokud bychom znali parametry základního souboru, je stanovení kvantilu 5 % jednoduchá záležitost a nečiní žádné potíže.

NÁHODNÝ VÝBĚR

Při zkoušení betonu nemůžeme v běžných případech zkoušet takové množství prvků, tj. zkušebních krychlí nebo válců, abychom dostatečně přesně určili parametry základního souboru a provádíme proto tzv. náhodný výběr, tj. provedeme zkoušky několika prvků z hodnoceného objemu betonu a na základě těchto výsledků usuzujeme na vlastnosti celého základního souboru, který odpovídá hodnocenému betonu. Náhodný výběr je definován tak, že každý prvek souboru má stejnou pravděpodobnost být zařazen do výběru. Právě v tom, že vybíráme pouze část prvků a na základě výsledků zkoušek těchto prvků usuzujeme na celý základní soubor, je skryté úskalí výběrového šetření. Vzhledem k náhodě můžeme v některých případech vybrat takové prvky, které dávají lepší výsledky než odpovídá parametrům základního souboru, z kterého

$5/\sqrt{3}$. Plocha pod křivkou rozdělení a vpravo od svislice v bodě 54 MPa udává pravděpodobnost, že výběrový průměr bude vyšší než 54 MPa. Z obrázku je vidět, že tato pravděpodobnost je poměrně vysoká a dále si můžeme představit, že splnění kritéria (1) bude mít tím větší pravděpodobnost, čím křivka rozdělení bude posunuta více vpravo a tím menší, čím bude posunuta více vlevo.

Pro různé základní soubory se stejnou směrodatnou odchylkou 5,0 MPa určíme velikost plochy vpravo od hodnoty 54 MPa jako pravděpodobnost

$$P = 1 - \Phi\left(\frac{54,0 - X}{5}\sqrt{3}\right), \quad (a)$$

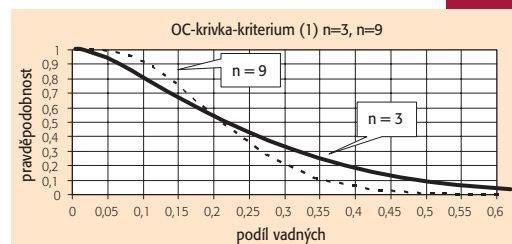
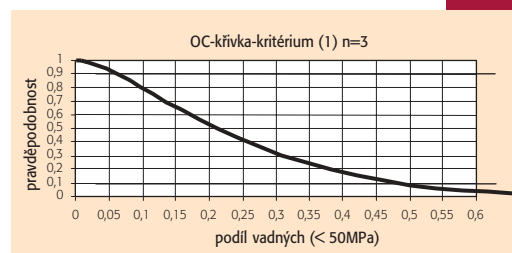
kde X je proměnná střední hodnota základního souboru. Vyčíslíme-li tyto hodnoty pro X v intervalu 45 až 65 MPa, dostaneme křivku na obrázku 3.

Obrázek 3 říká následující: Pokud hodnocený objem betonu pochází ze základního souboru se střední hodnotou – např. 55 MPa a směrodatnou odchylkou 5,0 MPa, pak tři krychle vybrané z tohoto

Obr. 5 Operativní charakteristika pro kritérium (1), $n = 3$

Fig. 5 Operating characteristic for criterion (1), $n = 3$

základního souboru pro zkoušku dají výsledek, který přibližně v 65 % splní kritérium (1) a ve 35 % toto kritérium nesplní. To znamená, že v 65 % případů beton hodnotíme špatně jako vyhovující, ačkoli kvantil 5 % pro tento základní soubor bude ve skutečnosti menší než 50 MPa, a to pouze $f_{0,05} = 55 - 1,645 \cdot 5,0 = 46,8$ MPa. Ve 35 % případů správně označíme tento soubor jako nevyhovující. Ideální hodnocení by bylo takové, kdy špatné soubory vždy zamítáme a dobré vždy přijímáme. Znamenalo by to, že soubory se střední hodnotou větší než 58,2 MPa bychom chtěli vždy přijmout, soubory se střední hodnotou menší než 58,2 MPa bychom chtěli vždy zamítnout. Toto ideální hodnocení je v obr. 3 zakresleno silnými rovnými čarami. Tento stav ovšem při výběrovém hodnocení nelze nikdy dosáhnout a místo toho se musíme spokojit s nějakou křivkou, která by se měla, pokud možno, blí-



Obr. 6 Operativní charakteristika pro kritérium (1) – $n = 3$ a $n = 9$ prvů

Fig. 6 Operating characteristic for criterion (1) – $n = 3$ and $n = 9$ elements

žit ideálnímu stavu. Naše křivka na obr. 3, která odpovídá kritériu (1), jak je vidět, tento požadavek nesplňuje.

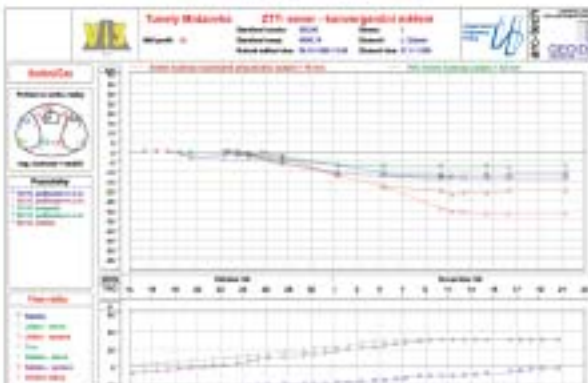
Vlastní tabulky s výpočty neuvádím, protože je lze snadno vytvořit na počítači. Pro



Naše inženýrská kancelář pro Vás zajišťuje:

- dělaní a řešení všech druhů a jejich vyhodnocení
- geodetické práce dopravního výstavby (výškové odbornosti a střední oprávnění)
- zeměměřičský inženýr a triviální měření
- zachycení skutečného stavu různými metodami
- Distribuce a školení geodetického softwaru arc-tech®
- Poradenství při přípravě projektové dokumentace – geodetický monitoring a geometrické parametry

Nabízíme - rychlost prací, zajištěnou vlastním odzkoušeným softwarem, spolehlivost, kvalitu

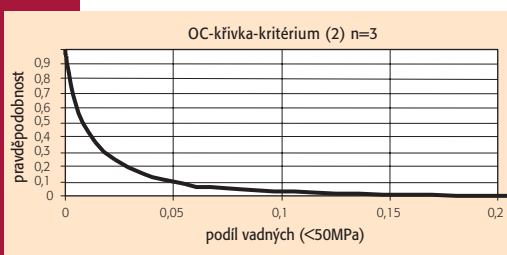




Zkušenosti z měření na tunelech doma i v zahraničí:

- Tunely Mrázovka (Praha)
- Stola Dobrovského (Brno)
- Tunel Mělnický (Kralupy/Vltavou)
- Tunel Branisko (NRTM, SR, šekání a poradenství)
- Engelbergstunnel (NRTM, SRN, Stuttgart)
- Osterfeldtunnel (NRTM, SRN, Stuttgart)
- 4 tunely na Neubaustrecke Koeln - Rhein/Main (NRTM, SRN, Frankfurt)
- Kosterfeldtunnel (NRTM, SRN)
- Stauertunnel (NRTM, SRN)
- zkušenosti z tunelů TBM

Angermeier Engineers s.r.o.
Pilovská 216
190 16 Praha 9
e-mail: info@angermeier.cz
tel.: +420 2 81 97 33 08
tel.: +420 2 57 21 55 17
fax: +420 2 57 21 34 54
mob.: +420 603 84 20 41



Obr. 7 Operativní charakteristika pro kritérium (2), $n = 3$

Fig. 7 Operating characteristic for criterion (2), $n = 3$

ilustraci ukáží konstrukci grafu z obr. 3, který odpovídá vzorci (a). V tabulkovém procesoru Excel zadáme sloupec hodnot X od 45 do 65 MPa. V dalším sloupci běžným způsobem vyčíslíme hodnotu výrazu v závorce a ve třetím sloupci vyčíslíme hodnotu P . Funkce Φ je Normsdist a najdeme ji pod záložkou: **Vložit | funkce | statistické**. Po vytvoření prvního řádku stačí táhnout myši ve směru sloupců a z prvního a třetího sloupce udělat graf. Začátek tabulky vypadá takto:

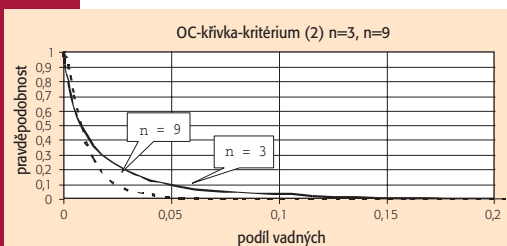
stř. h.	(54-B57)/2,89	1-Normsdist
45	3,114186851	0,00092226
46	2,76816609	0,00281864
47	2,422145329	0,00771459

OPERATIVNÍ CHARAKTERISTIKY

Ve statistické kontrole jakosti se běžně používají tzv. **operativní charakteristiky**, někdy nazývané také **OC-křivky**, kterými se vyjadřuje účinnost přijímacích plánů a rizika odběratele a dodavatele při výběrové kontrole. Typická OC-křivka je na obr. 4. Na vodorovné ose je podíl nevyhovujících prvků a na svislé ose pravděpodobnost. Křivka pak udává, s jakou pravděpodobností je dodávka s určitým podílem nevyhovujících prvků přijímána. Na vodorovné ose je zobrazen bod P_0 ,

Obr. 8 Operativní charakteristika pro kritérium (2) – $n = 3$ a $n = 9$ prvků

Fig. 8 Operating characteristic for criterion (2) – $n = 3$ and $n = 9$ elements



kterému odpovídá riziko dodavatele α . Bod P_0 se nazývá přípustná úroveň jakosti a znamená takovou úroveň jakosti, s kterou odběratel souhlasí, že bude s rizikem α zamítána, i když dodávka bude ve skutečnosti dobrá. Bod P_1 se nazývá nepřípustná úroveň jakosti a znamená takovou úroveň jakosti, která je pro odběratele nepřijatelná a souhlasí, že dodávky s nižší jakostí budou přijímány pouze s malým rizikem β . Na základě bodů P_0 , P_1 a rizik α , β je možno konstruovat přijímací kritérium. Rizika α , β se obvykle volí ve výši 10 % nebo 5 %, ale mohou být i jiná. Skutečná jakost dodávky nebude přesně známa a pokus bude někde mezi body P_0 a P_1 , ale to je v souladu s dohodou, protože žádný zúčastněný nebude poškozen. Pokud se přijme jako vyhovující dodávka v rozmezí P_0 až P_1 , dodavatel ví, že dodávka má více vadných jednotek než P_0 a odběratel ví, že dodávka má méně vadných jednotek než P_1 . Z obrázku je rovněž vidět, že pokud se provádí výběrová kontrola, dodavatel musí vyrábět s menším podílem vadných, než je odběratel ochoten přijímat. Musí být ponechán prostor pro náhodu při výběrovém šetření.

Operativní charakteristiku lze využít i obráceně. Každému přijímacímu plánu odpovídá určitá operativní charakteristika a z ní lze určit jaká jsou přípustná a nepřípustná procenta vadných prvků dodávky při daných rizicích dodavatele a odběratele, nebo jaká jsou rizika při daném přípustném a nepřípustném procentu vadných prvků.

Abychom získali vztah mezi podílem vadných prvků a pravděpodobností přijetí, je potřeba křivku z obrázku 3 vyjádřit v souřadnicích „pravděpodobnost přijetí x procento vadných“. Pokud toto provedeme, pro kritérium (1) dostaneme křivku na obr. 5.

Z operativní charakteristiky jsou vidět následující hodnoty: Při stejných rizicích dodavatele a odběratele, kdy α a β se rovná 10 %, budou téměř vždy převzaty dodávky, které mají méně než 5 % vadných prvků, to znamená kvantil menší než 5 %. Na druhé straně budou téměř vždy zamítnuty dodávky, které mají více než 47 % vadných prvků, to znamená kvantil 47 %. Dodávky mezi těmito mezemi budou někdy přijaty, někdy zamítnuty podle toho, jaké hodnoty se dostanou do výběru tří krychlí. Z obrázku vidíme, že např. dodávka, která má 20 % vadných prvků, bude asi v 53 % případů převzata jako

dobrá a v 47 % případů zamítnuta jako špatná. Pro ilustraci ukážeme, o jaký jde základní soubor. Součinitel pro kvantil 20% z rozdělení $N(0,1)$ je -0,842, takže střední hodnota základního souboru je při předpokládané směrodatné odchylce 5,0 MPa $50 + 0,842 \cdot 5,0 = 54,2$ MPa.

Z rozboru operativní charakteristiky pro beton **C40/50** je vidět, že kritérium (1) vůbec nezaručuje to, co norma deklaruje, tzn. že nižší hodnoty, než je charakteristická hodnota betonu dané třídy, budou nejvýše u 5 % všech možných zkoušek hodnoceného objemu betonu. Z hlediska dodavatele kritérium (1) zaručuje, že dodávky, které budou mít méně než 5 % vadných prvků, budou téměř vždy přijaty. Na druhé straně z hlediska odběratele, které vlastně znamená hledisko bezpečnosti stavby, kritérium (1) zaručuje, že dodávka bude zamítnuta pokud v ní bude pod 50 MPa více jak 47 % možných výsledků zkoušek. Takže pod hodnotu 50 MPa může být nikoli 5 %, ale až 47 % možných výsledků zkoušek.

Pro ilustraci ukážeme, jak by se situace změnila, kdybychom z hodnoceného objemu betonu provedli místo tří zkoušek devět zkoušek. Tento počet zkoušek by většina výrobců ovšem viděla jako naprosto zbytečné vynakládání jejich prostředků. Stejným způsobem jako pro tři prvky byla zkonstruována OC křivka pro devět prvků.

Z obrázku 6 je vidět, že s riziky 10 % se dodavateli nebudou zamítat dodávky, které mají méně než 10 % vadných a odběratel nebude přijímat dodávky, které mají více než 35 % vadných. Pořád jsme velice daleko od toho, co norma deklaruje, tj. že v dodávce nebude více než 5 % výsledků pod charakteristickou hodnotu.

Abychom docílili toho, že budeme zamítat dodávky betonu **C40/50**, které mají více než 5 % možných výsledků zkoušek pod 50 MPa, je potřeba změnit kritérium (1). Jednoduchým výpočtem lze ukázat, že vyhovující kritérium by mělo tvar:

$$(x_1 + x_2 + x_3)/3 > f_{ck} + 12 \text{ MPa} \quad (2)$$

Stejným postupem jako v předešlých případech zkonstruujeme operativní charakteristiku pro tento případ.

Z obrázku 7 je vidět, že skutečně dodávky, které mají více jak 5 % vadných, přijmáme pouze s rizikem 10 %, tj. v 90 % případů takové soubory zamítáme. Je

Dokončení článku na straně 61

Při zavedení předpětí, kdy bývá $R_t = 0,8 R$, může napětí betonu dosáhnout 1,25 násobku dovoleného namáhání, které by bylo odvozeno z R_t . To je přípustné, protože je to stadium provádění. Při tom je modul pružnosti u betonu značky B 400 $E_t = 34,6 \text{ GPa} = 0,96E$ a je tedy roven přibližně $E = 36 \text{ GPa}$.

Vztahy (1) a (2) a jejich výsledky nejsou do běžného navrhování zaváděny. Ale při vyhodnocování zatěžovacích zkoušek starších konstrukcí, např. mostů, je účelné porovnávat pevnosti betonu R_t zjištěné nedestruktivním způsobem a moduly pružnosti E_t odvozené z průhybu konstrukce. Např. u betonu značky B 400 je pro $t = 20$ roků $R_t = 57,5 \text{ MPa}$ a $E_t = 41,4 \text{ GPa}$.

Dotvarování betonu podle ČSN 73 6207 vychází z lineární teorie, předpokládající, že v oboru dovolených namáhání je přetvoření úměrné napětí, a z teorie stárnutí, založené na předpokladu, že přírůstek přetvoření od dlouhodobého napětí závisí na stáří betonu při vnesení tohoto napětí a době jeho trvání. Dotvarování se vyjadřuje součinitelem dotvarování ϕ , který závisí na stáří betonu jednak na začátku t_0 a jednak na konci působení napětí a na součiniteli vlhkosti prostředí ϕ_u . Součinitel ϕ se určuje z jediné křivky $\phi = \phi_u [f(t) - f(t_0)]$. Vliv rozměrů konstrukce na ϕ není uvažován, protože konstrukce z předpjatého betonu bývají tenkostěnné, jak vyplývá obvykle z poměru plochy a obvodu jejich průřezu. Teorie stárnutí umožňuje zavést princip superpozice napětí nebo přetvoření vyvozených předpětím a zatížením, které začaly působit v různých dobách. Tím je usnadněn výpočet vlivu dotvarování betonu.

Jiné teorie, např. teorie následnosti, podle které dotvarování nezávisí na t_0 a roste s $(t - t_0)$ a podle které pro součinitel dotvarování platí $\phi = \phi_u f(t - t_0)$, nejsou v ČSN 73 6207 uvažovány.

Poměrné zkrácení ε betonu, vyvolané jeho smršťováním je podle ČSN 73 6207 závislé na stáří betonu a na vlhkosti prostředí. Předpokládá se, že průběh ε je afinní průběhu ϕ . Po měsíci nabývá smrštění polovinu konečné hodnoty.

Hodnoty ϕ a ε stanovené v ČSN 73 6207 byly odvozeny z dříve popsáných zkoušek a měření. Při navrhování jsou používány, pokud nebudou na základě zkoušek nebo jiných údajů v konkrétním případě stanoveny hodnoty jiné.

Dotvarování a smršťování betonu uvažované ve výpočtu podle ustanovení normy mohou být odlišná od skutečného chování betonu v konstrukci. Má-li dotvarování a smršťování zvláštní význam pro konstrukci, např. dotvarování při spojování letmo betonovaných krakorců, je třeba postup prací řídit podle výsledku zkoušky použitého betonu a změřených přetvoření, aby rozdíly skutečného dotvarování a dotvarování uvažovaného ve výpočtu neztížily průběh prací na staveništi.

Není účelné porovnávat výsledky výpočtů dotvarování a smršťování betonu podle dostupných předpisů a početních vztahů, které mohou vycházet z různých odchýlných předpokladů, ale správné je porovnávat výsledky výpočtů s hodnotami změřenými při zkouškách a z porovnání odvozovat upřesnění příslušných vztahů pro výpočet dotvarování a smršťování betonu za určitých podmínek (např. pro beton z nově zaváděného kameniva).

ZÁVĚR

Ochrana předpínací výztuže před korozi je založena na alkalitě betonu. Proto je nutné při výrobě betonu omezovat vliv činitelů, které by mohly alkalitu betonu snižovat. Při navrhování konstrukcí z předpjatého betonu je třeba do výpočtu zavádět hodnoty dotvarování a smršťování betonu podle platných předpisů, pokud nebudou na základě zkoušek nebo jiných údajů stanoveny hodnoty jiné.

Prof. Ing. Bohumír Voves, DrSc.

Pod Fialkou 7, 150 00 Praha 5

tel.: 257 216 282

Literatura:

- [1] Lukáš J., Brandštetr J., Melcher J., Krátký J., Karmazínová M., Vymazal T., Bílek V.: Složení a vlastnosti některých typů vysokohodnotných a samozhutňujících betonů, Beton TKS, 6/2003, str. 10–16
- [2] Navrátil J.: Statika mostních konstrukcí a teorie stárnutí, Beton TKS, 6/2003, str. 36–37

Pokračování článku ze strany 46

pravda, že dodavateli se v tomto případě zamítá velké množství dobrých dodávek. To je daň výběrovému šetření a malému počtu zkoušek. Např. pro 1 % vadných se

dodávka zamítne asi v 50 % případů. Pro ilustraci ještě ukážeme, jak by se změnila OC-křivka, kdybychom v kritériu (2) zvýšili počet zkoušek na devět.

Z obrázku 8 vidíme, že dodávky s 5 % vadných jsou zamítány téměř vždy, takže kritérium (2) pro devět prvků ve výběru by mohlo být mírnější.

Kritéria shody v normách, pokud jsou, nebo předstírají, že jsou založena na objektivních statistických metodách, by měla být doprovázena rozbohem, z kterého by byla vidět účinnost těchto kritérií. Tímto rozbohem by se zamezilo tomu, aby kritéria shody ve skutečnosti nezaručovala něco úplně jiného, než norma deklaruje.

ZÁVĚR

Jsem přesvědčen, že mezi betonáři, členy České betonářské společnosti, autorizova-

nými inženýry, pracovníky akreditovaných laboratoří, pracovníky certifikačních orgánů a ostatními odborníky je dost těch, kteří pevně věří, že beton třídy **C40/50**, který je ve shodě s ČSN EN 206-1, má charakteristickou pevnost 50 MPa, a že pod touto pevností je nejvíce 5 % možných výsledků zkoušek. Také bych se rád s touto vírou ztotožnil a proto budu věřen každému, kdo mě zbaví mých obav, že např. v betonu třídy **C40/50**, který je ve shodě s ČSN EN 206-1, může být pod charakteristickou hodnotou 50 MPa nikoli 5 %, ale až 47 % možných výsledků zkoušek.

Ing. Václav Kučera, CSc.

Technický a zkušební ústav stavební Praha

Prosecká 76a, 190 00 Praha 9

e-mail: vkucera@tzus.cz

Literatura:

- [1] ČSN 01 0250 Statistické metody v průmyslové praxi
- [2] Eggermayer F., Boháč M.: Statistika pro techniku SNTL Praha 1984
- [3] Kučera V.: Účinnost přejímacích plánů při kontrolních zkouškách betonu, Pozemní stavby 6, SNTL, Praha 1983
- [4] Vorlíček M.: Kontrola jakosti při malém počtu měření, Stavebnický časopis č. 7, Věda, Bratislava 1989