

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

vypracovali

Ian Gibb a Tom Harrison

Október 2010



Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

© 2010 Autori a MPA/BRMCA - ERMCO

Tento text je publikovaný s vedomím, že autori sú formálne zodpovední za uvedené údaje a vyjadrené názory v tomto texte a jej vydanie nemusí nevyhnutne znamenať, že takéto údaje a/alebo názory vyjadrujú mienku a názory vydavateľov. Hoci bolo vykonané všetko úsilie, aby sa zabezpečilo, že uvedené údaje a vyjadrené názory v tejto publikácii poskytnú bezpečný a presný návod, žiaden záväzok alebo zodpovednosť nemôžu byť prijaté v tomto smere autormi ani vydavateľmi.

O B S A H

1	ÚVOD	6
2	ŠTATISTIKY PRE BETÓN	8
2.1.	NORMÁLNE ROZDELENIE PEVNOSTI	8
2.2.	CHARAKTERISTICKÁ PEVNOSŤ A CIEĽOVÁ PEVNOSŤ	9
2.3.	SMERODAJNÁ ODCHÝLKA	11
2.4.	STANOVENIE CIEĽOVEJ PEVNOSTI	15
3	JEDNODUCHÉ DIAGRAMY ÚDAJOV	16
4	SHEWHARTOVE DIAGRAMY	17
4.1	ÚVOD	17
4.2	SHEWHARTOVE KRITÉRIA PRE REAKCIU	18
4.2.1	BODY VYSKYTUJÚCE SA ZA UCL ALEBO LCL	18
4.2.2	BODY VYSKYTUJÚCE SA ZA UWL ALEBO LWL	19
4.2.3	VZORKY SÚ V RÁMCI KONTROLNÝCH MEDZÍ	19
4.3	KONTROLA SMERODAJNEJ ODCHÝLKY	19
4.4	PRÍKLAD SHEWHARTOVHO DIAGRAMU	19
4.5	MODIFIKOVANÉ POUŽITIE SHEWHARTOVHO KONTROLNÉHO DIAGRAMU	20
5	CUSUM	23
5.1	ÚVOD	23
5.2	KONTROLA PRIEMERNEJ PEVNOSTI	26
5.3	KONTROLA SMERODAJNEJ ODCHÝLKY	27
5.4	KONTROLA KORELÁCIE	27
5.5	NÁVRH “V-MASKY”	29
5.6	AKTIVITY NASLEDUJÚCE ZMENU	29
6	VIACNÁSOBNÁ A VIACSTUPŇOVÁ ANALÝZA	31
6.1	VIACNÁSOBNÝ	31
6.2	VIACSTUPŇOVÝ	32

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

7	<u>ZRÝCHLENIE REAKCIE SYSTÉMU</u>	33
7.1	SKÚŠANIE BETÓNU V RANNOM VEKU	33
7.2	KONCEPCIA SÚBORU ZMESÍ.....	34
8	<u>SMERNICA PRE KONTROLNE SYSTÉMY</u>	37
8.1	NEOBVYKLÉ VÝSLEDKY.....	37
8.2	ZAOBCHÁDZANIE SO ZMESAMI (BETÓNMI), KTORÉ SÚ MIMO SÚBOR BETÓNOV.....	37
8.3	ZAOBCHÁDZANIE SO ZMESAMI (BETÓNMI), KTORÉ NIE SÚ KONTROLOVANÉ POMOCOU POŽIADAVIEK NA PEVNOSŤ V TLAKU	38
8.4	POČETNOSŤ SKÚŠOK.....	40
8.5	REAKCIE NASLEDUJÚCE PO ZMENE	40
9	<u>PRAVIDLA ZHODY PRE PEVNOSŤ BETÓNU V TLAKU V EN206-1</u>	41
9.1	ZÁKLADNÉ POŽIADAVKY NA ZHODU PEVNOSTI V TLAKU	41
9.2	HODNOTIACE OBDOBIE.....	42
9.3	PRAVIDLÁ ZHODY PRE PEVNOSŤ BETÓNU V TLAKU.....	43
9.4	DOSIAHNUTIE HODNOTY AOQL = 5% SO SYSTÉMOM „CUSUM“	45
9.5	NEZHODA.....	47
10	<u>ZAVÁDZANIE KONTROLNÝCH SYSTÉMOV</u>	47
11	<u>PRÍKLAD SYSTÉMU “CUSUM”</u>	48
11.1	REFERENČNÁ ZMES (BETÓN) A SÚBOR BETÓNOV	48
11.2	Hlavný vzťah.....	49
11.3	POUŽÍVANIE ÚPRAV (KOREKCIÍ).....	51
11.4	VÝPOČET “CUSUM”	53
11.5	REAKCIE “CUSUM” NASLEDUJÚCE PO ZMENE.....	58
11.6	ĎALŠIE ÚDAJE A ZMENA V SMERODAJNEJ ODCHÝLKE.....	59
12	<u>LITERATÚRA</u>	63

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Značky

AOQ	Priemerná výstupná kvalita produkcie (výroby)
AOQL	Priemerná medzná hodnota výstupnej kvality produkcie (výroby)
f_{ci}	Jednotlivý výsledok skúšky pevnosti betónu v tlaku
f_{cm}	Priemerná pevnosť betónu v tlaku
σ	Odhad smerodajnej odchýlky súboru
k	štatistická konštanta
f_{ck}	Predpísaná charakteristická pevnosť v tlaku
L_i	Dolná medza
n	Počet vzoriek
q_n	Štatistická konštanta, ktorá závisí na „n“ a zvolenom AOQL
s	Smerodajná odchýlka vzorky
UCL	Horná kontrolná medzná hodnota
UWL	Horná výstražná medzná hodnota
LWL	Dolná výstražná medzná hodnota
LCL	Dolná kontrolná medzná hodnota
C_{mra}	Konštanta udávajúca potrebný nárast dávky cementu, ak sa vyžaduje nárast pevnosti o 1 N/m ²
DI	Rozhodujúci interval
G	Gradient (sklon)
dc	Zmena obsahu (dávkovania) cementu
x_i	Skúšobný výsledok POZNÁMKA: Podľa EN 206-1 skúšobným výsledkom môže byť priemer z dvoch alebo viacerých skúšobných telies odobraných z jednej vzorky a skúšaných v rovnakom veku
\bar{x}	Priemerná hodnota „n“ skúšobných výsledkov

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

1 Úvod

Dá sa bezpečne predpokladať, že od začiatku výroby boli vykonané pokusy kontrolovať výrobný proces s cieľom zlepšiť kvalitu a znížiť náklady. Použitie štatistických metód pri výrobe bolo po prvýkrát rozvinuté fyzikom Walterom A. Shewhartom zo spoločnosti "Bell Telephone Laboratories" v roku 1924. Shewhart pokračoval v rozvoji týchto metód a v roku 1931 publikoval knižku o štatistickej kontrole kvality [1].

Shewhart zistil, že vo výrobnom procese boli nielen prirodzené odchýlky (variácie) obsiahnuté vo vnútri výrobného procesu, ktoré ovplyvňovali kvalitu, ale že sa tam vyskytli aj odchýlky, ktoré nemohli byť vysvetlené. Shewhart zistil, že bolo možné stanoviť hranice (medze) prirodzených odchýliek (variácií) každého procesu a tak kolísanie v rámci týchto hraníc môže byť vysvetlené náhodnými príčinami. Avšak hocijaké odchýlky mimo týchto hraníc - tieto špecifické odchýlky budú reprezentovať zmenu základného procesu.

Shewhartova koncepcia prirodzených a špecifických odchýliek je plne platná pre výrobu betónu v centrálnej betonárni alebo výrobní prefabrikátov a pre požiadavku dosiahnuť stanovenú pevnosť v tlaku. Vo výrobnom procese existujú prirodzené odchýlky vzhľadom na odchýlky v základných materiáloch na výrobu betónu (zrinitosť kameniva, chemické zloženie, atď.), presnosť dávkovania, zhotovovanie a skúšanie vzoriek v betonárni, atď.). Špecifické prípady odchýliek, mimo prirodzených odchýliek, môžu nastať vzhľadom na zmenu používaného základného materiálu na výrobu betónu, straty presnosti váh, novým pracovníkom dávkujúcim zložky betónu, problémami so skúšobným zariadením, atď.

Kontrolné diagram našli široké použitie v priemysle betónu a to jednak vo výrobe transportbetónu ako aj vo výrobe prefabrikovaného betónu, ako nástroj na kontrolu kvality. Kontrolné diagramy môžu byť použité na sledovanie viacerých charakteristík betónu (napr. kocková/valcová pevnosť, konzistencia, vodný súčiniteľ v/c), na kontrolu základných materiálov (zrinitosť kameniva, pevnosti cementu, atď.) alebo výroby (presnosť dávkovania zložiek betónu).

Najbežnejším použitím kontrolných diagramov je ich použitie ako prostriedku na kontinuálne hodnotenie výsledkov pevností v tlaku s cieľom:

- kontrolovať, či bola dosiahnutá cieľová pevnosť;
- merať odchýlky od cieľovej hodnoty (kolísanie všetkých výrobkov);
- zistiť veľkosť ľubovoľnej odchýlky;
- objektívne definovať požadovanú reakciu (napr. zmenu vodného súčiniteľa v/c) s cieľom vrátiť proces opäť k cieľovej hodnote;
- zistiť obdobia a betóny kedy pevnosť bola nižšia ako je predpísaná, aby sa tak mohli vykonať šetrenia a mohla byť urobená nápravná činnosť.

Použitie kontrolných diagramov sa nemôže vykonávať bez nadväznosti na ostatnú výrobnú kontrolu. Napríklad rutinná kontrola a údržba vážiaceho zariadenia bude

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

minimalizovať riziko zlyhania stupnice váhy. Kontrolné diagramy zabezpečujú informácie o procese (výroby), ale interpretácia informácie nie je mechanickým procesom. Všetky informácie dostupné výrobcovi betónu by mali byť použité na vysvetlenie týchto informácií a vykonanie rozhodnutia na základe týchto dostupných informácií. Objavila sa zmena v kvalite, keď bolo po prvýkrát použité dávkovanie určitého základného materiálu? Všetky druhy betónov ukazujú rovnaký trend? Aj iné výrobné betónu ukazujú rovnaký trend? Takéto informácie navádzajú na príčinu tejto zistenej zmeny v kvalite a na vykonanie príslušnej nápravnej činnosti. Napríklad strata presnosti váhy by viedla k jej oprave, údržbe a novej kalibrácii a nie k zmene v dávkovaní (zložiek betónu). Tam kde sa vyžaduje zmena dávkovania zložiek betónu, použitie kontrolných diagramov môže viesť k objektívne definovaným zmenám v tomto dávkovaní.

Účinná kontrola výroby betónu sa dá ľahšie dosiahnuť, ak existuje dobré vzťahy s dodávateľmi základných materiálov (na výrobu betónu), obzvlášť s dodávateľmi cementu a prímiesí. Požiadavka na včasné varovanie o zmene vlastností základného materiálu (na výrobu betónu) od jeho dodávateľa, by mala byť súčasťou zmluvy o jeho dodávkach, napríklad ak sa používa (v cementárni) na výrobu cementu dopredu uskladnený slinok, počas prerušenia výroby cementu z dôvodu údržby výrobných zariadení cementárne. Na základe tohto varovania rozhodne výrobca betónu o príslušnej reakcii na túto skutočnosť.

Niektorí výrobcovia cementu používajú zmeny v chemickom zložení cementu, aby tak predišli zmenám pevnosti cementu. Účinná výrobná kontrola je o tom, aby sa použili všetky tieto informácie k výrobe betónu zodpovedajúcemu predpísaným požiadavkám. Účinná výrobná kontrola, ktorá zahrňuje použitie kontrolných diagramov, výrazne znižuje riziko výskytu nehody, z čoho má úžitok jednak výrobca betónu ako aj spotrebiteľ (užívateľ) betónu.

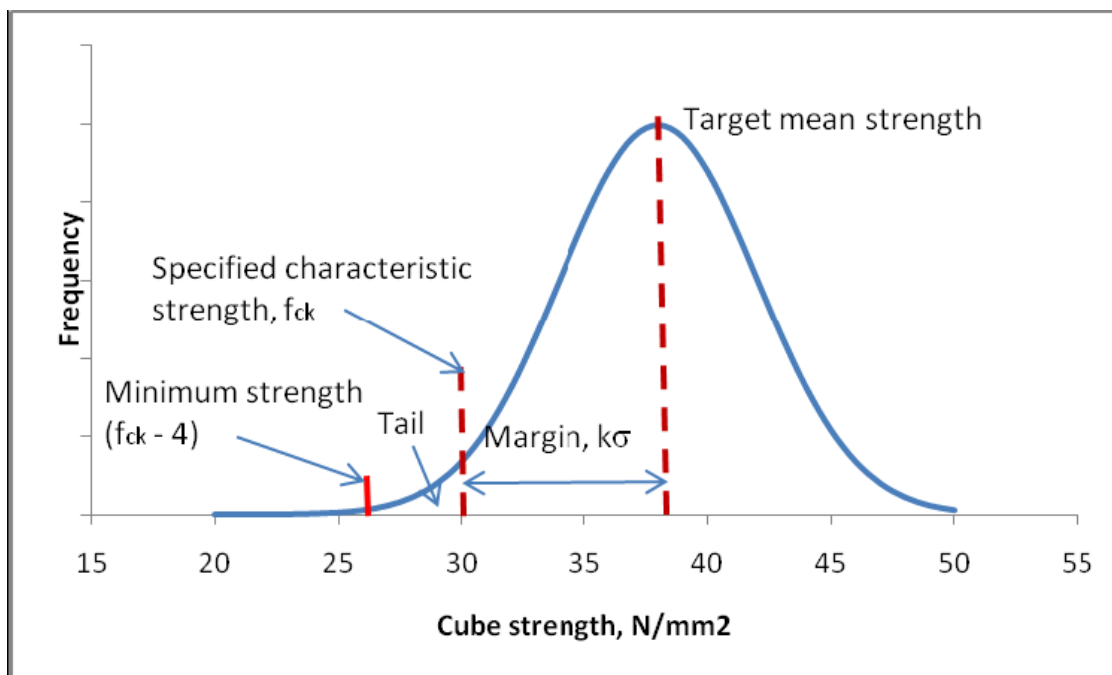
Existujú určité nevýhody u prijatej metódy hodnotenia zhody priemernej pevnosti, uvedenej v EN 206-1, vrátane nedodržovania Smernice CEN pre preukazovanie zhody [2]. Verí sa, že kontrolné diagramy (už teraz široko používané ako nástroj kontroly kvality vo vnútropodnikovej kontrole) by poskytli alternatívne a lepšie prostriedky na zabezpečenie (dosiahnutie) charakteristickej pevnosti a pritom sú to metódy, ktoré dodržiajú Smernicu CEN pre preukazovanie zhody [2].

Táto publikácia uvádza prehľad rôznych kontrolných systémov, ktoré sú používané v súčasnosti v priemysle betónu, na uvedených príkladoch sa ukazuje, aké sú princípy (týchto systémov) používaných na kontrolu výroby betónu.

2 Štatistiky pre betón

2.1. Normálne rozdelenie pevnosti

Výsledky skúšok pevnosti betónu majú tendenciu sledovať normálne rozloženie výsledkov skúšok danej vlastnosti (hodnôt), tak ako je to ukázané na Obr.1. Normálne rozdelenie je definované dvomi parametrami, priemernou hodnotou rozloženia a smerodajnou odchýlkou (σ), ktorá je mierou rozptylu výsledkov okolo priemernej hodnoty. Malá smerodajná odchýlka znamená, že väčšina výsledkov pevností bude blízko k priemernej hodnote; vysoká smerodajná odchýlka znamená, že pevnosť významnej skupiny výsledkov pevností bude značne pod (alebo nad) priemernou hodnotou. Pri normálnom rozdelení plocha medzi dvomi hodnotami „x“ reprezentuje pravdepodobnosť, že výsledok padne do variačnej rozpätia týchto hodnôt. Výraz „kocová plocha“ (anglicky „tail“) sa používa na označenie plochy pod normálnym rozdelením medzi hodnotou, napríklad pevnosti v tlaku a miestom, kde frekvencia výskytu hodnôt je v skutočnosti nula. Pre pevnosť je dôležitá dolná „kocová plocha“, t.j. nízke výsledky pevností. Tieto „kocové plochy“ sú dôležité ale pre iné vlastnosti, napr. pre konzistenciu, kde však obidve „kocové plochy“ (horná aj dolná) sú dôležité.



Obrázok 1: Zobrazenie rozloženia výsledkov skúšok pevnosti betónu

Frequency - početnosť; **Cube strength** - pevnosť na kockách; **Target mean strength** - cieľová priemerná pevnosť; **Specified characteristic strength** - predpísaná charakteristická pevnosť; **Minimum strength** - minimálna pevnosť v tlaku; **Tail** - kocová plocha; **Margin** - interval (pásno) výskytu hodnôt menších ako priemerná pevnosť a väčších ako predpísaná charakteristická pevnosť.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

V extrémnych variačných rozpätiach pevností pre daný súbor základných materiálov (na výrobu betónu), predpoklad normálneho rozdelenia výsledkov nemusí byť platný. Nie je možné mať pevnosť menšiu ako nula a väčšina betónov má svoju hornú hranicu, nad ktorú sa už výsledky nemôžu vyskytnúť. V takýchto situáciách súbor hodnôt je šikmý. Avšak vzhľadom nato, že projektanti sa obávajú nízkych pevností, predpoklad normálneho rozdelenia výsledkov (skúšok pevností betónu) nevedie v praxi k problémom.

2.2. Charakteristická pevnosť a cieľová pevnosť

EN 206-1 [3] stanovuje charakteristickú pevnosť v tlaku betónu ako normovú skúšku na valcoch alebo normovú skúšku na kockách vykonanú po 28 dňoch. Charakteristická pevnosť betónu je definovaná v EN 206-1 ako "hodnota pevnosti, pod ktorú môže klesnúť maximálne 5% výsledkov pevností zo všetkých možných výsledkov pevností hodnoteného objemu betónu". Jednoducho povedané to znamená, že ak bola skúšaná každá vyrobená dávka betónu, 5% výsledkov by mohlo padnúť do dolnej „koncovej plochy“ normálneho rozdelenia, ktorý začína hodnotou vzdialenou o $1,64\sigma$ pod hodnotou skutočnej priemernej pevnosti. Avšak skutočná priemerná hodnota pevnosti nebude známa, pokiaľ nebude ukončená výroba hodnoteného objemu betónu a tento nebude odskúšaný. Preto sa stanovuje cieľová priemerná pevnosť (TMS), ktorá má obyčajne o niečo vyššiu hodnotu, aby sa tak zabezpečilo, že betón dosiahne prinajmenšom predpísanú charakteristickú pevnosť.

Cieľová priemerná hodnota je daná v Rovnici 1:

$$TMS = f_{ck} + k \times \sigma$$

Rovnica 1

kde: TMS = cieľová priemerná pevnosť
 f_{ck} = charakteristická pevnosť v tlaku
 σ = smerodajná odchýlka
 k = štatistická konštanta
 $k \times \sigma$ = rezerva

Fixným bodom normálneho rozdelenia je predpísaná charakteristická pevnosť a nadväzne stanovený nárast rezervy a/alebo nárast smerodajnej odchýlky, nárast cieľovej priemernej pevnosti, pozri Príklad 1.

Príklad 1

Cieľová priemerná pevnosť pre požadovanú charakteristickú pevnosť C25/30 je daná v Tabuľke 1. Smerodajná odchýlka (σ) rovná 3 N/mm^2 je typická pre betón s malou variabilitou (malým rozptylom) výsledkov pevností a hodnota $\sigma = 6 \text{ N/mm}^2$ je typická pre betóny s veľkou variabilitou (veľkým rozptylom) výsledkov pevností.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Tabuľka 1: Cieľová priemerná hodnota pre predpísanú charakteristickú pevnosť rovnú 30 N/mm² (na kockách)

Rezerva	Plocha v dolnej koncovej ploche (t.j. percento pod charakteristickou pevnosťou)	Cieľová priemerná kocková pevnosť (N/mm ²)	
		$\sigma = 3 \text{ N/mm}^2$	$\sigma = 6 \text{ N/mm}^2$
1,64 σ	5,00%	35	40
1,96 σ	2,50%	36	42
2,00 σ	2,28%	36	42
2,33 σ	1,00%	37	44
3,00 σ	0,13%	39	48

Hodnoty v tejto tabuľke boli zaokrúhlené.

Pevnosť betónu pod charakteristickou pevnosťou neznamená nevyhovenie betónu z hľadiska pevnosti nakoľko je prípustné, aby štatisticky 5% výsledkov pevností kleslo pod túto hodnotu (takéto výsledky sa môžu vyskytnúť). Avšak z dôvodov bezpečnosti konštrukcie, dávka betónu, ktorá dosiahla významne nižšiu pevnosť ako je charakteristická pevnosť je vylúčená, aj keď tvorí časť očakávaného rozloženia výsledkov. A preto EN 206-1 predpisuje kritérium minimálnej pevnosti pre jednotlivé výsledky (f_{ci}) v hodnote ($f_{ck} - 4$). Každá dávka (zmes) betónu pod touto pevnosťou je nevyhovujúca (nehodná).

Riziko nezhody klesá ak hodnota intervalu výskytu stúpa. Štatistiky sa používajú za účelom stanovenia veľkosti tohto rizika. Pre danú hodnotu intervalu výskytu je pravdepodobnosť, že skúšobný výsledok padne pod predpísanú charakteristickú pevnosť alebo pod kritérium minimálnej pevnosti (stanovenej pre jednotlivé výsledky pevnosti) uvedená v Tabuľke 2. Pravdepodobnosť výskytu výsledku pod predpísanou charakteristickou pevnosťou je nezávislá na smerodajnej odchýlke (pretože interval výskytu je založený na smerodajnej odchýlke), ale riziko výskytu hodnoty pod kritérium minimálnej hodnoty pevnosti (stanovenej pre jednotlivé výsledky pevnosti) rastie, ak smerodajná odchýlka je väčšia.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Tabuľka 2: Vplyv veľkosti intervalu výskytu hodnôt na počet výskytu výsledkov pevnosti betónu pod charakteristickou pevnosťou; a riziko výskytu výsledkov pod kritérium minimálnej pevnosti pre jednotlivé výsledky

Interval výskytu	Pravdepodobnosť výskytu skúšobného výsledku pod charakteristickou pevnosťou	Riziko výskytu pevnosti betónu nižšej ako je kritérium pre jednotlivé výsledky	
		$\sigma = 3 \text{ N/mm}^2$	$\sigma = 6 \text{ N/mm}^2$
1,64 σ	1 z 20 (5%)	0,1%	1%
1,96 σ	1 z 40 (2,55%)	0,05%	0,4%
2,33 σ	1 z 100 (1%)	0,01%	0,1%
3,00 σ	1 z 1000 (0,1%)	0,0005%	0,01%

Definícia „charakteristickej pevnosti“ v EN 206-1:2000 má svoje problémy. Stavebný inžinier pod výrazom „uvažovaný objem betónu“ si môže predstaviť všetok betón v jeho konštrukcii a tiež betón v jednoduchom prvku konštrukcie, aj keď tento objem je len jednou dávkou (zmesou) betónu. V súlade s EN 206-1 „uvažovaný objem betónu“ predstavuje všetok betón počas hodnotiaceho obdobia. Žiadna z uvedených interpretácií tohto výrazu nie je vhodná na použitie v kontrolných systémoch, pretože proces je kontinuálny. Caspeele a Taerwe [5] navrhovali, že ak výroba dosiahne priemernú medznú hodnotu výstupnej kvality produkcie¹ (AOQL) v hodnote 5%, produkcia môže byť z hľadiska kvality akceptovaná (t.j. ako produkcia, ktorá splnila požiadavku na charakteristickú pevnosť).

2.3. Smerodajná odchýlka

Skutočná hodnota smerodajnej odchýlky súboru bude známa, ak je odskúšaná každá dávka (zmes) betónu. Avšak, ak je k dispozícii 35 alebo viac výsledkov, je odhadovaná smerodajná odchýlka súboru pravdepodobne veľmi blízka k skutočnej hodnote smerodajnej odchýlky súboru. Toto je príčinou, prečo EN 206-1 vyžaduje 35 výsledkov pre výpočet počiatkovej smerodajnej odchýlky.

Ak $n \geq 35$, smerodajná odchýlka môže byť odhadnutá za použitia rovnice:

$$\text{Standard deviation, } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

Standard deviation - smerodajná odchýlka.

¹ Z charakteristickej krivky výroby pre vybraný plán vzorkovania, krivka priemeru výstupnej kvality produkcie (AOQ) je stanovená prenásobením každého možného percenta výskytu hodnôt pod požadovanou charakteristickou pevnosťou výroby (pri zodpovedajúcej akceptačnej pravdepodobnosti)

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Alternatívne môže byť stanovená pomocou metódy variačného rozpätia párových hodnôt, kde:

Priemerné variačné rozpätie vyhovujúcich párov = $1.128 \times$ smerodajná odchýlka,
Rovnica 2

Alebo:

Smerodajná odchýlka = $0.886 \times$ priemerný variačný variačné rozpätie vyhovujúcich párových hodnôt

Variačné rozpätie je číselný rozdiel medzi vyhovujúcimi výsledkami a rozdiel je vždy braný ako pozitívne číslo, napr. $|2-3| = 1$. Variačné rozpätie párovej metódy výpočtu smerodajnej odchýlky je zvlášť vhodný pre súbor, kde sú postupné zmeny v priemernej pevnosti v súbore dát, napr. u betónu, vplyvom postupných zmien bude ohraničený jednotlivou dvojicou výsledkov. Pri výrobe betónu, postupné zmeny v priemernej pevnosti (spravidla vplyvom zmeny v základnom materiály na výrobu betónu) sú bežnejšie ako kolísanie priemernej pevnosti.

Príklad 2

Tabuľka 3. Výpočet smerodajnej odchýlky použitím priemerného variačného rozpätia			
Výsledok	Prepočítaná kocková pevnosť (N/mm ²)	Variačné rozpätie (N/mm ²)	Výpočet smerodajnej odchýlky
1	54.5		Odhad smerodajnej odchýlky = $0.886 \times 51/14$ = $0.886 \times 3.64 = 3.0 \text{ N/mm}^2$ (zaokrúhlené na najbližšiu hodnotu 0.5 N/mm^2)
2	52.5	2.0	
3	49.5	3.0	
4	47.5	2.0	
5	49.0	1.5	
6	43.5	5.5	
7	54.5	11.0	
8	46.5	8.0	
9	50.0	3.5	
10	50.5	0.5	
11	47.0	3.5	
12	48.5	1.5	
13	53.0	4.5	
14	51.5	1.5	
15	48.5	3.0	
Súčet variačných rozpätí		51.0	
Priemer variačných rozpätí		3.64	

Príklad 3 (kópia z referenčnej literatúry [4])

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

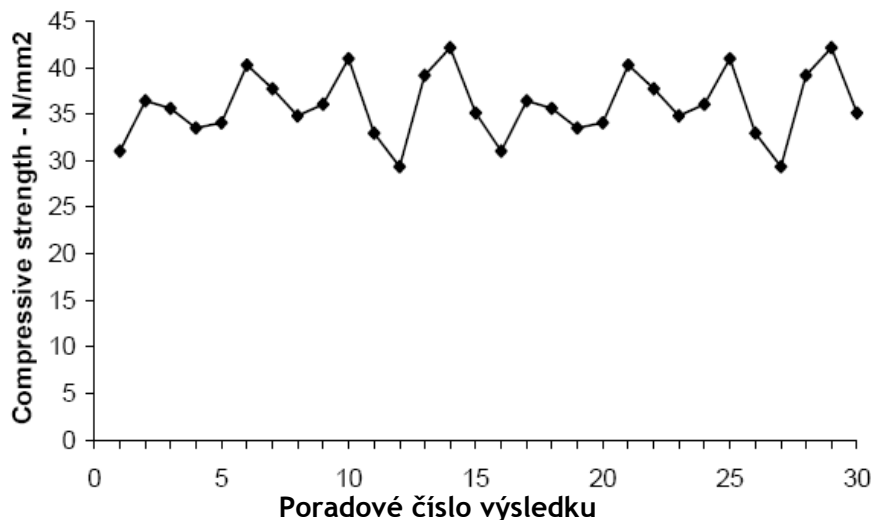
Bolo vytvorených 15 náhodných výsledkov pevnosti s predpokladanou priemernou pevnosťou $37,0 \text{ N/mm}^2$ a smerodajnou odchýlkou $3,5 \text{ N/mm}^2$. Toto bolo zopakované, takže sa získalo celkovo 30 výsledkov pevností (dát), pozri Obrázok 2a. Smerodajná odchýlka 30 výsledkov uvedených v Obrázku 2a je:

$3,6 \text{ N/mm}^2$, ak sa stanovuje štandardnou metódou;
 $3,7 \text{ N/mm}^2$, ak sa stanovuje z rovnice: $0,886 \times$ priemerné variačné rozpätie.

Aby sa ilustroval účinok zmeny priemernej pevnosti na smerodajnú odchýlku, extrémne zníženie priemernej pevnosti o $5,0 \text{ N/mm}^2$ je urobené od 16. výsledku, t.j. výsledky od čísla 16 po číslo 30 sú všetky o $5,0 \text{ N/mm}^2$ menšie ako tie v Obrázku 2a. Rozptyl výsledkov okolo týchto priemerných pevností je nezmenený. Smerodajná odchýlka 30 výsledkov uvedených v Obrázku 2b je:

$4,4 \text{ N/mm}^2$, ak sa stanovuje štandardnou metódou;
 $3,8 \text{ N/mm}^2$, ak sa stanovuje z rovnice: $0,886 \times$ priemerné variačné rozpätie.

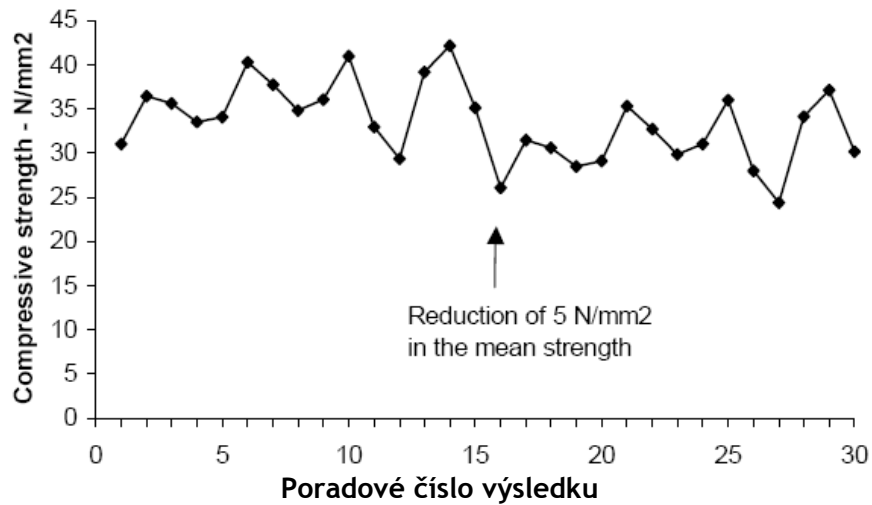
Toto ukazuje, že smerodajná odchýlka vypočítaná z priemerných variačných rozpätí je menej ovplyvnená zmenou priemernej pevnosti.



Obrázok 2a. 15 náhodne vytvorených výsledkov pevnosti s predpokladanou priemernou pevnosťou $37,0 \text{ N/mm}^2$ a smerodajnou odchýlkou $3,5 \text{ N/mm}^2$ (prvá skupina 15 výsledkov je rovnaká ako druhá skupina 15 výsledkov).

Compressive strength - pevnosť v tlaku.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu



Obrázok 2b. Rovnaké údaje ako v obrázku 2a, ale so znížením priemernej pevnosti o 5,0 N/mm² počínajúc výsledkom číslo 16.

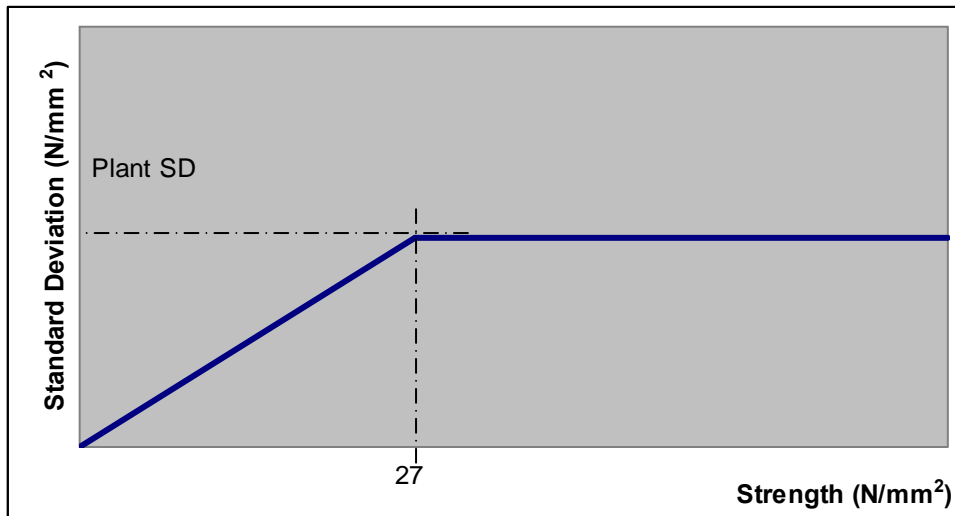
Compressive strength - pevnosť v tlaku; **Reduction of 5 N/mm² in the mean strength**
- zníženie priemernej pevnosti o 5,0 N/mm²

Skutočná smerodajná odchýlka súboru σ , môže byť stanovená len ak sú odskúšané všetky vzorky v súbore, čo je nepraktické. V praxi je smerodajná odchýlka súboru odhadovaná na základe skúšok vzoriek. Čím viac vzoriek sa odskúša, tým spoľahlivejšie bude odhadovaná smerodajná odchýlka súboru. EN 206-1 vyžaduje najmenej 35 výsledkov pre počiatočný odhad smerodajnej odchýlky súboru. Predtým ako sa získa odhadovaná smerodajná odchýlka súboru, betón je kontrolovaný konzervatívnejšími počiatočnými skúšobnými pravidlami. Bez odhadnutej smerodajnej odchýlke súboru nie je možné použiť kontrolné diagramy na kontrolu výroby betónu.

Ak už bola počiatočná smerodajná odchýlka raz odhadnutá, EN 206-1 dovoľuje použiť dve metódy na overovanie počiatočného odhadu. Prvá metóda zahrňuje kontrolu, či smerodajná odchýlka posledných 15 výsledkov sa významne nelíši od prijatej (na začiatku odhadnutej) hodnoty. Druhá metóda zahrňuje používanie kontinuálnych (bez prerušenia prebiehajúcich) kontrolných systémov.

Smerodajná odchýlka u betónu má tendenciu byť konštantnou pre zmesi o priemernej a vysokej pevnosti, ale pre zmesi s nižšími pevnosťami má tendenciu proporcionálne rásť s priemernou pevnosťou [6] a dá sa odhadovať vzťah uvedený na Obrázku 3. V praxi to znamená, že smerodajná odchýlka pre betóny, ktoré majú charakteristickú pevnosť 20 N/mm² alebo viac je stanovená na základe skúšok a výpočtov, zatiaľ čo smerodajná odchýlka pre betóny s nižšou pevnosťou je jej hodnota interpolovaná.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu



Obrázok 3: Zjednodušený vzťah smerodajnej odchýlky a priemernej pevnosti

Standard Deviation - smerodajná odchýlka; **Strength** - pevnosť; **Plant SD** - smerodajná odchýlka vo výrobní.

2.4. Stanovenie cieľovej pevnosti

Cieľová pevnosť je stanovená tak, aby sa dosiahla rovnováha medzi nasledujúcimi požiadavkami:

- vysoká pravdepodobnosť vytvorenia súboru, ktorý dosiahne najmenej predpísanú charakteristickú pevnosť;
- nízke riziko nesplnenia kritéria minimálnej pevnosti;
- nízke riziko pre spotrebiteľov;
- nízke riziko pre výrobcov betónu;
- konkurencieschopnosť (vzhľadom na výrobné náklady) a hospodárnosť.

Cieľová pevnosť je zvolená výrobcom betónu, ale výrobca musí pritom dodržať určité minimálne hodnoty. Cieľová pevnosť nesmie nikdy byť menšia ako $(f_{ck} + 1,64 \sigma)$, ale je bežne vyššia ako táto hodnota. Národné požiadavky, požiadavky certifikačných orgánov alebo iné požiadavky (pozri 9.4) sa môžu odraziť na hodnote minimálnej cieľovej pevnosti.

Skúsenosť z Veľkej Británie ukazuje, že dobrá vyváženosť medzi vyššie uvedenými protichodnými požiadavkami sa dosiahne, ak minimálna cieľová pevnosť je rovná hodnote $(f_{ck} + 1,96 \sigma)$, pri frekvencii skúšok minimálne 16 výsledkov za mesiac. V súbore pevností to dáva cca. 3 σ rezervu, t.j. riziko 1:1000, že sa vyskytne výsledok bude nižší ako je požiadavka minimálnej pevnosti $(f_{ck} - 4)$. Údaje získané certifikačnou organizáciou vo Veľkej Británii o dávkach (zmesiach) betónu, ktoré nevyhoveli kritériu minimálnej pevnosti pre jednotlivé výsledky pevnosti ukazujú, že skutočný variačné

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

rozpätie nevyhovujúcich výsledkov (nezhody) je rádovo nižší a toto je spôsobené aktívnou kontrolou výroby betónu.

3 Jednoduché diagramy údajov

Jednoduché údajové kontrolné diagramy sa používajú na rutinné sledovanie kvality. Existujú dva základné druhy kontrolných diagramov:

Jedno variantné - kontrolný diagram pre jednu charakteristiku kvality (napríklad priemerná pevnosť).

Viac variantné - kontrolný diagram štatistiky, ktorý sumarizuje alebo reprezentuje viac ako jednu charakteristiku kvality (napr. variačný súčiniteľ)

Ak bola meraná jedna charakteristika alebo bola vypočítaná zo vzorky, kontrolný diagram ukazuje hodnotu charakteristiky kvality oproti číslu vzorky alebo oproti času.

Jednoduché diagramy údajov môžu byť užitočné v umožnení vizuálnej predstavy o výrobe a o neobvyklých výsledkoch. Jednoduché diagramy môžu tiež dať náznak o trendoch, ale celkový rozptyl údajov môže tiež maskovať trendy, ktoré môžu byť zistené len hlbšou analýzou údajov.

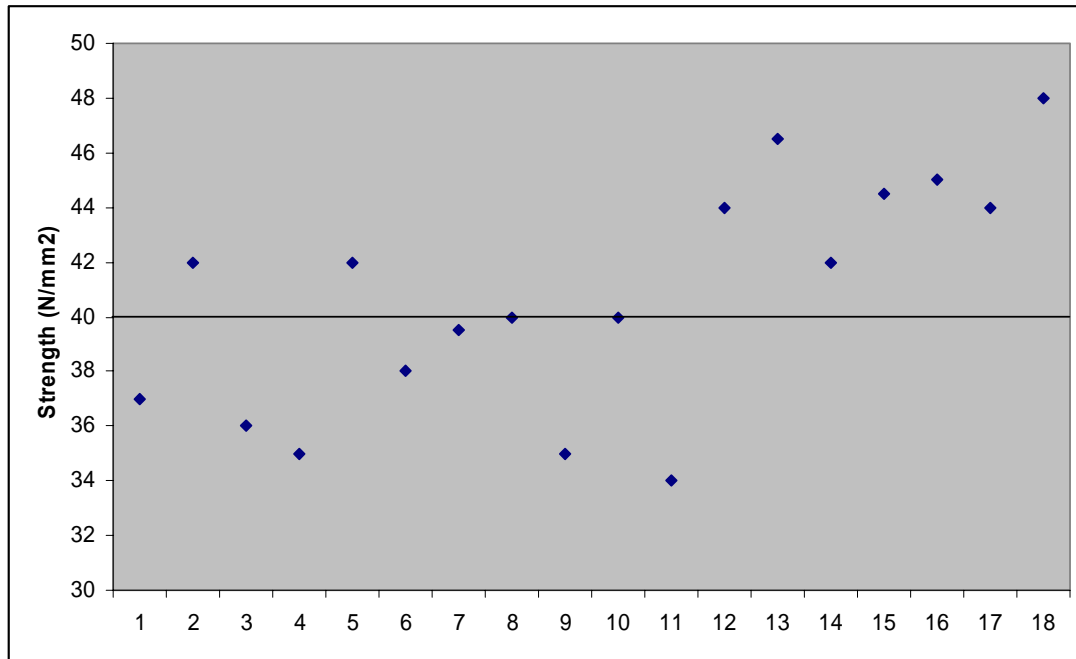
Uvažujme, že údaje uvedené v Tabuľke 4 sú zobrazené v Obrázku 4.

Prehľad týchto údajov ukazuje, že všetky výsledky sú v rámci hodnôt: $\pm 8 \text{ N/mm}^2$ od cieľovej hodnoty. Výsledky sú korektne rovnomerne rozložené okolo cieľovej hodnoty (9 výsledkov je nad a 7 výsledkov pod) a tak nie je ihneď zrejmé, aké závery sa dajú urobiť z týchto údajov.

Tabuľka 4: Príklad výsledkov skúšok priemernej pevnosti s cieľovou pevnosťou 40 N/mm^2

Výsledok	28-dňová pevnosť (N/mm^2)	Výsledok	28-dňová pevnosť (N/mm^2)
1	37	10	40
2	42	11	34
3	36	12	44
4	35	13	46,5
5	42	14	42
6	38	15	44,5
7	39,5	16	45
8	40	17	44
9	35	18	48

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu



Obrázok 4: Jednoduchý jedno variantný kontrolný diagram pre pevnosť

Strength – pevnosť.

4 Shewhartove diagramy

4.1 Úvod

Zatiaľ čo grafické body môžu dať užitočné informácie o charakteristike výrobného procesu, kontrolné diagramy sa stávajú oveľa účinnejším nástrojom, ak sú tiež štatistické pravidlá aplikované na výsledky skúšok. Shewhartov kontrolný systém meria variabilné hodnoty vo výrobnom procese (napr. cieľovú priemernú pevnosť). Môže použiť vypočítané kontrolné medze (hranice) a výstražné (varovné) medze (hranice), založené na meranej variácii vo výrobnom procese.

ISO 8258 [7] dáva všeobecnú informáciu o Shewhartových kontrolných diagramoch a ISO 7966 [8] dáva všeobecnú informáciu o Shewhartových kontrolných diagramoch pre preberaciu kontrolu.

Shewhartov diagram bude mať vodorovnú stredovú čiaru, ktorá predstavuje očakávanú priemernú hodnotu výsledkov skúšok na vzorkách odobraných z výrobného procesu; v prípade betónu cieľovú priemernú pevnosť pre diagram kontrolujúci pevnosť. Čiary reprezentujúce hornú regulačnú medzu (hranicu) - UCL, ďalej čiaru pre dolnú regulačnú medzu (hranicu) - LCL, a môže byť pridaná aj čiaru pre hornú výstražnú medzu (hranicu) - UWL a čiaru pre dolnú výstražnú medzu (hranicu) - LWL. Všeobecne sa vyžaduje reakcia ak nameraný výsledok je za každou kontrolnou medzou (hranicou).

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

UWL a LWL sú stanovené tak, aby väčšina výsledkov padla medzi tieto čiary, ak systém je pod kontrolou (beží v rozsahu očakávaných hodnôt). Nie sú to medze (hranice) požiadaviek, ale sú to kontrolné medze založené na variabilite výrobného procesu. Ak vychádzame z predpokladu, že výsledky skúšok pevnosti betónu majú normálne rozdelenie (Obrázok 1), treba následne povedať, že existuje 50% šanca, že výsledok bude nad TMS (cieľová priemerná pevnosť) a 50% šanca, že výsledok bude pod TMS. V kapitole 2 bolo ukázané, že rezerva = $1,96 \times \sigma$ bude viesť k výskytu 2,5% výsledkov menších ako je charakteristická pevnosť. Niektoré premenné, napr. konzistencia, má obidve - hornú aj dolnú medza (hraničnú hodnotu; hranicu), v takomto prípade je podstatné mať obidve medze, t.j. UWL a aj LWL. Zatiaľ čo pre vyhovie požiadavke na predpísanú charakteristickú pevnosť je vysoká hodnota pevnosti nevýznamná, z hľadiska hospodárnej výroby betónu má svoj význam. Preto v praxi sú používané obidve - horná aj dolná výstražná medza (hranica), dokonca aj pre variabilné hodnoty, ktoré majú jedinou medznú (hraničnú) hodnotu, napr. pre pevnosť betónu. Stanovenie hornej a dolnej výstražnej medze (hranice) hodnotou $1,96 \sigma$ vedie k očakávaniu, že 95% výsledkov padne medzi tieto dve medze (hranice) a 2,5% výsledkov padne do každej „koncevej plochy“ normálneho rozdelenia. Ak sa použije rezerva $3,0 \times \sigma$, je veľmi malá šanca, že výsledok padne mimo tento medzu (hranicu) vzhľadom na prirodzenú variáciu výsledkov (0,3% pre skúšku s použitím oboch koncových plôch). Shewhartov kontrolný diagram môže byť vytvorený za použitia týchto hodnôt:

$$UCL = TMS + 3 \times \sigma$$

$$LCL = TMS - 3 \times \sigma$$

$$UWL = TMS + 2 \times \sigma$$

$$LWL = TMS - 2 \times \sigma$$

Pravdepodobnosť, že jednotlivý výsledok padne mimo medze (hranice) UWL alebo LWL je 4,56%, t.j. 2,28% nad UWL a 2,28% pod LWL (pozri Tabuľku 1 a Tabuľku 2).

Pravdepodobnosť, že dva následné výsledky padnú mimo medze (hranice) UWL alebo LWL je:

$$= 0,0456 \times 0,0456 = 0,002079 \text{ alebo } 0,21\%$$

Obdobne pravdepodobnosť, že dva výsledky sú oba buď nad alebo pod čiarou (t.j. v rovnakom smere) je len 0,05%. Takýto výsledok je veľmi silným dôkazom toho, že sa očakávaný výsledok (výstupná kvalita produkcie) nedosiahol.

4.2 Shewhartove kritéria pre reakciu

4.2.1 Body vyskytujúce sa za UCL alebo LCL

Prítomnosť jedného alebo viacerých bodov, ktoré ležia mimo medzí (hraníc) UCL alebo LCL je prvotným dôkazom, že systém (výrobný proces) je v tomto bude už mimo kontrolu (vymkol sa kontrole). Pretože je len 0,3% šanca, že tento výsledok vznikol vzhľadom na prirodzenú variáciu (výsledkov) je pravdepodobne, že je to špecifická

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

variácia, ktorá vysvetľuje túto extrémnu hodnotu a preto by malo byť vykonané neodkladné prešetrenie príčiny tejto špecifickej variácie.

4.2.2 Body vyskytujúce sa za UWL alebo LWL

Prítomnosť dvoch následných výsledkov alebo viacej ako jedného výsledku zo 40 za výstražnou čiarou je dôkazom, že systém (výrobný proces) je v už mimo kontrolu (vymkol sa kontrole) a malo by byť vykonané prešetrenie údajov (príčina zmeny).

4.2.3 Vzorky sú v rámci kontrolných medzí

Možné je tiež analyzovať údaje, ktoré neprekročili buď kontrolnú alebo varovnú medzu (hranicu) s cieľom vyhodnotiť či trendy sú významné. Priebežné analýzy môžu poskytnúť prvé varovanie, že systém sa dostáva spod kontroly, skôr ako sú zaznamenané hodnoty za kontrolnými medzami.

Boli navrhnuté nižšie uvedené jednoduché pravidlá “odhadu od oka” pre skupiny výsledkov, ktoré sú medzi výstražnými medzami (hranicami) [9]:

1. Sedem alebo viacej následných výsledkov na rovnakej strane cieľovej priemernej pevnosti
2. Najmenej 10 z 11 výsledkov na tej istej strane cieľovej priemernej pevnosti
3. Najmenej 12 zo 14 výsledkov na tej istej strane cieľovej priemernej pevnosti
4. Najmenej 14 zo 17 výsledkov na tej istej strane cieľovej priemernej pevnosti

4.3 Kontrola smerodajnej odchýlky

Kontrolné a výstražné medze (hranice) sú určené smerodajnou odchýlkou procesu; je preto dôležité sledovať smerodajnú odchýlku. Pretože výpočet na stanovenie smerodajnej odchýlky je relatívne komplexný, používa sa alternatívny výpočet uvedený v **Rovnici 2**, ktorý spája smerodajnú odchýlku variačného rozpätia dvojíc výsledkov. Vynes priebežné priemerné variačné rozpätia posledných „n“ vyhovujúcich výsledkov, ak $n \geq 15$ oproti poradovému číslu skúšobných výsledkov. Vyber zmenu smerodajnej odchýlky, ktorá bude mať promptnú reakciu ($\Delta\sigma$) a stanov čiary, kedy má nastat' reakcia pri hodnote:

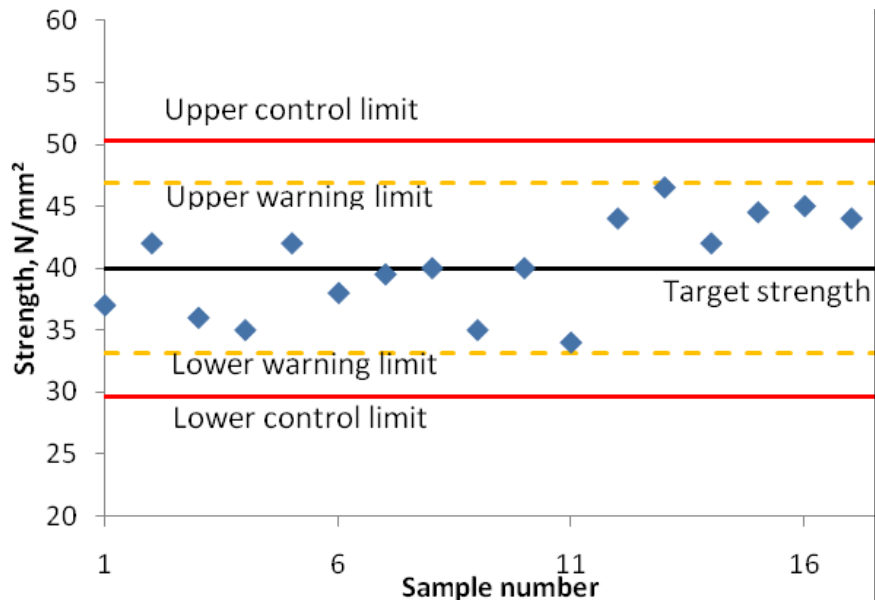
$$1,128 \cdot \text{terajšia smerodajná odchýlka} \pm 1,128 \cdot \Delta\sigma$$

4.4 Príklad Shewhartovho diagramu

Uvažujme znovu s údajmi uvedenými v **Tabuľke 4** a podrobme ich Shewhartovej analýze za použitia pravidiel uvedených v odseku 4.1.3.

Obrázok 5 zobrazuje údaje spolu s použitím medzí (hraníc) UCL, LCL, UWL a LWL. Ihneď je zrejmé, že bod číslo 18 prekročil medzu (hranicu) UWL. Toto však nenarušilo pravidlo definované v odseku 4.1.3 (vyžadujúce dva následné body nad medzou UWL), ale pri tomto bode existuje tiež rad siedmich bodov na tej istej strane cieľovej priemernej pevnosti (pozri odsek 4.2.3). Shewhartov diagram ukazuje, že proces sa vymkol spod kontroly, t.j. že aktuálna priemerná pevnosť je vyššia ako požadovaná priemerná pevnosť.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu



Obrázok 5: Kontrolné úrovne (hladiny) uplatnené pri údajoch (výsledkoch skúšok)

Strength – pevnosť; **Upper control limit** – horná regulačná medza; **Upper warning limit** – horná výstražná medza; **Lower warning limit** – dolná výstražná medza; **Lower control limit** – dolná regulačná medza.

4.5 Modifikované použitie Shewhartovho kontrolného diagramu

S cieľom posúdiť, či úroveň výroby je vyššia ako je predpísaná charakteristická hodnota (pevnosť), môže byť použitá modifikovaná aplikácia Shewhartovho kontrolného diagramu, s použitím špecifických modifikovaných variabilných hodnôt. Toto použitie zahŕňa prekontrolovanie, či priemer „n“ nameraných výsledkov pevností je väčší ako nižšia čiara L_L situovaná v danej vzdialenosti od f_{ck} , s nasledovnými variabilnými hodnotami:

$L_L \geq f_{ck} + (q_n \times s)$, kde:

- q_n závisí na „n“ a na zvolenej hodnote AOQL,
- „s“ je aktualizovaná smerodajná odchýlka príslušnej výroby.

V prípade ak $n \geq 15$ a $q_n \geq 1,48$, Shewhartove kontrolné diagramy splnia požiadavky na AOQL s hodnotou 5%. Toto kritérium splní aj kritéria na preukazovanie zhody na priemernú pevnosť v EN 206-1. Primerané môže byť aj použitie výstražnej čiary pri určitej vyššej hodnote.

Príklad 4

Výrobňa prefabrikátov má zámer použiť systém Shewhartových kontrolných diagramov na preukázanie zhody s kritériom priemernej pevnosti v EN 206-1. Vzhľadom na

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

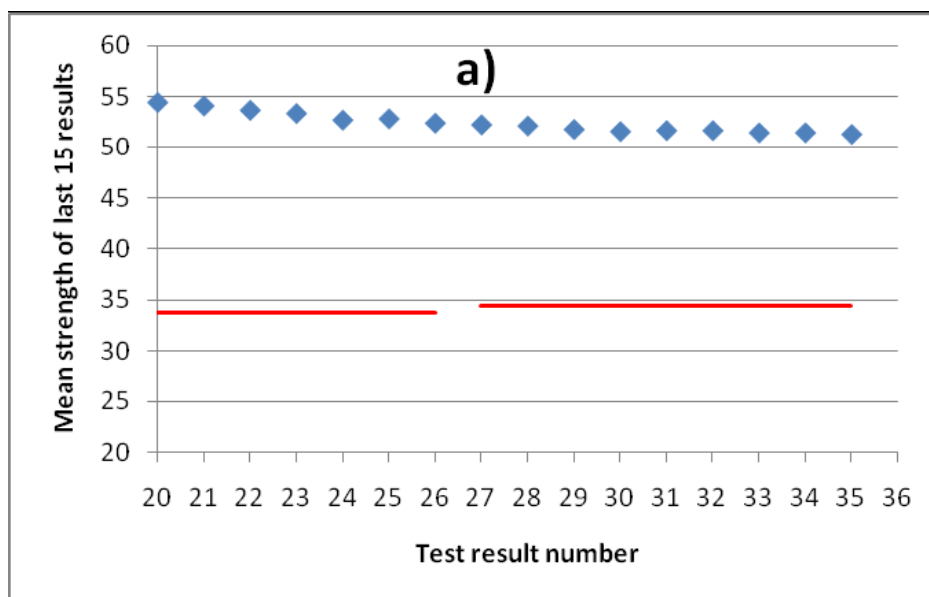
požiadavky výrobného procesu, pevnosti majú tendenciu prekročiť charakteristickú pevnosť za niekoľko dní a preto je optimálne skúšať ich po 7 dňoch na overenie, či predpísaná 28-dňová pevnosť bola už dosiahnutá už po 7 dňoch. Vzhľadom na to, že sa očakáva, že pevnosti v tlaku budú výrazne nad predpísanou pevnosťou, zvolilo sa, že nebudú mať výstražnú medzu (hranicu; čiaru).

Aby sa splnila táto úloha, priebežné priemerné pevnosti posledných „n“ po sebe idúcich výsledkov (kde „n“ je predurčený počet, ktorý je najmenej = 15) sú vynesené do Shewhartovho kontrolného diagramu s jednou medzou (hraničnou) čiarou, ktorá má hodnotu ($f_{ck} + 1,48 s$). Ak priebežná priemerná pevnosť je pod touto čiarou to indikuje, že hodnota AOQL = 5% nebola dosiahnutá. Môže byť pridaná výstražná čiara pri určitej vyššej hodnote ako ($f_{ck} + 1,48 s$).

Predpísaná pevnosť betónu v tlaku je trieda C25/30 a kocky sú používané pre posúdenie výroby a zhody. Súčasná smerodajná odchýlka je $2,5 \text{ N/mm}^2$. Medzná hodnota L_1 je:

$$30 + 1,48 * 2,5 = 33,7 \text{ N/mm}^2$$

Pre kontrolné účely si vybrali namiesto používania neprekrývajúcich sa skupín výsledkov priebežnú priemernú hodnotu najmenej 15 posledných výsledkov. Toto je zobrazené v Obrázku 6a), ktorý ukazuje, že priemerná pevnosť je stále nad hraničnou hodnotou.



Obrázok 6a). Kontrola zhody priemernej pevnosti použitím priebežného priemeru 15 výsledkov

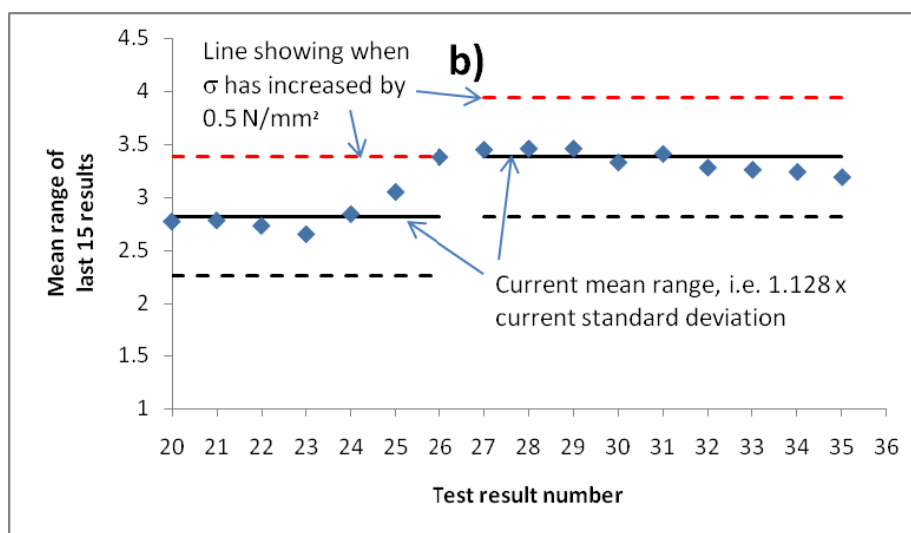
Mean strength of last 15 results - priemerná pevnosť posledných 15 výsledkov; **Test result number** - číslo výsledku skúšky.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Je tiež potrebné skontrolovať, či smerodajná odchýlka vzoriek sa výrazne nezmenila. Avšak článok 8.2.1.3 v EN 206-1:2000 uvádza, že súčasná hodnota je stále použiteľná, ak vypočítaná hodnota založená najmenej na 15 výsledkoch je v rozsahu cca. \pm súčasnej hodnoty/3. Toto nie je veľmi citlivý indikátor zmeny a väčšina výrobcov by považovala zmenu o $0,5 \text{ N/mm}^2$ v smerodajnej odchýlke za významnú zmenu a výrobná prefabrikátov používa túto hodnotu = $0,5 \text{ N/mm}^2$, čo je kontrolované iným modifikovaným Shewhartovým kontrolným diagramom. V tomto diagrame je vodorovná čiara narysovaná ako hodnota súčasného priemerného variačného rozpätia ($1,128 \sigma$) a čiara pre reakciu (vykonanie nápravných opatrení) je narysovaná ako $\pm 1,128 \times 0,5$ z tejto hodnoty.

Znovu sa používa súčasný priemerné variačné rozpätie najmenej 15 posledných po sebe idúcich a prekrywajúcich sa dvojíc výsledkov. Ak priebežná priemerná hodnota prekríži (prekročí) jednu z týchto čiar pre reakciu (vykonanie nápravných opatrení) to značí, že smerodajná odchýlka sa zmenila o $0,5 \text{ N/mm}^2$ a mala by sa použiť jej nová hodnota.

V tomto príklade súčasná smerodajná odchýlka je $2,5 \text{ N/mm}^2$ a to sa rovná priemernému variačné rozpätiu $1,128 \times 2,5 = 2,82 \text{ N/mm}^2$ a hornej a dolnej čiare pre reakciu na hodnotách $3,38 \text{ N/mm}^2$ a $2,26 \text{ N/mm}^2$ ($2,82 \pm 1,128 \times 0,5$). Toto je zobrazené na Obrázku 6b). Pri skúšobnom výsledku číslo 26 priemerné variačné rozpätie križuje hornú čiaru pre reakciu, čo indikuje, že smerodajná odchýlka stúpla o $0,5 \text{ N/mm}^2$. Hraničná hodnota je zvýšená v Obrázku 6a na hodnotu $34,4$ a v Obrázku 6b) nový priemerný variačné rozpätie je stanovený hodnotou $3,38 \text{ N/mm}^2$, s hornou a dolnou čiarou pre reakciu stanovenú na hodnote $3,94 \text{ N/mm}^2$, respektíve $2,82 \text{ N/mm}^2$. Pretože priebežná priemerná hodnota je stále dostatočne pod hraničnou čiarou, dávkovanie betónu nie je pozmenené, t.j. primeranou reakciou neurobiť nič okrem zmeny hodnôt v kontrolných diagramoch.



Obrázok 6b). Kontrola zhody smerodajnej odchýlky použitím priebežného priemeru 15 výsledkov

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Mean range of last 15 results - priemerné variačné rozpätie posledných 15 výsledkov; **Test result number** - číslo výsledku skúšky; **Line showing when σ has increased** - čiara ukazujúca, kedy σ vzrástla o $0,5 \text{ N/mm}^2$; **Current mean range, i.e. 1,128 x current standard deviation** - súčasne priemerné variačné rozpätie, t.j. $1,128 \times$ súčasná smerodajná odchýlka.

5 CUSUM

5.1 Úvod

Kontrolné systémy CUSUM, čo je skratka z anglického označenia pre “cumulative sum” (kumulatívny súčet) boli vyvinuté v päťdesiatych rokoch minulého storočia, spočiatku pre kontrolu kvality nepretržitých výrobných procesov. Našli široké uplatnenie v priemysle betónu. V “CUSUM” diagramoch, stredová čiara nereprezentuje konštantnú priemernú hodnotu, ale je to čiara hodnôt nula (čiara nulových hodnôt) pre hodnotenie trendov výsledkov. Vo výrobe betónu sa používajú tri druhy CUSUM:

- CUSUM M, pre kontrolu priemernej pevnosti;
- CUSUM R (variačné rozpätie), pre kontrolu smerodajnej odchýlky;
- CUSUM C, pre kontrolu korelácie.

“CUSUM” metóda je podrobnejšie popísaná v BS 5703 [9] a v časopise Concrete Society Digest No. 6 [10] a v ISO/TR 7871 [11], zahrňuje odčítavanie hodnoty výsledku skúšky od cieľovej hodnoty a následné vytvorenie aktuálneho priebežného súčtu rozdielov (CUSUM). Ak daný proces je pod kontrolou, body na “CUSUM” diagrame sú rozložené náhodne (kladné alebo záporné rozdiely sa navzájom rušia), a dávajú kumulatívny súčet, ktorý je blízko k nule, ale ak sa proces vymkne spod kontroly, bude to z “CUSUM” diagramu rýchlo zreteľné, jeho vynesené body budú smerovať k medzi (hranici) UCL alebo LCL.

BS5700 [12] popisuje nasledovné výhody systému “CUSUM”:

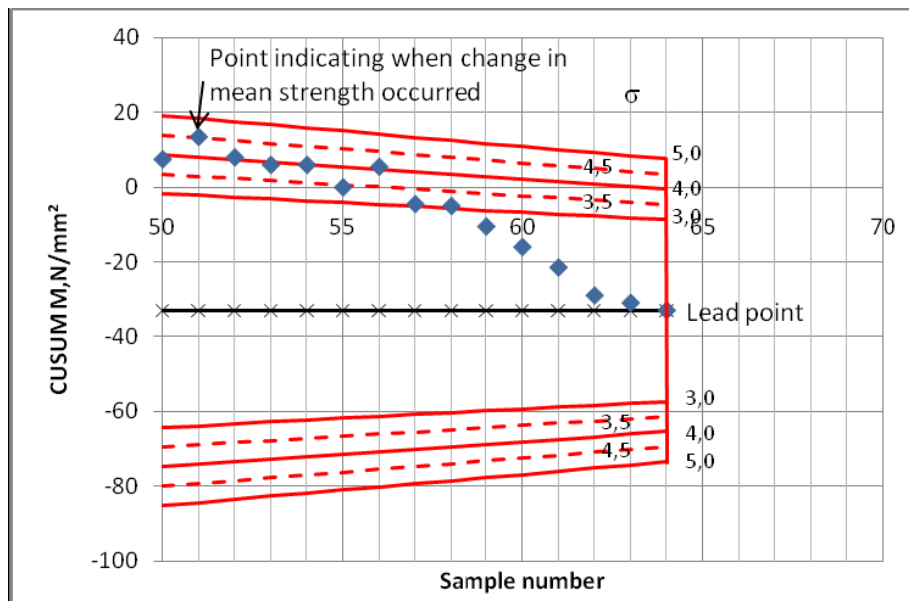
- a) pre danú veľkosť vzorky dáva výraznejší obraz o ľubovoľných zmenách;
- b) používa údaje efektívnejšie a preto vytvára úspory nákladov;
- c) dáva jasný obraz o mieste a veľkosti zmeny.

Zistilo sa, že CUSUM diagramy sú citlivejšie na zistenie malých posunutí v priemernej hodnote určitej vlastnosti procesu ako je to pri Shewhartových diagramoch, zatiaľ čo Shewhartove diagramy sú výborne na zistenie veľkých posunov [13] (v priemernej hodnote určitej vlastnosti procesu). Ak “CUSUM” dosiahne hodnoty UCL alebo LCL, je možné použiť diagram na stanovenie bodu, v ktorom sa proces vymkol spod kontroly a na stanovenie rozsahu korekcie, aká sa vyžaduje pre nápravu.

V minulosti “CUSUM” kontrolné diagramy sa vynášali ručne a na stanovenie faktu, či trend vo vnesenom diagrame bol alebo nebol významný, sa položila na diagram s riadiacim bodom umiestneným na najnovší výsledok (nie na stredovú čiaru),

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

priesvitná maska v tvare zrezaného (odseknutého) „V“ (tzv. „V-maská“). Prekrývajúca transparentná V-maská v Obrázku 7 je označená červenou farbou. Každá čiara (rameno) má vyznačenú svoju smerodajnú odchýlku a v tomto príklade sú vynesené hodnoty smerodajnej odchýlky od $3,0 \text{ N/mm}^2$ a to vždy postupne rastúce o $0,5 \text{ N/mm}^2$ až po hodnotu $5,0 \text{ N/mm}^2$. Tieto čiary (ramená) nemajú obmedzenie čo do ich dĺžky. „Ramená“ V-masky reprezentujú hornú a dolnú kontrolnú medzu (hranicu). Ak diagram prekríži buď horné alebo dolné rameno V-masky predpokladalo sa, že sa objavila významná zmena - pozri Obrázok 7. Dnes počítačové systémy prevzali na seba analýzu „CUSUM“ diagramov, ale koncepcia sa dá ľahšie pochopiť, ak sa použije vizuálna metóda s priesvitnou maskou vo tvare V.



Obrázok 7. Zobrazenie „V-masky“ umiestnenej ponad riadiaci bod na zistenie zmeny (súčasná smerodajná odchýlka je $4,5 \text{ N/mm}^2$)

Sample number - číslo vzorky; **Point indicating when change in mean strength occurred** - bod naznačujúci, kedy sa objavila zmena v priemernej pevnosti; **Lead point** - riadiaci bod.

Uvažujme údaje pre pevnosť v tlaku uvedené v Tabuľke 4 pre výrobu pracujúcu so smerodajnou odchýlkou $3,5 \text{ N/mm}^2$ a s cieľovou hodnotou priemernej pevnosti 40 N/mm^2 . Je možné vypočítať „CUSUM“, ktorý je uvedený v Tabuľke 5.

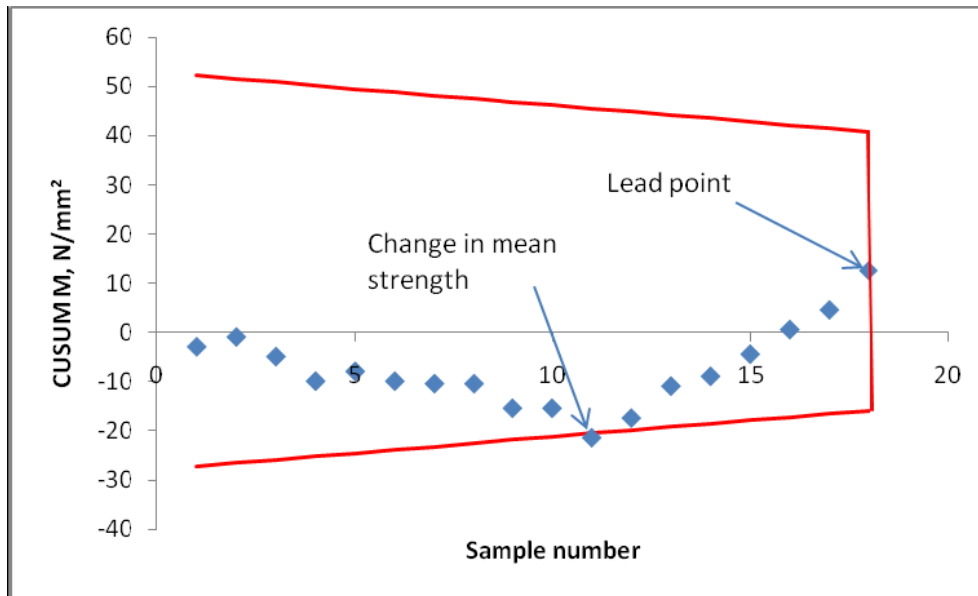
Na Obrázku 8 je zobrazený „CUSUM“ diagram a sú tam vyznačené aj medze (hranice) UCL a LCL. Ak sa položí „V-maská“ na riadiaci bod - najnovší výsledok skúšok (bod 18), „CUSUM“ prekríži medzu (hranicu) LCL v bode 11, čo poukazuje nato, že zmena vo výrobnom procese sa objavila v tomto bode. Zatiaľ čo Shewhartova analýza údajov (pozri odsek 4.4) tiež ukazuje, že zmena nastala pri bode 18, „CUSUM“ diagram dáva jasný vizuálny obraz o trende a ukazuje, že zmena nastala od bodu 11.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Tabuľka 5: "CUSUM" údaje

Výsledok	28-dňová pevnosť (N/mm ²)	Rozdiel od cieľovej pevnosti 40N/mm ² (N/mm ²)	CUSUM (N/mm ²)
1	37	-3	-3
2	42	2	-1
3	36	-4	-5
4	35	-5	-10
5	42	2	-8
6	38	-2	-10
7	39.5	-0.5	-10.5
8	40	0	-10.5
9	35	-5	-15.5
10	40	0	-15.5
11	34	-6	-21.5
12	44	4	-17.5
13	46.5	6.5	-11
14	42	2	-9
15	44.5	4.5	-4.5
16	45	5	0.5
17	44	4	4.5
18	48	8	12.5

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu



Obrázok 8: Príklad “CUSUM” diagramu pre údaje z **Error! Reference source not found.**

Change in mean strength - zmena priemernej pevnosti; **Lead point** - riadiaci bod;
Sample number - číslo vzorky

5.2 Kontrola priemernej pevnosti

Pevnosť betónu v tlaku je najjednoduchší parameter pre sledovanie. Výsledok skúšky je porovnaný s cieľovou priemernou hodnotou založenou na charakteristickej pevnosti + rozpätie výsledkov (pozri **Rovnicu 1**).

Systémy “CUSUM” kontrolujúce pevnosť v tlaku sú obecné založené na súbore betónov a všetky skúšobné výsledky sú premenené na ekvivalentnú hodnotu vybranej pevnostnej triedy betónu, napr. C32/40. Analýzy sú obvyčajne založené na výsledkoch skúšok pevnosti betónu v rannom veku (pozri odsek 7.1), napr. pevnosť po siedmich dňoch, pretože riziko čakania do 28 dní na zistenie, že proces sa vymkol spod kontroly je neakceptovateľné. Predpokladaná 28-dňová pevnosť je vypočítaná zo skúšok pevnosti betónu v rannom veku (pozri odsek 7.1) a táto hodnota je používaná v “CUSUM” kontrolnom systéme pokiaľ nie je dostupná skutočná 28-dňová pevnosť. Niektoré systémy potom nahradzujú predpokladanú 28-dňovú pevnosť nameranou 28-dňovou pevnosťou a znovu prepočítavajú „CUSUM“, zatiaľ čo iné systémy pokračujú v používaní predpokladanej 28-dňovej pevnosti. Súčasným trendom je nahradiť predpokladanú pevnosť skutočne nameranou 28-dňovou pevnosťou, pretože od roku 2000 sa tieto údaje používajú na preukazovanie zhody a preukazovanie zhody je založené na nameranej 28-dňovej pevnosti.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Pracovný príklad použitia "CUSUM" systému pri kontrole cieľovej priemernej pevnosti (CUSUM M) za použitia princípu "súboru betónov" je detailnejšie uvedený v kapitole 11.

5.3 Kontrola smerodajnej odchýlky

Systém "CUSUM" môže byť použitý na monitorovanie smerodajnej odchýlky za použitia vzťahu medzi variačným rozpätím vyhovujúcich dvojíc výsledkov uvedených v Rovnici 2.

Očakávané variačné rozpätie (súčasná smerodajná odchýlka $\times 1,128$) dvojíc výsledkov je sledovaná a porovnávaná so skutočným variačným rozpätím a vypočítava sa hodnota "CUSUM" rozdielov. Výsledky sú vynesené do diagramu a sledované za použitia "V-masky" alebo výpočtového modulu.

Treba poznamenať, že variačné rozpätie nemá normálne rozloženie variabilných hodnôt, pretože ak sa použije "V-masky", bude potrebná dlhšia doba sledovania na zistenie poklesu smerodajnej odchýlky. Avšak tento konzervatívny prístup - použitie symetrickej masky - sa pre zjednodušenie prijíma v mnohých systémoch.

Ak sa zistí významná zmena, smerodajná odchýlka je upravená a výsledky upravujú aj novú hodnotu cieľovej priemernej pevnosti - vyššiu, ak smerodajná odchýlka vzrástla, nižšiu, ak sa smerodajná odchýlka zmenšila. Výsledky tesne pred zmenou cieľovej pevnosti by mali byť tiež upravené s ohľadom na novú cieľovú priemernú pevnosť pre výpočet variačného rozpätia dvojíc, ináč sa vnesie do údajov dodatočný variačný prvok.

Príklad použitia systému "CUSUM" na kontrolu smerodajnej odchýlky ("CUSUM R") je zobrazený v kapitole 11.

5.4 Kontrola korelácie

Kontrolné systémy pre betón sú obecné založené na pevnosti betónu v rannom veku, vzhľadom na to, že dôsledky čakania na 28-dňovú pevnosť vedú k neakceptovateľnej úrovni rizika. Výsledky 7-dňovej pevnosti v tlaku sa bežne používajú v kontrolnom systéme a 28-dňové pevnosti sa predpovedajú za použitia odhadnutého vzťahu - korelácie (vzťahu medzi 7-dňovou a 28-dňovou pevnosťou). Za účelom potvrdenia, že korelačný koeficient je správny sa môže použiť systém "CUSUM C", ktorý je založený na rozdieloch medzi skutočnou a predpovedanou 28-dňovou pevnosťou. Ak je výsledok "CUSUM C" pozitívny, systém podhodnocuje 28-dňovú pevnosť a ak je negatívny nadhodnocuje 28-dňovú pevnosť.

Ak je zistený významný trend, stanoví sa nový korelačný vzťah. Systém "CUSUM M" pre priemernú pevnosť, ktorý používa predpokladanú pevnosť, následne bude potrebné prepočítať, pretože systém v skutočnosti podhodnocoval alebo nadhodnocoval (hodnoty) počas určitej doby a môže byť významne vybočený (mať odklon od správnej hodnoty). Diagram rozdielov (dvojíc) je potrebné znovu stanoviť,

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

pretože zmena korelácie bude ovplyvňovať všetky výsledky rovnako (s výnimkou variačného rozpätia okolo bodu, kde nastala zmena korelácie).

Vzťah medzi 7 a 28-dňovou pevnosťou je ovplyvnený druhom cementu a jeho zdrojom, napr. pevnosť získaná medzi 7 a 28 dňami u betónu vyrobeného z CEM I bude menšia, ako u ekvivalentného betónu² vyrobeného z cementu CEM III/B. Betóny s rôznymi druhmi cementu by preto mali byť kontrolované buď osobitnými kontrolnými systémami alebo rozdiel v korelačnom vzťahu medzi rôznymi druhmi cementov sa zohľadní v korekciách, ktoré sa uplatňujú v súbore betónov [14]. Rôzne zdroje toho istého druhu a triedy cementu môžu mať rôzne pomery medzi 7 a 28-dňovou pevnosťou a tak ak sa zdroj cementu zmenil, platnosť doterajšieho vzťahu medzi 7 a 28-dňovou pevnosťou musí byť prekontrolovaná.

Dôležité je tiež povedať, že výpočet korelácie ako jednoduchej priamky alebo jednoduché prídanie určitého percenta nemusí byť presné pri hraničných hodnotách návrhu čerstvého betónu. Je to preto, že betónové zmesi majú určité hraničné (medzné) pevnosti, ktoré môžu byť z dôvodu straty príľnavosti kameniva, zlyhávaním samotných častíc kameniva v betóne, ak sa zvyšuje objem cementu. Tiež z dôvodu, že ak sa zvýši objem cementu, úmerne sa zvýši aj pórovitosť, t.j. vzťah $(v + \text{vzduch})/c$ zostáva konštantný. Preto u tejto hraničnej pevnosti zvýšenie objemu cementu v betónovej zmesi alebo použitie prísad za účelom zníženia hodnoty vodného súčiniteľa (v/c) bude mať malý účinok na pevnosť v tlaku. Ak sa 28-dňová pevnosť približuje k hodnote hraničnej (medznej) pevnosti, vzťah medzi 7 a 28-dňovou pevnosťou sa zmení. Je jasné, že ak sa 28-dňová pevnosť priblíži k hraničnej (medznej) pevnosti, bude znížený nárast pevnosti medzi 7. a 28. dňom. Obdobne pri nízkych pevnostiach, výsledky budú mať tendenciu bližieť sa smerom k nule.

Počiatočná korelácia môže byť stanovená rôznymi cestami vrátane:

- počiatočných pokusných zmesí s použitím rôznych dávok cementu;
- historických údajov.

Ak je už počiatočná korelácia stanovená, potrebuje byť rutinné sledovaná, za účelom kontroly - či je stále platná. Toto je zmyslom použitia systému „CUSUM C“. Príklad použitia systému „CUSUM“ pre výpočet korelácie („CUSUM C“) je ukázaný v kapitole 11. U metódy „CUSUM“ na výpočet korelácie je potrebné menšie množstvo údajov v porovnaní s „CUSUM“ pre výpočet priemeru a smerodajnej odchýlky, pretože je k dispozícii pauza 21 dní medzi termínom, kedy máme k dispozícii 7-dňové výsledky a termínom kedy sú dostupné 28-dňové výsledky skúšok pevnosti.

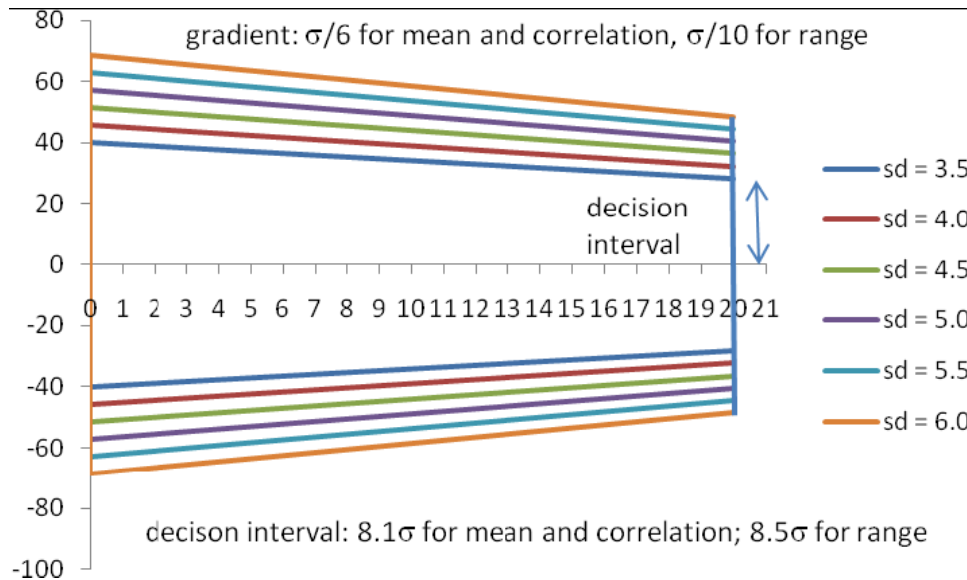
V príklade sa použili skutočné 28-dňové výsledky (ak sú tieto dostupné), namiesto len predpovedaných 28-dňových údajov. Niektoré systémy používajú len predpovedané údaje. Avšak všetky metódy „CUSUM“ prepočítavajú predpovedané údaje, ak „CUSUM“ ukazuje, že nastala zmena v korelácii.

² Betón navrhnutý tak, aby dával rovnakú 28-dňovú pevnosť

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

5.5 Návrh „V-masky“

Návrh „V-masky“ (t.j. príslušné sklony a rozhodovacie intervaly) je založený na štatistických pravdepodobnostiach a je spojený so smerodajnou odchýlkou vo výrobni, tak ako je to zobrazené na Obrázku 9 pre typický „CUSUM“ systém.



Obrázok 9: Návrh „V-masky“

gradient - gradient (sklon); **for mean and correlation** - pre priemer a koreláciu;
decision interval - rozhodovací interval; **for range** - pre variačné rozpätie.

Veľký počet výrobcov betónu si zvolil vo svojich „CUSUM“ systémoch na sledovanie „prístup zdvojeného rozhodovania“ použitý v Shewhartových diagramoch, menovite výstražnú čiaru a kontrolnú medzu na reakciu, ak je výstražná čiara prekročená. V takom prípade výstražné čiary sú paralelné k osi „x“ a sú vyvážené rovnakým rozhodovacím intervalom, aký je použitý v tradičnej „V-maske“. Takýto prístup vyúsťuje v rýchlejšie prijatej reakcii, ako je to pri použití tradičnej „V-masky“. Pretože reakcia je prijatá, keď je výstražná čiara prekročená, kontrolná medza (hranica) nemá praktický zmysel a zvyčajne sa vynecháva.

5.6 Aktivity nasledujúce zmenu

Ak „CUSUM“ ukazuje, že cieľová priemerná pevnosť alebo predpokladaná smerodajná odchýlka nebola dosiahnutá, bude vykonaná úprava vo výrobe betónu. Často, ale nie vždy toto vyžaduje zmenu v objeme dávkovaného cementu alebo zmenu v/c súčiniteľa.

Veľkosť vyžadovanej zmeny, kedy „CUSUM M“ indikuje potrebu reakcie, je účinne stanovená počtom výsledkov, počas ktorých sa proces dostal mimo kontrolu. Niekoľko bodov by dalo strmý gradient a reprezentuje veľkú zmenu (prudký nárast sklonu),

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

zatiaľ čo obrátene, veľa bodov by indikovalo postupnú zmenu a plochý gradient (mierny nárast).

Zmena objemu (dávkovania) cementu môže byť vypočítaná za použitia parabolickej rovnice:

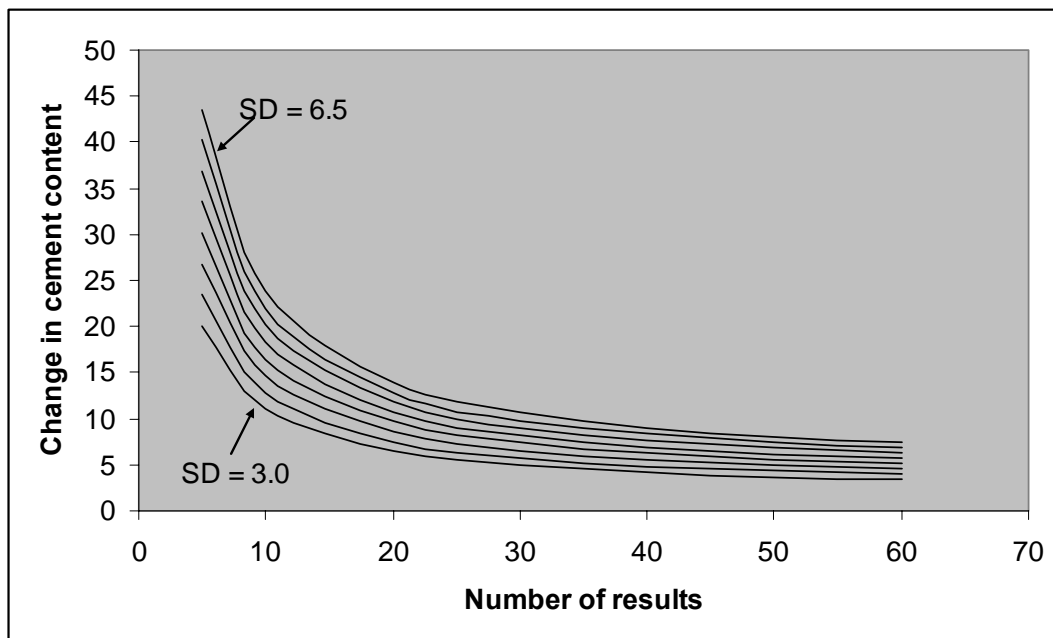
$$dc = 0,75 \times C_{mra} \times [(DI/n) + G] \quad \text{Rovnica 3}$$

Kde:

- dc = zmena objemu (dávkovania) cementu v kg/m^3
- 0,75 je stabilizačný súčiniteľ na zabránenie cyklických a voľne sa objavujúcich zmien, t.j. minimalizuje riziko preupravovania a uplatňuje druhú úpravu v opačnom smere
- C_{mra} je vzťah medzi pevnosťou a objemom (dávkaním) cementu zo základného vzťahu (obyčajne sa uvažuje s pridaním 5-6 kg cementu/m^3 , aby nastal nárast pevnosti o 1 N/mm^2)
- DI - je rozhodovací interval vo "V-maske" - (pozri Obrázok 9)
- G - je gradient (sklon) "V-masky" (pozri Obrázok 9)

Obidva výrazy „ DI “ a „ G “ sú funkciou smerodajnej odchýlky a sú v jednotkách N/mm^2 .

Táto závislosť je graficky znázornená na Obrázku 10 pre zmenu "CUSUM M": čím je menší počet výsledkov, tým je väčšia požadovaná zmena v objemu (dávkaní) cementu.



Obrázok 10: Činnosť nasledujúca po zmene priemeru pre rôzne smerodajné odchýlky a dĺžky sledovaného obdobia

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Change in cement content - zmena objemu (dávkovania) cementu; **Number of results** - počet výsledkov; **SD** - smerodajná odchýlka.

Zmena smerodajnej odchýlky vyústi v prijatej novej cieľovej priemernej pevnosti a preto zodpovedajúci nárast alebo pokles objemu cementu v kontrolnej zmesi a všetkých ostatných zmesiach v súbore betónov.

Informácia zo systému „CUSUM“, že sa objavila zmena, je len časťou informácie dostupnej u výrobcu betónu. Cieľom výrobcu je identifikovať príčinu zmeny a prijať príslušné opatrenie (vykonať reakciu) vo všetkých výrobných, ktorých sa to týka. Ak napríklad sa zistí, že zmena nastala kvôli zmene zložky (základného materiálu) betónu „A“, mal by byť prekontrolovaný systém „CUSUM“ vo všetkých výrobných, ktoré používajú zložku betónu „A“, aby sa zistilo, či vykazujú rovnaký trend. A bolo by rozumné prijať opatrenia, aj keď systémy „CUSUM“ v jednej alebo viacerých výrobných ešte neindikovali zmenu dostatočnú na prekríženie (prekročenie) kontrolnej alebo výstražnej čiary.

Zmena objemu cementu alebo v/c súčiniteľa sa nevyžaduje vždy. Napríklad ak je známa príčina zmeny a bola už korigovaná, prispôbenie betónovej zmesi sa nemusí vyžadovať. Typickým príkladom toho je situácia, keď sa vie, že pevnosť sa znížila, ale potom sa vrátila opäť do vyhovujúcich výsledkov.

6 Viacnásobná a viacstupňová analýza

Viacstupňový, viacnásobný systém „CUSUM“ bol vyvinutý pánom Ken W. Day [15] ako ďalší vývoj jedno variabilného systému „CUSUM“, ktorý bol diskutovaný v kapitole 5.

6.1 Viacnásobný

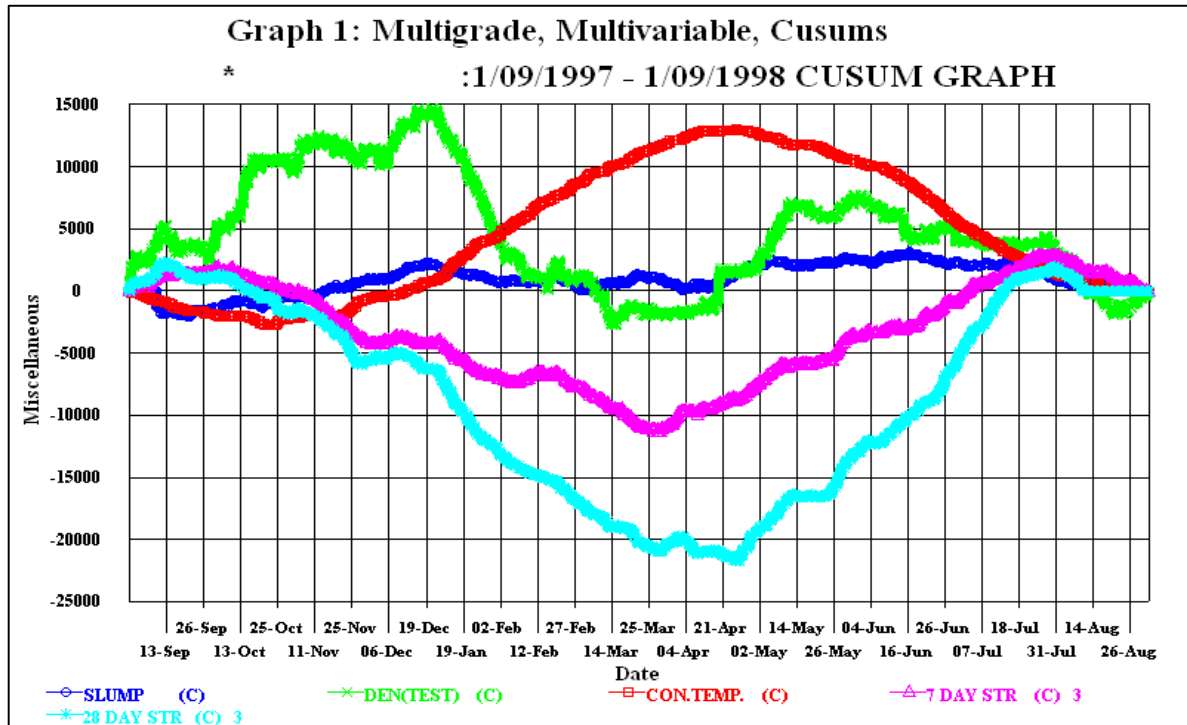
Mnoho variabilné systémy „CUSUM“ sledujú nielen jednoduchú vlastnosť betónu, napr. pevnosť v tlaku, ale namiesto toho súčasne sledujú väčší počet vlastností, napríklad „Day´s CoNAD“ systém vynáša (kreslí do grafu):

- pevnosť v tlaku;
- objemovú hmotnosť;
- teplotu;
- sadnutie kužela.

Takto je možné včas reagovať, skôr ako body dosiahnu hodnoty medzi (hraníc) UCL alebo LCL, pretože klesajúci trend v pevnosti tlaku môže byť sprevádzaný zmenou smerom nadol aj u objemovej hmotnosti a buď (jedným alebo obidvomi) obratom smerom nahor v sadnutí kužela alebo teploty. Ak sa takáto schéma objaví po dvoch alebo troch výsledkoch, naznačuje to opravdivú zmenu a pravdepodobnú príčinu tejto zmeny (pridanie vody). Informácie o teplote, sadnutí kužela a objemovej hmotnosti sú dostupné hneď a preto môžu byť trendy odhalené skôr, ako sú dostupné výsledky

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

7-dňovej pevnosti. Pre ilustráciu je ukážka diagramu s viacnásobným systémom zobrazená na Obrázku 11.



Obrázok 2: Diagram pre mnoho variabilný systém

Graph – graf; **Multigrade, Multivariable Cusum** – viacstupňový, viacnásobný “Cusum”; **Miscellaneous** – rôzne; **Date** – dátum; **SLUMP** – sadnutie kužeľa; **DEN(TEST)** – objemová hmotnosť (skúška); **CON.TEMP.** – teplota betónu; **7 DAY STR** – 7-dňová pevnosť; **28 DAY STR** – 28-dňová pevnosť.

6.2 Viacstupňový

Viacstupňové systémy “CUSUM” sú navrhnuté pre začlenenie betónov rôznych pevnostných tried do toho istého “CUSUM” systému. Jeden prístup je založený na použití koncepcie “súboru zmesí”, ktorý bol diskutovaný v odseku 5.1. Avšak pán K.W.Day argumentuje tým, že je možné spočítať rozdiely od súčasnej hodnoty priemeru každej variabilnej veličiny (premennej) v každej individuálnej triede pevnosti betónu, ako by boli všetky z rovnakej priemernej hodnoty. Týmto spôsobom je možné výsledky zo zmesí s vysokou a nízkou pevnosťou a dokonca aj zmesí betónov vyrobených s použitím ľahkého kameniva, zlúčiť do jedného “CUSUM” [16].

Pán K.W.Day [17] argumentuje, že prednosti tejto techniky sú nasledovné:

1. V postate nie je žiadna medza pre variačné rozpätie jednotlivých zmesí, s ktorým sa môže zaobchádzať ako s jedným súborom.
2. Nie sú žiadne požiadavky na upravovanie rovníc.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

3. Nie sú žiadne požiadavky pre kontrolu, že jednotlivé zmesi (betónu) zostávajú ako použiteľný súbor členov (s výnimkou, kde sa zistí bod zmeny).
4. Ako dôsledok vyššie uvedeného, zistenie bodu zmeny je oveľa rýchlejšie a viacnásobné (mnoho variabilné) systémy "CUSUM" sa stávajú účinnejšími v procese zistenia príčiny (zmeny).

Môže byť vyneseny (nakreslený) celkový "CUSUM", ktorý zahrňuje všetky výsledky. Dodatočne môžu byť analyzované údaje pre individuálne pevnostné triedy betónu, za účelom stanovenia, či účinky sú po celom pevnostnom rozsahu zmesí alebo sa koncentrujú v určitých triedach pevnosti betónu v tlaku.

Súčasný trend je držať všetky informácie v počítači a pýtať sa, či trend rozdielov medzi výrobnou praxou používania „CUSUM“ a viacnásobnou (mnoho variabilnou) a viacstupňovou analýzou je menší ako sa zdá. V oboch systémoch, kľúčovou záležitosťou je, či operátor rozumie informácii prinášanej kontrolným systémom, vie preskúmať údaje s cieľom určiť príčinu (zmeny) a príslušne reagovať (prijať opatrenie).

7 Zrýchlenie reakcie systému

7.1 Skúšanie betónu v rannom veku

Použitím údajov o pevnosti betónu v rannom veku na predpoveď 28-dňovej pevnosti bude rýchlejšie zistený nepriaznivý trend. Ak sa používajú 7-dňové pevnosti, nepriaznivý trend bude zistený o 3 týždne skôr, ako keby sme čakali na údaje o 28-dňovej pevnosti.

Obecne sú kontrolné systémy pre priemernú pevnosť založené na 7-dňových pevnostiach, pretože riziko čakania na výsledky 28-dňových skúšok je neakceptovateľné pre oboch: zákazníka aj výrobcu. Avšak pri určitých prefabrikovaných prvkoch požiadavky na ich výrobu vedú k tomu, že pevnosti prekročia predpísanú charakteristickú pevnosť behom niekoľkých dní a v takomto prípade, skúšanie sa môže uskutočniť v jednotnom veku, ktorý je však kratší ako 28 dní a (výrobný) proces sa kontroluje za použitia Shewhartových diagramov. V takomto prípade nie je potrebné predpovedať 28-dňovú pevnosť, pretože táto už prekračuje predpísanú pevnosť a sofistika „CUSUM“ systému je nepotrebnou komplikáciou.

Systémy využívajúce urýchlené skúšky (pevnosti betónu) majú len ohraničenú úspešnosť [6]. Tieto systémy obecne znamenajú ohrev vzoriek betónu, ale pri tomto procese prinášajú väčšiu variabilitu výsledkov v porovnaní s tým, aká variabilita sa vyskytuje u vzoriek ošetrovaných bežným spôsobom počas 7 dní.

Skúška bežným spôsobom ošetrovaných vzoriek po 3 dňoch môže priniesť väčšiu variabilitu (výsledkov) v porovnaní so skúšaním vzoriek po 7 dňoch. Je to preto, že po 3 dňoch počiatočná teplota betónu, ktorá je kontrolovaná za danej teploty okolia, má

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

väčší dopad na 3-dňovú pevnosť v porovnaní so 7-dňovou pevnosťou. V klimatických podmienkach porovnateľných s klimatickými podmienkami Veľkej Británie je pravdepodobné, že pomer 7-dňovej a 28-dňovej pevnosti bude viacej stabilný ako pomer 3-dňovej a 28-dňovej pevnosti a preto je lepšou voľbou pre kontrolný systém. Komplikácie moderných betónov, napr. použitie prímiesí, prísad je lepšie prepracované pre vzťah 7-dňovej a 28-dňovej pevnosti.

Pomer medzi skúšobnými údajmi o pevnosti betónu v mladom veku a 28-dňovými skúšobnými údajmi pre rovnakú zmes betónu je tiež sledovaný systémom „CUSUM“, za účelom zistenia ľubovoľnej zmeny tohto vzťahu (pomeru). Je to systém „CUSUM C“ popísaný v odseku 5.4. Avšak ak je použitý jeden z iných kontrolných systémov s údajmi o pevnosti betónu v mladom veku je potrebné kontinuálne kontrolovať, či sa nezmenil korelačný vzťah. Toto sa môže urobiť na kontinuálnom (priebežnom) základe, povedzme na 10 posledných výsledkoch alebo periodicky, povedzme ma každom piatom výsledku.

Prístup za použitia viacnásobného (mnoho variabilného) systému „CUSUM“, ktorý využíva údaje o teplote, objemovej hmotnosti a sadnutí kužeľa (diskutované v kapitole 6) tvrdí, že dovoľuje rýchlejšiu interpretáciu údajov, t.j. rýchlejšie zistenie zmeny v kvalite, ako je to možné pri použití jedno variabilného systému „CUSUM“.

Zatiaľ čo predpoveď 28-dňovej pevnosti sa používa na zistenie, či je potrebná reakcia, aby sa proces držal pod kontrolou, každé preukázanie zhody je založené na údajoch o 28-dňovej pevnosti a nie na údajoch predpovedanej pevnosti.

7.2 Konceptia súboru zmesí

Zmeny vo vlastnostiach betónu sú obyčajne výsledkom postupnej zmeny vo vstupných materiáloch (zložkách na výrobu betónu), napr. zmeny medzi jednotlivými dodávkami. Takáto zmena ovplyvní všetky betóny vyrobené z tohto materiálu. Zmena vo fungovaní výroby ovplyvní všetky betóny vyrobené v tejto výrobni. Zistiť nepriaznivú zmenu v kvalite vyžaduje určitý počet údajov, aby skutočná zmena bola odlišená od bežnej variability. Osobitné kontrolovanie každého betónu predĺži dobu na zistenie nepriaznivej zmeny. Prístup za použitia súboru betónov umožní, aby viacej skúšobných výsledkov bolo zahrnutých do tohto systému. Toto skráti čas potrebný na zistenie významnej zmeny. Napríklad v Obrázku 5 Shewhartova analýza údajov z Tabuľky 4 ukazuje, že 7 výsledkov je nad cieľovou hodnotou a toto indikuje významný trend. Aby sa tento trend jasne identifikoval je potrebné, aby bolo do systému zahrnutých 7 výsledkov. Ak každá trieda pevnosti betónu v tlaku bola monitorovaná osobitne, je možné, že týchto 7 výsledkov by mohlo byť v 7 rôznych triedach pevnosti betónu v tlaku a preto každý kontrolný systém by mal len jeden výsledok v svojej triede pevnosti a nebolo by možné zistiť žiaden trend.

Je jasné, že nie všetky betóny vyrábané vo výrobni transportbetónu sú rovnakej triedy pevnosti betónu v tlaku; v skutočnosti môže byť vyrábaná veľká variácia zmesí (druhov betónov). Betóny môžu byť vyrábané v rôznych triedach pevnosti betónu v tlaku,

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

s rôznymi konzistenciami; s a bez rozmanitých prísad alebo ich vzájomnou kombináciou; s rôznou veľkosťou kameniva druhom a podielom jemných častíc kameniva; s rôznym minimálnym objemom cementu a s predpísaním maximálneho vodného súčiniteľa; s alebo bez vlákien; s rôznymi cementmi a prímiesami, atď. Variačné rozpätie zmesí (druhov betónu) vyrábaných vo výrobní prefabrikátov bude významne menšie. Dokonca aj keď sa skúšajú len dva druhy betónu s rovnakou početnosťou (frekvenciou), spojenie týchto údajov (výsledkov skúšok) do súboru betónov, skrúti na polovicu dobu potrebnú na zistenie nepriaznivej zmeny.

Každá zmes (druh betónu) môže byť kontrolovaná individuálne (zvlášť vo výrobe prefabrikátov) alebo predpísanou triedou pevnosti v tlaku. Alternatívne EN 206 dovoľuje aby podobné betóny boli zoskupené do súboru³ betónov a kontrolný systém potom môže byť aplikovaný pre celý súbor.

Norma EN 206-1 v Prílohe K odporúča, že tam kde je malá skúsenosť s používaním súborov betónu do súboru môže byť zahrnuté nižšie uvedené:

- cement jedného druhu, tej istej pevnostnej triedy a z toho istého zdroja;
- dokázateľne rovnaké kamenivo a druh prímies typu I.;
- betóny s alebo bez množstvo vody znižujúcich/plastifikačných prísad;
- celé variačné rozpätie stupňov konzistencie;
- betóny s obmedzeným variačné rozpätím pevnostných tried.

Platné korekčné súčinitele sú stanovené pre tie variabilné hodnoty a pre rôznych členov súboru betónov, aby boli výsledky porovnateľné a aby sa umožnilo ich použitie v jedno variantnom kontrolnom systéme „CUSUM“.

Štartovacím bodom pre každý súbor betónov je výber konzistencie, maximálneho zrna kameniva a stanovenie základných zložiek betónu. Pre tento výber sa stanoví vzťah medzi pevnosťou betónu a objemom (dávkou) cementu (alebo v/c súčiniteľom) a toto sa nazýva hlavný vzťah⁴. Hlavný vzťah je obyčajne stanovený sériou skúšobných pokusných zmesí, v ktorých sa mení objem cementu, počítačovým modelovaním + obmedzený počet skúšobných zmesí, alebo môže byť stanovený analýzou starších skúšobných výsledkov zo skutočnej výroby. Aby sa z tohto vzťahu dosiahla ľubovoľná cieľová pevnosť je potrebné použiť interpoláciu pre tento súbor materiálov, konzistencie a maximálneho zrna kameniva. Jednoduché číselné prispôsobenie k použitému cementu a jemnému kamenivu (nazývané sekundárny vzťah) sa robí za účelom prepočítania betónov pokrytých hlavným vzťahom na ostatné betóny v súbore betónov alebo naopak. Referenčný betón, ku ktorému sú prepočítavané všetky ostatné betóny je súčasťou (leží na) hlavného vzťahu.

³ Definované v EN 206-1 ako „skupina betónov, ktorých zloženie je také, že pre tieto betóny je stanovený a dokumentovaný spoľahlivý vzťah medzi príslušnými vlastnosťami“

⁴ Definovaný podľa pravidiel QSRMC ako „Vzťah stanovený medzi objemom (dávkou) cementu a pevnosťou. Bežne to bude vzťah vzniknutý vytvorením krivky na základe údajov získaných sériou pokusných betónových zmesí“

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Primárny a sekundárny vzťah súboru betónov sa používajú vo dvoch smeroch. Používajú sa na stanovenie dávkovania zložiek betónu, tak aby toto splnilo požiadavky na betón, t.j. pre návrh zloženia čerstvého betónu a používajú sa tiež na prepočet pevnosti skúšaného betónu na hodnotu, ktorá by bola, ak by tento betón bol referenčným betónom. Tieto hodnoty ekvivalentnej pevnosti sa používajú ako vstupné údaje do kontrolných diagramov.

Ak sa stanoví spoľahlivý vzťah vzhľadom na referenčný betón, ostatné betóny môžu byť tiež zahrnuté do súboru betónov. S využitím výpočtovej techniky vzniká trend použiť možnosť buď zahrnúť alebo vyhodiť široké variačné rozpätie výsledkov zo súboru výsledkov a tak analyzovať údaje rôznymi spôsobmi. Viacstupňový systém a „CUSUM“ systém sú vhodné na podporu takejto sofistikovanej (dômyselnej) analýzy. Napríklad istý počet výrobní používajúci rovnaké vstupné (základné) materiály môžu byť zahrnuté do súboru betónov, ale ak sú tieto kombinované údaje použité na analýzu trendov, je každá výrobnia posudzovaná tiež osobitne. Dokonca aj ak údaje nie sú kombinované v súbore betónov, údaje môžu byť skúmané za účelom potvrdenia trendov. Napr. ak súbor výsledkov „A“ vykazuje určitý trend a predpokladá sa, že je to z dôvodu zmeny určitej zložky (základného materiálu na výrobu) betónu „X“, údaje z ostatných súborov betónov/betónových zmesí, ktoré obsahujú túto zložku betónu by mali byť tiež posúdené z hľadiska náznakov rovnakého trendu a ak je to príslušné, treba začať s reakciou (prijať opatrenie).

Prevzdušený betón sa obecné nezahrňuje do súboru betónov a je kontrolovaný ako samostatný betón, pretože ďalšou variabilnou hodnotou sú variácie objemu vzduchu. Avšak, ak je kontrolovaný systémom „CUSUM“, je tiež bežné upraviť pevnosť na základe nameraného objemu vzduchu. Treba sa vyhnúť vykonaniu nepotrebných zmien v zložení betónu, ak zmeny v pevnosti betónu sú jednoducho výsledkom premenlivej hodnoty objemu (obsahu) vzduchu.

Ak sa kontrolujú súbory zmesí, kontrolnou pevnosťou referenčného betónu (ku ktorej sa korigujú ostatné triedy pevnosti betónu v tlaku) je buď betón, ktorý reprezentuje najbežnejšie vyrábaný betón vo výrobní, alebo je to betón, ktorý svojou pevnosťou v tlaku je približne v strede rozpätia súboru betónov. Mal by to byť betón, pre ktorý sa stanoví hlavný vzťah. Použitie istého počtu prispôbení výsledkov skúšok môže byť potrebné aby sa zabezpečilo, že môžu byť tieto výsledky porovnávané s referenčným betónom, napr. u konzistencie alebo pre zahrnutie plastifikátora. Prvým krokom je prepočet nameranej pevnosti skúšaného betónu na ekvivalentnú pevnosť betónu, ktorá je obsiahnutá v hlavnom vzťahu a potom táto ekvivalentná pevnosť je posunutá pozdĺž hlavného vzťahu, aby sa stala ekvivalentnou pevnosťou referenčného betónu. Pozri príklady so systémom „CUSUM“ v kapitole 11.

V praxi sú použité prispôbenia pre konzistenciu a pre základné zložky betónu pri stanovení objemu cementu skúšaného betónu, a tak sa domnieva, že je tento objem cementu ekvivalentom k betónu nachádzajúcemu sa na hlavnom vzťahu, čo sa týka zložiek betónu a konzistencie. Nameraná pevnosť skúšaného betónu môže byť vyššia, nižšia alebo rovnaká ako hodnota pevnosti na hlavnom vzťahu pre upravené množstvo

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

cementu. Ďalšie prispôsobenie je potrebné urobiť pre predpokladaný výsledok skúšky, aby sa vzal v úvahu rozdiel medzi pevnosťou s upraveným množstvom použitého cementu a pevnosťou s objemom cementu referenčného betónu. Toto je za účelom stanovenia, aká pevnosť skúšaného betónu by sa dosiahla, ak by bola mala rovnaký objem cementu ako referenčný betón. Tento dvakrát upravovaný výsledok je porovnávaný s cieľovou priemernou pevnosťou referenčného betónu a rozdiel medzi týmito hodnotami sa použije v systéme „CUSUM“.

8 Smernica pre kontrolne systémy

8.1 Neobvyklé výsledky

Z času načas sa objavia výsledky, ktoré sú mimo variačné rozpätie veľkej väčšiny výsledkov. Také výsledky sa môžu vyskytnúť z dôvodu mnohých rôznych príčin, napríklad chybou pri skúške alebo nepravdivou správou. Ak takýto výsledok „mimo variačné rozpätie veľkej väčšiny výsledkov“ je zahrnutý do hlavnej analýzy údajov, môže neprimerane ovplyvniť kontrolný systém a vyústiť do prijatia opatrení na nápravu výrobného procesu, ktoré v skutočnosti neboli potrebné (ktoré môžu zvýšiť riziko používateľa betónu). Avšak s výnimkou toho kde je to technicky posuditeľné a dokumentovateľné, každý taký výsledok „mimo variačné rozpätie“ je kontrolovaný z hľadiska zhody podľa kritéria uvedeného v EN206-1 pre jednotlivé výsledky skúšok pevnosti.

Obecne používané pravidlo je, že výsledok, ktorý sa líši o viac ako 3σ (3 x smerodajná odchýlka) od priemeru by sa mal považovať za výsledok mimo variačné rozpätie a preto by mal byť vylúčený z analýzy. Hodnota 3σ sa rovná 3 výsledkom z tisíc (pozri Tabuľku 2). Avšak ak výsledok, ktorý prekročí medznú hodnotu 3σ je nasledovaný ďalším výsledkom, ktorý prekračuje hodnotu 2σ v tom istom smere, potom oba výsledky by mali byť zahrnuté do kontrolného systému a musí sa ihneď vykonať prieskum, aby sa zistilo, či sa objavila podstatná zmena.

8.2 Zaobchádzanie so zmesami (betónmi), ktoré sú mimo súbor betónov

Kontrolný systém bude poskytovať informácie o betóne v súbore betónov, ktoré sú použité v systéme. Hlavný vzťah pre súbor betónov môže byť tiež použitý na kontrolu zmesí (betónov), ktoré sú mimo súbor betónov. Toto môže byť urobené viacerými spôsobmi:

- objem cementu v betóne, ktorý je mimo súboru betónov, môže byť vzťahnutý ku konzervatívnej (určite bezpečnej) hodnote tohto parametru v kontrolnej zmesi a ak objem cementu pre kontrolnú zmes je zvýšený, preskúma sa návrh zloženia betónovej zmesi betónu tohto betónu, ktorý je mimo súbor betónov;
- diferencované stanovenie bezpečného objemu cementu (možno vyššie alebo nižšie) sa použije pre rôzne druhy cementu alebo rôzneho % prímiesí

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

pridávaných do cementu. Tieto diferencované objemy cementu môžu byť stanovené v laboratóriu pomocou skúšobných zmesí alebo z iných kontrolných systémov. Tento postup je zvlášť užitočný, ak sa „kritický betón“ nevyrába príliš často. Vplyvom tohto rozširuje rozpätie medzi predpísanou charakteristickou pevnosťou a cieľovou pevnosťou.

8.3 Zaobchádzanie so zmesami (betónmi), ktoré nie sú kontrolované pomocou požiadaviek na pevnosť v tlaku

Ak dávkovanie zložiek betónu, zvlášť dávkovanie cementu na 1m^3 sú kontrolované pomocou kritéria pre pevnosť, stanovenie cieľovej pevnosti pre danú zmes (betón) je relatívne jasné. Je to predpísaná pevnosť v tlaku + rozpätie. Avšak pevnosť nie vždy určujúca pri návrhu zloženia betónu. Napríklad základ, ktorý bude umiestnený do agresívneho podložia môže vyžadovať konštrukčnú pevnosť len C25/30, ale vzhľadom na požiadavku, aby betón odolával účinkom agresívneho podložia, maximálna dovolená hodnota v/c súčiniteľa môže byť 0,45, čo v skutočnosti prinesie pevnosť betónu oveľa vyššiu, akú betón potrebuje pre predpísanú charakteristickú pevnosť. Cieľová pevnosť by mala byť stanovená z (pravdepodobne) vyšších rozdielných objemov cementu, požadovaných pre vyhovenie predpísanej pevnosti, maximálnemu vodnému súčiniteľu a minimálnemu objemu cementu.

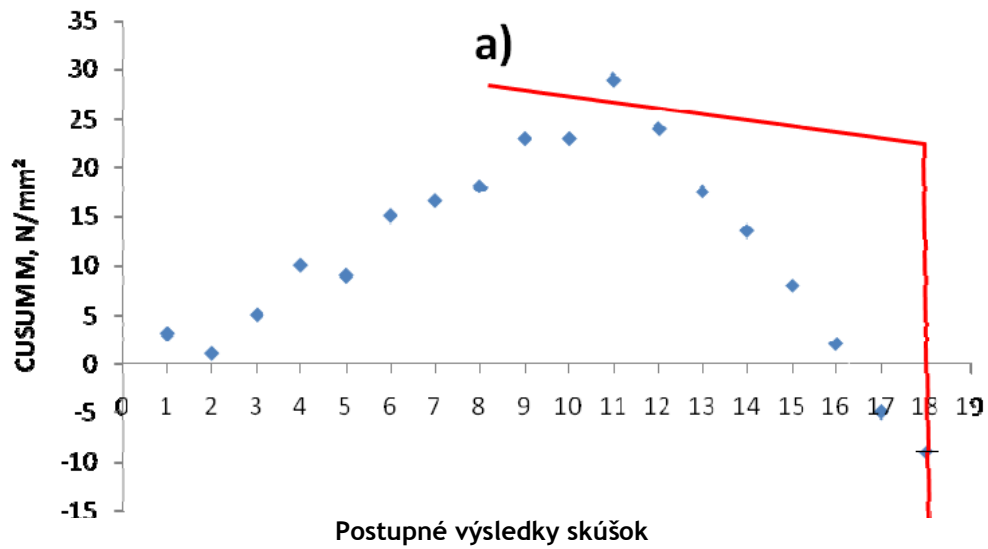
Ak sa tento postup nepoužije, t.j. cieľová pevnosť je stanovená len z predpísanej pevnosti, smerodajná odchýlka významne vzrastie a výsledok môže dosiahnuť hodnotu neobvyklého výsledku (mimo variačné rozpätie veľkej väčšiny výsledkov) na strane väčších výsledkov. Avšak najväčším dôsledkom je, že nepriaznivému trendu môže dlhšie trvať, kým prekrižuje výstražnú čiaru „V-masky“ vzhľadom na postupnú zmenu trendu spôsobenú jedným výsledkom.

Príklad 5

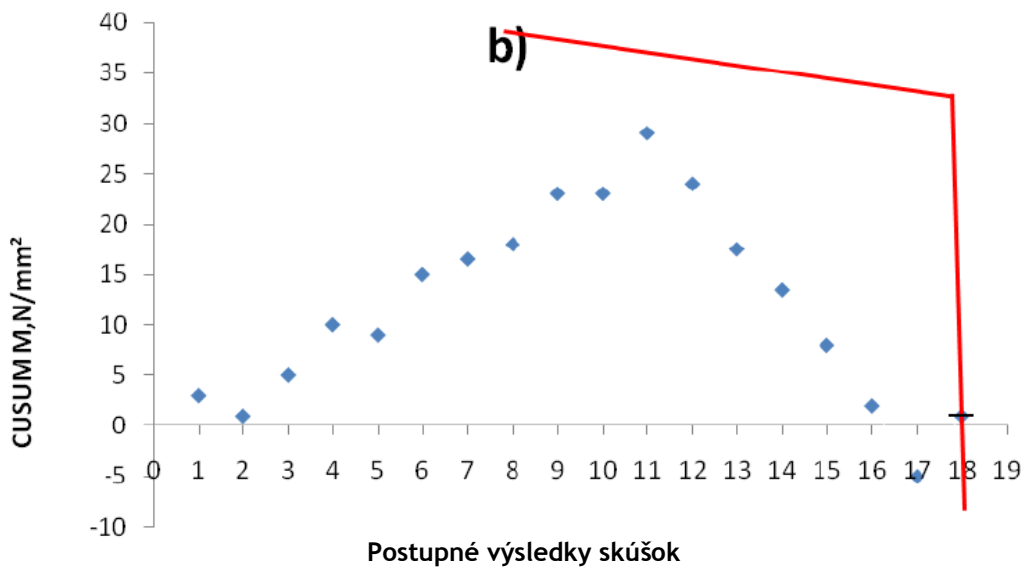
Betónu bola predpísaná trieda pevnosti C25/30, pričom maximálna hodnota v/c súčiniteľa je 0,55 a minimálny objem cementu je 300 kg/m^3 . Ak uvažujeme so smerodajnou odchýlkou 4 N/mm^2 v súbore pevnosti betónov C25/30, betón má cieľovú kockovú pevnosť 38 N/mm^2 (na kockách). Avšak cieľová hodnota v/c súčiniteľa = 0,53 sa rovná cieľovej pevnosti 48 N/mm^2 a táto vyššia hodnota by mala byť použitá ako cieľová hodnota.

Nameraná pevnosť je 44 N/mm^2 . Nakoľko je tu nepriaznivý trend vo výsledkoch, tento výsledok vyvoláva potrebu reagovať - pozri Obrázok 12a). Avšak pretože cieľová pevnosť tohto betónu bola nesprávne vložená do výpočtu v hodnote 38 N/mm^2 , namiesto toho, aby výsledok bol o 4 N/mm^2 pod cieľovou pevnosťou 48 N/mm^2 , bude sa javiť ako hodnota o 6 N/mm^2 nad cieľovou pevnosťou. Tento nesprávny vstup by nevyvolával ani potrebu reagovať, ani by nebol identifikovaný ako neobvyklý výsledok (súčasná smerodajná odchýlka je 4 N/mm^2 a skutočná hodnota je menšia ako 3σ z cieľovej hodnoty - pozri obrázok 12b).

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu



a) Do výpočtu správne vložená pevnosť pre betón riadený hodnotou v/c



b) Do výpočtu nesprávne vložená pevnosť pre betón riadený hodnotou v/c

Obrázok 12: Príklad účinkov vloženia nesprávnej hodnoty cieľovej pevnosti do výpočtu pre zmes (betón) riadený maximálny vodným súčiniteľom v/c

Pre zjednodušenie nebol popísaný prevod týchto pevností na ekvivalentné hodnoty referenčného betónu.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

8.4 Početnosť skúšok

Dôležité je dodržiavanie primeranej úrovne a frekvencie skúšok v kontrolnom systéme. Ak je počet skúšok nízky, bude dlho trvať, pokiaľ sa zistí, že systém (výroba) už nie je pod kontrolou a tým vznikne neprijateľné riziko, žeby nevyhovujúci (nezhodný) výrobok bol dodaný zákazníkovi. Bolo by však nevhodné skúšať každú jednotlivú dávku vyrobeného betónu a tak početnosť skúšok musí vytvoriť takú situáciu, pri ktorej je toto riziko rozumne rozdelené medzi výrobcu a používateľa betónu.

Pre danú frekvenciu výroby ak sa zvýši početnosť skúšok, úroveň auto-korelácie sa tiež zvýši. Auto-korelácia je miera vzťahu medzi výsledkom a predchádzajúcimi výsledkami. Vysoká úroveň auto-korelácie naznačuje, že je nepravdepodobne, aby bol výsledok významne rozdielny od predchádzajúcich výsledkov (napríklad ak dva vyhovujúce dodávky toho istého betónu sú skúšané) a skúšanie pri nižšej početnosti skúšok zabezpečí rovnakú úroveň kontroly pri nižšej cene. Početnosť skúšok okolo 16 výsledkov za mesiac zabezpečí optimálnu rovnováhu medzi potrebou mať dostatok údajov na výkon primeranej kontroly, bez neprijateľného stupňa auto-korelácie. Bolo však zistené, že výrobne s malou frekvenciou výroby nemusia byť schopné dosiahnuť optimálnu početnosť skúšania. Jednou z ciest, ako sa vysporiadať s nízkou početnosťou skúšok je mať prídavné množstvo cementu, t.j. viac cementu, ako vychádza pri návrhu zloženia betónu, aby sa tak používateľ betónu chránil pred rizikom spojeným s nízkou početnosťou skúšok.

Početnosť skúšok okolo 16 výsledkov za mesiac poskytne dostatok údajov na beh efektívneho kontrolného systému bez nadmernej hladiny auto-korelácie.

Účinok auto-korelácie je minimalizovaný vo výpočte účinku zmeny v kontrolnom systéme použitím stabilizačného koeficientu (pozri odsek 5.5).

8.5 Reakcie nasledujúce po zmene

Musí sa vykonať šetrenie na určenie príčiny zmeny. Systém „CUSUM“ bude indikovať približný čas, kedy sa systém začal dostávať spod kontroly, čo napomáha prieskumu.

Princíp nahradenia sa používa z dôvodu ochrany používateľa betónu. Ak príčina negatívnej zmeny nemôže byť zistená, všetky betóny v súbore betónov potrebujú byť upravené (treba zmeniť ich dávkovanie). Primerané zvýšenie alebo zníženie v kontrolovanom objemu cementu sa stanoví z kontrolného systému, obecným pravidlom je, že zmeny smerom nahor (zvýšenia dávkovania) cementu sú záväzne a zmeny smerom nadol (zníženia dávkovania) cementu sú dobrovoľné.

Tak ako je to vysvetlené v odseku 5.5 primeranou reakciou nemusí byť len zmena v dávkovaní, pretože príčina zmeny už bola zistená a korigovaná, napr. stupnica váhy bola opravená a znovu prekalibrovaná. Dobrou praxou je mať minimálnu hodnotu smerodajnej odchýlky, typicky vo variačnom rozpätí: $3,0 \text{ N/mm}^2$ až $3,5 \text{ N/mm}^2$. Toto

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

znamená, že ak kontrolný systém ukazuje, že smerodajná odchýlka je nižšia ako táto minimálna hodnota, nezoberie sa táto hodnota (do ďalších výpočtov), ale sa predpokladá táto vyššia minimálna hodnota. U jednotlivých betónov a krátkej dobe výroby je možné dosiahnuť smerodajnú odchýlku radovo 2 N/mm^2 . Avšak rozdiely medzi jednotlivými dávkami cementu môžu mať za následok zmenu v pevnosti radovo okolo 1 N/mm^2 a to sa rovná $0,5\sigma$, pri smerodajnej odchýlke 2 N/mm^2 a zvyšuje to riziko nehody. Ak má výroba betónu minimálnu smerodajnú odchýlku, toto chráni užívateľa betónu ako aj výrobcu betónu.

9 Pravidla zhody pre pevnosť betónu v tlaku v EN206-1

9.1 Základné požiadavky na zhodu pevnosti v tlaku

Európska norma pre betón EN206-1 [3] uvádza, že posúdenie zhody by malo byť urobené podľa výsledkov skúšok vzoriek odobratých počas hodnotiaceho obdobia, ktoré by nemalo presiahnuť posledných dvanásť mesiacov. Zhoda pevnosti betónu v tlaku sa hodnotí na vzorkách skúšaných po 28 dňoch⁵ za použitia dvoch rôznych kritérií:

Kritérium 1 – používa sa pre skupiny “n” neprekrývajúcich sa alebo prekrývajúcich sa následných výsledkov skúšok f_{cm} ⁶;

Kritérium 2 – používa sa pre každý jednotlivý výsledok skúšky f_{ci} ⁷.

Kritéria sú uvedené v Tabuľke 6.

Tabuľka 6: Kritéria zhody podľa EN206-1

Výroba	Počet “n” výsledkov skúšok pevnosti v tlaku v skupine	Kritérium 1	Kritérium 2
		Priemer “n” výsledkov (f_{cm}) N/mm^2	Každý jednotlivý výsledok skúšky (f_{ci}) N/mm^2
Počiatočná	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Trvalá	Nie menej ako 15	$\geq f_{ck} + 1,48\sigma$	$\geq f_{ck} - 4$

Kde f_{ck} je charakteristická pevnosť

V závislosti od tvaru skúšobných vzoriek je vybraná príslušná charakteristická pevnosť f_{ck} pre predpísanú triedu pevnosti v tlaku. Používajú sa rovnaké kritéria, bez ohľadu na to, či sa zisťuje pevnosť betónu na valcoch alebo na kockách.

⁵ Ak je pevnosť predpísaná pre iný vek vzoriek betónu (iný vek ako 28 dní), zhoda je posudzovaná v predpísanom veku vzoriek

⁶ f_{cm} je priemerná pevnosť betónu v tlaku

⁷ f_{ci} je individuálny (jediný) skúšobný výsledok pevnosti betónu v tlaku

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Na základe kritérií definovaných v EN 206-1 sa výroba označí ako „počiatočná“ alebo „trvalá“. Podľa tejto klasifikácie výroby, zhoda je potvrdená, ak sú vyhovujúce obidve kritéria dané Tabuľkou 6.

Ak sa zhoda posudzuje na základe súboru betónov (pozri odsek 7.2), **Kritérium 1** by sa malo použiť pre referenčný betón, berúc pri tom v úvahu všetky prepočítané výsledky skúšok súboru; **Kritérium 2** by malo byť použité pre všetky pôvodné výsledky skúšok, t.j. pre posúdenie zhody jednotlivých dávok betónu, skúšobný výsledok nemôže byť menší ako charakteristická pevnosť priradená k predpísanej pevnosti v tlaku, mínus 4 N/mm^2 .

The UK Quarry Products Association - Asociácia výrobcov kameniva vo Veľkej Británii - teraz už súčasť Mineral Products Association (Asociácia minerálnych výrobkov) vytvorila podrobnú Smernicu na použitie pravidiel zhody podľa EN 206-1 [4] a tam je ukázané, že riziko pre výrobcu betónu z kritéria priemernej pevnosti ($\geq (f_{ck} + 1,48\sigma)$) je neakceptovateľne vysoké pri 15 výsledkoch, dokonca aj vtedy ak sa použije výrobné rozpätie (rezerva) v hodnote: $1,96\sigma$. Takéto rozpätie (rezerva) môže byť primerané pre kritérium jednotlivých výsledkov (vtedy je rovnocenné výskytu 3 nevyhovujúcich výsledkom z 1000 výsledkov, ak je smerodajná odchýlka rovná 4.0 N/mm^2), ale riziko výrobcu betónu, že nevyhovie kritériu priemernej pevnosti zostáva naďalej vysoké. Jednoducho povedané - zvýšenie početnosti skúšok až na veľmi vysokú úroveň nevyrieši problém, vzhľadom na stúpajúcu úroveň auto-korelácie vyvažujúcej prínos zo zvýšeného počtu skúšobných údajov.

9.2 Hodnotiace obdobie

Naprieč Európou, skutočná početnosť skúšok pevnosti betónu používaná v praxi je rôzna. Variačné rozpätie skúšok a dĺžka hodnotiacich období má významné dôsledky na preukazovanie zhody. Pri početnosti skúšok 15 výsledkov za mesiac by trvalo najmenej jeden mesiac, kým by sa odhalila zmena - pokles $0,5\sigma$ oproti cieľovej hodnote, t.j. pre tento mesiac priemerná pevnosť by bola napríklad $(1.96 - 0.5)\sigma$, čo by bolo nesplnením kritéria pre priemernú pevnosť, ak by bol hodnotiacim obdobím jeden mesiac. Pri okamžitej reakcii, výrobca môže upraviť dávkovanie zmesi (betónu), t.j. zvýšiť dávku cementu tak, aby dostal očakávanú cieľovú pevnosť a ak sú výsledky spriemerované počas dlhšieho obdobia, betón bude v zhode pre celé hodnotené obdobie. Skutočnosť, že rovnaké pravidlá použité pre rovnaké údaje počas rôznych období hodnotenia môžu dať rozdielne výsledky hodnotenia zhody, nevyvolávajú dôveru k tomuto procesu.

Štatistický základ kritéria pre priemernú pevnosť v EN 206-1 je výsledkom použitia hodnoty AOQL rovnej 5%. Zlyhanie vyhovieť kritériu priemernej pevnosti ukazuje, že medzná hodnota pre priemernú expedičnú kvalitu je viac ako 5% a nie je správne tvrdenie, že betón je nevhodný na použitie. Avšak je to upozornenie, že výrobca musí zareagovať, ak chce dosiahnuť AOQL = 5%.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

9.3 Pravidlá zhody pre pevnosť betónu v tlaku

Ak je hodnotiace obdobie zvolené výrobcom rovné jednému roku a všetky výsledky sú združené do súboru výsledkov, riziko nezhody v hodnotiacom období je blízke k nule. Avšak počas tohto roku by mohli byť obdobia, kedy výroba nedosahovala predpísanú charakteristickú pevnosť - pozri Obrázok 13.

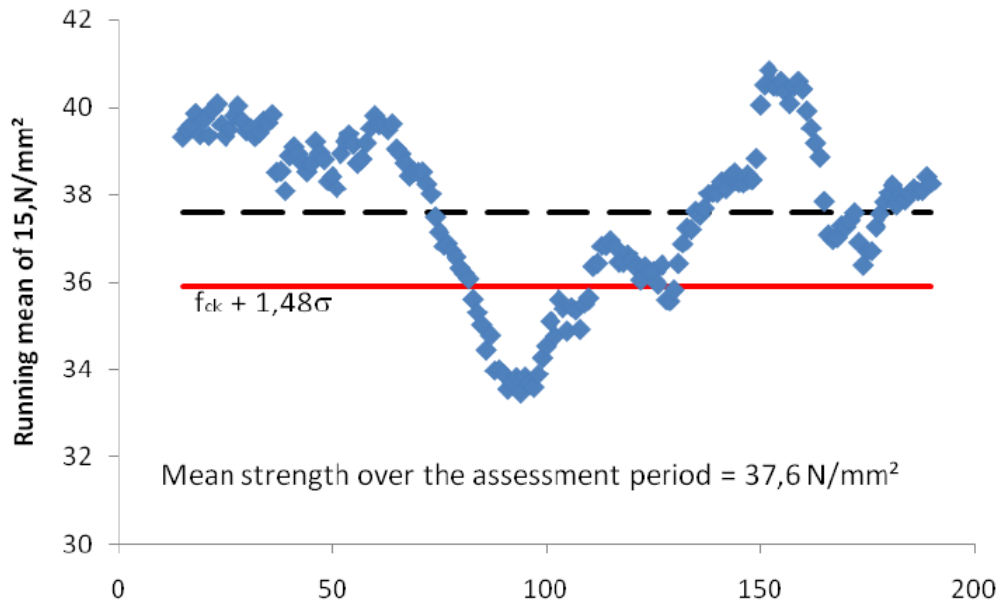
Príklad 6

Tento príklad je založený na preukázaní zhody s kritériom pre priemernú pevnosť betónu pevnostnej triedy C25/30, s cieľovou pevnosťou 38 N/mm^2 (na kockách), t.j. s rozpätím (rezervou) rovnou hodnote 2σ . Smerodajná odchýlka je konštantná a rovná sa 4 N/mm^2 . Obrázok 13 obsahuje náhodne vytvorené údaje s priemernou pevnosťou 38 N/mm^2 , s výnimkou výsledkov od čísla 77 po číslo 109, kde je zvolená priemerná pevnosť v hodnote 35 N/mm^2 (pre vytvorenie hodnôt výsledkov). Avšak tento súbor údajov bol manuálne upravený tak, aby vylúčil individuálne nevyhovujúce výsledky; v praxi sú takéto výsledky označené ako nevyhovujúce (nezhodné) a sú vylúčené z analýzy zhody s priemernou pevnosťou, t.j. netvoria už ďalej súčasťou súboru, o ktorom sa tvrdí, že je zhodný (vyhovujúci).

Priebežná priemerná hodnota 15 výsledkov naznačuje nezhodu medzi výsledkami číslo 86 až 100 a to sa prenáša do nezhody betónu reprezentovaného skúšobnými výsledkami $((86 - 15) = \text{od } 71 \text{ do } 100)$, no toto obdobie nezhody je skryté, ak hodnotiacim obdobím je jeden rok.

Pre účely diskusie sa predpokladá, že údaje a výroba betónu nepodliehali výrobnej kontrole používajúcej jeden z diagramových kontrolných systémov popísaných v tejto publikácii. Ak by sa používal takýto kontrolný systém, zmena v priemernej pevnosti by bola bývala odhalená a výroba by bola pozmenená oveľa skôr ako až po výsledku č.109.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu



Obrázok 13: Ilustrácia potenciálneho problému pri použití dlhého hodnotiaceho obdobia

Running mean of 15 – priebežná priemerná pevnosť z 15 výsledkov; **Mean strength over the assessment period** – priemerná pevnosť v hodnotiacom období

Nájsť riešenie, ktoré by bolo fér pre oboch: zákazníka aj výrobcu, nie je ľahké, pretože musí pokrývať výrobu s priemernou, nízkou aj vysokou výrobou. Navrhované riešenie je nasledovné:

Pre výrobu s nízkou výrobou navrhnutého betónu

Tam kde počet výsledkov skúšok u navrhnutého betónu za tri mesiace nie je väčší ako 35, hodnotiace obdobie má zahrňovať najmenej 15 a nie viac ako 35 za sebou nasledujúcich výsledkov odobraných počas obdobia nepresahujúceho 12 mesiacov.

Pre výrobu s vysokou výrobou navrhnutého betónu

Tam kde počet výsledkov skúšok u navrhnutého betónu za tri mesiace je väčší ako 35, hodnotiace obdobie by nemalo by prekročiť dĺžku 3 mesiacov.

Takéto riešenie nevyrieši všetky sporné otázky týkajúce sa preukazovania zhody u pevnosti, napríklad kritéria sú založené na predpoklade, že dávkovanie zložiek betónu je kontrolované (riadené) pevnosťou, čo nie je vždy pravda (pozri odsek 8.2)

Tiež sa navrhuje, že používanie kontrolných diagramov bude akceptované ako alternatíva k pravidlu priemernej pevnosti. Toto je podmienené u betónu podliehajúceho certifikácii 3.stranou (nezávislou kontrolou) alebo dohodou medzi dvomi stranami. Pretože kontrolné diagramy zahrňujú následný plán odberu vzoriek (so známou smerodajnou odchýlkou), môže sa stanoviť prevádzková charakteristická krivka individuálneho plánu odberu vzoriek. Krivka priemernej výstupnej kvality (AOQ) je potom určená pre násobením každého percenta všetkých možných výsledkov pod

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

charakteristickou pevnosťou vo výrobe, zodpovedajúcou akceptovanou pravdepodobnosťou.

Odsek 4.4 ukazuje, že tento prístup môže byť uplatnený v kontrolnom systéme založenom na Shewhartovom diagrame a odsek 9.4 ukazuje, ako to môže byť uplatnené v „CUSUM“ systéme.

9.4 Dosiahnutie hodnoty AOQL = 5% so systémom „CUSUM“

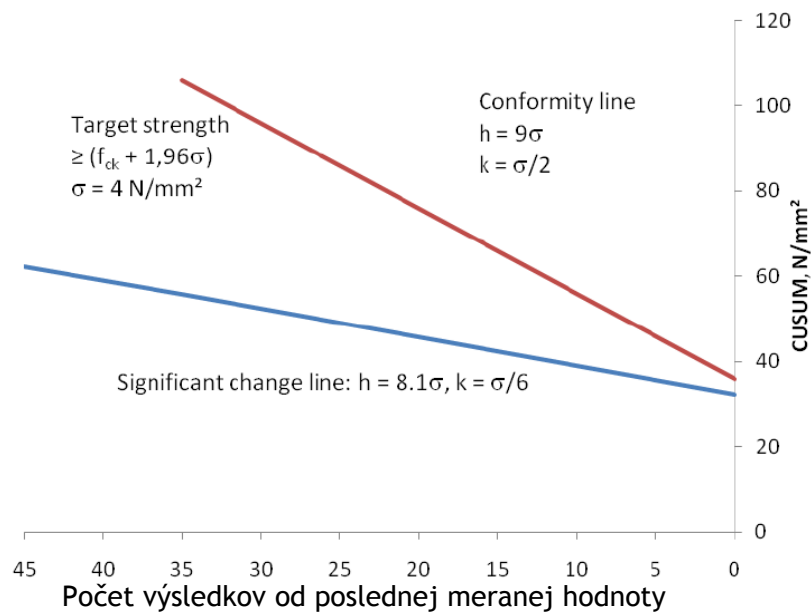
Caspeele a Taerwe [5] vyvinuli systém, kde pre vybrané rozpätie (rezervu) horný okraj „V-masky“ pre „CUSUM M“ je použitý pre určenie, kedy hodnota AOQL = 5% nebola dosiahnutá. Parametre „V-masky“ sú uvedené pre $n = 15$ a $n = 35$ pre nezávislé auto-korelované výsledky. Výrobné údaje ukazujú, že výsledky pevnosti betónu majú určitú auto-koreláciu a preto sú to primerané hodnoty. Z príčin uvedených v odseku 9.2 by mal výrobca vybrať hodnotiace obdobie založené na 35 výsledkoch. Článok [5] je zameraný na dosiahnutie hodnoty AOQL = 5% a zahrňuje rozpätia (rezervy) menšie ako $1,64\sigma$. Použitie rozpätia (rezervy) menšej ako $1,64\sigma$ znamená, že výrobca úmyselne smeruje výrobu k tomu, aby nedosiahla predpísanú charakteristickú pevnosť. To je neakceptovateľné a rozpätie (rezerva) by nikdy nemala byť menšia než $1,64\sigma$. Tabuľka 7 dáva parametre „V-masky“ pre vybrané rozpätia (rezervy) založené na $n = 35$ a auto-korelovaných výsledkoch.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Tabuľka 7. Vybrané parametre „V-masky“ pre zhodu

Rozpätie (rezerva)	Rozhodovací interval	Šikmost'
1,64 σ	3 σ	$\sigma/2$
1,66 σ	8 σ	$\sigma/4$
1,70 σ	9 σ	$\sigma/4$
1,71 σ	4 σ	$\sigma/2$
1,74 σ	10 σ	$\sigma/4$
1,76 σ	5 σ	$\sigma/2$
1,82 σ	6 σ	$\sigma/2$
1,86 σ	7 σ	$\sigma/2$
1,91 σ	8 σ	$\sigma/2$
1,95 σ	9 σ	$\sigma/2$
1,99 σ	10 σ	$\sigma/2$
2,06 σ	2 σ	$\sigma/1$
2,26 σ	5 σ	$\sigma/1$
2,49 σ	10 σ	$\sigma/1$

„V-masky“ pre zhodu používa len horné rameno, t.j. skutočná pevnosť je menšia ako cieľová pevnosť a jeho dĺžka je zvolená hodnotou „n“; je to hodnota 35 v prípade príkladu uvedeného v Tabuľke 7. Vskutku „V-masky“ testuje, či posledných „n“ výsledkov dosiahlo hodnotu AOQL = 5%. Obrázok 14 pre systém „CUSUM M“ ukazuje „V-masky“ pre zhodu spolu s „V-maskou“, ktorá ukazuje, kedy nastala významná zmena (pozri odsek 5.4.).



Obrázok 14: „V-masky“ pre zhodu a „V-masky“ pre reakciu pre cieľovú pevnosť o hodnotu $(f_{ck} + 1,96\sigma)$

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Conformity line - čiara (rameno) pre zhodu; **Target strength** - cieľová pevnosť; **Significant change line** - čiara (rameno) pre významnú zmenu.

Ak „CUSUM“ prekríži čiaru významnej zmeny, výrobca ihneď zareaguje a prijme primerané opatrenia. Ale bude existovať istý počet skúšobných vzoriek, ktoré boli zhotovené, ale neboli odskúšané. Ak sa používa „V-masky“ pre zhodu, systém „CUSUM M“ by mal byť znovu spustený (resetovaný), keď sa tieto vzorky odskúšali. To znamená, že nepriaznivý trend sa môže pohybovať smerom k čiare pre zhodu. Pri frekvencii skúšok 16 za mesiac a pri používaní 7-dňových pevností by mohli byť 4 výsledky medzi prekrížením (prekročením) čiary významnej zmeny a znovu spusteným (resetovaným) systémom „CUSUM M“ a preto je veľmi malá pravdepodobnosť prekrížovania (prekročenia) čiary zhody.

Desaťročie skúsenosti s používaním systému „CUSUM“ s cieľovou pevnosťou a čiarou pre významnú zmenu uvedených v Obrázku 14 a kontrolovaním zhody priemernej pevnosti podľa EN 206-1:2000 za použitia priebežnej priemernej hodnoty 35 výsledkov [19], ako výsledok nikdy nemalo nezhodu priemernej pevnosti. Za týchto podmienok je prekrížovanie (prekročenie) čiar „V-masky“ je vysoko nepravdepodobné a v prípade, ak došlo k prekríženiu čiary, by to naznačilo, že výrobca musí reagovať (urobiť opatrenia), aby dosiahol cieľovú pevnosť, ale výrobca by už mal zareagovať predtým, t.j. vtedy keď bola prekrížovaná čiara významnej zmeny.

9.5 Nezhoda

Ak kontrolný systém ukazuje, že hodnota AOQL = 5% nebola dosiahnutá, výrobca je požadovaný, aby ihneď zareagoval a prijal opatrenia, aby dosiahol cieľovú pevnosť. Navyše výrobca musí identifikovať všetky betóny, ktoré nie sú v poriadku pre svoje predpokladané použitie a musí informovať užívateľa betónu a projektanta. Certifikačný orgán prekontroluje, či sa tento prieskum (identifikácia nevyhovujúcich betónov) vykonal príslušným spôsobom a či boli správne informovaní užívatelia betónu a projektant.

10 Zavádzanie kontrolných systémov

Ak je zahájená neprerušovaná (trvalá) výroba výrobca by mal mať možnosť kontroly priemernej pevnosti použitím kontrolných diagramov. Použitie kontrolných diagramov by malo byť obmedzené na výrobcov u ktorých sa vykonáva certifikácia treťou stranou (nezávislou inštitúciou), napríklad ako je tu u väčšiny centrálnych betonární a výrobní prefabrikátov v západnej Európe alebo tam kde je dohoda medzi výrobcom a užívateľom betónu.

Ďalej sú uvedené doporučené minimálne požiadavky na kontrolný systém:

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

- dosiahnuť maximum priemernej výstupnej kvality (AOQ) neprekračujúcej hodnotu 5,0%; (*Poznámka: Toto zabezpečí, že nie viac ako 5% výroby je pod predpísanou charakteristickou pevnosťou*);
- cieľ zabezpečiť zhodu výroby s požadovanou charakteristickou pevnosťou;
- zahrnúť pravidelné sledovanie pevnosti a smerodajnej odchýlky a odchýlky od cieľových hodnôt;
- ak je to použiteľné, zahrnúť jeden alebo viacero postupov na zrýchlenie reakcie systému (napr. použitie údajov pevnosti betónu v mladom veku, použitie súboru betónov);
- definovať a použiť jasné rozhodovacie pravidlá pre zhodu a pre výstražné medze (hranice);
- dokumentovať, ako systém dosiahne maximálnu priemernú výstupnú kvalitu (AOQ) neprekračujúcu hodnotu 5,0% (pokiaľ sa nepoužije jedno z pravidiel použitia uvedených v informatívnej prílohe k EN 206-1);
- ak kontrolný diagram ukazuje, že smerodajná odchýlka je $\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ nad aktuálne používanou hodnotou, vykoná sa zmena používanej hodnoty.

11 Príklad systému “CUSUM”

11.1 Referenčná zmes (betón) a súbor betónov

Nasledujúci príklad je použitý, aby jednoduchým spôsobom objasnil proces “CUSUM” použitý pre výrobu betónu kontrolujúcu svoju výrobu na základe súboru zmesí (betónov), tak ako je to bežná prax vo Veľkej Británii.

Kontrolný systém je založený na referenčnom betóne popísanom v Tabuľke 8. Tento betón je reprezentantom hlavne vyrábaného betónu v betonárni. Kontrolný objem (dávkovanie) cementu je na bežnej úrovni, ktoré systém “CUSUM” identifikuje ako potrebné množstvo na dosiahnutie cieľovej pevnosti referenčného betónu. Všimnite si, že betón s rovnakou triedou pevnosti v tlaku ako referenčný betón môže byť v skutočnosti vyrobený s vyšším objemom (dávkovaním) cementu ako referenčný betón. Napríklad predpísané požiadavky na trvanlivosť môžu ukázať, že minimálny objem cementu alebo objem cementu na zabezpečenie predpísaného maximálneho vodného súčiniteľa v/c sú vyššie ako objem (dávkovanie) cementu riadený systémom “CUSUM” pre referenčný betón. Ako sa s takou zmesou (betónom) zaobchádza je popísané v odseku 8.3.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Tabuľka 8: Podrobnosti o referenčnom betóne

Pevnosť v tlaku	C32/40
Veľkosť a druh kameniva	Štrk, max zrno 20mm
Druh cementu	CEM III/A
Sadnutie kužela	70mm
Prísada	žiadna
Kontrolný objem (dávkovanie) cementu	320 kg/m ³

Kontrolný objem (dávkovanie) cementu je taký, od ktorého sa očakáva, že prinesie cieľovú pevnosť referenčného betónu. Nie všetky betóny budú zahrnuté do súboru betónov použitých na kontrolu hlavnej výroby. Parametre súboru betónov sú ukázané v tabuľke 6.

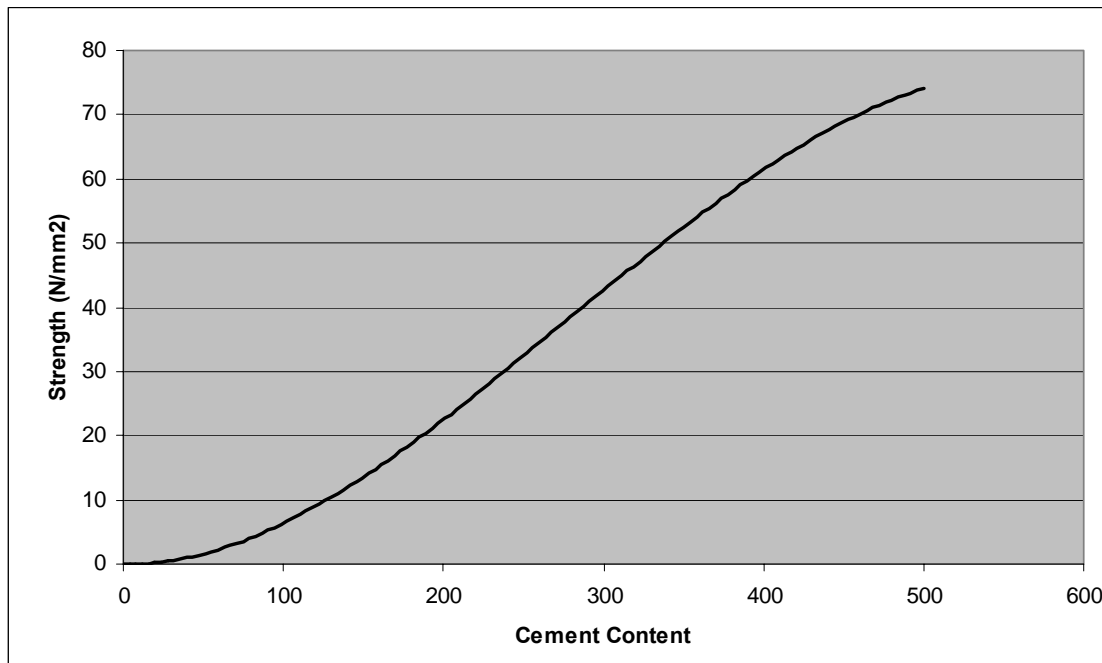
Tabuľka 9: Parametre súboru betónov

Pevnosť v tlaku	Od C16/20 do C45/55, vrátane
Veľkosť a druh kameniva	Len štrk 20mm alebo 10mm
Druh cementu	Len CEM III/A
Sadnutie kužela	Od 25mm do 150mm, vrátane
Prísada	S alebo bez prísady znižujúcej potrebu vody

11.2 Hlavný vzťah

Kľúčovým vzťahom potrebným pri "CUSUM" analýze je hlavný vzťah medzi objemom cementu a pevnosťou (Obrázok 15), ktorý nielen dovolí, že zmesi (betóny) môžu byť prepočítané na referenčný betón, ale je tiež použitý na určenie veľkosti korekcie, ktorá sa musí vykonať, ak systém „CUSUM“ indikuje, že sa objavila zmena (pozri odsek 5.6).

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu



Obrázok 15: Hlavný vzťah medzi objemom (dávkaním) cementu a pevnosťou

Strength - pevnosť; **Cement Content** - objem (dávkovanie) cementu

Navyše k hlavnému vzťahu, bude potrebné stanoviť tiež vzťah pre účinok na objem (dávkovanie) cementu od zmeny veľkosti kameniva, sadnutia kužela a účinku prísad znižujúcich potrebu vody (WRA). Tieto účinky sú vyjadrené ako úpravy a robia sa u objemu cementu. Veľkosť týchto úprav sa bežne bude stanovovať pri prácach v laboratóriu. V Tabuľke 10 sú uvedené hodnoty pre súbor zmesí (betónov) uvažovaných v tomto príklade. Úpravami sú tie úpravy, ktoré sú potrebné na prevod objemu (dávkovania) cementu skúšaného betónu na ekvivalentný objem (dávkovanie) cementu v hlavnom vzťahu pevnosť/objem cementu (Obrázok 15). Napríklad betón vyrobený z kameniva s maximálnym zrnom 10mm by mal mať vyšší objem (dávkovanie) cementu, ako betón vyrobený z kameniva s maximálnym zrnom 20mm (maximálna veľkosť zrna kameniva používaná v hlavnom vzťahu) a tak betón vyrobený z kameniva s maximálnym zrnom 10 mm musí byť upravený znížením objemu (dávkovania) cementu použitého k výrobe tohto betónu oproti tomu, ak by sa vyrábal betón z kameniva s maximálnym zrnom 20 mm. Ak sa používa prísada znižujúca potrebu vody (WRA), objem cementu je upravený smerom nahor. V tomto príklade je WRA pridávaná konštantným percentom z hmotnosti cementu.

Ak sa už raz urobili tieto zmeny, aby sa upravil skutočný objem cementu skúšaného betónu na ekvivalentnú hodnotu v hlavnom vzťahu, druhá úprava je potrebná pre ďalšiu korekciu, zohľadňujúcu nový objem cementu k tomu, ktorý je v referenčnom betóne. Toto prispôsobenie pevnosti je rozdiel pevnosti (v hlavnom vzťahu) medzi pevnosťou dosiahnutou s ekvivalentným objemom cementu skúšaného betónu a cieľovou priemernou pevnosťou referenčného betónu.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Tabuľka 10: Úprava objemu cementu v 1 m³ betónu pri prepočte objemu cementu skúšaného betónu na objem cementu v betóne hlavného vzťahu ^{a)}

Úpravy, kde skúšaný betón obsahuje prísadu (WRA)						
Objem (dávkovanie) cementu skúšaného betónu (kg/m ³)	200 - 380		380+			
Úprava dávkovania cementu (kg/m ³)	+25kg		Pri týchto vyšších dávkovaniach cementu je účinnejšie používať superplastifikačnú prísadu ^{b)}			
Úpravy, kde skúšaný betón obsahuje kamenivo s max.zrnom 10mm ^{c)}						
Objem (dávkovanie) cementu skúšaného betónu (kg/m ³)	200 - 380		380+			
Úprava dávkovania cementu (kg/m ³)	-15		-10			
Úpravy, kde skúšaný betón má cieľovú konzistenciu, ktorá nie je rovná 70mm						
Cieľové sadnutie kužela (mm)	20 (S1)	50	70 (S2)	100	120 (S3)	150
Úprava dávkovania cementu (kg/m ³)	+15kg	+10kg	0	-5kg	-10kg	-15kg
<p>a) Číselne zhodné úpravy, ale s opačným znamienkom (+ sa stane -) sa používajú pri návrhu dávkovania (betónu).</p> <p>b) Ak nasledovný príklad nepotrebuje úpravu na plastifikátor, hodnota sa neuvádza</p> <p>c) Ak nasledovný príklad nezahrňuje kamenivo s väčším zrnom ako 20mm, hodnota sa neuvádza</p>						

11.3 Používanie úprav (korekcií)

Uvažujme, že nasledovné betóny sú skúšané za účelom zahrnutia do systému "CUSUM".

Referenčná zmes 1

C30/30 - s kamenivom o maximálnom zrne 20mm, cement CEM III/A, sadnutie kužela 100mm, bez použitia prísad.

Zmes bola vyrobená s objemom (dávovaním) cementu 275 kg/m³. Táto zmes (betón) spĺňa kritéria súboru betónov v Tabuľke 9.

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Ak chceme túto zmes (betón) dať do vzťahu k referenčnému betónu popísanému v Tabuľke 8, zmes (betón) musí byť najprv upravená vzhľadom na skutočnosť, že bola predpísaná so sadnutím kužela 100mm, skôr ako so sadnutím kužela 70mm. Tabuľka 10 uvádza, že pre sadnutie kužela 100mm sa vyžaduje korekcia: $- 5 \text{ kg/m}^3$. Táto korekcia je negatívna, nakoľko by sa mal pridať dodatočný cement do zmesi, aby sa udržal vodný súčiniteľ v/c , potom ako bolo zvýšené sadnutie kužela zo 70 na 100 mm.

Upravený objem (dávkovanie) cementu je: $275 - 5 = 270 \text{ kg/m}^3$

Z hlavného vzťahu v Obrázku 15, by sme očakávali, že s objemom (dávkaním) cementu 270 kg/m^3 sa dosiahne pevnosť $37,3^8 \text{ N/mm}^2$, ale referenčný betón je C32/40. Pretože výrobňa má smerodajnú odchýlku $3,5 \text{ N/mm}^2$ a navrhované rozpätie (rezervu) $2,0\sigma$, cieľová priemerná pevnosť referenčného betónu je 47 N/mm^2 . Rozdiel $9,7 \text{ N/mm}^2$ ($47 - 37,3 \text{ N/mm}^2$) musí byť vložený do systému „CUSUM“, aby sa prepočítala pevnosť s ekvivalentným objemom cementu na cieľovú priemernú pevnosť referenčnej zmesi (betónu). Napríklad v Tabuľke 11 Referenčná zmes 1 - predpovedaná a skutočná 28-dňová pevnosť je $42,5 \text{ N/mm}^2$, respektíve $39,5 \text{ N/mm}^2$. Po úprave na ekvivalentné hodnoty objemu cementu referenčného betónu, tieto hodnoty sú $52,2 \text{ N/mm}^2$ ($42,5 + 9,7$) a $49,2 \text{ N/mm}^2$ a zmena v systéme „CUSUM M“ je $52,2 - 47 = 5,2 \text{ N/mm}^2$, ak ako hodnota predpovedanej pevnosti sa použije $49,2 - 47 = 2,2 \text{ N/mm}^2$, keď predpovedaná 28-dňová pevnosť je nahradená skutočnou 28-dňovou pevnosťou.

V tomto príklade najnižšia trieda pevnosti v tlaku v súbore betónov je C16/20. Avšak, ak sa do súboru betónov zahrnie betón s triedou pevnosti nižšou ako C16/20, t.j. s cieľovou priemernou pevnosťou menšou ako 27 N/mm^2 , všetky výsledky sú prepočítané za použitia smerodajnej odchýlky získanej z Obrázku 3.

Referenčná zmes 2

C32/40 - s kamenivom o maximálnom zrne 20mm, cement CEM III/A, sadnutie kužela 150 mm, s použitím prísady znižujúcej potrebu vody (WRA).

Zmes bola vyrobená s objemom (dávkaním) cementu 310 kg/m^3 . Táto zmes (betón) spĺňa kritéria súboru betónov v Tabuľke 9.

Ak chceme túto zmes (betón) dať do vzťahu s referenčným betónom popísaným v Tabuľke 8, zmes musí byť najprv upravená vzhľadom na skutočnosť, že obsahuje prísadu WRA; a potom vzhľadom na to, že bola predpísaná so sadnutím kužela 150mm, skôr ako so sadnutím kužela 70mm. Vzhľadom na použitie prísady WRA objem cementu pre účely systému „CUSUM“ bude potrebné zvýšiť, aby sa tak korigoval efekt zníženia potreby vody spôsobený pridaním prísady WRA. Pre vyššie sadnutie kužela ako je referenčné, úprava objemu cementu je negatívna.

Celková úprava, ktorú je potrebné urobiť je $+25-15 = 10 \text{ kg}$ (z Tabuľky 10)

⁸ Toto je hodnota vypočítaná z rovnice krivky uvedenej v Obrázku 15

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Upravený objem (dávkovanie) cementu je:
 $310+10 = 320 \text{ kg/m}^3$

Všimnite si, ak vykonávame návrh zloženia betónu, úprava vzhľadom na hlavný vzťah má vždy opačné znamienko, ale rovnakú numerickú hodnotu.

Druhá úprava je urobená za účelom korekcie zaznamenatej pevnosti pri tomto zvýšenom objemu cementu, k očakávanej pevnosti pri objemu cementu referenčnej zmesi (betónu). Z hlavného vzťahu v Obrázku 15 vyplýva, že pri objeme cementu 320 kg/m^3 sa očakáva dosiahnuť pevnosť $46,8^9 \text{ N/mm}^2$, ale referenčný betón je C32/40. Pretože výrobňa má súčasnú smerodajnú odchýlku $3,5 \text{ N/mm}^2$ a navrhnuté rozpätie (rezerva) $2,0\sigma$, cieľová priemerná pevnosť referenčného betónu je 47 N/mm^2 , rozdiel = $0,2 \text{ N/mm}^2$, čo je úprava, ktorá bude urobená pre predpokladanú a skutočnú kockovú pevnosť v systéme „CUSUM“.

Referenčná zmes 3

C32/40 - s kamenivom o maximálnom zrne 20mm, cement CEM III/A, sadnutie kužela 70 mm, bez použitia prísady.

Zmes bola vyrobená s objemom (dávkováním) cementu 320 kg/m^3 . Táto zmes je referenčný betón a pretože použité dávkovanie cementu bolo zhodné s kontrolným objemom (dávkováním) cementu, nie je potrebná žiadna úprava.

Tieto betóny sú prvými tromi betónmi v „CUSUM“ analýze uvedenej v Tabuľke 11.

11.4 Výpočet „CUSUM“

Ak boli vykonané úpravy a bola vypočítaná upravená 28-dňová pevnosť, údaje môžu byť použité v kontrolnom systéme (napr. „CUSUM“ alebo Shewhart). Nasledujúci príklad analyzuje údaje technikou „CUSUM“. „CUSUM“ prebieha v priemernej hodnote („CUSUM M“), smerodajnej odchýlke („CUSUM R“) a korelácii („CUSUM C“). Pre kontrolné účely zmesi (betóny) obsahujú predpísaný betón (P300, referenčnú vzorku 13) a nominálnu zmes (1:2:4, referenčná vzorka 14).

Výsledky sú vynesené do systému „CUSUM“ a „V-masku“ prekrýva každý výsledok. Toto je manuálny systém používaný na ilustráciu princípov techniky systému „CUSUM“. Je jasné, že tento proces by bol bežne realizovaný na počítači, buď cez tabuľkové zošity Excelu, obchodne dostupný „CUSUM“ program alebo pomocou programu špeciálne vyvinutého pre tú ktorú spoločnosť.

Súčasná smerodajná odchýlka výroby je $3,5 \text{ N/mm}^2$, čo dáva cieľový variačné rozpätie: $(1,128 \times 3,5) = 3,9 \text{ N/mm}^2$ (pozri odsek 2.3). Rozpätie (rezerva) je $2,0\sigma$. Cieľová kocková pevnosť referenčného betónu je $(40 + (2,0 \times 3,5)) = 47 \text{ N/mm}^2$.

⁹ Je to hodnota vypočítaná z rovnice krivky v Obrázku 15

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Z troch diagramov v Obrázku 16, Obrázku 17 a Obrázku 18 je možné vidieť, že korelácia a smerodajná odchýlka prebiehajú (sú) pod kontrolou, ale že nastala zmena v priemere od bodu 7 po bod 17. To je dôkazom, že súčasný kontrolný objem (dávkovanie) cementu 320 kg/m^3 nedáva požadovanú priemernú pevnosť 47 N/mm^2 . Vzhľadom nato, že bolo prekřížené (prekročené) horné rameno „V-masky“, toto indikuje, že priemerná pevnosť je nižšia ako cieľová pevnosť. Zloženie betónu je ihneď upravené (pozri odsek 11.5) a systém „CUSUM M“ je resetovaný pri nule. Všimnite si, že táto zmena bola urobená na základe skupiny skutočných 28-dňových pevností (body od 1 po 16) a predpovedanej 28-dňovej pevnosti (údaj 17).

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Tabuľka 11: Výpočet "CUSUM"

Mix description (all CEM III/A)						Results			Adjustments								CUSUM M			CUSUM R				CUSUM C			
Mix reference	Strength class	Aggregate size	Target slump	Plasticiser	Batched cement content	Actual 7 day	Predicted 28 day	Actual 28 day	Total cement adjustment	Adjusted cement content	Cement/Strength Code	Expected strength	Reference strength	Target strength	Strength adjustment	From predicted	From actual	Adjusted strength	Difference from target	CUSUM M	Range	Target Range	Difference from target	CUSUM R	Actual - predicted 28 day	CUSUM C	
CURRENT STANDARD DEVIATION = 3,5 N/mm ² ; TARGET RANGE = 1,128 x 3,5 = 3,9 N/mm ²																											
1	C25/30	20	100	No	275	31.1	42.5	39.5	-5	270	A	37.3	40	47	9.7		49.2	49.2	2.2	2.2						-3.0	-3.0
2	C32/40	20	150	Yes	310	33.8	45.3	46.3	10	320	A	46.8	40	47	0.2		46.5	46.5	-0.5	1.7	2.7	3.9	-1.2	-1.2	1.0	-2.0	
3	C32/40	20	70	No	320	35.2	46.8	46.8	0	320	A	46.8	40	47	0.2		47.0	47.0	0.0	1.7	0.5	3.9	-3.4	-4.6	0.0	-2.0	
4	C32/40	20	70	No	320	37.2	48.8	49.3	0	320	A	46.8	40	47	0.2		49.5	49.5	2.5	4.2	2.5	3.9	-1.4	-6.0	0.5	-1.5	
5	C25/30	20	70	Yes	245	26.7	37.5	39.5	25	270	A	37.3	40	47	9.7		49.2	49.2	2.2	6.4	0.3	3.9	-3.6	-9.6	2.0	0.5	
6	C32/40	20	150	Yes	310	41.5	52.8	53.8	10	320	A	46.8	40	47	0.2		54.0	54.0	7.0	13.4	4.8	3.9	0.9	-8.7	1.0	1.5	
7	C32/40	20	70	No	320	42.6	53.8	53.3	0	320	A	46.8	40	47	0.2		53.5	53.5	6.5	19.9	0.5	3.9	-3.4	-	-0.5	1.0	
8	C28/35	20	50	No	285	28.2	39.2	39.2	10	295	A	42.1	40	47	4.9		44.1	44.1	-2.9	17.0	9.4	3.9	5.5	-6.6	0.0	1.0	
9	C28/35	20	50	No	285	30.9	42.2	40.7	10	295	A	42.1	40	47	4.9		45.6	45.6	-1.4	15.6	1.5	3.9	-2.4	-9.0	-1.5	-0.5	
10	C40/50	20	120	Yes	360	40.4	51.8	48.8	15	375	A	57.3	40	47	-		38.5	38.5	-8.5	7.1	7.1	3.9	3.2	-5.8	-3.0	-3.5	
11	C25/30	20	100	No	275	27.6	38.6	40.5	-5	270	A	37.3	40	47	9.7		50.2	50.2	3.2	10.3	11.7	3.9	7.8	2.0	1.9	-1.6	
12	C25/30	20	70	Yes	245	24.1	34.5	35.0	25	270	A	37.3	40	47	9.7		44.7	44.7	-2.3	8.0	5.5	3.9	1.6	3.6	0.5	-1.1	
13	P300	20	150	Yes	300	26.2	36.9	37.4	10	310	A	44.9	40	47	2.1		39.5	39.5	-7.5	0.5	5.2	3.9	1.3	4.9	0.5	-0.6	
14	1:2:4	20	70	No	270	27.6	38.6	37.6	0	270	A	37.3	40	47	9.7		47.3	47.3	0.3	0.8	7.8	3.9	3.9	8.8	-1.0	-1.6	
15	C40/50	20	120	Yes	360	38.3	49.8	47.3	15	375	A	57.3	40	47	-		37.0	37.0	-	-9.2	10.3	3.9	6.4	15.2	-2.5	-4.1	
16	C40/50	20	120	Yes	360	41.5	52.8	53.8	15	375	A	57.3	40	47	-		43.5	43.5	-3.5	-	6.5	3.9	2.6	17.8	1.0	-3.1	
17	C25/30	20	100	No	275	21.7	31.5		-5	270	A	37.3	40	47	9.7	41.2		41.2	-5.8	-	2.3	3.9	-1.6	16.2			

Cieľová pevnosť nebola dosiahnutá; objem cementu bol zvýšený; „CUSUM M“ bolo resetované k nule

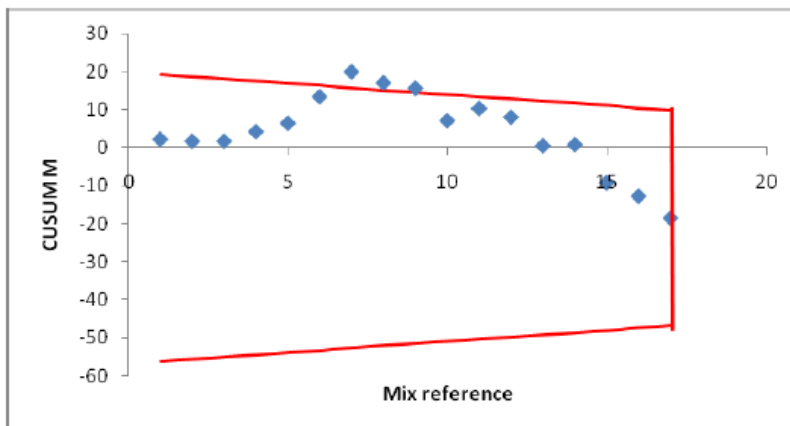
Mix description (all CEM III/A) - popis zmesí (všetky z cementu CEM III/A); Results - výsledky; Adjustments - úpravy; CURRENT STANDARD DEVIATION - terajšia smerodajná odchýlka; TARGET RANGE - cieľové variačné rozpätie

Mix reference - referenčná zmes; Strength class - pevnostná trieda; Aggregate size - max.zrno kameniva; Target slump - sadnutie kužela; Plasticiser - plastifikátor; Batched cement content - dávkovaný objem cementu (dávkovanie cementu); Actual 7 day - skutočná 7-dňová pevnosť; Predicted 28 day - predpokladaná 28-dňová pevnosť; Actual 28 day - skutočná 28-dňová pevnosť; Total cement adjustment - celková úprava v cemente; Adjusted cement content - upravený objem (dávkovanie) cementu; Cement/Strength Code - cement typu A alebo B; Expected strength - očakávaná pevnosť; Reference strength - referenčná pevnosť; Target strength - cieľová pevnosť; Strength adjustment - úprava pevnosti; From predicted - od predpokladanej; From actual - od skutočnej; Adjusted strength - upravená pevnosť;

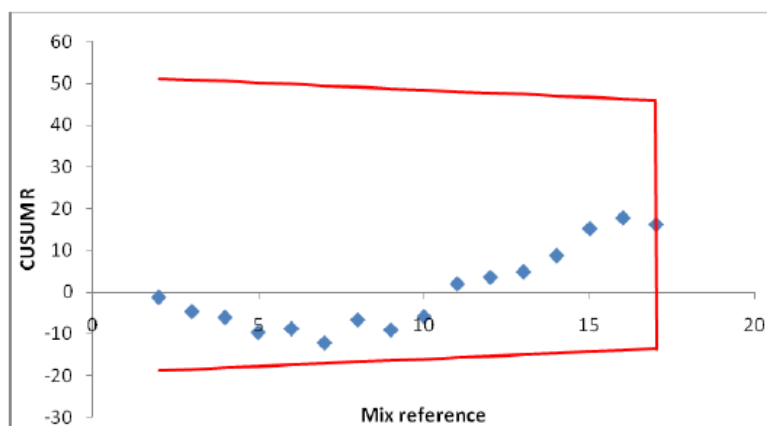
Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

Difference from target - rozdiel od cieľovej hodnoty; **Range** - variačné rozpätie; **Target range** - cieľové variačné rozpätie; **Difference from target** - rozdiel od cieľového variačné rozpätia; **Actual - predicted 28 day** - rozdiel medzi skutočnou a predpokladanou 28-dňovou pevnosťou.

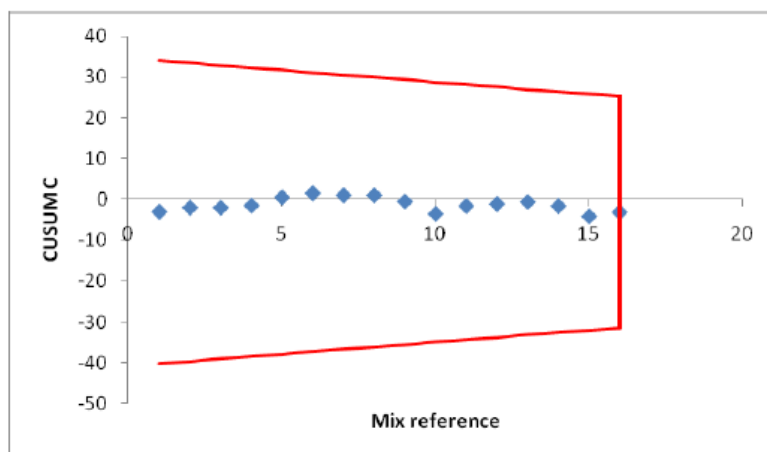
Use of control charts in the production of concrete



Obrázok 16: „CUSUM M“



Obrázok 17: „CUSUM R“



Obrázok 17: „CUSUM R“

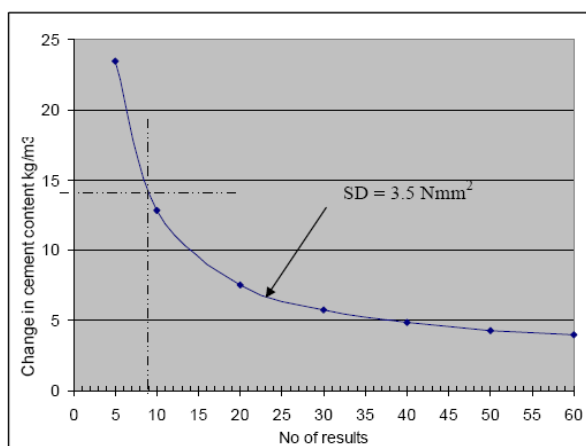
Mix reference - referenčná zmes (poradové číslo skúšobnej zmesi)

11.5 Reakcie "CUSUM" nasledujúce po zmene

Systém priemeru "CUSUM M" ukázal, že nastal odklon vo vlastnosti; preto aby sa proces znovu vrátil pod kontrolu je potrebné zvýšiť kontrolný objem (dávkovanie) cementu. Potrebná veľkosť zvýšenia objemu (dávkovania) cementu je funkciou smerodajnej odchýlky výroby a počtu výsledkov (skúšok), počas ktorých existovala zmena (pozri odsek 5.6).

V prípade, že smerodajná odchýlka výroby je 3.5 N/mm^2 a zmena sa objavila pri referenčnej zmesi 7, ale „CUSUM M“ po prvýkrát prekročil (prekročil) „V-masku“ pri referenčnej zmesi 9, pričom zmena prebiehala počas 9 výsledkov. Z Obrázku 19 je možné vidieť, že zmena počas 9 výsledkov dáva zmenu v objemu cementu o 14 kg/m^3 . Pre zjednodušenie to bude zaokrúhlené na 15 kg/m^3 a preto kontrolný objem cementu referenčného betónu by vzrástol z 320 kg/m^3 na 335 kg/m^3 .

Upravený bol tiež nový hlavný vzťah, ktorý sa vzťahuje na kontrolný objem (dávkovanie) cementu 335 kg/m^3 pre charakteristickú pevnosť 40 N/mm^2 (cieľová pevnosť 47 N/mm^2). Tabuľka 12 ukazuje vzťahy v tabuľkovej forme a z Tabuľky 13 je možné vidieť ako zmena v označení cement/pevnosť z „A“ na „B“ (zrejme myslené ako zmena druhu cementu CEM III/A na cement CEM III/B). Objemy (dávkovania) cementu používané vo výrobe by mali byť ihneď zvýšené k objemu cementu z nového hlavného vzťahu. Takto zmenený hlavný vzťah bude tiež viesť k revidovanej úprave použitej na získanie predpokladanej koncovej pevnosti referenčného betónu. Táto úprava sa realizuje od výsledku s poradovým číslom 18 a potom u nasledujúcich výsledkov (teda u výsledkov s vyšším poradovým číslom ako 18) - pozri Tabuľka 13. Úprava bude tiež uplatnená pri dávkovaní nových zmesí, ale bude existovať určité obdobie, kedy betón už bol namiešaný a objem cementu (dávkovanie) bolo v ňom nižšie ako množstvo, o ktorom už teraz vieme, že je potrebné. Avšak pre kontrolu priemernej pevnosti je upravených 18 následných zmesí na nový cieľový objem (dávkovanie) cementu v referenčnom betóne (335 kg/m^3).



Obrázok 19: Zmena pevnosti oproti počtu výsledkov

Change in cement content – zmena objemu (dávkovania) cementu; **No of results** – počet výsledkov; **SD** – smerodajná odchýlka

Use of control charts in the production of concrete

Tabuľka 12: Vzťah medzi pevnosťou a objemom (dávkou) cementu					
Pevnosť v tlaku (N/mm ²)	Objem cementu (kg/m ³) pre druh cementu		Pevnosť v tlaku (N/mm ²)	Objem cementu (kg/m ³) pre druh cementu	
	A	B		A	B
20	180	195	41	290	305
21	185	200	42	295	310
22	190	205	43	300	315
23	195	210	44	305	320
24	200	215	45	310	325
25	205	220	46	315	330
26	210	225	47	320	335
27	215	230	48	325	340
28	220	235	49	330	345
29	225	240	50	335	355
30	230	245	51	340	360
31	235	255	52	345	365
32	240	260	53	355	370
33	245	265	54	360	375
34	255	270	55	365	380
35	260	275	56	370	385
36	265	280	57	375	390
37	270	285	58	380	395
38	275	290	59	385	400
39	280	295	60	390	405
40	285	300			

11.6 Ďalšie údaje a zmena v smerodajnej odchýlke

Tabuľka 13 je pokračovaním výpočtu „CUSUM“ s pridanými údajmi. Počas tohto obdobia nie je k dispozícii viacej skutočne nameraných 28-dňových pevností. „CUSUMy“ s pridanými údajmi sú zobrazené v obrázkoch 20 až 22.

V dôsledku zmeny v objeme (dávke) cementu s úmyslom dosiahnuť cieľovú pevnosť, vzorka číslo 18, C32/40, 70mm sadnutie kužela, ktorá je kontrolnou zmesou a preto je dávkováná s kontrolným objemom (dávkou) cementu, predtým nevyžadovala korekciu vzhľadom na pevnosť (pozri Tabuľku 11, vzorky číslo 3, 4 a 7). Avšak, kontrolný objem (dávka) cementu teraz vzrástla na 335 kg/m³; pretože zmes bola dávkováná (vyrobená) s množstvom cementu 320 kg/m³, predtým než systém „CUSUM M“ zistil potrebu zmeny, je potrebné použiť úpravu z nového hlavného vzťahu.

Rovnaký betón bol dávkový u vzorky číslo 22, ale v tomto prípade zmeny kontrolného objemu (dávky) cementu, potrebné na vykompenzovanie z dôvodu zmien v priemernej pevnosti a smerodajnej odchýlke, už boli uskutočnené. Z tejto príčiny nie je potrebné urobiť žiadnu úpravu, pretože dávkový objem (dávka) cementu je teraz 345 kg/m³ (320 + 15 +5), pričom zvýšenie +15 kg/m³ je spôsobené zmenou vzťahu pevnosť/objem cementu a zvýšenie +5 kg/m³ je spôsobené nárastom smerodajnej odchýlky, pozri Tabuľku 12).

Use of control charts in the production of concrete

Variačné rozpätie úpravy medzi vzorkami číslo 17 a 18 v pevnosti tlaku je veľké ($56,3 - 41,2$) = $15,1 \text{ N/mm}^2$. Výsledky tesne pred a po zmene priemernej pevnosti sú korigované vzhľadom na rozdielne hlavné vzťahy, čo zvýši variabilitu. V dôsledku toho musí byť ihneď urobená korekcia výsledkov, pred zmenou priemernej pevnosti, aby sa nezaviedla prebytočná variácia do výpočtu systému „CUSUM R“. Výsledok pred zmenou priemernej pevnosti je upravený za použitia hlavného vzťahu len pre výpočet variačného rozpätia. Z nového hlavného vzťahu je očakávaná pevnosť $44,2 \text{ N/mm}^2$ a toto znižuje variačné rozpätie z $15,1 \text{ N/mm}^2$ na hodnotu $12,1 \text{ N/mm}^2$.

Po referenčnej zmesi číslo 18 je tiež zistená zmena v smerodajnej odchýlke výroby, pozri Obrázok 21. Je potrebné vypočítať novú smerodajnú odchýlku z priemeru terajšieho variačného rozpätia. Priemerné variačné rozpätie je $5,3 \text{ N/mm}^2$ a nová smerodajná odchýlka je $4,7 \text{ N/mm}^2$ ($5,3/1,128$). Aby sa vyhlo veľkému množstvu korekcií je rozhodnuté zmeniť smerodajnú odchýlku na hodnotu 4 N/mm^2 . Rozpätie (rezerva) je zvýšená na hodnotu: $1,96 \times 4,0 = 7,8 \text{ N/mm}^2$ a zaokrúhlená na hodnotu 8 N/mm^2 . Zvýšenie rozpätia (rezervy) o 1 N/mm^2 vyžaduje zvýšenie objemu (dávky) cementu o 5 kg/m^3 - pozri Tabuľku 12. Súčasný objem (dávku) cementu v kontrolnej zmesi (betóne) 335 kg/m^3 je preto treba ihneď zvýšiť na 340 kg/m^3 . Vzťah medzi objemom (dávku) cementu a pevnosťou je nezmenený (vzťah B); to čo sa zmenilo je cieľová pevnosť referenčného betónu, ktorá sa posunula zo 47 na 48 N/mm^2 .

Use of control charts in the production of concrete

Tabuľka 13: Pokračovanie tabuľky "CUSUM"

Mix description (all CEM III/A)						Results			Adjustments							CUSUM M			CUSUM R			CUSUM C					
Mix reference	Strength class	Aggregate size	Target slump	Plasticiser	Batched cement content	Actual 7 day	Predicted 28 day	Actual 28 day	Total cement adjustment	Adjusted cement content	Cement/Strength Code	Expected strength	Reference strength	Target strength	Strength adjustment	From predicted	From actual	Adjusted strength	Difference from target	CUSUM M	Range	Target Range	Difference from target	CUSUM R	Actual - predicted 28 day	CUSUM C	
16	C40/50	20	120	Yes	360	41.5	52.8	53.8	15	375	A	57.3	40	47	-		43.5	43.5	-3.5	-	6.5	3.9	2.6	17.8	1.0	-3.1	
17	C25/30	20	100	No	275	21.7	31.5		-5	270	A	37.3	40	47	10.3		41.2	41.2	-5.8	12.7	2.3	3.9	-	16.2			
TARGET STRENGTH NOT BEING ACHIEVED; CEMENT CONTENT INCREASED; CUSUM M RESET TO ZERO																											
17	Adjusted					21.7	31.5			270	B	34.3	40	47	12.7	44.2		44.2		0.0				16.2			
18	C32/40	20	70	No	320	41.8	53.1		0	320	B	43.8	40	47	3.2	56.3		56.3	9.3	9.3	12.1	3.9	8.2	24.4			
STANDARD DEVIATION INCREASED TO 4,0 N/mm ² ; TARGET STRENGTH INCREASED TO 48 N/mm ² ; TARGET RANGE INCREASED TO 4,5 N/mm ² ; CEMENT CONTENT INCREASED																											
18	Adjusted					41.8	53.1			320	B	43.8	40	48	4.2	57.3		57.3		9.3				0.0			
19	C25/30	20	100	No	290	26.2	36.9		-5	285	B	37.2	40	48	10.8	47.7		47.7	-0.3	9.0	9.6	4.5	5.1	5.1			
20	C28/35	20	50	No	305	28.6	39.7		10	315	B	42.9	40	48	5.1	44.8		44.8	-3.2	5.8	2.9	4.5	-	3.5			
21	P300	20	150	Yes	300	24.4	34.8		10	310	B	41.9	40	48	6.1	40.9		40.9	-7.1	-1.3	3.9	4.5	-	2.9			
22	C32/40	20	70	No	340	39.5	51.0		0	340	B	47.6	40	48	0.4	51.4		51.4	3.4	2.1	10.5	4.5	6.0	8.9			

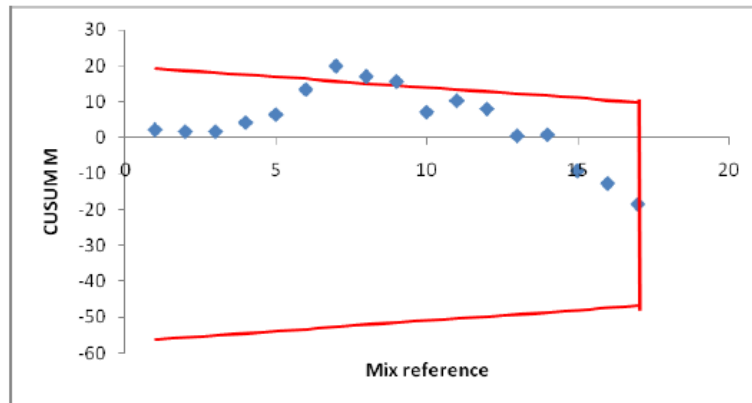
Texty v tabuľke: 3.riadok: „Ciel'ová pevnosť nebola dosiahnutá; objem cementu bol zvýšený; „CUSUM M“ bolo resetované k nule“

6.riadok: „Smerodajná odchýlka zvýšená na 4,0 N/mm²; Ciel'ová pevnosť zvýšená na 48 N/mm²; Ciel'ový variačné rozpätie zvýšený na 4,5 N/mm²; Objem cementu zvýšený

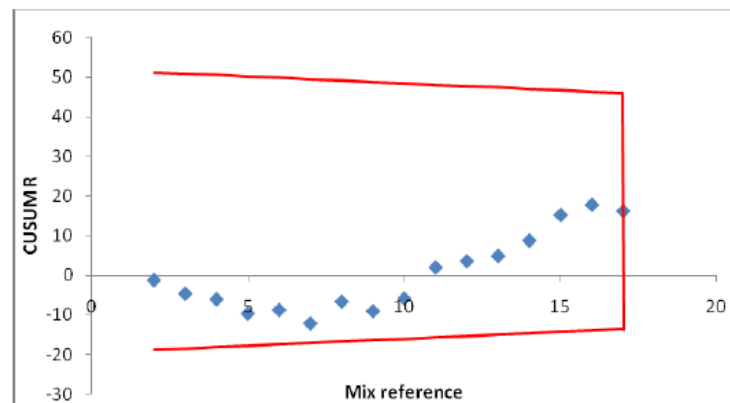
Mix description (all CEM III/A) - popis zmesí (všetky z cementu CEM III/A); **Results** - výsledky; **Adjustments** - úpravy;

Mix reference - referenčná zmes; **Strength class** - pevnostná trieda; **Aggregate size** - max.zrno kameniva; **Target slump** - sadnutie kužeľa; **Plasticiser** - plastifikátor; **Batched cement content** - dávkovaný objem cementu (dávkovanie cementu); **Actual 7 day** - skutočná 7-dňová pevnosť; **Predicted 28 day** - predpokladaná 28-dňová pevnosť; **Actual 28 day** - skutočná 28-dňová pevnosť; **Total cement adjustment** - celková úprava v cemente; **Adjusted cement content** - upravený objem (dávkovanie) cementu; **Cement/Strength Code** - cement typu A alebo B; **Expected strength** - očakávaná pevnosť; **Reference strength** - referenčná pevnosť; **Target strength** - cieľová pevnosť; **Strength adjustment** - úprava pevnosti; **From predicted** - od predpokladanej; **From actual** - od skutočnej; **Adjusted strength** - upravená pevnosť; **Difference from target** - rozdiel od cieľovej hodnoty; **Range** - variačné rozpätie; **Target range** - cieľové variačné rozpätie; **Difference from target** - rozdiel od cieľového variačného rozpätia; **Actual - predicted 28 day** - rozdiel medzi skutočnou a predpokladanou 28-dňovou pevnosťou

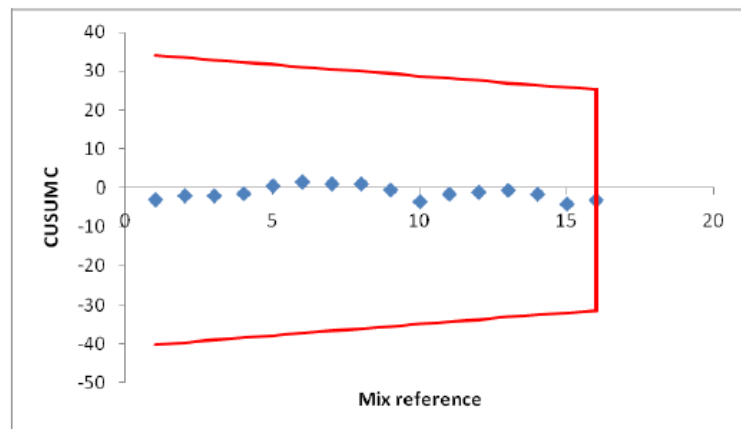
Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu



Obrázok 20: Systém „CUSUM M“ s pridanými údajmi



Obrázok 21: Systém „CUSUM R“ s pridanými údajmi



Obrázok 22: Systém „CUSUM C“ s pridanými údajmi

Mix reference - referenčná zmes (poradové číslo skúšobnej zmesi)

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

12 Literatúra

- [1] SHEWHART, W A, *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, 1931.
SHEWHART, W A, „Hospodárna kontrola kvality vyrábaných produktov“, 1931
- [2] CEN, *Product standards and conformity assessment guideline*, CEN/BT N6287, 2000-11-09.
CEN, „Výrobné normy a smernica na posudzovanie zhody“, CEN/BT N6287, 9.11.2000
- [3] BRITISH STANDARDS INSTITUTION, *Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity*, EN 206-1:2000.
Britská normalizačná spoločnosť, „Betón - časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda“, EN 206-1: 2000.
- [4] HARRISON, T et al, *Guidance on the application of the EN 206-1 conformity rules*, Quarry Products Association, April 2001 (available for free downloading from the MPA-BRMCA web site).
HARRISON T. a kolektív, „Smernica na používanie pravidiel pre zhodu podľa EN 206-1“, Asociácia výrobcov kameniva, apríl 2001 (dostupná pre bezplatné stiahnutie z webovej stránky MPA-BRMCA)
- [5] CASPEELE, R and TAERWE, L, *Combined production and conformity control of concrete with acceptance CUSUM control charts*, 2010.
CASPEELE, R and TAERWE, L, „Kombinovaná výroba a kontrola zhody betónu s použitím kontrolných diagramov CUSUM“, 2010
- [6] DEWAR, J D and ANDERSON, R, *manual of Ready-Mixed concrete*, 2nd edition, 2003.
DEWAR, J D and ANDERSON, R, „Manuál transportbetónu“, 2.vydanie, 2003.
- [7] INTERNATIONAL STANDARDS ORGANISATION, *Shewhart control charts*, ISO8258: 1991.
Medzinárodná normalizačná organizácia (ISO), „Shewhartove kontrolné diagramy“, ISO8258: 1991.
- [7] INTERNATIONAL STANDARDS ORGANISATION, *Acceptance control charts*, ISO7966: 1993.
Medzinárodná normalizačná organizácia (ISO), „Kontrolné diagramy pre preberacie skúšky“, ISO7966: 1993.
- [8] NEWMAN and CHOO, *Advanced Concrete Technology – Testing and Quality*, Chapter 9, 2003
NEWMAN a CHOO, „Progresívna (pokročilá) betónová technológia - skúšania a kvalita, Kapitola 9, 2003.
- [9] BRITISH STANDARDS INSTITUTION, *Guide to data analysis and quality control using CUSUM techniques*, BS 5703:2003
Britská normalizačná spoločnosť, „Sprievodca analýzou údajov a kontrolou kvality použitím CUSUM techník“, BS 5703:2003.
- [10] BROWN, B V, *Monitoring concrete by the CUSUM system*, Concrete Society Digest No.6, 1984.
BROWN, B V, „Sledovanie betónu systémom CUSUM, časopis Concrete Society Digest, č.6, 1984.
- [11] INTERNATIONAL STANDARDS ORGANISATION, *Cumulative sum charts – Guidance on quality control and data analysis using CUSUM techniques*, ISO/TR 7871:1997.
Medzinárodná normalizačná organizácia (ISO), „Diagramy kumulatívnych súčtov - Smernica na kontrolu kvality a analýzu údajov použitím techniky CUSUM, ISO/Technická správa 7871:1997.
- [12] BRITISH STANDARDS INSTITUTION, *Process control using quality control chart methods and CUSUM techniques*, BS5700.
Britská normalizačná spoločnosť, „Kontrolný proces za použitia metód kontrolných diagramov kvality a CUSUM techník, BS5700.
- [13] NIST/SEMATECH, *e-Handbook of Statistical Methods*, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, June 2008-06-18.
NIST/SEMATECH, „E-príručka štatistických metód“, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, jún, 18.6. 2008

Použitie kontrolných diagramov pri kontrole výroby betónu

[14] SEAR, L, *A combined CUSUM system for controlling OPC and OPC/PFA concretes*, ACT Project 89/10.

SEAR, L, A, „Kombinovaný CUSUM systém kontrolu betónov z portlandského cementu a portlandského/zmesového cementu s popolčekom“, ACT Project 89/10.

[15] DAY, K W, *Concrete mix design, quality control and specification*, 2nd edition, 1999.

DAY, K W, „Návrh zloženia betónu, kontrola kvality a špecifikácia“, 2.vydanie, 1999.

[16] DAY, KW, *Multigrade, multivariable CUSUM quality control*, 8th CANMET/ACI International Conference on advances in concrete technology, Montreal, May 2006.

DAY, KW, „Viacstupňová, mnoho variabilná kontrola kvality CUSUM“, 8.CANMET/ACI Medzinárodná konferencia o progresívnej technológii betónu, Montreal, maj 2006.

[17] DAY, KW, *Concrete mix design, quality control and specification*, 3rd edition, 2007.

DAY, KW, „Návrh zloženia betónu, kontrola kvality a špecifikácia“, 3.vydanie, 2007.

[18] QUALITY SCHEME FOR READY MIXED CONCRETE, *Quality and product conformity regulations*, 2003.

„Schéma kvality pre transportbetón, Nariadenia pre kvalitu a zhodu výrobkov“, 2003.

[19] TROY, J, *Private communication*, April 2010.

TROY, J, Súkromná komunikácia, apríl 2010.