



Приета: 16.02.2016 г.
Преработена: 29.02.2016 г.
Одобрена: 22.03.2016 г.

ДЕФОРМАЦИИ ОТ СЪСЪХВАНЕ ПРИ ИЗСЪХВАНЕ НА „ДЕБЕЛИ“ СТОМАНОБЕТОННИ ЕЛЕМЕНТИ, ИЗПЪЛНЕНИ С ЦИМЕНТ КЛАС R, СЪГЛАСНО ЕВРОКОД 2

Евг. Георгиев¹

Ключови думи: цимент клас R, съсъхване при изсъхване, деформация, дебели елементи, Еврокод 2, Еврокод 2-2

РЕЗЮМЕ

Деформациите от съсъхване при изсъхване в „дебели“ елементи, изпълнени с цимент клас R, съгласно БДС EN 1992-1-1 и БДС EN 1992-2, са представени в удобни за приложение таблици и графики. Разгледано е съсъхването при изсъхване за всички класове на бетона съгласно БДС EN 1992-1-1 плюс допълнителните класове на бетона C28/35 и C32/40 съгласно Националното Приложение на БДС-EN206-1:2002/NA. Деформациите от съсъхване при изсъхване в „дебели“ елементи, изпълнени от бетони със и без микросилициев прах съгласно БДС EN 1992-2, са разгледани в [5]. Анализирани са разликите в деформациите от съсъхване при изсъхване съгласно БДС EN 1992-1-1 и БДС EN 1992-2. Представени са разликите в деформациите от съсъхване при изсъхване за бетони, изпълнени с цимент клас N и R, съгласно БДС EN 1992-1-1.

1. Въведение

Деформациите от съсъхване при изсъхване според БДС EN 1992-1-1 [1] се определят съгласно т. 3.1.4 и Приложение В. Пълен анализ на тази методика е направен в [3]. БДС EN 1992-1-1 [1] е наричан за краткост по-долу ЕК2 за сгради.

¹ Евгени Георгиев, гл. ас. д-р инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: evgeni_georgiev_fce@abv.bg

В БДС EN 1992-2 [2] има ново Приложение В. В него методите за определяне на деформацията от съсъхване при изсъхване са различни за специфичните случаи на:

- високоякостни бетони с якост на натиск, по-голяма от C50/60 и приготвени с цимент клас R със и без микросилициев прах;
- „елементи с особено големи сечения”;
- „дебели елементи”.

БДС EN 1992-2 [2] е наричан по-долу ЕК2-2 за мостове.

Методиката от БДС EN 1992-2 [2] е анализирана в [4]. След направения анализ в [4] е предложено като критерий за „дебели елементи” да се приеме условният размер на напречното сечение на елемента h_0 . В [4] се предлага това да бъдат стоманобетонните елементи с $h_0 \geq 500$ mm.

В [5] деформацията от съсъхване при изсъхване за „дебели елементи” е определена за бетони, изпълнени с цимент клас N, съгласно БДС EN 1992-1-1 и за бетони, изпълнени със и без микросилициев прах съгласно БДС EN 1992-2. Отново там в [5], са анализирани разликите в деформациите от съсъхване при изсъхване за разгледаните примери.

Както е отбелязано в [5], деформацията от съсъхване при изсъхване на бетона $\varepsilon_{cd}(t)$ зависи от използвания клас цимент (S, N, R) съгласно ЕК2 [1], но според ЕК2-2 [2] тя не зависи от класа на цимента, а от това дали бетона е със или без микросилициев прах (МП).

В настоящата статия са разработени таблици и графики за определяне на съсъхването при изсъхване за елементи с:

- $h_0 = 500$ mm; $h_0 = 1000$ mm и $h_0 = 1500$ mm;
- всички класове на бетона съгласно БДС EN 1992-1-1, както и междинните класове на бетона съгласно Националното Приложение на БДС-EN206-1:2002/NA, а именно C28/35 и C32/40;
- влажности на околната среда $RH = 50\%$ и $RH = 70\%$;
- бетони, изпълнени с цимент клас R, съгласно БДС EN 1992-1-1;
- бетоните, изпълнени със и без микросилициев прах (МП), съгласно БДС EN 1992-2, са разгледани в [5].

Деформациите от съсъхване при изсъхване са определени за следните възрасти на бетона t в дни:

- 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 14, 18, 20, 21, 25, 27, 28, 30, 40, 50, 60, 90, 100, 180, 200, 270, 365, 550, 730, 1095, 1460, 1825, 3650, 5475, 9125, 18250, 25550, 27375 и 36500.

Поради ограниченията в обема на статията:

- са показани резултатите само за елементи с $h_0 = 500$ mm и $h_0 = 1500$ mm;
- са представени таблици за деформациите от съсъхването при изсъхване само за следните възрасти на бетона t в дни – 7, 14, 28, 90, 365, 1095, 1460, 3650, 18250, 25550 и 36500. Дадени са графиките за тези съсъхвания.

2. Деформация от съсъхване при изсъхване $\varepsilon_{cd}(t)$ за бетони, изпълнени с цимент клас R, съгласно ЕК2 [1]

От анализа на таблици и на фигури 1 ÷ 4 могат да се направят следните изводи за деформацията от съсъхване при изсъхване $\varepsilon_{cd}(t)$:

- за $h_0 = 500 \text{ mm}$ и $h_0 = 1500 \text{ mm}$, при $RH = 50\%$ и $RH = 70\%$, деформацията от съсъхване при изсъхване $\varepsilon_{cd}(t)$ нараства с нарастване на класа на бетона съгласно ЕК2 за бетони, изпълнени с цимент клас R. Това е валидно и за бетоните, изпълнени с цимент клас N, представени в [5]. За $h_0 = 500 \text{ mm}$ и $h_0 = 1500 \text{ mm}$ при влажности $RH = 50\%$ и $RH = 70\%$ разликата в съсъхването при изсъхване между бетон клас C16/20 и C90/105% е 125,69%;
- при влажности $RH = 70\%$ съсъхването при изсъхване е по-малко от това при $RH = 50\%$. Това е валидно, както за разгледаните тук бетони с цимент клас R съгласно ЕК2, така и за бетони с цимент клас N съгласно ЕК2 от [5]. За $h_0 = 500 \text{ mm}$, $h_0 = 1000 \text{ mm}$ и $h_0 = 1500 \text{ mm}$ за всички класове на бетона разликата в съсъхването при изсъхване между влажности $RH = 50\%$ и $RH = 70\%$ е 33,18%.

Таблица 1. Съсъхване при изсъхване $\varepsilon_{cd}(t) \cdot 10^{-6}$ за бетони с цимент клас R – ЕК2

| h_0 | 500 | [mm] | RH | 50 | [%] | | | | | | |
|------------|-----------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Клас бетон | Възраст на бетона t [дни] | | | | | | | | | | |
| | 7 | 14 | 28 | 90 | 365 | 1095 | 1460 | 3650 | 18250 | 25550 | 36500 |
| C16/20 | 4,8 | 13,1 | 28,9 | 88,8 | 244,0 | 386,9 | 417,3 | 485,8 | 532,3 | 536,0 | 538,8 |
| C20/25 | 4,6 | 12,5 | 27,6 | 85,0 | 233,5 | 370,3 | 399,3 | 464,9 | 509,4 | 512,9 | 515,6 |
| C25/30 | 4,4 | 11,9 | 26,2 | 80,4 | 221,0 | 350,4 | 378,0 | 440,0 | 482,1 | 485,5 | 488,0 |
| C28/35 | 4,2 | 11,5 | 25,3 | 77,8 | 213,8 | 339,1 | 365,7 | 425,7 | 466,5 | 469,7 | 472,1 |
| C30/37 | 4,1 | 11,2 | 24,8 | 76,1 | 209,1 | 331,7 | 357,7 | 416,5 | 456,3 | 459,5 | 461,9 |
| C32/40 | 4,1 | 11,0 | 24,2 | 74,5 | 204,6 | 324,5 | 349,9 | 407,4 | 446,4 | 449,5 | 451,8 |
| C35/45 | 3,9 | 10,6 | 23,4 | 72,1 | 198,0 | 313,9 | 338,6 | 394,2 | 431,9 | 434,9 | 437,1 |
| C40/50 | 3,7 | 10,1 | 22,2 | 68,2 | 187,4 | 297,1 | 320,5 | 373,1 | 408,8 | 411,6 | 413,8 |
| C45/55 | 3,5 | 9,5 | 21,0 | 64,6 | 177,3 | 281,2 | 303,3 | 353,1 | 386,9 | 389,6 | 391,6 |
| C50/60 | 3,3 | 9,0 | 19,9 | 61,1 | 167,8 | 266,2 | 287,1 | 334,2 | 366,2 | 368,7 | 370,7 |
| C55/67 | 3,1 | 8,5 | 18,8 | 57,8 | 158,9 | 251,9 | 271,7 | 316,3 | 346,6 | 349,0 | 350,8 |
| C60/75 | 3,0 | 8,1 | 17,8 | 54,7 | 150,4 | 238,5 | 257,2 | 299,4 | 328,1 | 330,3 | 332,0 |
| C70/85 | 2,7 | 7,2 | 15,9 | 49,0 | 134,7 | 213,6 | 230,4 | 268,2 | 293,9 | 295,9 | 297,5 |
| C80/95 | 2,4 | 6,5 | 14,3 | 43,9 | 120,7 | 191,4 | 206,4 | 240,3 | 263,3 | 265,1 | 266,5 |
| C90/105 | 2,1 | 5,8 | 12,8 | 39,4 | 108,1 | 171,4 | 184,9 | 215,2 | 235,9 | 237,5 | 238,7 |

Таблица 2. Съсъхване при изсъхване $\epsilon_{cd}(t)*10^{-6}$ за бетони с цимент клас R – ЕК2

| h_0 | 500 | [mm] | <i>RH</i> | 70 | [%] | | | | | | | |
|------------|----------------------------------|------|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Клас бетон | Възраст на бетона <i>t</i> [дни] | | | | | | | | | | | |
| | 7 | 14 | 28 | 90 | 365 | 1095 | 1460 | 3650 | 18250 | 25550 | 36500 | |
| C16/20 | 3,6 | 9,8 | 21,7 | 66,7 | 183,2 | 290,5 | 313,3 | 364,8 | 399,7 | 402,4 | 404,5 | |
| C20/25 | 3,5 | 9,4 | 20,7 | 63,8 | 175,3 | 278,0 | 299,8 | 349,1 | 382,5 | 385,1 | 387,1 | |
| C25/30 | 3,3 | 8,9 | 19,6 | 60,4 | 165,9 | 263,1 | 283,8 | 330,4 | 362,0 | 364,5 | 366,4 | |
| C28/35 | 3,2 | 8,6 | 19,0 | 58,4 | 160,5 | 254,6 | 274,6 | 319,7 | 350,3 | 352,7 | 354,5 | |
| C30/37 | 3,1 | 8,4 | 18,6 | 57,2 | 157,0 | 249,0 | 268,6 | 312,7 | 342,6 | 345,0 | 346,8 | |
| C32/40 | 3,0 | 8,2 | 18,2 | 55,9 | 153,6 | 243,6 | 262,8 | 305,9 | 335,2 | 337,5 | 339,2 | |
| C35/45 | 2,9 | 8,0 | 17,6 | 54,1 | 148,6 | 235,7 | 254,2 | 296,0 | 324,3 | 326,5 | 328,2 | |
| C40/50 | 2,8 | 7,5 | 16,6 | 51,2 | 140,7 | 223,1 | 240,6 | 280,1 | 307,0 | 309,1 | 310,7 | |
| C45/55 | 2,6 | 7,1 | 15,8 | 48,5 | 133,2 | 211,2 | 227,7 | 265,1 | 290,5 | 292,5 | 294,0 | |
| C50/60 | 2,5 | 6,8 | 14,9 | 45,9 | 126,0 | 199,9 | 215,6 | 250,9 | 275,0 | 276,9 | 278,3 | |
| C55/67 | 2,4 | 6,4 | 14,1 | 43,4 | 119,3 | 189,2 | 204,0 | 237,5 | 260,3 | 262,1 | 263,4 | |
| C60/75 | 2,2 | 6,1 | 13,4 | 41,1 | 112,9 | 179,0 | 193,1 | 224,8 | 246,3 | 248,0 | 249,3 | |
| C70/85 | 2,0 | 5,4 | 12,0 | 36,8 | 101,1 | 160,4 | 173,0 | 201,4 | 220,7 | 222,2 | 223,3 | |
| C80/95 | 1,8 | 4,9 | 10,7 | 33,0 | 90,6 | 143,7 | 155,0 | 180,4 | 197,7 | 199,1 | 200,1 | |
| C90/105 | 1,6 | 4,4 | 9,6 | 29,5 | 81,2 | 128,7 | 138,8 | 161,6 | 177,1 | 178,3 | 179,2 | |

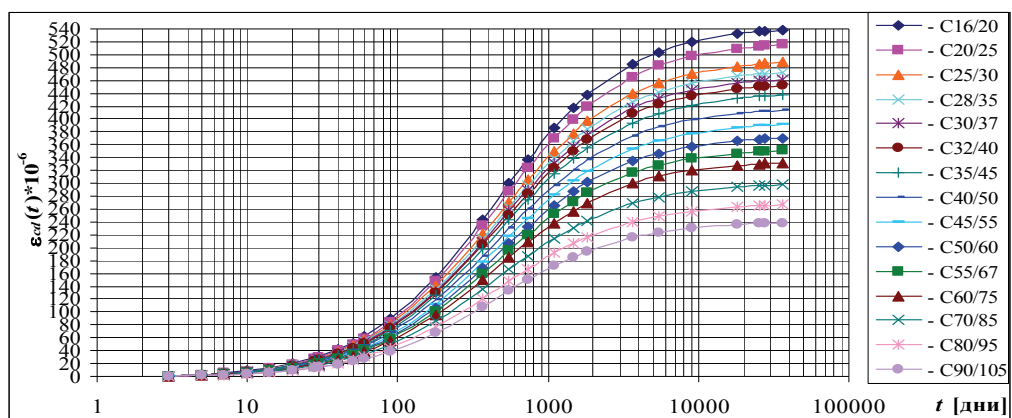
Таблица 3. Съсъхване при изсъхване $\epsilon_{cd}(t)*10^{-6}$ за бетони с цимент клас R – ЕК2

| h_0 | 1500 | [mm] | <i>RH</i> | 50 | [%] | | | | | | | |
|------------|----------------------------------|------|-----------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Клас бетон | Възраст на бетона <i>t</i> [дни] | | | | | | | | | | | |
| | 7 | 14 | 28 | 90 | 365 | 1095 | 1460 | 3650 | 18250 | 25550 | 36500 | |
| C16/20 | 0,9 | 2,6 | 5,8 | 19,7 | 73,5 | 174,3 | 210,2 | 333,1 | 483,8 | 499,9 | 512,7 | |
| C20/25 | 0,9 | 2,5 | 5,6 | 18,8 | 70,3 | 166,8 | 201,1 | 318,8 | 462,9 | 478,4 | 490,6 | |
| C25/30 | 0,8 | 2,3 | 5,3 | 17,8 | 66,6 | 157,9 | 190,4 | 301,7 | 438,2 | 452,8 | 464,4 | |
| C28/35 | 0,8 | 2,3 | 5,1 | 17,2 | 64,4 | 152,8 | 184,2 | 291,9 | 423,9 | 438,1 | 449,3 | |
| C30/37 | 0,8 | 2,2 | 5,0 | 16,9 | 63,0 | 149,5 | 180,2 | 285,6 | 414,7 | 428,5 | 439,5 | |
| C32/40 | 0,8 | 2,2 | 4,9 | 16,5 | 61,6 | 146,2 | 176,2 | 279,4 | 405,7 | 419,2 | 430,0 | |
| C35/45 | 0,8 | 2,1 | 4,7 | 16,0 | 59,6 | 141,5 | 170,5 | 270,3 | 392,5 | 405,6 | 416,0 | |
| C40/50 | 0,7 | 2,0 | 4,5 | 15,1 | 56,5 | 133,9 | 161,4 | 255,8 | 371,5 | 383,9 | 393,8 | |
| C45/55 | 0,7 | 1,9 | 4,2 | 14,3 | 53,4 | 126,7 | 152,8 | 242,1 | 351,6 | 363,4 | 372,7 | |
| C50/60 | 0,6 | 1,8 | 4,0 | 13,5 | 50,6 | 119,9 | 144,6 | 229,2 | 332,8 | 343,9 | 352,7 | |
| C55/67 | 0,6 | 1,7 | 3,8 | 12,8 | 47,9 | 113,5 | 136,9 | 216,9 | 315,0 | 325,5 | 333,9 | |
| C60/75 | 0,6 | 1,6 | 3,6 | 12,1 | 45,3 | 107,5 | 129,5 | 205,3 | 298,1 | 308,1 | 316,0 | |
| C70/85 | 0,5 | 1,4 | 3,2 | 10,9 | 40,6 | 96,3 | 116,0 | 183,9 | 267,1 | 276,0 | 283,1 | |
| C80/95 | 0,5 | 1,3 | 2,9 | 9,7 | 36,4 | 86,2 | 103,9 | 164,8 | 239,3 | 247,2 | 253,6 | |
| C90/105 | 0,4 | 1,1 | 2,6 | 8,7 | 32,6 | 77,3 | 93,1 | 147,6 | 214,3 | 221,5 | 227,2 | |

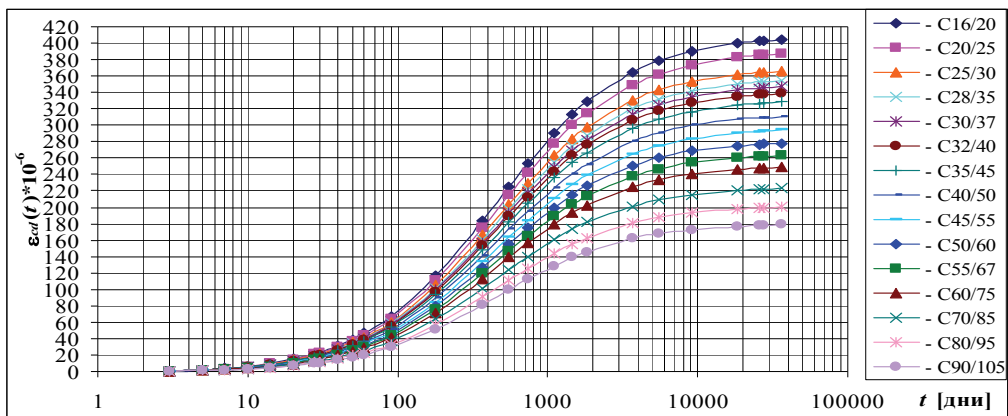
Таблица 4. Съсъхване при изсъхване $\epsilon_{cd}(t) \cdot 10^{-6}$ за бетони с цимент клас R – ЕК2

| h_0 | 1500 | [mm] | RH | 70 | [%] | Възраст на бетона t [дни] | | | | | |
|------------|------|------|-----|------|------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Клас бетон | 7 | 14 | 28 | 90 | 365 | 1095 | 1460 | 3650 | 18250 | 25550 | 36500 |
| C16/20 | 0,7 | 1,9 | 4,4 | 14,8 | 55,2 | 130,9 | 157,8 | 250,1 | 363,2 | 375,3 | 385,0 |
| C20/25 | 0,7 | 1,8 | 4,2 | 14,1 | 52,8 | 125,3 | 151,0 | 239,4 | 347,6 | 359,2 | 368,4 |
| C25/30 | 0,6 | 1,7 | 3,9 | 13,4 | 50,0 | 118,6 | 142,9 | 226,5 | 329,0 | 340,0 | 348,7 |
| C28/35 | 0,6 | 1,7 | 3,8 | 13,0 | 48,4 | 114,7 | 138,3 | 219,2 | 318,3 | 328,9 | 337,4 |
| C30/37 | 0,6 | 1,7 | 3,7 | 12,7 | 47,3 | 112,2 | 135,3 | 214,4 | 311,4 | 321,8 | 330,0 |
| C32/40 | 0,6 | 1,6 | 3,7 | 12,4 | 46,3 | 109,8 | 132,3 | 209,8 | 304,6 | 314,8 | 322,8 |
| C35/45 | 0,6 | 1,6 | 3,5 | 12,0 | 44,8 | 106,2 | 128,0 | 202,9 | 294,7 | 304,6 | 312,4 |
| C40/50 | 0,5 | 1,5 | 3,3 | 11,3 | 42,4 | 100,5 | 121,2 | 192,1 | 279,0 | 288,3 | 295,7 |
| C45/55 | 0,5 | 1,4 | 3,2 | 10,7 | 40,1 | 95,2 | 114,7 | 181,8 | 264,0 | 272,8 | 279,8 |
| C50/60 | 0,5 | 1,3 | 3,0 | 10,2 | 38,0 | 90,1 | 108,6 | 172,1 | 249,9 | 258,2 | 264,9 |
| C55/67 | 0,5 | 1,3 | 2,8 | 9,6 | 35,9 | 85,2 | 102,8 | 162,9 | 236,5 | 244,4 | 250,7 |
| C60/75 | 0,4 | 1,2 | 2,7 | 9,1 | 34,0 | 80,7 | 97,3 | 154,2 | 223,9 | 231,3 | 237,3 |
| C70/85 | 0,4 | 1,1 | 2,4 | 8,2 | 30,5 | 72,3 | 87,1 | 138,1 | 200,5 | 207,2 | 212,6 |
| C80/95 | 0,3 | 1,0 | 2,2 | 7,3 | 27,3 | 64,7 | 78,1 | 123,7 | 179,7 | 185,6 | 190,4 |
| C90/105 | 0,3 | 0,9 | 1,9 | 6,5 | 24,5 | 58,0 | 69,9 | 110,8 | 160,9 | 166,3 | 170,6 |

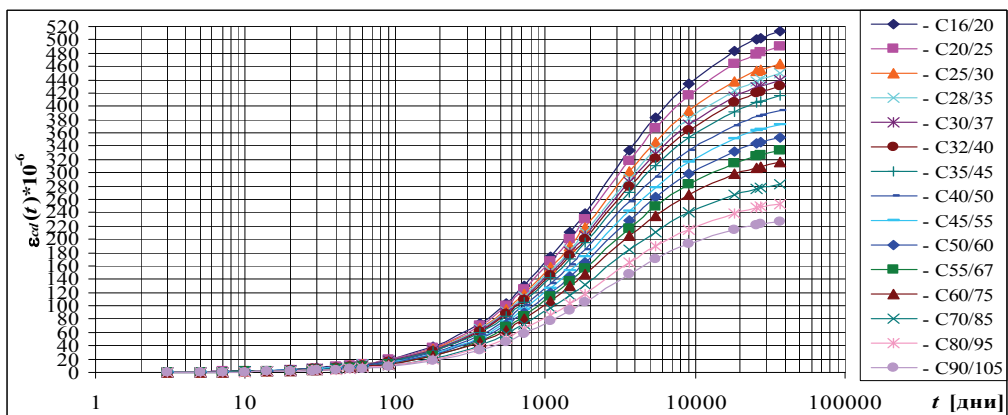
Забележка: Деформациите от съсъхване са с положителна стойност и това означава, че даденият елемент се скъпява.



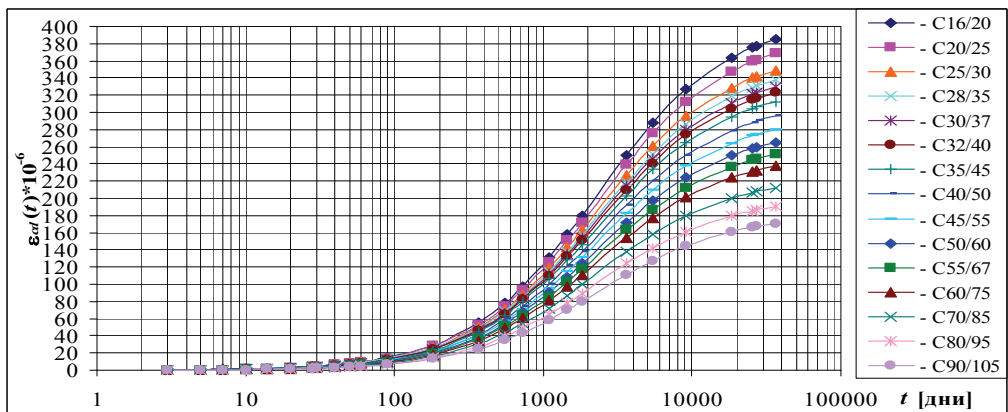
Фиг. 1. Съсъхване при изсъхване $\epsilon_{cd}(t) \cdot 10^{-6}$ с цимент R – ЕК2 – $h_0 = 500$ mm и RH = 50%



Фиг. 2. Съсърване при изсъхване $\epsilon_{cd}(t) \cdot 10^{-6}$ с цимент R – EK2 – $h_0 = 500$ mm и $RH = 70\%$



Фиг. 3. Съсърване при изсъхване $\epsilon_{cd}(t) \cdot 10^{-6}$ с цимент R – EK2 – $h_0 = 1500$ mm и $RH = 50\%$



Фиг. 4. Съсърване при изсъхване $\epsilon_{cd}(t) \cdot 10^{-6}$ с цимент R – EK2 – $h_0 = 1500$ mm и $RH = 70\%$

3. Сравнение на деформацията от съсъхване при изсъхване за бетони, изпълнени с цимент клас R, съгласно ЕК2 [1] и за бетони, изпълнени със и без микросилициев прах, съгласно ЕК2-2 [2]

Процентните разлики между деформациите от съсъхване при изсъхване за бетони с цимент клас R съгласно ЕК2 [1] и за бетони със и без микросилициев прах (МП) според ЕК2-2 [2] – за възраст $t = 36500$ дни = (∞) са представени в табл. 5.

В таблица 5 са използвани следните означения:

- $\Delta \epsilon_{cd, SFC}$ е процентната разлика между деформацията от съсъхване при изсъхване за бетони, изпълнени с цимент клас R съгласно ЕК2 [1] и с микросилициев прах според ЕК2-2 [2] – за възраст $t = 36500$ дни = ∞ ;
- $\Delta \epsilon_{cd}$ – процентната разлика между деформацията от съсъхване при изсъхване за бетони, изпълнени с цимент клас R съгласно ЕК2 [1] и без микросилициев прах според ЕК2-2 [2] - за възраст $t = 36500$ дни = ∞ .

Забележки за таблица 5: Знакът минус „-“ пред процентната разлика означава, че деформацията от съсъхване при изсъхване според ЕК2-2 е с по-голяма стойност от тази според ЕК2. Положителната стойност на процентната разлика означава, че деформацията от съсъхване при изсъхване съгласно ЕК2 е по-голяма от тази според ЕК2-2.

За деформацията от съсъхване при изсъхване $\epsilon_{cd}(t)$ съгласно ЕК2 и според ЕК2-2 за бетони с МП могат да се направят следните **изводи**:

- за $h_0 = 500$ mm и $h_0 = 1000$ mm при $RH = 50\%$ деформацията от съсъхване при изсъхване $\epsilon_{cd}(t)$ съгласно ЕК2 е по-малка от тази според ЕК2-2 за бетони с МП. За всички случаи най-големите разлики са за бетон клас C16/20, а най-малките за C90/105. За $h_0 = 500$ mm разликите са $(-89,66 \div -16,02)\%$. За $h_0 = 1000$ mm разликите са $(-70,46 \div -4,27)\%$;
- за $h_0 = 1500$ mm и $RH = 50\%$ разликите са $(-45,89 \div 12,06)\%$. Деформацията от съсъхване при изсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за класове на бетона $\leq C70/85$. Най-малката разлика от $-2,56\%$ е за C80/95;
- за $h_0 = 500$ mm и $RH = 70\%$ разликите са $(-67,67 \div 175,32)\%$. Деформацията от съсъхване при изсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за класове на бетона $\leq C35/45$. Най-малката разлика от $-1,48\%$ е за C35/45;
- за $h_0 = 1000$ mm и $RH = 70\%$ разликите са $(-50,70 \div 206,33)\%$. Деформацията от съсъхване при изсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за класове на бетона $\leq C30/37$. Най-малката разлика от $-2,11\%$ е за C32/40;
- за $h_0 = 1500$ mm и $RH = 70\%$ разликите са $(-28,98 \div 257,91)\%$. Деформацията от съсъхване при изсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за класове на бетона $\leq C25/30$. Най-малката разлика от $0,24\%$ е за C25/30.

Таблица 5. Процентни разлики между деформациите от съсъхване при изсъхване за бетоци с цимент клас R според ЕК2 [1] и ЕК2-2 [2] – за $t = 36500$ дни

| h_0 [mm] | 500 | 500 | 1000 | 1000 | 1500 | 1500 |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| RH [%] | 50 | 70 | 50 | 70 | 50 | 70 |
| Клас бетон | $\Delta\varepsilon_{cd,SFC}$ | $\Delta\varepsilon_{cd,SFC}$ | $\Delta\varepsilon_{cd,SFC}$ | $\Delta\varepsilon_{cd,SFC}$ | $\Delta\varepsilon_{cd,SFC}$ | $\Delta\varepsilon_{cd,SFC}$ |
| C16/20 | -89,66 | -67,67 | -70,46 | -50,70 | -45,89 | -28,98 |
| C20/25 | -78,88 | -49,50 | -60,77 | -34,36 | -37,60 | -15,00 |
| C25/30 | -68,24 | -30,31 | -51,21 | -17,12 | -29,42 | -0,24 |
| C28/35 | -63,20 | -20,45 | -46,68 | -8,25 | -25,54 | 7,93 |
| C30/37 | -60,34 | -14,48 | -44,10 | -2,89 | -23,33 | 13,56 |
| C32/40 | -57,85 | -8,97 | -41,87 | 2,11 | -21,42 | 19,30 |
| C35/45 | -54,78 | -1,48 | -39,11 | 9,64 | -19,06 | 28,11 |
| C40/50 | -51,25 | 10,05 | -35,94 | 22,45 | -16,35 | 43,07 |
| C45/55 | -49,50 | 21,54 | -34,37 | 35,23 | -15,00 | 58,00 |
| C50/60 | -49,30 | 32,61 | -34,19 | 47,55 | -14,85 | 72,39 |
| C55/67 | -50,48 | 42,85 | -35,25 | 58,94 | -15,76 | 85,71 |
| C60/75 | -47,80 | 57,12 | -32,84 | 74,81 | -13,69 | 104,25 |
| C70/85 | -36,83 | 94,22 | -22,97 | 116,09 | -5,25 | 152,48 |
| C80/95 | -26,76 | 133,05 | -13,93 | 159,30 | 2,56 | 202,96 |
| C90/105 | -16,02 | 175,32 | -4,27 | 206,33 | 12,06 | 257,91 |

За деформацията от съсъхване при изсъхване $\varepsilon_{cd}(t)$ съгласно ЕК2 и според ЕК2-2 за бетоци без МП могат да се направят следните **изводи**:

- за $h_0 = 500$ mm и $RH = 50\%$, деформацията от съсъхване при изсъхване $\varepsilon_{cd}(t)$ съгласно ЕК2 е по-малка от тази според ЕК2-2 за бетоци без МП. Разликите са $(-73,76 \div -6,29)\%$, като най-голямата е за бетон С16/20, а най-малката е за С90/105;
- за $h_0 = 1000$ mm и $RH = 50\%$ разликите са $(-28,96 \div 26,77)\%$. Деформацията от съсъхване при изсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за класове на бетона \leq С60/75. Най-малката разлика от $-0,49\%$ е за С60/75;
- за $h_0 = 500$ mm и $RH = 70\%$ разликите са $(-53,62 \div 200,51)\%$. Деформацията от съсъхване при изсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за класове на бетона \leq С30/37. Най-малката разлика от $0,17\%$ е за С32/40;
- за $h_0 = 1000$ mm и $RH = 70\%$ разликите са $(-14,01 \div 304,92)\%$. Деформацията от съсъхване при изсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за класове на бетона \leq С20/25. Най-малката разлика от $-1,65\%$ е за С20/25;
- за $h_0 = 1500$ mm при $RH = 50\%$ и $RH = 70\%$ деформацията от съсъхване при изсъхване $\varepsilon_{cd}(t)$ съгласно ЕК2 е по-голяма от тази според ЕК2-2 за бетоци без МП. За всички случаи най-големите разлики са за бетон клас С90/105, а най-малките са за С16/20. За $h_0 = 1500$ mm и $RH = 50\%$ разликите са $(9,87 \div 79,61)\%$, а за $h_0 = 1500$ mm и $RH = 70\%$ $(24,28 \div 473,70)\%$.

Таблица 5 – продължение

| h_0 [mm] | 500 | 500 | 1000 | 1000 | 1500 | 1500 |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| RH [%] | 50 | 70 | 50 | 70 | 50 | 70 |
| Клас бетон | $\Delta\epsilon_{cd}$ | $\Delta\epsilon_{cd}$ | $\Delta\epsilon_{cd}$ | $\Delta\epsilon_{cd}$ | $\Delta\epsilon_{cd}$ | $\Delta\epsilon_{cd}$ |
| C16/20 | -73,76 | -53,62 | -28,96 | -14,01 | 9,87 | 24,28 |
| C20/25 | -63,88 | -36,96 | -21,63 | -1,65 | 16,49 | 39,39 |
| C25/30 | -54,14 | -19,39 | -14,39 | 12,86 | 23,86 | 59,91 |
| C28/35 | -49,52 | -10,35 | -10,96 | 22,11 | 27,68 | 73,01 |
| C30/37 | -46,89 | -4,88 | -9,02 | 28,47 | 29,96 | 82,02 |
| C32/40 | -44,62 | 0,17 | -7,33 | 34,97 | 32,01 | 91,23 |
| C35/45 | -41,80 | 7,56 | -5,24 | 44,94 | 34,63 | 105,35 |
| C40/50 | -38,57 | 20,12 | -2,84 | 61,86 | 37,77 | 129,33 |
| C45/55 | -36,97 | 32,66 | -1,65 | 78,75 | 39,38 | 153,26 |
| C50/60 | -36,79 | 44,74 | -1,51 | 95,04 | 39,57 | 176,33 |
| C55/67 | -37,87 | 55,93 | -2,32 | 110,10 | 38,47 | 197,68 |
| C60/75 | -35,41 | 71,50 | -0,49 | 131,08 | 40,99 | 227,40 |
| C70/85 | -25,35 | 111,99 | 7,49 | 185,64 | 52,30 | 304,70 |
| C80/95 | -16,13 | 154,37 | 16,03 | 242,76 | 64,39 | 385,62 |
| C90/105 | -6,29 | 200,51 | 26,77 | 304,92 | 79,61 | 473,70 |

4. Сравнение на деформацията от съсъхване при изсъхване за бетони, изпълнени с цимент клас N и R, съгласно БДС EN 1992-1-1 [1]

Процентните разлики между деформациите от съсъхване при изсъхване за бетони с цимент клас N и R съгласно ЕК2 [1] за възраст $t = 36500$ дни $(= \infty)$ са представени в табл. 6. В табл. 6 е използвано следното означение: $\Delta\epsilon_{cd,N-R}$ е процентната разлика между деформацията от съсъхване при изсъхване за бетони, изпълнени с цимент клас N и R съгласно ЕК2 [1] за възраст $t = 36500$ дни $= \infty$;

За разликите между деформацията от съсъхване при изсъхване $\epsilon_{cd}(t)$ за бетони с цименти клас N и R съгласно ЕК2 [1] за възраст $t = 36500$ дни $= \infty$ могат да се направят следните изводи:

- с нарастване на класа на бетона нараства и процентната разлика. Разликите са $(36,57 \div 47,06)\%$. Най-малката разлика е за бетон клас C16/20, а най-голямата е за C90/105;
- за $h_0 = 500$ mm, $h_0 = 1000$ mm и $h_0 = 1500$ mm при $RH = 50\%$ и $RH = 70\%$ процентните разлики за един и същи клас бетон са еднакви – вж. табл. 6. Може да се направи изводът, че това е валидно за всички елементи с различни условни размери h_0 и при различни относителни влажности на въздуха RH ;
- следователно при известна деформация от съсъхване при изсъхване $\epsilon_{cd}(t)$ при $t = 36500$ дни $= \infty$ за бетони с цимент клас N с процентната разлика от табл. 6 за всеки клас бетон може да се определи $\epsilon_{cd}(t)$ за бетони с цимент клас R.

Таблица 6. Процентни разлики между деформациите от съсъхване при изсъхване за бетони с цименти клас N и R съгласно ЕК2 [1] – за възраст $t = 36500$ дни = ∞

| h_0 [mm] | 500 | 500 | 1000 | 1000 | 1500 | 1500 |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| RH [%] | 50 | 70 | 50 | 70 | 50 | 70 |
| Клас бетон | $\Delta\varepsilon_{cd,N-R}$ | $\Delta\varepsilon_{cd,N-R}$ | $\Delta\varepsilon_{cd,N-R}$ | $\Delta\varepsilon_{cd,N-R}$ | $\Delta\varepsilon_{cd,N-R}$ | $\Delta\varepsilon_{cd,N-R}$ |
| C16/20 | 36,57 | 36,57 | 36,57 | 36,57 | 36,57 | 36,57 |
| C20/25 | 37,12 | 37,12 | 37,12 | 37,12 | 37,12 | 37,12 |
| C25/30 | 37,81 | 37,81 | 37,81 | 37,81 | 37,81 | 37,81 |
| C28/35 | 38,22 | 38,22 | 38,22 | 38,22 | 38,22 | 38,22 |
| C30/37 | 38,50 | 38,50 | 38,50 | 38,50 | 38,50 | 38,50 |
| C32/40 | 38,77 | 38,77 | 38,77 | 38,77 | 38,77 | 38,77 |
| C35/45 | 39,19 | 39,19 | 39,19 | 39,19 | 39,19 | 39,19 |
| C40/50 | 39,89 | 39,89 | 39,89 | 39,89 | 39,89 | 39,89 |
| C45/55 | 40,59 | 40,59 | 40,59 | 40,59 | 40,59 | 40,59 |
| C50/60 | 41,30 | 41,30 | 41,30 | 41,30 | 41,30 | 41,30 |
| C55/67 | 42,00 | 42,00 | 42,00 | 42,00 | 42,00 | 42,00 |
| C60/75 | 42,72 | 42,72 | 42,72 | 42,72 | 42,72 | 42,72 |
| C70/85 | 44,15 | 44,15 | 44,15 | 44,15 | 44,15 | 44,15 |
| C80/95 | 45,60 | 45,60 | 45,60 | 45,60 | 45,60 | 45,60 |
| C90/105 | 47,06 | 47,06 | 47,06 | 47,06 | 47,06 | 47,06 |

Забележки за таблица 6: Положителната стойност на процентната разлика означава, че деформацията от съсъхване при изсъхване за бетони, изпълнени с цимент клас R, е по-голяма от тази за бетони, изпълнени с цимент клас N, съгласно ЕК2. Процентната разлика е определена спрямо бетоните с цимент клас N.

5. Заключение

Направените изводи за деформациите от съсъхване при изсъхване са дадени в т. 2, 3 и 4.

Представените таблици и графики облекчават определянето на деформациите от съсъхване при изсъхване за разгледаните случаи. Сравненията и анализите показват значителни различия в деформациите от съсъхване при изсъхване за бетони, изпълнени с цимент клас R съгласно БДС EN 1992-1-1 и БДС EN 1992-2, и със и без микросилициев прах според БДС EN 1992-2, при разгледаните „дебели“ елементи. В приложение В на БДС EN 1992-1-1 „дебели“ елементи не са коментирани. Необходимо е съгласуване на Приложенията В от БДС EN 1992-1-1 и БДС EN 1992-2, за да избегнат грешки и неточности в хода на проектиране. В етапа на проектиране може да не е известен класът на цимента, с който ще се произвежда бетонът. С процентните разлики от таблица 6 лесно може деформацията от съсъхване при изсъхване, определена за бетони с цимент клас N, да бъде изчислена за бетони с цимент клас R.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1992-1-1 Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Общи правила и правила за сгради. БИС, С., 2010 г.
2. БДС EN 1992- 2 Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Стоманобетонни мостове. Правила за проектиране и конструиране. БИС, С., 2010 г.
3. *Димитров, Д., Георгиев, Евг.* Определяне на деформацията от съсъхване в сгради и мостове според Еврокод 2. // Годишник на УАСГ, свитък V, том XLVI 2013 – 2014. УАСГ, София 2014. ISSN 1310-814X.
4. *Димитров, Д., Георгиев, Евг.* Определяне на деформациите от съсъхване при високоякостни бетони в сгради и мостове според Еврокод 2-2. // Годишник на УАСГ, свитък V, том XLVI 2013 – 2014. УАСГ, София 2014. ISSN 1310-814X.
5. *Димитров, Д., Георгиев, Евг.* Деформации от съсъхване при „дебели“ стоманобетонни елементи, изпълнени с цимент клас N, съгласно Еврокод 2. Първа научно-приложна конференция с международно участие – стоманобетонни и зидани конструкции – теория и практика – София. УАСГ, 22 ÷ 23.10.2015.

DRYING SHRINKAGE STRAINS IN “THICK” REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH CEMENT CLASS R ACCORDING TO EUROCODE 2

Evg. Georgiev¹

Keywords: *cement class R, drying shrinkage, deformation, thick elements, Eurocode 2, Eurocode 2-2*

ABSTRACT

Drying shrinkage strains in “thick” elements with cement class R according to BDS EN 1992-1-1 and BDS EN 1992-2 are presented in easy to use tables and charts. The drying shrinkage strains for all grades of concrete according to BDS EN 1992-1-1 plus additional grades of concrete C28/35 and C32/40 according to the National Annex of BDS-EN206-1:2002/NA are considered. The drying shrinkage strains in “thick” elements made with or without silica-fume according to BDS EN 1992-2 are examined in [5]. The differences in drying shrinkage strains according to BDS EN 1992-1-1 and BDS EN 1992-2 are analysed. The differences in drying shrinkage strains with cement class N and R according to BDS EN 1992-1-1 are presented and analysed.

¹ Evgeni Georgiev, Chief Assist. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnovski Blvd., Sofia 1046, e-mail: evgeni_georgiev_fce@abv.bg

