



Приета: 16.02.2016 г.

Преработена: 07.03.2016 г.

Одобрена: 22.03.2016 г.

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

Евг. Георгиев¹

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

РЕЗЮМЕ

Представени са таблици и графики с общата деформация от съсъхване за бетони с цимент клас R, съгласно БДС EN 1992-1-1 и БДС EN 1992-2, в „дебели“ елементи с условни размери $h_0 = 500$ mm и $h_0 = 1500$ mm при влажности $RH = 50\%$ и $RH = 70\%$. Разгледана е общата деформация от съсъхване за всички класове на бетона съгласно БДС EN 1992-1-1 плюс междинните класове на бетона C28/35 и C32/40 съгласно Националното Приложение на БДС-EN206-1:2002/NA. Бетоните със и без микросилицев прах, съгласно БДС EN 1992-2 са разгледани в [5]. Анализирани са разликите в общите деформации от съсъхване съгласно БДС EN 1992-1-1 и БДС EN 1992-2. Представени са разликите в общите деформации от съсъхване за бетони, изпълнени с цимент клас N и R, съгласно БДС EN 1992-1-1.

1. Въведение

Методите за определяне на общата деформация от съсъхване, според БДС EN 1992-1-1 [1] са анализирани в [3], а съгласно БДС EN 1992-2 [2] са анализирани в [4].

БДС EN 1992-1-1 [1] е наричан за краткост по-долу ЕК2 за сгради, БДС EN 1992-2 [2] е наричан по-долу ЕК2-2 за мостове.

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

В БДС EN 1992-1-1 „дебели“ елементи не са коментирани. Терминът „дебели“ елементи се появява в БДС EN 1992-2 [2], но липсва критерий за тяхното определяне.

След анализ в [4] е предложен като критерий за „дебели елементи“ да се приеме условният размер на напречното сечение на елемента h_0 и се предлага това да бъдат стоманобетонните елементи с $h_0 \geq 500$ mm.

Съгласно ЕК2 [1] и ЕК2-2 [2] общата деформация от съсъхване $\varepsilon_{cs}(t)$ е сумата на деформацията от собственото съсъхване на бетона $\varepsilon_{ca}(t)$ и деформацията от съсъхване при изсъхване на бетона $\varepsilon_{cd}(t)$.

Според [5] деформацията от собственото съсъхване на бетона $\varepsilon_{ca}(t)$ не зависи от използвания клас цимент (S, N, R) съгласно ЕК2 [1], но според ЕК2-2 [2] тя зависи от класа на цимента при възраст на бетона $t < 28$ дни. Деформациите от собствено съсъхване съгласно ЕК2 [1] и съгласно ЕК2-2 [2] за бетони с цимент клас N са дадени и анализирани в [5]. Сравненията в статията са направени за възраст на бетона $t = 36500$ дни = ∞ . За нуждите на статията са направени таблици и графики за $\varepsilon_{ca}(t)$ според ЕК2-2 [2] за бетони с цимент клас R, но класът на цимента оказва влияние при $t < 28$ дни и това е причината да не е представен тук.

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 с или без микросилициев прах (МП).

Деформациите от собствено съсъхване, съсъхване при изсъхване и общо съсъхване на „дебели елементи“ 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, са определени и представени в [5]. Отново в [5] са анализирани разликите в разгледаните примери на деформациите от съсъхване.

В [6] са представени деформациите от съсъхване при изсъхване за „дебели елементи“ от бетони, изпълнени с цимент клас R, съгласно БДС EN 1992-1-1. В [6] е направено и сравнение на деформациите от съсъхване при изсъхване за „дебели елементи“ от бетони, изпълнени с цимент клас N и R, съгласно БДС EN 1992-1-1.

В статията са разработени таблици и графики за определяне на общата деформация от съсъхване 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 плюс допълнителните класове на бетона C28/35 и C32/40 съгласно Националното Приложение на БДС-EN206-1:2002/NA;
- влажности на околната среда $RH = 50\%$ и $RH = 70\%$;
- бетони, изпълнени с цимент клас R, съгласно БДС EN 1992-1-1 и БДС EN 1992-2.

Бетоните, изпълнени със и без микросилициев прах (МП), съгласно БДС EN 1992-2, са разгледани в [5].

Общите деформации от съсъхване 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 общите деформации от съсъхване 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. Обща деформация от съсъхване $\varepsilon_{cs}(t)$ за бетони, изпълнени с цимент клас R, съгласно ЕК2 [1]

Таблица 1. Обща деформация от съсъхване $\varepsilon_{cs}(t)*10^{-6}$ за бетони с цимент 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 | 11,0 | 21,0 | 38,7 | 101,6 | 258,6 | 401,9 | 432,3 | 500,8 | 547,3 | 551,0 | 553,8 |
| C20/25 | 14,9 | 25,7 | 44,0 | 106,2 | 257,9 | 395,2 | 424,3 | 489,9 | 534,4 | 537,9 | 540,6 |
| C25/30 | 19,8 | 31,6 | 50,6 | 112,3 | 257,6 | 387,9 | 415,4 | 477,5 | 519,6 | 523,0 | 525,5 |
| C28/35 | 22,7 | 35,2 | 54,7 | 116,1 | 257,8 | 384,0 | 410,7 | 470,7 | 511,5 | 514,7 | 517,1 |
| C30/37 | 24,7 | 37,6 | 57,4 | 118,6 | 258,1 | 381,6 | 407,7 | 466,5 | 506,3 | 509,5 | 511,9 |
| C32/40 | 26,7 | 40,0 | 60,1 | 121,2 | 258,4 | 379,4 | 404,9 | 462,4 | 501,4 | 504,5 | 506,8 |
| C35/45 | 29,6 | 43,6 | 64,2 | 125,2 | 259,1 | 376,4 | 401,1 | 456,7 | 494,4 | 497,4 | 499,6 |
| C40/50 | 34,5 | 49,6 | 71,1 | 132,0 | 260,7 | 372,0 | 395,4 | 448,1 | 483,8 | 486,6 | 488,8 |
| C45/55 | 39,5 | 55,6 | 78,1 | 138,9 | 262,9 | 368,6 | 390,8 | 440,6 | 474,4 | 477,1 | 479,1 |
| C50/60 | 44,4 | 61,7 | 85,2 | 146,1 | 265,7 | 366,1 | 387,0 | 434,2 | 466,2 | 468,7 | 470,7 |
| C55/67 | 49,4 | 67,8 | 92,3 | 153,5 | 268,9 | 364,3 | 384,2 | 428,8 | 459,1 | 461,5 | 463,3 |
| C60/75 | 54,3 | 73,9 | 99,4 | 161,0 | 272,6 | 363,3 | 382,1 | 424,4 | 453,1 | 455,3 | 457,0 |
| C70/85 | 64,3 | 86,3 | 113,9 | 176,5 | 281,4 | 363,4 | 380,3 | 418,2 | 443,9 | 445,9 | 447,5 |
| C80/95 | 74,3 | 98,7 | 128,5 | 192,7 | 291,8 | 366,1 | 381,3 | 415,3 | 438,3 | 440,1 | 441,5 |
| C90/105 | 84,3 | 111,2 | 143,4 | 209,4 | 303,7 | 371,2 | 384,8 | 415,2 | 435,9 | 437,5 | 438,7 |

Таблица 2. Обща деформация от съсъхване $\varepsilon_{cs}(t)*10^{-6}$ за бетони с цимент R – ЕК2

| h_0 | 500 | [mm] | RH | 70 | [%] | | | | | | |
|------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Клас бетон | Възраст на бетона t [дни] | | | | | | | | | | |
| | 7 | 14 | 28 | 90 | 365 | 1095 | 1460 | 3650 | 18250 | 25550 | 36500 |
| C16/20 | 9,8 | 17,7 | 31,5 | 79,4 | 197,9 | 305,5 | 328,3 | 379,8 | 414,7 | 417,4 | 419,5 |
| C20/25 | 13,7 | 22,6 | 37,1 | 85,1 | 199,8 | 303,0 | 324,8 | 374,1 | 407,5 | 410,1 | 412,1 |
| C25/30 | 18,7 | 28,7 | 44,1 | 92,3 | 202,6 | 300,6 | 321,3 | 367,9 | 399,5 | 402,0 | 403,9 |
| C28/35 | 21,7 | 32,3 | 48,4 | 96,7 | 204,5 | 299,5 | 319,6 | 364,7 | 395,3 | 397,7 | 399,5 |
| C30/37 | 23,7 | 34,8 | 51,2 | 99,7 | 205,9 | 299,0 | 318,6 | 362,7 | 392,6 | 395,0 | 396,8 |
| C32/40 | 25,6 | 37,2 | 54,1 | 102,7 | 207,4 | 298,6 | 317,7 | 360,9 | 390,2 | 392,5 | 394,2 |
| C35/45 | 28,6 | 40,9 | 58,4 | 107,2 | 209,8 | 298,1 | 316,7 | 358,5 | 386,8 | 389,0 | 390,7 |
| C40/50 | 33,6 | 47,1 | 65,6 | 115,0 | 214,0 | 298,0 | 315,6 | 355,1 | 382,0 | 384,1 | 385,7 |
| C45/55 | 38,6 | 53,2 | 72,9 | 122,9 | 218,7 | 298,6 | 315,2 | 352,6 | 378,0 | 380,0 | 381,5 |
| C50/60 | 43,6 | 59,4 | 80,2 | 130,9 | 223,8 | 299,7 | 315,5 | 350,9 | 375,0 | 376,9 | 378,3 |
| C55/67 | 48,6 | 65,7 | 87,6 | 139,1 | 229,3 | 301,5 | 316,5 | 350,0 | 372,8 | 374,6 | 375,9 |
| C60/75 | 53,6 | 71,9 | 95,0 | 147,4 | 235,2 | 303,9 | 318,0 | 349,8 | 371,3 | 373,0 | 374,3 |
| C70/85 | 63,6 | 84,5 | 109,9 | 164,3 | 247,9 | 310,2 | 322,9 | 351,4 | 370,7 | 372,2 | 373,3 |
| C80/95 | 73,7 | 97,1 | 125,0 | 181,7 | 261,8 | 318,5 | 329,9 | 355,4 | 372,7 | 374,1 | 375,1 |
| C90/105 | 83,8 | 109,7 | 140,2 | 199,6 | 276,8 | 328,5 | 338,7 | 361,6 | 377,1 | 378,3 | 379,2 |

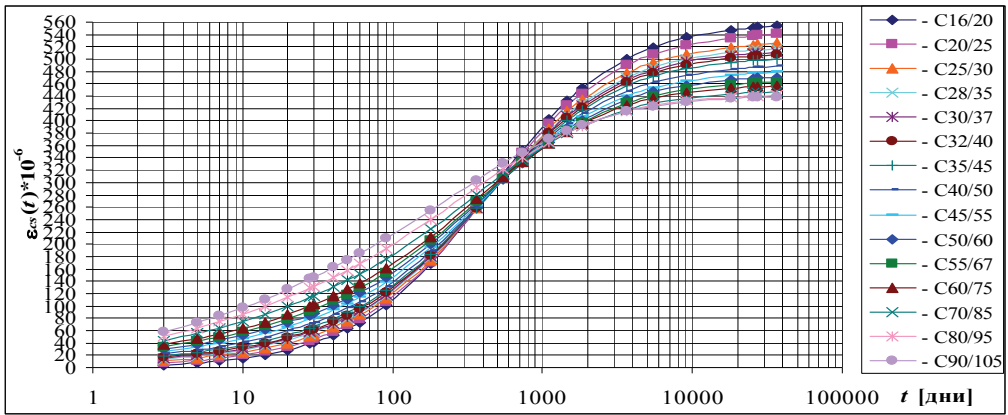
Таблица 3. Обща деформация от съсъхване $\epsilon_{cs}(t) \cdot 10^6$ за бетони с цимент R – ЕК2

| h_0 | 1500 | [mm] | RH | 50 | [%] | | | | | | |
|------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Клас бетон | Възраст на бетона t [дни] | | | | | | | | | | |
| | 7 | 14 | 28 | 90 | 365 | 1095 | 1460 | 3650 | 18250 | 25550 | 36500 |
| C16/20 | 7,1 | 10,5 | 15,6 | 32,4 | 88,2 | 189,3 | 225,2 | 348,1 | 498,8 | 514,9 | 527,7 |
| C20/25 | 11,2 | 15,6 | 21,9 | 40,1 | 94,8 | 191,8 | 226,1 | 343,8 | 487,9 | 503,4 | 515,6 |
| C25/30 | 16,3 | 22,1 | 29,7 | 49,7 | 103,3 | 195,4 | 227,8 | 339,2 | 475,7 | 490,3 | 501,9 |
| C28/35 | 19,3 | 26,0 | 34,5 | 55,5 | 108,4 | 197,7 | 229,2 | 336,9 | 468,9 | 483,1 | 494,3 |
| C30/37 | 21,3 | 28,5 | 37,6 | 59,4 | 111,9 | 199,4 | 230,1 | 335,6 | 464,7 | 478,5 | 489,5 |
| C32/40 | 23,4 | 31,1 | 40,8 | 63,3 | 115,4 | 201,1 | 231,2 | 334,4 | 460,7 | 474,2 | 485,0 |
| C35/45 | 26,4 | 35,0 | 45,5 | 69,1 | 120,8 | 203,9 | 233,0 | 332,8 | 455,0 | 468,1 | 478,5 |
| C40/50 | 31,5 | 41,5 | 53,4 | 78,9 | 129,8 | 208,8 | 236,4 | 330,8 | 446,5 | 458,9 | 468,8 |
| C45/55 | 36,6 | 48,0 | 61,4 | 88,7 | 139,0 | 214,1 | 240,2 | 329,6 | 439,1 | 450,9 | 460,2 |
| C50/60 | 41,7 | 54,5 | 69,3 | 98,5 | 148,4 | 219,8 | 244,5 | 329,2 | 432,8 | 443,9 | 452,7 |
| C55/67 | 46,8 | 60,9 | 77,2 | 108,4 | 157,9 | 225,9 | 249,3 | 329,4 | 427,5 | 438,0 | 446,4 |
| C60/75 | 51,9 | 67,4 | 85,2 | 118,4 | 167,6 | 232,3 | 254,5 | 330,3 | 423,1 | 433,1 | 441,0 |
| C70/85 | 62,2 | 80,4 | 101,1 | 138,4 | 187,3 | 246,1 | 266,0 | 333,9 | 417,1 | 426,0 | 433,1 |
| C80/95 | 72,4 | 93,5 | 117,1 | 158,5 | 207,5 | 261,0 | 278,9 | 339,8 | 414,3 | 422,2 | 428,6 |
| C90/105 | 82,6 | 106,5 | 133,2 | 178,7 | 228,2 | 277,0 | 293,0 | 347,6 | 414,3 | 421,5 | 427,2 |

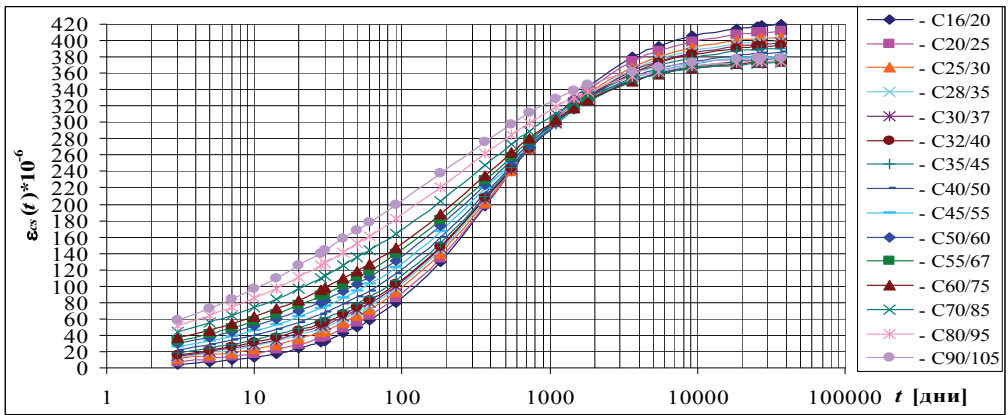
Таблица 4. Обща деформация от съсъхване $\epsilon_{cs}(t) \cdot 10^6$ за бетони с цимент R – ЕК2

| h_0 | 1500 | [mm] | RH | 70 | [%] | | | | | | |
|------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Клас бетон | Възраст на бетона t [дни] | | | | | | | | | | |
| | 7 | 14 | 28 | 90 | 365 | 1095 | 1460 | 3650 | 18250 | 25550 | 36500 |
| C16/20 | 6,9 | 9,8 | 14,2 | 27,5 | 69,9 | 145,9 | 172,8 | 265,1 | 378,2 | 390,3 | 400,0 |
| C20/25 | 10,9 | 15,0 | 20,5 | 35,4 | 77,3 | 150,2 | 176,0 | 264,4 | 372,6 | 384,2 | 393,4 |
| C25/30 | 16,0 | 21,5 | 28,4 | 45,3 | 86,7 | 156,0 | 180,4 | 264,0 | 366,5 | 377,5 | 386,2 |
| C28/35 | 19,1 | 25,4 | 33,2 | 51,2 | 92,4 | 159,7 | 183,3 | 264,2 | 363,3 | 373,9 | 382,4 |
| C30/37 | 21,1 | 28,0 | 36,4 | 55,2 | 96,2 | 162,2 | 185,3 | 264,4 | 361,4 | 371,8 | 380,0 |
| C32/40 | 23,2 | 30,6 | 39,6 | 59,1 | 100,1 | 164,7 | 187,3 | 264,8 | 359,6 | 369,8 | 377,8 |
| C35/45 | 26,3 | 34,5 | 44,3 | 65,1 | 105,9 | 168,6 | 190,5 | 265,4 | 357,2 | 367,1 | 374,9 |
| C40/50 | 31,4 | 41,0 | 52,3 | 75,1 | 115,7 | 175,4 | 196,2 | 267,1 | 354,0 | 363,3 | 370,7 |
| C45/55 | 36,5 | 47,5 | 60,3 | 85,1 | 125,7 | 182,5 | 202,2 | 269,3 | 351,5 | 360,3 | 367,3 |
| C50/60 | 41,6 | 54,0 | 68,3 | 95,2 | 135,8 | 189,9 | 208,5 | 272,1 | 349,9 | 358,2 | 364,9 |
| C55/67 | 46,7 | 60,5 | 76,3 | 105,3 | 146,0 | 197,6 | 215,2 | 275,4 | 349,0 | 356,9 | 363,2 |
| C60/75 | 51,8 | 67,0 | 84,3 | 115,4 | 156,3 | 205,5 | 222,2 | 279,2 | 348,9 | 356,3 | 362,3 |
| C70/85 | 62,0 | 80,1 | 100,3 | 135,7 | 177,2 | 222,1 | 237,1 | 288,1 | 350,5 | 357,2 | 362,6 |
| C80/95 | 72,3 | 93,2 | 116,4 | 156,1 | 198,5 | 239,5 | 253,0 | 298,7 | 354,7 | 360,6 | 365,4 |
| C90/105 | 82,5 | 106,2 | 132,5 | 176,6 | 220,1 | 257,7 | 269,8 | 310,8 | 360,9 | 366,3 | 370,6 |

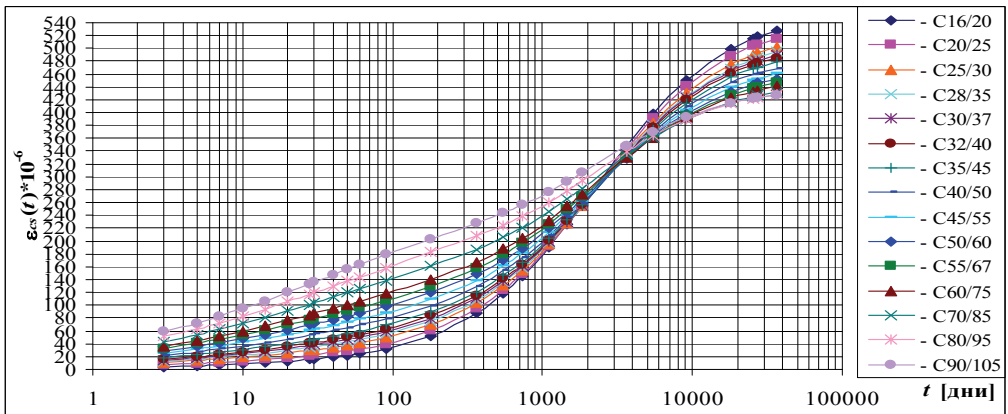
Забележка към таблици 1 ÷ 4: Деформациите от съсъхване са с положителна стойност и това означава, че даденият елемент се скъсява.



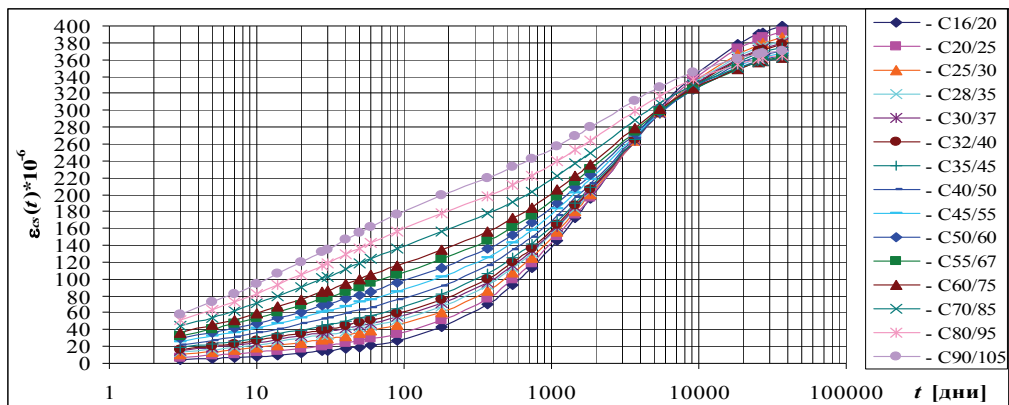
Фиг. 1. Обща деформация от съсъхване $\epsilon_{cs}(t) \cdot 10^{-6}$ с цименти R – ЕК2 – $h_0 = 500$ mm и $RH = 50\%$



Фиг. 2. Обща деформация от съсъхване $\epsilon_{cs}(t) \cdot 10^{-6}$ с цименти R – ЕК2 – $h_0 = 500$ mm и $RH = 70\%$



Фиг. 3. Обща деформация от съсъхване $\epsilon_{cs}(t) \cdot 10^{-6}$ с цименти R – ЕК2 – $h_0 = 1500$ mm и $RH = 50\%$



Фиг. 4. Обща деформация от съсъхване $\epsilon_{cs}(t) \cdot 10^{-6}$ с цименти R – ЕК2 - $h_0 = 1500$ mm и $RH = 70\%$

От анализа на таблици 1 ÷ 4 и на фигури 1 ÷ 4 могат да се направят следните изводи за общата деформация от съсъхване $\epsilon_{cs}(t)$:

- според ЕК2 [1] при възраст на бетона $t = 36500$ дни = ∞ : за $h_0 = 500$ mm и $RH = 50\%$ min съсъхване е за C90/105, а max е за C16/20 и разликата е 26,24%. За $h_0 = 500$ mm и $RH = 70\%$, min съсъхване е за C70/85, а max е за C16/20 и разликата е 12,38%. За $h_0 = 1000$ mm и $RH = 50\%$, min съсъхване е за C90/105, а max е за C16/20 и разликата е 25,05%. За $h_0 = 1000$ mm и $RH = 70\%$, min съсъхване е за C70/85, а max е за C16/20 и разликата е 11,48%. За $h_0 = 1500$ mm и $RH = 50\%$, min съсъхване е за C90/105, а max е за C16/20 и разликата е 23,53%. За $h_0 = 1500$ mm и $RH = 70\%$, min съсъхване е за C60/75, а max е за C16/20 и разликата е 10,41%. **При $RH = 50\%$ и $RH = 70\%$ с увеличаване на h_0 и при еднакво h_0 с увеличаване на RH намаляват разликите между най-малката и най-голямата обща деформация от съсъхване за $t = \infty$;**
- с увеличаване на h_0 общата деформация от съсъхване $\epsilon_{cs}(t)$ намалява. При относителна влажност $RH = 50\%$ за C16/20 с увеличаване на h_0 от 500 mm на 1500 mm намаляването на $\epsilon_{cs}(t)$ е 4,95%. При $RH = 50\%$ за C90/105 с увеличаване на h_0 от 500 mm на 1500 mm намаляването на $\epsilon_{cs}(t)$ е 2,69%. При относителна влажност $RH = 70\%$ за C16/20 с увеличаване на h_0 от 500 mm на 1500 mm намаляването на $\epsilon_{cs}(t)$ е 4,88%. При $RH = 70\%$ за C90/105 с увеличаване на h_0 от 500 mm на 1500 mm намаляването на $\epsilon_{cs}(t)$ е 2,32%;
- при влажност $RH = 70\%$ общата деформация от съсъхването е по-малка от тази при $RH = 50\%$. Това е валидно за ЕК2, както за бетони с цимент клас N според [5], така и за бетоните с цимент клас R, разгледани в тази статия;
- според ЕК2 за бетони с цимент клас R графиките на общата деформация от съсъхване за различните класове на бетон се пресичат (кръстосват), т.е. при по-ранните възрасти на бетона по-високите класове на бетона имат по-големи деформации, а при възраст $t = \infty$ нещата в зависимост от h_0 и RH се променят. При влажност $RH = 70\%$ кръстосването на графиките намалява.

3. Сравнение на общата деформацията от съсъхване за бетони, изпълнени с цимент клас R, съгласно БДС EN 1992-1-1 [1], и за бетони, изпълнени със и без микросилициев прах, съгласно БДС EN 1992-2 [2]

В таблица 5 са дадени процентните разлики за възраст $t = 36500$ дни $(= \infty)$ между общите деформации от съсъхване за бетони с цимент клас R съгласно ЕК2 [1] и за бетони със и без микросилициев прах (МП) според ЕК2-2 [2].

В резултатите от таблица 5 са използвани следните означения:

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

Таблица 5. Процентни разлики между общите деформации от съсъхване за бетони с цимент клас R съгласно ЕК2 [1] и ЕК2-2 [2] – за възраст $t = 36500$ дни $= \infty$

| h_0 [mm] | 500 | 500 | 1000 | 1000 | 1500 | 1500 |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| RH [%] | 50 | 70 | 50 | 70 | 50 | 70 |
| Клас бетон | $\Delta\varepsilon_{cs,SFC}$ | $\Delta\varepsilon_{cs,SFC}$ | $\Delta\varepsilon_{cs,SFC}$ | $\Delta\varepsilon_{cs,SFC}$ | $\Delta\varepsilon_{cs,SFC}$ | $\Delta\varepsilon_{cs,SFC}$ |
| C16/20 | -82,50 | -59,01 | -63,68 | -42,47 | -39,62 | -21,34 |
| C20/25 | -70,61 | -40,43 | -53,18 | -26,04 | -30,93 | -7,69 |
| C25/30 | -58,90 | -21,68 | -42,92 | -9,56 | -22,54 | 6,23 |
| C28/35 | -53,33 | -12,49 | -38,07 | -1,54 | -18,64 | 14,15 |
| C30/37 | -50,14 | -7,11 | -35,33 | 3,23 | -16,46 | 19,27 |
| C32/40 | -47,35 | -2,29 | -32,93 | 7,88 | -14,58 | 24,21 |
| C35/45 | -43,82 | 4,17 | -29,94 | 14,56 | -12,29 | 31,15 |
| C40/50 | -39,50 | 14,01 | -26,36 | 24,56 | -9,68 | 41,12 |
| C45/55 | -36,81 | 22,32 | -24,26 | 32,70 | -8,35 | 48,65 |
| C50/60 | -35,43 | 28,73 | -23,34 | 38,63 | -8,03 | 53,54 |
| C55/67 | -35,10 | 33,12 | -23,37 | 42,31 | -8,54 | 55,88 |
| C60/75 | -31,88 | 38,29 | -20,82 | 46,67 | -6,86 | 58,78 |
| C70/85 | -22,25 | 46,41 | -12,89 | 52,83 | -1,12 | 61,72 |
| C80/95 | -14,57 | 47,75 | -6,73 | 52,26 | 3,21 | 58,29 |
| C90/105 | -7,80 | 45,25 | -1,38 | 48,22 | 7,13 | 52,09 |

За общата деформация от съсъхване $\varepsilon_{cs}(t)$ съгласно ЕК2 и според ЕК2-2 за бетони с МП могат да се направят следните **изводи**:

- при $RH = 50\%$ за $h_0 = 500$ mm и $h_0 = 1000$ mm общата деформация от съсъхване $\varepsilon_{cs}(t)$ съгласно ЕК2 е по-малка от тази според ЕК2-2 за бетони с МП. За всички случаи най-големите разлики са за бетон клас С16/20, а най-малките за С90/105. За $h_0 = 500$ mm разликите са $(-82,50 \div -7,80)\%$, а за $h_0 = 1000$ mm разликите са $(-63,68 \div -1,38)\%$;
- при $RH = 50\%$ и $h_0 = 1500$ mm разликите са $(-39,62 \div 7,13)\%$. Общата деформация от съсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за класове на бетона $\leq C70/85$. Най-малката разлика от $-1,12\%$ е за C70/85;
- при $RH = 70\%$ и $h_0 = 500$ mm разликите са $(-59,01 \div 47,75)\%$. Общата деформация от съсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за класове на бетона $\leq C32/40$. Най-малката разлика $-2,29\%$ е за C32/40;
- при $RH = 70\%$ и $h_0 = 1000$ mm разликите са $(-42,47 \div 52,83)\%$. Общата деформация от съсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за класове на бетона $\leq C28/35$. Най-малката разлика $-1,54\%$ е за C28/35;
- при $RH = 70\%$ и $h_0 = 1500$ mm разликите са $(-21,34 \div 61,72)\%$. Общата деформация от съсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за класове на бетона $\leq C20/25$. Най-малката разлика $6,23\%$ е за C25/30.

Таблица 5 – продължение

| h_0 [mm] | 500 | 500 | 1000 | 1000 | 1500 | 1500 |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| RH [%] | 50 | 70 | 50 | 70 | 50 | 70 |
| Клас бетон | $\Delta\varepsilon_{cs}$ | $\Delta\varepsilon_{cs}$ | $\Delta\varepsilon_{cs}$ | $\Delta\varepsilon_{cs}$ | $\Delta\varepsilon_{cs}$ | $\Delta\varepsilon_{cs}$ |
| C16/20 | -67,03 | -45,45 | -23,32 | -7,12 | 15,86 | 33,96 |
| C20/25 | -56,31 | -28,65 | -15,88 | 4,87 | 22,43 | 48,85 |
| C25/30 | -45,80 | -11,77 | -8,78 | 19,41 | 29,04 | 66,42 |
| C28/35 | -40,84 | -3,53 | -5,53 | 27,87 | 32,07 | 75,88 |
| C30/37 | -38,02 | 1,29 | -3,73 | 33,28 | 33,68 | 81,56 |
| C32/40 | -35,55 | 5,90 | -2,21 | 38,43 | 34,97 | 86,66 |
| C35/45 | -32,47 | 12,55 | -0,39 | 45,55 | 36,33 | 93,11 |
| C40/50 | -28,77 | 22,58 | 1,59 | 55,44 | 37,14 | 100,44 |
| C45/55 | -26,56 | 30,82 | 2,43 | 62,46 | 36,40 | 103,52 |
| C50/60 | -25,57 | 36,93 | 2,32 | 66,49 | 34,45 | 102,87 |
| C55/67 | -25,54 | 40,83 | 1,46 | 67,77 | 31,63 | 99,32 |
| C60/75 | -22,88 | 45,43 | 2,60 | 69,57 | 31,20 | 96,38 |
| C70/85 | -14,62 | 52,16 | 7,37 | 70,21 | 32,90 | 88,32 |
| C80/95 | -8,15 | 52,07 | 10,95 | 64,70 | 33,00 | 76,35 |
| C90/105 | -2,51 | 48,35 | 14,02 | 56,85 | 32,47 | 64,17 |

Забележки към таблица 5: Знакът минус „–“ пред процентната разлика означава, че общата деформация от съсъхване според ЕК2-2 е с по-голяма стойност от тази според ЕК2. Положителната стойност на процентната разлика означава, че общата деформация от съсъхване съгласно ЕК2 е по-голяма от тази според ЕК2-2.

За общата деформация от съсъхване $\varepsilon_{cs}(t)$ съгласно ЕК2 и според ЕК2-2 за бетони без МП могат да се направят следните **изводи**:

- при $RH = 50\%$ и $h_0 = 500$ mm общата деформацията от съсъхване $\varepsilon_{cs}(t)$ съгласно ЕК2 е по-малка от тази според ЕК2-2 за бетони без МП. Разликите са $(-67,03 \div -2,51)\%$, като най-голямата е за бетон С16/20, а най-малката е за С90/105;
- при $RH = 50\%$ и $h_0 = 1000$ mm разликите са $(-23,32 \div 14,02)\%$. Общата деформация от съсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за класове на бетона \leq С35/45. Най-малката разлика $-0,39\%$ е за С35/45;
- при $RH = 50\%$ и $h_0 = 1500$ mm разликите са $(15,86 \div 37,14)\%$. Общата деформация от съсъхване според ЕК2 е по-голяма от тази по ЕК2-2 за всички класове на бетона. Най-малката разлика е за С16/20;
- при $RH = 70\%$ и $h_0 = 500$ mm разликите са $(-45,45 \div 52,16)\%$. Общата деформация от съсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за класове на бетона \leq С40/50. Най-малката разлика $1,29\%$ е за С30/37;
- при $RH = 70\%$ и $h_0 = 1000$ mm разликите са $(-7,12 \div 70,21)\%$. Общата деформация от съсъхване според ЕК2-2 е по-голяма от тази по ЕК2 за клас на бетона С16/20. Най-малката разлика $4,87\%$ е за С20/25;
- при $RH = 70\%$ и $h_0 = 1500$ mm общата деформация от съсъхване $\varepsilon_{cs}(t)$ съгласно ЕК2 е по-голяма от тази според ЕК2-2 за бетони без МП. Разликите са $(33,96 \div 103,52)\%$, като най-малката е за бетон С16/20, а най-голямата е за С45/55.

4. Сравнение на общата деформация от съсъхване $\varepsilon_{cs}(t)$ за бетони, изпълнени с цимент клас N и R, съгласно БДС EN 1992-1-1 [1]

Процентните разлики за възраст $t = 36500$ дни $(= \infty)$ между общите деформации от съсъхване за бетони с цимент клас N и R според ЕК2 [1] са дадени в табл. 6, където е използвано следното означение: $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ е процентната разлика за възраст $t = 36500$ дни $= \infty$ между общата деформация от съсъхване за бетони, изпълнени с цимент клас N и R, съгласно ЕК2.

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

| h_0 [mm] | 100 | 100 | 500 | 500 | 1000 | 1000 | 1500 | 1500 |
|----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| RH [%] | 50 | 70 | 50 | 70 | 50 | 70 | 50 | 70 |
| Клас бетон | $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ | $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ | $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ | $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ | $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ | $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ | $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ | $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ |
| C16/20 | 35,25 | 34,83 | 35,23 | 34,81 | 35,20 | 34,77 | 35,17 | 34,72 |
| C20/25 | 34,83 | 34,13 | 34,81 | 34,10 | 34,76 | 34,04 | 34,70 | 33,96 |
| C25/30 | 34,22 | 33,18 | 34,19 | 33,13 | 34,11 | 33,04 | 34,02 | 32,93 |
| C28/35 | 33,82 | 32,57 | 33,77 | 32,52 | 33,68 | 32,41 | 33,57 | 32,27 |
| C30/37 | 33,53 | 32,15 | 33,48 | 32,09 | 33,38 | 31,97 | 33,26 | 31,82 |
| C32/40 | 33,22 | 31,72 | 33,17 | 31,65 | 33,07 | 31,53 | 32,93 | 31,36 |
| C35/45 | 32,75 | 31,05 | 32,69 | 30,98 | 32,57 | 30,84 | 32,41 | 30,65 |
| C40/50 | 31,89 | 29,90 | 31,82 | 29,82 | 31,68 | 29,65 | 31,50 | 29,44 |
| C45/55 | 30,97 | 28,71 | 30,89 | 28,62 | 30,73 | 28,43 | 30,52 | 28,20 |
| C50/60 | 29,99 | 27,49 | 29,90 | 27,39 | 29,72 | 27,19 | 29,48 | 26,93 |
| C55/67 | 28,96 | 26,26 | 28,86 | 26,15 | 28,66 | 25,93 | 28,41 | 25,65 |
| C60/75 | 27,89 | 25,01 | 27,79 | 24,90 | 27,57 | 24,67 | 27,30 | 24,38 |
| C70/85 | 25,68 | 22,55 | 25,57 | 22,43 | 25,33 | 22,19 | 25,03 | 21,89 |
| C80/95 | 23,44 | 20,18 | 23,31 | 20,06 | 23,06 | 19,81 | 22,75 | 19,50 |
| C90/105 | 21,21 | 17,94 | 21,08 | 17,82 | 20,83 | 17,58 | 20,51 | 17,27 |

Забележки към таблица 6: Положителната стойност на процентната разлика означава, че общата деформация от съсъхване за бетони с цимент клас R е по-голяма от тази за бетони с цимент клас N съгласно ЕК2. Процентната разлика е определена спрямо бетоните с цимент клас N. Таблица 6 е допълнена и с резултати за процентните разлики при $h_0 = 100$ mm.

За разликите при възраст $t = \infty$ между общата деформация от съсъхване $\varepsilon_{cs}(t)$ за бетони с цименти клас N и R съгласно ЕК2 [1] са направени следните **изводи**:

- с нарастване на класа на бетона, процентната разлика $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ намалява. Най-голямата разлика е за бетон клас C16/20, а най-малката е за C90/105;
- с нарастване на h_0 и RH , процентната разлика $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ намалява;
- при $RH = 50\%$ разликите $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ са както следва: за $h_0 = 100$ mm са $(35,25 \div 21,21)\%$, за $h_0 = 500$ mm са $(35,23 \div 21,08)\%$, за $h_0 = 1000$ mm са $(35,20 \div 20,83)\%$, а за $h_0 = 1500$ mm са $(35,17 \div 20,51)\%$. Следователно с увеличаване на h_0 от 100 mm на 1500 mm, процентната разлика $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ за отделните класове на бетона се променя $(0,08 \div 0,70)\%$, като най-голяма е за C90/105, а най-малка – за C16/20;
- при $RH = 70\%$ разликите $\Delta\varepsilon_{cs,N-R}$ са както следва: за $h_0 = 100$ mm са $(34,83 \div 17,94)\%$, за $h_0 = 500$ mm са $(34,81 \div 17,82)\%$, за $h_0 = 1000$ mm са $(34,77 \div 17,58)\%$ и за $h_0 = 1500$ mm са $(34,72 \div 17,27)\%$. Следователно с

- увеличаване на h_0 от 100 mm на 1500 mm, процентната разлика $\Delta \varepsilon_{cs,N-R}$ за отделните класове на бетона се променя $(0,11 \div 0,67)\%$. Най-голяма е за C90/105, а най-малка за C16/20;
- според автора на базата на горните две заключения $\Delta \varepsilon_{cs,N-R}$ може да се приеме с една константна стойност за всеки клас бетон при $RH = 50\%$ и друга константна стойност за стойност за всеки клас бетон при $RH = 70\%$. Това ще важи за всички h_0 . В полза на сигурността е да се приеме $\Delta \varepsilon_{cs,N-R}$ за $h_0 = 100$ mm. С това приемане при известна обща деформация от съсъхване $\varepsilon_{cs}(t)$ за $t = 36500$ дни $= \infty$ за бетони с цимент клас N с приетата константна процентна разлика $\Delta \varepsilon_{cs,N-R}$ от табл. 6 за всяко h_0 може да се определи $\varepsilon_{cs}(t)$ за бетони с цимент клас R.

5. Заключение

Изводите за общите деформации от съсъхване са дадени в т. 2, 3 и 4.

Определянето на общите деформации от съсъхване за разгледаните случаи става по-лесно с дадените таблици и графики. Сравненията показват големи разлики в общите деформации от съсъхване 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 „дебели“ елементи с условни размери $h_0 = 500$ mm, $h_0 = 1000$ mm и $h_0 = 1500$ mm. Необходима е редакция и съгласуване на Приложенията В от БДС EN 1992-1-1 и БДС EN 1992-2, за да се избегнат неточности в хода на проектиране. В етапа на проектиране обикновено не е известен класът на цимента, с който ще се произвежда бетона. С приемането за константни на процентните разлики от табл. 6 за $RH = 50\%$ и $RH = 70\%$ за всеки клас на бетона лесно може общата деформация от съсъхване, 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.
6. *Димитров, Д., Георгиев, Евг.* Деформации от съсъхване при изсъхване при „дебели“ стоманобетонни елементи, изпълнени с цимент клас R, съгласно Еврокод 2. // Годишник на УАСГ (под печат), УАСГ, София, 2016.

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

Evg. Georgiev¹

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

ABSTRACT

Total shrinkage strains of concrete with cement class R in “thick” elements with notional sizes $h_0 = 500$ mm and $h_0 = 1500$ mm at relative humidities $RH = 50\%$ and $RH = 70\%$ according to BDS EN 1992-1-1 and BDS EN 1992-2 are presented in tables and charts. The total 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. Concrete with and without silica fume according to BDS EN 1992-2 is discussed in [5]. The differences in total shrinkage strains according to BDS EN 1992-1-1 and BDS EN 1992-2 are analysed. The differences in total shrinkage strains of concrete 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. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: evgeni_georgiev_fce@abv.bg