

84  
701

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ : ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ :

"ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ  
ΚΑΙ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΑΥΤΟΥ"

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:  
ΠΕΖΕΡΙΔΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ:  
ΚΙΤΣΟΥ ΕΛΕΝΗ  
ΛΑΛΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΠΕΙΡΑΙΑ, 1996

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ανθεκτικότητα του ωπλισμένου σκυροδέματος και ασθένειες αυτού.

- Ιστορικά σελ. 2
- Υλικά για την παρασκευή του σκυροδέματος σελ. 3

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α'

- Αιτίες εμφάνισης πρόωρης φθοράς της κατασκευής σελ. 7
- Οι έννοιες της ανθεκτικότητας και επιτελεστικότητας των κατασκευών σελ. 8
- Διάρκεια ζωής μίας κατασκευής σελ. 9
- Τεχνική και Οικονομική θεώρηση σελ. 12

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β'

Βασικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την ανθεκτικότητα σελ. 17

Γενικά σελ. 17

- Α. Περιβαλλοντικές συνθήκες σελ. 17

- Β. Διαπερατότητα σκυροδέματος σελ. 19

Γενικά σελ. 19

α. Σύσταση τσιμέντου σελ. 20

β. Λόγος Ν/Τ σελ. 21

γ. Πορώδες σελ. 21

δ. Συμπύκνωση σελ. 22

ε. Συντήρηση σελ. 22

στ. Υπαρξη ρωγμών σελ. 22

- Γ. Φυσικές και χημικές επιδράσεις σελ. 23

α. Μηχανικές σελ. 23

β. Φυσικές σελ. 23

γ. Χημικές - βιολογικές σελ. 24

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ'

Ανθεκτικότητα σκυροδέματος σελ. 28

- Α. Το σκυρόδεμα ως υλικό σελ. 28

- Β. Ανθεκτικότητα σκυροδέματος έναντι φυσικών επιδράσεων σελ. 29

α. Μηχανική φθορά σκυροδέματος σελ. 29

α1. Απότριψη σκυροδέματος σελ. 29

α2. Υδροφθορά σκυροδέματος	σελ. 31
α3. Δράση σπηλαιώσεως	σελ. 31
β. Επίδραση παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων	σελ. 31
β1. Μηχανισμός φθοράς λόγω επιδράσεως παγετού	σελ. 33
β2. Επίδραση αντιπαγωτικών αλάτων	σελ. 34
γ. Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε επίδραση παγετού	σελ. 34
γ1. Ποιότητα του σκυροδέματος	σελ. 34
γ2. Συνθήκες περιβάλλοντος	σελ. 34
γ3. Ηλικία του σκυροδέματος	σελ. 35
δ. Πως εμφανίζεται η φθορά λόγω επιδράσεως του παγετού	σελ. 36
- Ρηγμάτωση	σελ. 36
- Απολέπιση και αποφλοίωση του σκυροδέματος	σελ. 36
- Υγρή εμφάνιση του σκυροδέματος	σελ. 36
- Γ. Ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι χημικών επιδράσεων	σελ. 37
- Δ. Βιολογική επίδραση	σελ. 38
- Ε. Ανθεκτικότητα σιδηροπλισμών	σελ. 39
Η κατάσταση του χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα	σελ. 39
Γενικά	σελ. 39
α. Γενική ή ομοιόμορφη διάβρωση	σελ. 41
β. Διάβρωση λόγω ανάπτυξης τοπικής διαφοράς δυναμικού	σελ. 47
β1. Γαλβανική δράση	σελ. 47
β2. Συμπεριφορά έναντι ηλεκτρισμού	σελ. 47
- Ζ. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση των προεντεταμένων χαλύβων	σελ. 48

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ'

- Α. Μέτρα αρχικής προστασίας σκυροδέματος	σελ. 50
α1. Οδηγίες κατασκευής δαπέδων ανθεκτικών σε απότριψη	σελ. 50
α2. Προστασία σκυροδέματος από υδροφθορά	σελ. 51
α3. Προστασία του σκυροδέματος από δράση σπηλαιώσεως	σελ. 51
β. Προστασία του σκυροδέματος από επίδραση παγετού	σελ. 52
γ. Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε χημικές επιδράσεις	σελ. 53
δ. Μέτρα προστασίας των αγωγών αποχετεύσεως από σκυρόδεμα έναντι βιολογικής επιδράσεως	σελ. 54

- Β. Μέτρα προστασίας των σιδηροπλισμών από διάβρωση	σελ. 56
Γενικά	σελ. 56
α. Μέσα στο σκυρόδεμα	σελ. 56
β. Πάνω στον οπλισμό	σελ. 57
γ. Στην επιφάνεια του σκυροδέματος	σελ. 60

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε'

Άλλες, σημαντικές για την εφαρμογή σε έργα από οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα, ιδιότητες του σκυροδέματος	σελ. 63
- Α. Υδατοστεγανότητας	σελ. 63
- Β. Θερμομόνωση	σελ. 63
- Γ. Ηχομόνωση	σελ. 64
- Δ. Αντοχή έναντι του πυρός	σελ. 64

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ. 66
--------------	---------

## Η ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΔΙΠΛΩΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΑΥΤΟΥ.

Εκδόσεις: 1984, 2004, 2007, 2010, 2013, 2016, 2019, 2022, 2025, 2028, 2031, 2034, 2037, 2040, 2043, 2046, 2049, 2052, 2055, 2058, 2061, 2064, 2067, 2070, 2073, 2076, 2079, 2082, 2085, 2088, 2091, 2094, 2097, 2100, 2103, 2106, 2109, 2112, 2115, 2118, 2121, 2124, 2127, 2130, 2133, 2136, 2139, 2142, 2145, 2148, 2151, 2154, 2157, 2160, 2163, 2166, 2169, 2172, 2175, 2178, 2181, 2184, 2187, 2190, 2193, 2196, 2199, 2202, 2205, 2208, 2211, 2214, 2217, 2220, 2223, 2226, 2229, 2232, 2235, 2238, 2241, 2244, 2247, 2250, 2253, 2256, 2259, 2262, 2265, 2268, 2271, 2274, 2277, 2280, 2283, 2286, 2289, 2292, 2295, 2298, 2301, 2304, 2307, 2310, 2313, 2316, 2319, 2322, 2325, 2328, 2331, 2334, 2337, 2340, 2343, 2346, 2349, 2352, 2355, 2358, 2361, 2364, 2367, 2370, 2373, 2376, 2379, 2382, 2385, 2388, 2391, 2394, 2397, 2400, 2403, 2406, 2409, 2412, 2415, 2418, 2421, 2424, 2427, 2430, 2433, 2436, 2439, 2442, 2445, 2448, 2451, 2454, 2457, 2460, 2463, 2466, 2469, 2472, 2475, 2478, 2481, 2484, 2487, 2490, 2493, 2496, 2499, 2502, 2505, 2508, 2511, 2514, 2517, 2520, 2523, 2526, 2529, 2532, 2535, 2538, 2541, 2544, 2547, 2550, 2553, 2556, 2559, 2562, 2565, 2568, 2571, 2574, 2577, 2580, 2583, 2586, 2589, 2592, 2595, 2598, 2601, 2604, 2607, 2610, 2613, 2616, 2619, 2622, 2625, 2628, 2631, 2634, 2637, 2640, 2643, 2646, 2649, 2652, 2655, 2658, 2661, 2664, 2667, 2670, 2673, 2676, 2679, 2682, 2685, 2688, 2691, 2694, 2697, 2700, 2703, 2706, 2709, 2712, 2715, 2718, 2721, 2724, 2727, 2730, 2733, 2736, 2739, 2742, 2745, 2748, 2751, 2754, 2757, 2760, 2763, 2766, 2769, 2772, 2775, 2778, 2781, 2784, 2787, 2790, 2793, 2796, 2799, 2802, 2805, 2808, 2811, 2814, 2817, 2820, 2823, 2826, 2829, 2832, 2835, 2838, 2841, 2844, 2847, 2850, 2853, 2856, 2859, 2862, 2865, 2868, 2871, 2874, 2877, 2880, 2883, 2886, 2889, 2892, 2895, 2898, 2901, 2904, 2907, 2910, 2913, 2916, 2919, 2922, 2925, 2928, 2931, 2934, 2937, 2940, 2943, 2946, 2949, 2952, 2955, 2958, 2961, 2964, 2967, 2970, 2973, 2976, 2979, 2982, 2985, 2988, 2991, 2994, 2997, 3000, 3003, 3006, 3009, 3012, 3015, 3018, 3021, 3024, 3027, 3030, 3033, 3036, 3039, 3042, 3045, 3048, 3051, 3054, 3057, 3060, 3063, 3066, 3069, 3072, 3075, 3078, 3081, 3084, 3087, 3090, 3093, 3096, 3099, 3102, 3105, 3108, 3111, 3114, 3117, 3120, 3123, 3126, 3129, 3132, 3135, 3138, 3141, 3144, 3147, 3150, 3153, 3156, 3159, 3162, 3165, 3168, 3171, 3174, 3177, 3180, 3183, 3186, 3189, 3192, 3195, 3198, 3201, 3204, 3207, 3210, 3213, 3216, 3219, 3222, 3225, 3228, 3231, 3234, 3237, 3240, 3243, 3246, 3249, 3252, 3255, 3258, 3261, 3264, 3267, 3270, 3273, 3276, 3279, 3282, 3285, 3288, 3291, 3294, 3297, 3300, 3303, 3306, 3309, 3312, 3315, 3318, 3321, 3324, 3327, 3330, 3333, 3336, 3339, 3342, 3345, 3348, 3351, 3354, 3357, 3360, 3363, 3366, 3369, 3372, 3375, 3378, 3381, 3384, 3387, 3390, 3393, 3396, 3399, 3402, 3405, 3408, 3411, 3414, 3417, 3420, 3423, 3426, 3429, 3432, 3435, 3438, 3441, 3444, 3447, 3450, 3453, 3456, 3459, 3462, 3465, 3468, 3471, 3474, 3477, 3480, 3483, 3486, 3489, 3492, 3495, 3498, 3501, 3504, 3507, 3510, 3513, 3516, 3519, 3522, 3525, 3528, 3531, 3534, 3537, 3540, 3543, 3546, 3549, 3552, 3555, 3558, 3561, 3564, 3567, 3570, 3573, 3576, 3579, 3582, 3585, 3588, 3591, 3594, 3597, 3600, 3603, 3606, 3609, 3612, 3615, 3618, 3621, 3624, 3627, 3630, 3633, 3636, 3639, 3642, 3645, 3648, 3651, 3654, 3657, 3660, 3663, 3666, 3669, 3672, 3675, 3678, 3681, 3684, 3687, 3690, 3693, 3696, 3699, 3702, 3705, 3708, 3711, 3714, 3717, 3720, 3723, 3726, 3729, 3732, 3735, 3738, 3741, 3744, 3747, 3750, 3753, 3756, 3759, 3762, 3765, 3768, 3771, 3774, 3777, 3780, 3783, 3786, 3789, 3792, 3795, 3798, 3801, 3804, 3807, 3810, 3813, 3816, 3819, 3822, 3825, 3828, 3831, 3834, 3837, 3840, 3843, 3846, 3849, 3852, 3855, 3858, 3861, 3864, 3867, 3870, 3873, 3876, 3879, 3882, 3885, 3888, 3891, 3894, 3897, 3900, 3903, 3906, 3909, 3912, 3915, 3918, 3921, 3924, 3927, 3930, 3933, 3936, 3939, 3942, 3945, 3948, 3951, 3954, 3957, 3960, 3963, 3966, 3969, 3972, 3975, 3978, 3981, 3984, 3987, 3990, 3993, 3996, 3999, 4002, 4005, 4008, 4011, 4014, 4017, 4020, 4023, 4026, 4029, 4032, 4035, 4038, 4041, 4044, 4047, 4050, 4053, 4056, 4059, 4062, 4065, 4068, 4071, 4074, 4077, 4080, 4083, 4086, 4089, 4092, 4095, 4098, 4101, 4104, 4107, 4110, 4113, 4116, 4119, 4122, 4125, 4128, 4131, 4134, 4137, 4140, 4143, 4146, 4149, 4152, 4155, 4158, 4161, 4164, 4167, 4170, 4173, 4176, 4179, 4182, 4185, 4188, 4191, 4194, 4197, 4200, 4203, 4206, 4209, 4212, 4215, 4218, 4221, 4224, 4227, 4230, 4233, 4236, 4239, 4242, 4245, 4248, 4251, 4254, 4257, 4260, 4263, 4266, 4269, 4272, 4275, 4278, 4281, 4284, 4287, 4290, 4293, 4296, 4299, 4302, 4305, 4308, 4311, 4314, 4317, 4320, 4323, 4326, 4329, 4332, 4335, 4338, 4341, 4344, 4347, 4350, 4353, 4356, 4359, 4362, 4365, 4368, 4371, 4374, 4377, 4380, 4383, 4386, 4389, 4392, 4395, 4398, 4401, 4404, 4407, 4410, 4413, 4416, 4419, 4422, 4425, 4428, 4431, 4434, 4437, 4440, 4443, 4446, 4449, 4452, 4455, 4458, 4461, 4464, 4467, 4470, 4473, 4476, 4479, 4482, 4485, 4488, 4491, 4494, 4497, 4500, 4503, 4506, 4509, 4512, 4515, 4518, 4521, 4524, 4527, 4530, 4533, 4536, 4539, 4542, 4545, 4548, 4551, 4554, 4557, 4560, 4563, 4566, 4569, 4572, 4575, 4578, 4581, 4584, 4587, 4590, 4593, 4596, 4599, 4602, 4605, 4608, 4611, 4614, 4617, 4620, 4623, 4626, 4629, 4632, 4635, 4638, 4641, 4644, 4647, 4650, 4653, 4656, 4659, 4662, 4665, 4668, 4671, 4674, 4677, 4680, 4683, 4686, 4689, 4692, 4695, 4698, 4701, 4704, 4707, 4710, 4713, 4716, 4719, 4722, 4725, 4728, 4731, 4734, 4737, 4740, 4743, 4746, 4749, 4752, 4755, 4758, 4761, 4764, 4767, 4770, 4773, 4776, 4779, 4782, 4785, 4788, 4791, 4794, 4797, 4800, 4803, 4806, 4809, 4812, 4815, 4818, 4821, 4824, 4827, 4830, 4833, 4836, 4839, 4842, 4845, 4848, 4851, 4854, 4857, 4860, 4863, 4866, 4869, 4872, 4875, 4878, 4881, 4884, 4887, 4890, 4893, 4896, 4899, 4902, 4905, 4908, 4911, 4914, 4917, 4920, 4923, 4926, 4929, 4932, 4935, 4938, 4941, 4944, 4947, 4950, 4953, 4956, 4959, 4962, 4965, 4968, 4971, 4974, 4977, 4980, 4983, 4986, 4989, 4992, 4995, 4998, 5001, 5004, 5007, 5010, 5013, 5016, 5019, 5022, 5025, 5028, 5031, 5034, 5037, 5040, 5043, 5046, 5049, 5052, 5055, 5058, 5061, 5064, 5067, 5070, 5073, 5076, 5079, 5082, 5085, 5088, 5091, 5094, 5097, 5100, 5103, 5106, 5109, 5112, 5115, 5118, 5121, 5124, 5127, 5130, 5133, 5136, 5139, 5142, 5145, 5148, 5151, 5154, 5157, 5160, 5163, 5166, 5169, 5172, 5175, 5178, 5181, 5184, 5187, 5190, 5193, 5196, 5199, 5202, 5205, 5208, 5211, 5214, 5217, 5220, 5223, 5226, 5229, 5232, 5235, 5238, 5241, 5244, 5247, 5250, 5253, 5256, 5259, 5262, 5265, 5268, 5271, 5274, 5277, 5280, 5283, 5286, 5289, 5292, 5295, 5298, 5301, 5304, 5307, 5310, 5313, 5316, 5319, 5322, 5325, 5328, 5331, 5334, 5337, 5340, 5343, 5346, 5349, 5352, 5355, 5358, 5361, 5364, 5367, 5370, 5373, 5376, 5379, 5382, 5385, 5388, 5391, 5394, 5397, 5400, 5403, 5406, 5409, 5412, 5415, 5418, 5421, 5424, 5427, 5430, 5433, 5436, 5439, 5442, 5445, 5448, 5451, 5454, 5457, 5460, 5463, 5466, 5469, 5472, 5475, 5478, 5481, 5484, 5487, 5490, 5493, 5496, 5499, 5502, 5505, 5508, 5511, 5514, 5517, 5520, 5523, 5526, 5529, 5532, 5535, 5538, 5541, 5544, 5547, 5550, 5553, 5556, 5559, 5562, 5565, 5568, 5571, 5574, 5577, 5580, 5583, 5586, 5589, 5592, 5595, 5598, 5601, 5604, 5607, 5610, 5613, 5616, 5619, 5622, 5625, 5628, 5631, 5634, 5637, 5640, 5643, 5646, 5649, 5652, 5655, 5658, 5661, 5664, 5667, 5670, 5673, 5676, 5679, 5682, 5685, 5688, 5691, 5694, 5697, 5700, 5703, 5706, 5709, 5712, 5715, 5718, 5721, 5724, 5727, 5730, 5733, 5736, 5739, 5742, 5745, 5748, 5751, 5754, 5757, 5760, 5763, 5766, 5769, 5772, 5775, 5778, 5781, 5784, 5787, 5790, 5793, 5796, 5799, 5802, 5805, 5808, 5811, 5814, 5817, 5820, 5823, 5826, 5829, 5832, 5835, 5838, 5841, 5844, 5847, 5850, 5853, 5856, 5859, 5862, 5865, 5868, 5871, 5874, 5877, 5880, 5883, 5886, 5889, 5892, 5895, 5898, 5901, 5904, 5907, 5910, 5913, 5916, 5919, 5922, 5925, 5928, 5931, 5934, 5937, 5940, 5943, 5946, 5949, 5952, 5955, 5958, 5961, 5964, 5967, 5970, 5973, 5976, 5979, 5982, 5985, 5988, 5991, 5994, 5997, 6000, 6003, 6006, 6009, 6012, 6015, 6018, 6021, 6024, 6027, 6030, 6033, 6036, 6039, 6042, 6045, 6048, 6051, 6054, 6057, 6060, 6063, 6066, 6069, 6072, 6075, 6078, 6081, 6084, 6087, 6090, 6093, 6096, 6099, 6102, 6105, 6108, 6111, 6114, 6117, 6120, 6123, 6126, 6129, 6132, 6135, 6138, 6141, 6144, 6147, 6150, 6153, 6156, 6159, 6162, 6165, 6168, 6171, 6174, 6177, 6180, 6183, 6186, 6189, 6192, 6195, 6198, 6201, 6204, 6207, 6210, 6213, 6216, 6219, 6222, 6225, 6228, 6231, 6234, 6237, 6240, 6243, 6246, 6249, 6252, 6255, 6258, 6261, 6264, 6267, 6270, 6273, 6276, 6279, 6282, 6285, 6288, 6291, 6294, 6297, 6300, 6303, 6306, 6309, 6312, 6315, 6318, 6321, 6324, 6327, 6330, 6333, 6336, 6339, 6342, 6345, 6348, 6351, 6354, 6357, 6360, 6363, 6366, 6369, 6372, 6375, 6378, 6381, 6384, 6387, 6390, 6393, 6396, 6399, 6402, 6405, 6408, 6411, 6414, 6417, 6420, 6423, 6426, 6429, 6432, 6435, 6438, 6441, 6444, 6447, 6450, 6453, 6456, 6459, 6462, 6465, 6468, 6471, 6474, 6477, 6480, 6483, 6486, 6489, 6492, 6495, 6498, 6501, 6504, 6507, 6510, 6513, 6516, 6519, 6522, 6525, 6528, 6531, 6534, 6537, 6540, 6543, 6546, 6549, 6552, 6555, 6558, 6561, 6564, 6567, 6570, 6573, 6576, 6579, 6582, 6585, 6588, 6591, 6594, 6597, 6600, 6603, 6606, 6609, 6612, 6615, 6618, 6621, 6624, 6627, 6630, 6633, 6636, 6639, 6642, 6645, 6648, 6651, 6654, 6657, 6660, 6663, 6666, 6669, 6672, 6675, 6678, 6681, 6684, 6687, 6690, 6693, 6696, 6699, 6702, 6705, 6708, 6711, 6714, 6717, 6720, 6723, 6726, 6729, 6732, 6735, 6738, 6741, 6744, 6747, 6750, 6753, 6756, 6759, 6762, 6765, 6768, 6771, 6774, 6777, 6780, 6783, 6786, 6789, 6792, 6795, 6798, 6801, 6804, 6807, 6810, 6813, 6816, 6819, 6822, 6825, 6828, 6831, 6834, 6837, 6840, 6843, 6846, 6849, 6852, 6855, 6858, 6861, 6864, 6867, 6870, 6873, 6876, 6879, 6882, 6885, 6888, 6891, 6894, 6897, 6900, 6903, 6906, 6909, 6912, 6915, 6918, 6921, 6924, 6927, 6930, 6933, 6936, 6939, 6942, 6945, 6948, 6951, 6954, 6957, 6960, 6963, 6966, 6969, 6972, 6975, 6978, 6981, 6984, 6987, 6990, 6993, 6996, 6999, 7002, 7005, 7008, 7011, 7014, 7017, 7020, 7023, 7026, 7029, 7032, 7035, 7038, 7041, 7044, 7047, 7050, 7053, 7056, 7059, 7062, 7065, 7068, 7071, 7074, 7077, 7080, 7083, 7086, 7089, 7092, 7095, 7098, 7101, 7104, 7107, 7110, 7113, 7116, 7119, 7122, 7125, 7128, 7131, 7134, 7137, 7140, 7143, 7146, 7149, 7152, 7155, 7158, 7161, 7164, 7167, 7170, 7173, 7176, 7179, 7182, 7185, 7188, 7191, 7194, 7197, 7200, 7203, 7206, 7209, 7212, 7215, 7218, 7221, 7224, 7227, 7230, 7233, 7236, 7239, 7242, 7245, 7248, 7251, 7254, 7257, 7260, 7263, 7266, 7269, 7272, 7275, 7278, 7281, 7284, 7287, 7290, 7293, 7296, 7299, 7302, 7305, 7308, 7311, 7314, 7317, 7320, 7323, 7326, 7329, 7332, 7335, 7338, 7341, 7344, 7347, 7350, 7353, 7356, 7359, 7362, 7365, 7368, 7371, 7374, 7377, 7380, 7383, 7386, 7389, 7392, 7395, 7398, 7401, 7404, 7407, 7410, 7413, 7416, 7419, 7422, 7425, 7428, 7431, 7434, 7437, 7440, 7443, 7446, 7449, 7452, 7455, 7458, 7461, 7464, 7467, 7470, 7473, 7476, 7479, 7482, 7485, 7488, 7491, 7494, 7497, 7500, 7503, 7506, 7509, 7512, 7515, 7518, 7521, 7524, 7527, 7530, 7533, 7536, 7539, 7542, 7545, 7548, 7551, 7554, 7557, 7560, 7563, 7566, 7569, 7572, 7575, 7578, 7581, 7584, 7587, 7590, 7593, 7596, 7599, 7602, 7605, 7608, 7611, 7614, 7617, 7620, 7623, 7626, 7629, 7632, 7635, 7638, 7641, 7644, 7647, 7650, 7653, 7656, 7659, 7662, 7665, 7668, 7671, 7674, 7677, 7680, 7683, 7686, 7689, 7692, 7695, 7698, 7701, 7704, 7707, 7710, 7713, 7716, 7719, 7722, 7725, 7728, 7731, 7734, 7737, 7740, 7743, 7746, 7749, 7752, 7755, 7758, 7761, 7764, 7767, 7770, 7773, 7776, 7779, 7782, 7785, 7788, 7791, 7794, 7797, 7800, 7803, 7806, 7809, 7812, 7815, 7818, 7821, 7824, 7827, 7830, 7833, 7836, 7839, 7842, 7845, 7848, 7851, 7854, 7857, 7860, 7863, 7866, 7869, 7872, 7875, 7878, 7881, 7884, 7887, 7890, 7893, 7896, 7899, 7902, 7905, 7908, 7911, 7914, 7917, 7920, 7923, 7926, 7929, 7932, 7935, 7938, 7941, 7944, 7947, 7950, 7953, 7956, 7959, 7962, 7965, 7968, 7971, 7974, 7977, 7980, 7983, 7986, 7989, 7992, 7995, 7998, 8001, 8004, 8007, 8010, 8013, 8016, 8019, 8022, 8025, 8028, 8031, 8034, 8037, 8040, 8043, 8046, 8049, 8052, 8055, 8058, 8061, 8064, 8067, 8070, 8073, 8076, 8079, 8082, 8085, 8088, 8091, 8094, 8097, 8100, 8103, 8106, 810

## Η ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΑΥΤΟΥ.

Το σκυρόδεμα αποτελείται από τσιμέντο, αδρανή υλικά, νερό και ενδεχομένως πρόσθετα μέσα.

### ΙΣΤΟΡΙΚΑ

Η ιδέα της εφαρμογής προεντεταμένων κατασκευών, δηλαδή με αρχικές τάσεις, αποδεικνύεται, όπως συμβαίνει συχνά με τις σύγχρονες επιτεύξεις, ότι είναι αρχαιοτάτη. Όσο και αν φαίνεται περίεργο έχει διαπιστωθεί ότι οι Αιγύπτιοι, ήδη κατά το 2.700 π.χ. είχαν χρησιμοποιήσει την προένταση για την κατασκευή πλοίων.

Η εξέλιξη όμως του μπετόν έχει ως αφετηρία το έτος 1824, όταν ο Άγγλος Joseph Aspdin ανακάλυψε την κόνια, η οποία σκληρυνόμενη έπαιρνε χρώμα και αντοχή ίδια με εκείνη του κοινού ασβεστόλιθου του νησιού Portland της Αγγλίας. Από τότε ο Aspdin ονόμασε την κόνια Portland, δηλαδή το σημερινό τσιμέντο. Με το τσιμέντο συνδέονται μεταξύ τους τεμάχια φυσικών λίθων και παρέχουν το τεχνητό λίθο, δηλαδή το μπετόν.

Το μπετόν ήταν ήδη γνωστό και στους Ρωμαίους, οι οποίοι όμως χρησιμοποιούσαν για τη σύνδεση των φυσικών λίθων μεταξύ τους υδραυλική ασβεστο' τα έργα τους ήταν όμως στέρεα, αν ληφθεί υπ' όψιν ότι και σήμερα ακόμη όχι μόνο διατηρούνται αλλά και χρησιμοποιούνται.

Το πρώτο εργοστάσιο τσιμέντου ιδρύθηκε στο Wekefield της Αγγλίας. Από τότε άρχισε η ανέγερση εργοστασίων στις περισσότερες βιομηχανικές αναπτυσσόμενες χώρες, όπως στη Γερμανία το 1855 στο Zullchow, και στην υπόλοιπη Δυτική Ευρώπη μεταξύ 1830-1870.

Στην Αμερική η παραγωγή τσιμέντου άρχισε μετά το 1870. Μέχρι το 1870 το τσιμέντο εισάγονταν από την Ευρώπη. Το πρώτο εργοστάσιο στην Ελλάδα τσιμέντου ιδρύθηκε το 1902 στην Ελευσίνα από τους μηχανικούς Α. Χατζηκυριάκου, Λ.Οικονομίδη, Ν.Κανελλοπούλου και Α.Ζαχαρίου, οι οποίοι επάξια θεωρούνται πατέρες της βιομηχανίας τσιμέντου στην Ελλάδα.

Το έτος 1911 ιδρύεται και δεύτερο εργοστάσιο στη Δραπετσώνα του Πειραιά ο "Ηρακλής", μετά από μία δεκαετία ιδρύθηκαν άλλα δύο στην Χαλκίδα και στο Βόλο. Σήμερα η Ελλάδα διαθέτει τα εξής εργοστάσια : TITAN - ΗΡΑΚΛΗΣ - ΟΛΥΜΠΟΣ (Βόλου) - ΧΑΛΚΙΔΟΣ - ΧΑΛΜ - ΑΤΛΑΣ με συνολική ετήσια παρασκευή πάνω από 1.300.000 τόννους.

## ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το σκυρόδεμα αποτελείται από τσιμέντο, αδρανή υλικά, νερό και ενδεχομένως προσμικτικά μέσα.

### Τσιμέντο.

Το τσιμέντο είναι συνδεκτικό μέσο σκληρυνόμενο στον αέρα και μέσα στο νερό, ανθεκτικό στο νερό μετά την σκλήρυνση.

Αποτελείται κυρίως από ένωση οξειδίου ασβεστίου και πυριτίου οξειδίου, αργιλίου και σιδήρου. Για την παρασκευή του χρησιμοποιείται ασβεστόλιθος και άργιλος ή ασβεστολιθική μάργα κατάλληλης συνθέσεως. Το προϊόν κονιοποίησης των φυσικών αυτών πρώτων υλών ή τουλάχιστον των βασικών συστατικών του πρέπει να θερμανθεί μέχρι ενάρξεως της τήξεως. Με άλεση (λεπτή) του παραχθέντος προϊόντος προκύπτει τελικά το τσιμέντο.

Για την παρασκευή ωπλισμένου σκυροδέματος επιτρέπεται κατά DIN 1045 και DIN 4227 η χρήση μόνο τυποποιημένων τσιμέντων κατά DIN 1664, τα οποία πάνω στην συσκευασία τους να χαρακτηρίζονται αναλόγως και των οποίων οι ιδιότητες να παρακολουθούνται διαρκώς.

Τα σημαντικότερα είδη τσιμέντου κατά DIN 1664 είναι :

- Τσιμέντο Portland (PZ)
- Σκωριοπαγές τσιμέντο Portland (EPZ) αποτελείται από 63% τουλάχιστον τσιμέντου Portland (PZ) και αλεσμένης σκωρίας υψικαμίνων με προσθήκη  $\text{CaSO}_4$ .
- Τσιμέντο υψικαμίνων (HOZ) αποτελείται από τσιμέντο Portland τουλάχιστον 15 και κατά μέγιστον 64% και σκωρίας υψικαμίνων με προσθήκη  $\text{CaSO}_4$ .
- Τσιμέντο με προσθήκη ηφαιστειών γαιών (TrZ) (Πουζολανικό τσιμέντο) αποτελείται από ηφαιστειακή τέφρα 20 έως 40% και τσιμέντου Portland.

Από τον κατασκευαστή πρέπει να ελέγχονται κατά DIN 1664 οι ακόλουθες ιδιότητες.

- λεπτότητα αλέσεως με τη μέθοδο αεροπερατότητα
- πήξη με τη συσκευή βελόνη
- σταθερότητα όγκου με τη δοκιμή βρασμού.

- Θλιπτική αντοχή πρισμάτων κονιάματος ορισμένης συνθέσεως (μετά 2,7 και 28 ημέρες η αντοχή δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη ορισμένων ελαχίστων τιμών, μετά 28 ημέρες δε να μην είναι μεγαλύτερη ορισμένων μέγιστων τιμών).
- χημικός προσδιορισμός των κυρίων συστατικών.
- θερμότητα ενυδατώσεως με τη μέθοδο της ελκυομένης θερμότητας.
- αντίσταση θειϊκών αλάτων.

### Προσμίγματα αδρανών

#### Αδρανή σκυροδέματος.

Τα πρόσμικτα μέσα χρησιμοποιούνται μόνο γὰ να επηρεάσουν ελάχιστα

Διακρίνουμε :

- Φυσικής προελεύσεως (άμμος, χάλικες και αμμοχαλικά).
- Θραυστοί φυσικοί λίθοι (σκυρα και θραύση άμμος).
- Τεχνητά αδρανή (για την παρασκευή ελαφροσκυροδέματος υψηλής αντοχής χρησιμοποιούνται διαρκώς περισσότερο αδρανή εξ όππου υλικού π.χ. διογκωμένη άργιλος, οπτός σχιστόλιθος).

Γιά τα αδρανή τίθενται οι ακόλουθοι περιορισμοί :

- Πρέπει να διαθέτουν επαρκή μηχανική αντοχή.
- Μεγέθη κόκκων μικρότερα ή μεγαλύτερα επιτρέπεται να εμφανίζονται μόνο μέσα στα επιτρεπόμενα όρια κατά το DIN 4226.

- Πρέπει να είναι ανθεκτικά στις καιρικές μεταβολές.

- Δεν επιτρέπεται να περιέχουν επιβλαβείς προσμίξεις όπως humus χημικά ενεργά υλικά, ύλας φυτικής προελεύσεως, άνθρακα. Επίσης ακατάλληλα ορυκτά ή πηλός επιτρέπεται σε μικρές ποσότητες. Ακόμα επιτρέπεται να περιέχουν κατά το μέγιστο 0,02% κατά βάρος χλωρίδια.

- Πρέπει επίσης να έχουν ευνοϊκή μορφή κόκκων.

Η μορφή τους διακρίνεται :

- σφαιρική, κυβική ή πλακοειδής μορφή
- λεία ή αδρά επιφάνεια
- αδιαπέρατος ή πορώδης επιφάνεια.



### Νερό.

Το νερό της φύσης είναι κατάλληλο για τη μίξη εφ' όσον δεν είναι πολύ βρώμικο. Η περιεκτικότητα σε επιβλαβή συστατικά του νερού πρέπει να είναι πολύ μικρά ώστε να μην βλάπτουν την παρασκευή σκυροδέματος.

### Πρόσμικτα μέσα.

Τα πρόσμικτα μέσα χρησιμοποιούνται μόνο για να επηρεάσουν ευμενώς ορισμένες ιδιότητες του σκυροδέματος.

Τα πρόσμικτα μέσα μπορούν να βοηθήσουν στις παρακάτω περιπτώσεις :

- Επιτάχυνση της σκληρύνσεως (επιταχυντικά σκληρύνσεως).
- Επιτάχυνση της πήξεως
- Επιβράνδυση της πήξεως (επιβραδυντικά πήξεως)
- Μείωση υδατοπερατότητας (μέσα στεγανοποιήσεως σκυροδέματος)
- Ταπείνωση του σημείου ψύξεως (αντιπαγετικά)
- Βελτίωση της δυνατότητας κατεργασίας (ρευστοποιητικά σκυροδέματος)
- Αύξηση ανθεκτικότητας έναντι παγετού (πρόσμικτα σχηματισμού πόρων αέρος, Air Entraining Agents).
- Αύξηση της αντιστάσεως στη φθορά.



## ΑΙΤΙΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΕΩΣ ΠΡΟΩΡΗΣ ΦΘΟΡΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.

α) - Η έντονη οικοδομική δραστηριότητα η οποία αναπτύχθηκε την δεκαετία 1950 - 1960 πραγματοποιήθηκε με σχετικώς χαμηλές προδιαγραφές. Η δόμηση τότε γινόταν με την προοπτική ότι τα κτίρια θα ζούσαν για τέσσερις δεκαετίες και ότι θα τα αντικαθιστούσαμε αργότερα με άλλα πιο σύγχρονα. Σήμερα όμως λόγω της γενικότερης οικονομικής συγκυρίας και του μεγάλου κόστους, οι κατασκευές δεν συμφέρει να αντικαθιστούνται γρήγορα, ενώ η φθορά των κατασκευών κάνει ενίοτε την χρήση τους προβληματική.

- Η ανάπτυξη της βιομηχανίας και η εξέλιξη της τεχνολογίας είχαν ως αποτέλεσμα την ατμοσφαιρική ρύπανση, αλλά και η εκτεταμένη χρήση χημικών ουσιών στο σύγχρονο σκυρόδεμα προκάλεσε πρόσθετες χημικές επιδράσεις στο σκυρόδεμα και στο χάλυβα.

- Η ταχύτητα κατασκευής και η προσπάθεια μείωσης του κόστους οδηγούν συχνά σε χαμηλή ποιότητα κατασκευής με αποτέλεσμα περισσότερες κατασκευές να είναι ευάλωτες από τις διάφορες επιδράσεις.

- Η αντοχή των υλικών έχει βελτιωθεί πολύ τελευταία, τα υλικά όμως αυτά έγιναν εξαιρετικά ευαίσθητα στη χρήση. Τα υλικά αυτά πωλούνται στο εμπόριο με πολύ λίγες πληροφορίες για την μακροπρόθεσμη συμπεριφορά τους κυρίως σε ασυνήθιστες περιβαλλοντικές συνθήκες. Έτσι, η έλλειψη κατάρτισης του κατασκευαστικού προσωπικού ή η έκθεση σε περιβάλλον διαφορετικό από το προβλεπόμενο, προκαλούν αποτελέσματα αντίθετα από τα αναμενόμενα.

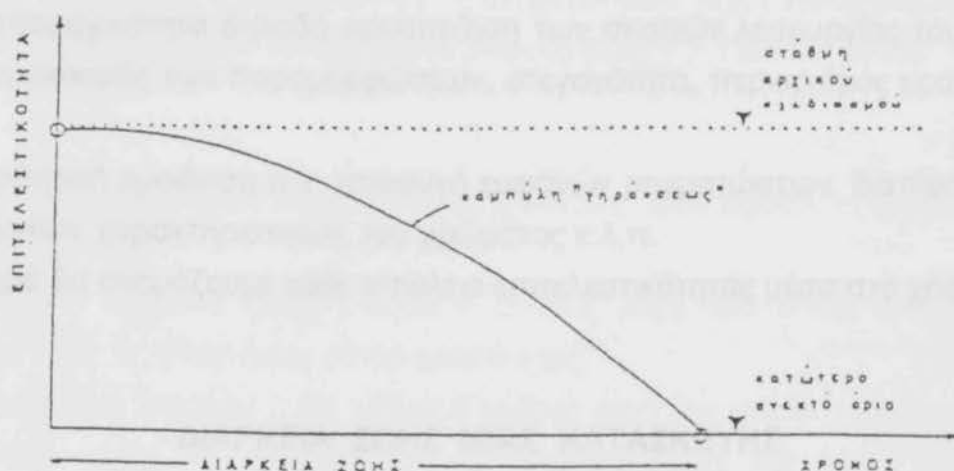
- Έλλειψη κατανόησης του μηχανισμού φθοράς : Σε κάποιο συγκεκριμένο περιβάλλον μπορεί οι επιδράσεις πάνω στο σκυρόδεμα ή στο χάλυβα να εκτιμηθούν εσφαλμένα ή να αγνοηθούν και να γίνει εσφαλμένη εκλογή υλικών. Για παράδειγμα σε μιά θαλάσσια κατασκευή, μπορεί να επιλεγεί τσιμέντο με υψηλή περιεκτικότητα σε αργίλικό τριασβέστιο για να αντιμετωπισθεί η επίδραση χλωριόντων, ενώ αγνοείται η επίδραση των θειικών αλάτων τα οποία ενδέχεται να συνεργούν. Στην περίπτωση αυτή, η φθορά επιταχύνεται πάρα πολύ.

β) - Εκτός όμως από τις απλές φθορές, είναι δυνατό να παρατηρηθεί και πλήρης αστοχία της κατασκευής. Κατά το σχεδιασμό μιάς κατασκευής δεν λαμβάνουμε υπόψη τις τυχόν φθορές που προκαλούνται από περιβαλλοντικές επιδράσεις υποθέτουμε δηλαδή ότι η ικανότητα αναλήψεως φορτίων είναι

σταθερή μέσα στο χρόνο. Ετσι όμως αυξάνεται η πιθανότητα αστοχίας της κατασκευής μέσα σε ένα έντονο διαβρωτικό περιβάλλον, όπως κτίρια καθαριστηρίων με ατμό, αντιλιοστάσια, αποβάθρες στη θάλασσα κ.λ.π.

## ΟΙ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ανθεκτικότητα μιάς κατασκευής ονομάζουμε την ικανότητα της κατασκευής να ανθίσταται στις περιβαλλοντικές επιδράσεις (φυσικές και χημικές) χωρίς να χάνει τις ιδιότητες αντοχής και λειτουργίας κάτω ενός ανεκτού ορίου (βλ. Σχ. 1).



Σχ. 1. Μείωση της ανθεκτικότητας μιάς κατασκευής με το χρόνο εκφρασμένη ως απώλεια της επιτελεστικότητας της κατασκευής.

Η ανθεκτικότητα των κατασκευών, κατά τον J. Jessen (1983), εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Σχεδιασμός της κατασκευής : Κατά την φάση του σχεδιασμού πρέπει εκτός από τις μηχανικές δράσεις να λαμβάνεται υπόψη το περιβάλλον εκθέσεως και οι αναμενόμενες επιρροές στο σκυρόδεμα. Ο σχεδιασμός σε ανθεκτικότητα αφορά την εκλογή του είδους του τσιμέντου, την επικάλυψη, την ποιότητα του σκυροδέματος (χαρακτηριστική αντοχή, διαπερατότητα, περιεκτικότητα σε αέρα) κ.λ.π.

- Φάση κατασκευής : Έχει τεράστια σημασία να τηρηθούν οι σχεδιαζόμενες επικαλύψεις, να γίνει δε σωστή συμπύκνωση και συντήρηση, ώστε να πετύχουμε την απόκτηση της προβλεπόμενης ποιότητας σκυροδέματος και να μειώσουμε τις πιθανότητες γηράνσεως.

- Επιθεώρηση και συντήρηση της κατασκευής. Όταν μετά από τακτή επιθεώρηση διαπιστωθούν φθορές στο σκυρόδεμα π.χ. απολέπιση, αποφλοιώση, ρηγματώση, κηλίδες σκουριάς κ.λ.π., και ληφθούν έγκαιρα μέτρα ώστε να ανασταλεί η περαιτέρω φθορά, η κατασκευή διατηρείται σε καλή κατασκευή για ένα πολύ μεγαλύτερο διάστημα, αποφεύγονται δε οι δυσάρεστες εκπλήξεις από ενδεχόμενες δραματικές ενδείξεις μειωμένης αντοχής.

Επιτελεστικότητα μιάς κατασκευής ονομάζουμε την ταυτόχρονη επίλυση των εξής απαιτήσεων :

- Ασφάλεια δηλαδή ικανότητα αναλήψεως των επιβαλλόμενων δράσεων, αλλά και αντοχή σε κόπωση.

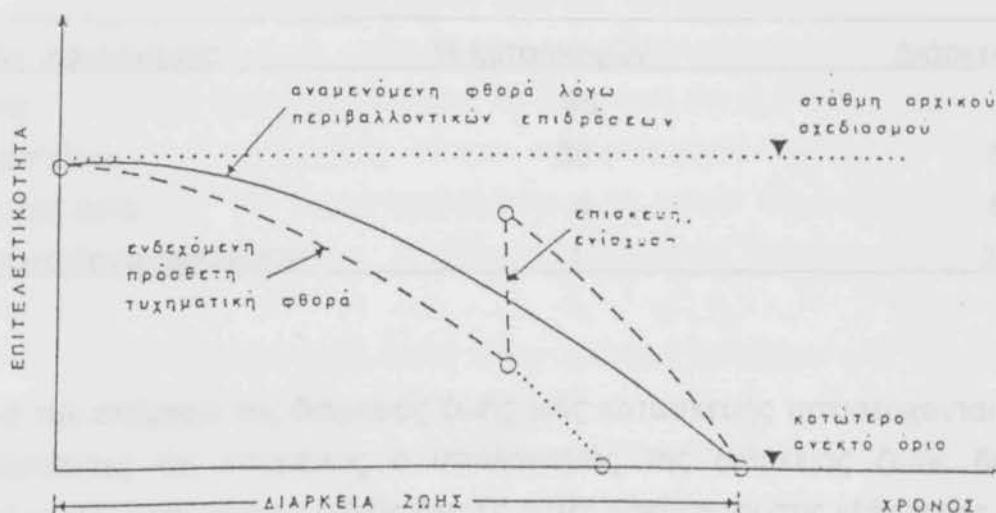
- Λειτουργικότητα δηλαδή ικανοποίηση των σκοπών λειτουργίας του κτιρίου π.χ. περιορισμός των παραμορφώσεων, στεγανότητα, περιορισμός κραδασμών κ.λ.π.

- Αισθητική εμφάνιση π.χ. αποφυγή εμφανών ρηγματώσεων, διατήρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, του χρώματος κ.λ.π.

Φθορά θα ονομάζουμε κάθε απώλεια επιτελεστικότητας μέσα στο χρόνο.

## ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΜΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Διάρκεια ζωής μιάς κατασκευής θα ονομάζουμε τον ελάχιστο χρόνο στον οποίο η κατασκευή ικανοποιεί τις απαιτήσεις μιάς επιτελεστικότητας, οι οποίες σχετίζονται με την κανονική χρήση της. Ο χρόνος αυτός μπορεί να εξασφαλίζεται είτε λόγω καλής αρχικής ποιότητας, είτε λόγω επανειλημμένων επεμβάσεων (βλ. Σχ. 2)



Σχ. 2 Επέμβαση σε μία κατασκευή για να αντιμετωπισθεί τυχόν επιταχυνόμενη φθορά και να επιτευχθεί η αρχικά υπολογισμένη διάρκεια ζωής T.P.Tassios, 1983).

Ο S. Rostam, (1985) διακρίνει τις εξής έννοιες όσον αφορά τη διάρκεια ζωής των κατασκευών.

- Τεχνική διάρκεια ζωής : Είναι ο χρόνος κατά τον οποίο η κατασκευή εκπληρεί όλες τις απαιτήσεις επιτελεστικότητας.

- Οικονομική διάρκεια ζωής : Είναι ο χρόνος κατά τον οποίο η κατασκευή μας εξυπηρετεί μέχρι να εκτιμηθεί ότι η αντικατάστασή της είναι οικονομικά περισσότερο ενδιαφέρουσα απ' ό,τι η διατήρηση σε λειτουργία με συνεχείς συντηρήσεις, επισκευές ή αλλαγή χρήσεως.

- Λειτουργική διάρκεια ζωής : Είναι ο χρόνος κατά τον οποίο η κατασκευή γίνεται λειτουργικά άχρηστη επειδή άλλαξαν οι απαιτήσεις μας π.χ. αύξηση των επιβαλλόμενων φορτίων. Η λειτουργικότητα διάρκεια ζωής καθορίζεται από πολιτικούς, κοινωνικούς και ιστορικούς παράγοντες (π.χ. διατηρητέα κτίρια) και όχι μόνο από οικονομικούς ή επιστημονικούς.

Από τις παραπάνω έννοιες, σημασία για τον Μηχανικό έχει η τεχνική διάρκεια ζωής (ανθεκτικότητα των κατασκευών). Παρακάτω είναι μερικά στοιχεία για την διάρκεια ζωής διαφόρων κατηγοριών από ωπλισμένο σκυρόδεμα.

Είδος κατασκευής	% κατασκευών	Διάρκεια ζωής
Οικίες	65	30 - 80
Εργοστάσια	30	50 - 80
Γέφυρες σιλό	4	60 - 100
Λιμενικά έργα, φράγματα	1	30 - 100

Γιά την εκτίμηση της διάρκειας ζωής μιάς κατασκευής υπεισέρχονται πολλές αβεβαιότητες και επομένως ο υπολογισμός της διάρκειας ζωής δεν είναι εύκολος. Μερικές από τις αβεβαιότητες αυτές οφείλονται στις εξής αιτίες :

- Τυχόν σφάλματα κατά την φάση του σχεδιασμού. Οι κανονισμοί μελέτης και κατασκευής κτιρίων δίνουν πολύ λίγες οδηγίες για τις λειτουργικές απαιτήσεις των κατασκευών. Οι λειτουργικές απαιτήσεις πρέπει να εκφράζονται ποσοστικά ως οριακές τιμές ενός ή περισσότερων μετρήσιμων βασικών ιδιοτήτων των μελών της κατασκευής, όπως λ.χ. μέγιστο βέλος κάμψεως. Το να βρούμε στη φάση σχεδιασμού για πόσον καιρό αυτές οι απαιτήσεις μπορούν να ικανοποιούνται είναι πολύ σύνθετο πρόβλημα.

- Το ίδιο το σκυρόδεμα ως υλικό μπορεί να ποικίλει πάρα πολύ. Η κατασκευή, η συντήρηση και η προστασία σε σκυροδέματα της ίδιας ποσότητας (ίδια χαρακτηριστική αντοχή, ίδια αναλογία υλικών) μπορεί να διαφέρουν πάρα πολύ, αλλάζοντας αισθητά την αντίστοιχη διάρκεια ζωής.

- Το περιβάλλον δεν μπορεί να καθορισθεί με ακρίβεια (π.χ. θερμοκρασία, συγκέντρωση προσβλητικής ουσίας κ.λ.π.) ώστε να παρασκευασθεί σκυρόδεμα απόλυτα ανθεκτικό στην προσβλητικότητα του περιβάλλοντος. Γι' αυτό τον λόγο γίνονται προσπάθειες να διακρίνουμε μερικές πρότυπες κατηγορίες περιβάλλοντος, τις οποίες το πραγματικό περιβάλλον να προσεγγίζει ικανοποιητικά. Υπάρχει επίσης η πιθανότητα το περιβάλλον να αλλάξει μελλοντικά.

- Οι μηχανισμοί φθοράς δεν έχουν γίνει απόλυτα γνωστοί και δεν έχει μελετηθεί πλήρως η επίπτωση πάνω στη φέρουσα ικανότητα των υλικών. Πρόβλεψη της διάρκειας ζωής μπορεί να γίνει μόνο όταν ο μηχανισμός φθοράς και η εξέλιξη της μέσα στο χρόνο είναι γνωστοί με κάθε λεπτομέρεια. Είναι όμως δυνατόν ο μηχανισμός φθοράς να αλλάξει με τον χρόνο. Γιά παράδειγμα, η διάβρωση του χάλυβα όταν το σκυρόδεμα διαβρωθεί και πάψει να υπάρχει προστασία στον χάλυβα.

- Τα υλικά και η κατασκευή έχουν διαφορετική διάρκεια ζωής. Ένα υλικό δεν κατασκευάζεται για ένα συγκεκριμένο περιβάλλον ώστε είναι δυνατό σε διαφορετικά περιβάλλοντα εκθέσεως το ίδιο υλικό να έχει διαφορετική διάρκεια ζωής. Επίσης η κατασκευή μπορεί να αλλοιώσει πολύ το πραγματικό περιβάλλον λόγω του μικροπεριβάλλοντος το οποίο δημιουργείται μετά την κατασκευή. Με αποτέλεσμα η αρχικά εκτιμώμενη διάρκεια ζωής να είναι εσφαλμένη.

Εντούτοις οι αβεβαιότητες αυτές αίρονται όπως αναφέρει ο K. Muller (1985) με στατιστικές και πιθανοτικές μελέτες.

Οι στατιστικές μελέτες αφορούν τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Έχουν σημασία κυρίως για τον οικονομικό σχεδιασμό.

Με τις πιθανοτικές μελέτες προσπαθούμε να βρούμε με βάση ορισμένα προσομοιώματα την αλληλεπίδραση μεταξύ περιβάλλοντος και υλικού, ώστε να έχουμε την εξέλιξη της φθοράς μέσα στο χρόνο. Αυτό γίνεται με επιταχυνόμενες δοκιμές στο εργαστήριο, οι οποίες μας δίνουν μερικές φορές εσφαλμένα αποτελέσματα.

## ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

### Οικονομική Θεώρηση.

Η οικονομική πλευρά του θέματος έγκειται στην ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους κατά την διάρκεια ζωής της κατασκευής. Το γενικευμένο κόστος ορίζεται ως άθροισμα :

- Του κόστους κατασκευής  $S$  (άμεση επένδυση)
- Του κόστους συντηρήσεως  $M$ , το οποίο περιλαμβάνει δαπάνες διαχειρίσεως, έξοδα συντηρήσεως, καθώς και τα τρέχοντα έξοδα προστασίας.
- Των προβλεπόμενων απωλειών  $L$ , το οποίο είναι το κόστος για την αποκατάσταση της φθοράς και των εμμέσων συνεπειών της.



Το κόστος συντηρήσεως "M" και το κόστος απωλειών "L" υπολογίζεται για κάθε έτος της σχεδιαζομένης διάρκειας ζωής, και μετά κεφαλοποιούνται αμφότερα και προστίθενται.

Ετσι το κεφαλοποιημένο οιοονεί αρχικό κόστος K (δηλ. το γενικευμένο κόστος) θα είναι :

$$K = S + \sum_{j=1}^{t_j} \frac{M_j}{(1+r')^j} + \sum_{j=1}^{t_j} \frac{P(F_j) \cdot L_j}{(1+r')^j}$$

όπου S : άμεση επένδυση

M<sub>j</sub> : κόστος συντηρήσεως και διαχειρίσεως κατά το έτος j

P (F<sub>j</sub>) : πιθανότητα αστοχίας κατά το έτος j

L<sub>j</sub> : απώλεια λόγω της "μελετώμενης" αστοχίας κατά το έτος j

r' : επιτόκιο μετά την αφαίρεση του πληθωρισμού

t<sub>j</sub> : διάρκεια ζωής σε έτη

### Τεχνική Θεώρηση.

α) Η τεχνική πλευρά του σχεδιασμού ανθεκτικών κατασκευών περιλαμβάνει κατ' αρχήν μία σωστή εκλογή υλικών και μία κατάλληλη μόρφωση του φορέα. Γι' αυτό χρειάζεται προσοχή και κυρίως γνώση των αιτιών και μηχανισμών φθοράς, αποτροπής ώστε να βρούμε και να εφαρμόσουμε σωστά τα κατάλληλα μέτρα αποτροπής ή θεραπείας. Οι αιτίες φθοράς του σκυροδέματος μπορούν να διακριθούν ως εξής :

- Μηχανικές π.χ. επιβαλλόμενη παραμόρφωση, υπερφόρτιση
- Φυσικές π.χ. επίδραση παγετού, μεταβολές θερμοκρασίας, ροή ουδέτερου ή αλκαλικού νερού
- Χημικές π.χ. επίδραση οξέων, αλάτων
- Βιολογικές π.χ. επίδραση βακτηρίων, επίδραση ριζών φυτών κ.λ.π. χωρίς να αναφέρονται εδώ και άλλες αιτίες όπως π.χ. η ακτινοβολία, ο ηλεκτρομαγνητισμός κ.λ.π. των οποίων όμως τα αποτελέσματα ή δεν έχουν μελετηθεί αρκετά ή είναι πρακτικώς ασήμαντα.

Παρακάτω έχουμε μερικά παραδείγματα στα οποία συσχετίζονται η αιτία και το αποτέλεσμα από μηχανισμούς φθοράς που απειλούν μία κατασκευή.

Αίτια	Μηχανισμός	Αποτέλεσμα
Ρέον νερό	Μηχανική διάβρωση σκυροδέματος	Επιφανειακή φθορά
Παγετός	Διαστολή	Ρηγμάτωση
Διείσδυση CO <sub>2</sub>	Ενανθράκωση	Διάβρωση Οπλισμού

Το είδος του αναμενόμενου μηχανισμού φθοράς του σκυροδέματος, εκτός από τη φύση των απαιτούμενων υλικών και την ανθεκτικότητά τους, θα μας υπαγορεύει τις συνθήκες προστασίας της επιφάνειας μιάς κατασκευής. Αυτό θα προκαλέσει και επιπτώσεις στην εμφάνιση της κατασκευής.

β) Σε μία νέα σχεδιαζόμενη κατασκευή, ο Μηχανικός πρέπει

- Να εκτιμήσει σωστά το περιβάλλον και την βλαπτικότητα του
- Να αναγνωρίσει τις πιθανές επιδράσεις και να μελετήσει τους μηχανισμούς φθοράς
- Να εκλέξει τα κατάλληλα υλικά και τα στοιχεία της κατασκευής (είδος τσιμέντου, ποιότητα και διαβάθμιση των αδρανών και επικαλύψεις κ.λ.π.)
- Να δώσει την αντίστοιχα απαιτούμενη μορφολογική και στατική λύση, ανάλογα με την βλαπτικότητα του περιβάλλοντος κατά την κατασκευή, με επαρκή συμπύκνωση και συντήρηση.

Εχει παρατηρηθεί ότι οι μισές φθορές οφείλονται σε (λάθη τα οποία εμφανίζονται κατά τη φάση της κατασκευής).

Παράλληλα πρέπει να προβλεφθεί ώστε στο μέλλον να γίνεται τακτικός έλεγχος για την γενική κατάσταση του κτιρίου ή να ανανεώνονται τα προστατευτικά μέτρα π.χ. επίχριση της επιφάνειας του σκυροδέματος με αδιάβροχες μεμβράνες.

γ) Σε μία υπάρχουσα κατασκευή, μόλις επισημανθεί φθορά πρέπει να εκτιμήσουμε:

- Τη σοβαρότητα του περιβαλλοντικού μηχανισμού προσβολής (π.χ. ημερήσιοι ή ετήσιοι θερμοκρασιακοί κύκλοι) καθώς και την τυχόν μεταβολή του περιβάλλοντος σε σχέση με εκείνο που είχε ληφθεί υπόψη αρχικά.
- Το υλικό το οποίο είναι επιρρεπές σε προσβολή (π.χ. περιεκτικότητα του τσιμέντου σε αργιλικό τριασβέστιο για την δημιουργία ετρινγκίτη, σε περίπτωση επιδράσεως θειικών αλάτων).

- Τις ιδιότητες του υλικού οι οποίες καθορίζουν την ανθεκτικότητα του έναντι του μηχανισμού προσβολής (π.χ. διαπερατότητα σε οξυγόνο, ιδιότητες του σκυροδέματος οι οποίες καθορίζουν την ταχύτητα ενανθρακώσεως κ.λ.π.)

## ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ

... η οποία είναι η βάση της ανθρωπότητας και της ανθρωπότητας...

... η οποία είναι η βάση της ανθρωπότητας και της ανθρωπότητας...

- Η εκπαίδευση των ανθρώπων
- Η διακρίση των ανθρώπων
- Η διακρίση των ανθρώπων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β'

### Α. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΛΗΣ

... η οποία είναι η βάση της ανθρωπότητας και της ανθρωπότητας...

... η οποία είναι η βάση της ανθρωπότητας και της ανθρωπότητας...

... η οποία είναι η βάση της ανθρωπότητας και της ανθρωπότητας...

... η οποία είναι η βάση της ανθρωπότητας και της ανθρωπότητας...

## ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

### Γενικά.

Οι βασικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την ανθεκτικότητα των κατασκευών είναι :

- Οι περιβαλλοντικές συνθήκες
- Η διαπερατότητα του σκυροδέματος
- Η δυνατότητα πραγματοποίησεως μιάς συγκεκριμένης φυσικής ή χημικής επιδράσεως.

### A. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

α) Στο σκυρόδεμα σημασία έχει η περιεχόμενη υγρασία και όχι η υγρασία της ατμόσφαιρας. Κάτω από σταθερές συνθήκες, αυτές οι δύο τιμές υγρασίας συμπίπτουν, αλλά όταν μεταβάλλονται οι συνθήκες, το σκυρόδεμα συγκρατεί υγρασία πιά εύκολα απ' ό,τι τη χάνει. Ετσι, η μέση υγρασία του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη από την υγρασία της ατμόσφαιρας.

Η αύξηση υγρασίας του αέρα προκαλεί γέμισμα των μεγαλύτερων πόρων με νερό, μειώνοντας έτσι τον διατιθέμενο χώρο των πόρων για την διάχυση των αερίων. Η διαπερατότητα του σκυροδέματος σε σχέση με τα αέρια μειώνεται σημαντικά με αύξηση της υγρασίας, γιά να φτάσει σε μηδαμινά όρια στην περίπτωση κορεσμένου σκυροδέματος.

Με τη βροχή ο κορεσμός γίνεται πολύ γρήγορα, λόγω της τριχοειδούς απορροφήσεως. Ομως και χωρίς βροχή με την πτώση της θερμοκρασίας τη νύχτα μπορεί να συνοδεύεται από υγροποίηση των υδρατμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Σύμφωνα με αυτά, το σκυρόδεμα μπορεί να συγκρατήσει μεγαλύτερα ποσά υγρασίας απ' ό,τι θα επέτρεπε η υγρασία του περιβάλλοντος.

Όταν βυθιστεί το σκυρόδεμα σε νερό, η διείσδυση του νερού γίνεται αρχικά με τριχοειδή απορρόφηση, επιταχυνόμενη από την υδραυλική πίεση. Τελικά, παρατηρείται συνεχής μεταφορά ύδατος μέσα σε σκυρόδεμα το οποίο είναι

μερικώς βυθισμένο σε νερό, όταν το νερό εξατμίζεται από τις εκτεθειμένες στον αέρα επιφάνειες.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα σκυρόδεμα που περιέχει χλωριόντα θα έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα ύδατος από ένα σκυρόδεμα χωρίς χλωριόντα (υγροσκοπική δράση των χλωριόντων).

β) Παρουσία διαβρωτικών ουσιών στο νερό.

Ενας ακόμη παράγοντας είναι η παρουσία διαβρωτικών ουσιών μέσα στο νερό. Αυτές οι ουσίες μπορεί να είναι διαλυμένες στο νερό το οποίο δρα στο σκυρόδεμα είναι : διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο, άλατα χλωρίου, οξέα, θειικά άλατα, αλκάλια, ή ιόντα μαγνησίου.

Η διάχυση λ.χ. των χλωριόντων στο σκυρόδεμα γίνεται από το λεπτό υδάτινο στρώμα που δημιουργείται στα τοιχώματα των πόρων ή μέσα από πόρους γεμάτους με νερό. Έτσι λοιπόν η διάχυση των χλωριόντων μειώνεται όταν η ποσότητα υγρασίας στο σκυρόδεμα.

γ) Θερμοκρασία.

Γιά να κατανοήσουμε την επίδραση της θερμοκρασίας στο σκυρόδεμα ας θεωρήσουμε σύστημα συντεταγμένων όπου στον οριζόντιο άξονα γράφουμε τη θερμοκρασία σε βαθμούς κελσίου και στον κάθετο την αντοχή.

Υποθέτουμε ότι κατασκευάζουμε από μιά ορισμένη αναλογία 3 δοκίμια, από τα οποία το πρώτο θραύεται υπό ορισμένες συνθήκες την τρίτη από της κατασκευής ημέρα, το δεύτερο την 14η ημέρα και το τρίτο την 21η ημέρα. Τότε θα παρατηρήσουμε ότι τα δοκίμια αυτά παρουσιάζουν τις αναγραφόμενες αντοχές, ανάλογα με τη θερμοκρασία που επικρατεί κατά την παρασκευή αυτών. Την θερμοκρασία 0-10° την ονομάζουμε "ψυχρή".

Αν επικρατεί ψυχρός καιρός, πρέπει να έχουμε υπ' όψη μας ότι η ανάπτυξη της αντοχής γίνεται αργά, ενώ στις ψηλότερες θερμοκρασίες είναι πολύ πιο γρήγορα. Κατά κανόνα, η ανάπτυξη της αντοχής εξαρτάται πολύ από τη θερμοκρασία. Γι' αυτό, κάτω του 0° προβλέπονται ειδικοί κανόνες παρασκευής μπετών.

Η αρχική θερμοκρασία παρασκευής του μπετού πρέπει να είναι τουλάχιστον 5°, και αυτό μέχρι που αυτό μπορέσει να παραλάβει την απαιτούμενη αντοχή.

Όσον αφορά την υψηλή θερμοκρασία, δηλ. τις πέρα των 30° C τεχνητές θερμοκρασίες, φάνηκε ότι, εντός μιάς ημέρας και μόνο, θερμοκρασία 60° - 80° ασκούμενη στο μπετό δίνει αντοχή, την οποία αυτό, υπό κανονικές συνθήκες 15-20°, θα παρουσίαζε μετά από πολλές εβδομάδες.-

Η επίδραση της θερμοκρασίας αγνοείται συνήθως, όταν καθορίζεται η διαβρωτικότητα ενός περιβάλλοντος, αν και παίζει σημαντικό ρόλο καθώς η αύξηση - της επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις. Είναι γνωστό ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 C διπλασιάζει την ταχύτητα της αντιδράσεως.

## Β. ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### Γενικά.

Αν ληφθεί υπόψη, ότι δεν είναι δυνατόν όλα τα κενά της άμμου κατά την ανάμιξη να πληρωθούν από τσιμέντο και στη συνέχεια τα κενά των χαλικιών να πληρωθούν από τσιμεντοκονίαμα, προφανές είναι ότι το μπετό ήδη από κατασκευής είναι πορώδες υλικό. Επίσης η ποριμότης του μπετού αυξάνεται όσο περισσότερο, αν ληφθεί υπόψη ότι κατά την παρασκευή αυτού υπάρχει σχεδόν πάντα περισσειά νερού, το απαραίτητο για την πήξη του. Το νερό αυτό εξατμίζεται και στη θέση του παραμένουν κενά. Όσο μεγαλύτερη είναι η περίσσεια νερού, τόσο περισσότερο πορώδες είναι το παρασκευαζόμενο μπετό. Συνεπώς, αν δε ληφθεί ειδική πρόνοια, το μπετό θα είναι το συνήθες πορώδες, αεροπερατό και υδατοπερατό.

Το πορώδες μπετό προσβάλλεται από επιβλαβείς ουσίες οι οποίες εισέρχονται σ' αυτό εύκολα.

Η κατασκευή όσο το δυνατό πυκνού μπετού αποκτά μεγαλύτερη σημασία για κατασκευές σε βιομηχανικές περιοχές. Εκεί ο αέρας της ατμόσφαιρας εμπλουτίζεται και από τα οξέα των αερίων των εργοστασίων και η καταστροφή είναι μεγαλύτερη. Κλασικό παράδειγμα της κατασκευής ενός κωδωνοστασίου στη δυτική Γερμανία, όπου τα βαρέα υποστυλώματα τούτου, υπολογίζοντας τη δύναμη του αέρα και το βάρος των κωδώνων υπέστη σοβαρή βλάβη, η οποία οφειλόταν στο ότι ο υγρός αέρας είχε εμπλουτιστεί και από τα οξέα της περιοχής, προσέλαβε, λόγω της ποριμότητας του μπετού, το σίδηρο των υποστηλωμάτων. Κατά συνέπεια η είσοδος της υγρασίας προκαλεί οξειδωση του σιδήρου, με αποτέλεσμα οι ράβδοι διαστέλλονται κατ' όγκο και προκαλούν την εκτίναξη του περιβάλλοντος αυτού του μπετού.

Κατά κανόνα η αεροπερατότης ξηραθέντων τοιχωμάτων από μπετό είναι περίπου διπλάσια από εκείνης ξηραθέντων τοιχωμάτων από ασβεστοκονίαμα. Επόμενο είναι ότι η αεροπερατότης εξαφανίζεται εάν το μπετό υγρανθεί.

Όσον αφορά την υδατοπερατότητα, έχει αποδειχθεί ότι μπετό ηλικίας 28 ημερών κάτω από υπερπίεση 2,8 α.μ. παρουσίασε την παρακάτω υδατοπερατότητα, αναλόγως της περιεκτικότητας νερού ως προς τσιμέντου.

$U / Z = w$	0.5	0.6	0.7	0.8
Υδατοπερατότης	7	9	22	63

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι η υδατοπερατότητα αυξάνεται με αύξηση του νερού και ελάττωση του τσιμέντου.

Η υδατοστεγανότητα δεν είναι απαραίτητη στις περισσότερες κατασκευές με εξαίρεση ειδικών κατασκευών π.χ. δεξαμενών, πλακών, ταρατσών κ.τ.λ. Βασικό ρόλο ασκούν στην υδατοστεγανότητα, η λεπτότητα αλέσεως του τσιμέντου και η αναλογία μίξεως του μπετού, όπως θα δούμε παρακάτω.

Το σκυρόδεμα με χαμηλή διαπερατότητα έχει μεγάλη ανθεκτικότητα σε φυσικές και χημικές επιδράσεις.

Η διαπερατότητα εξαρτάται από τα εξής :

- α) Σύσταση του τσιμέντου
- β) Λόγος N/T (Νερός προς Τσιμέντο)
- γ) Πορώδες
- δ) Συμπύκνωση
- ε) Συντήρηση
- στ) Υπαρξη ρωγμών

#### α. Σύσταση τσιμέντου.

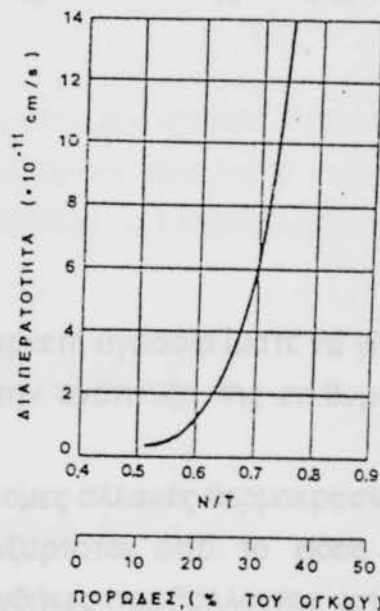
Σκυρόδεμα που περιέχει τσιμέντο σε ποσότητα μεγαλύτερη από  $300 \text{ Kg/m}^3$ . (Με τον όρο ότι θα έχει μικρό λόγο N/T και ότι θα γίνει προσεκτική συντήρηση), τότε έχει σχετικά μικρή διαπερατότητα. Κάποια πρόσθετα στο τσιμέντο μπορεί να επηρεάσουν την διαπερατότητα του σκυροδέματος. Πρέπει λοιπόν να



προσέχουμε κατά τη συντήρηση του σκυροδέματος γιατί τα τσιμέντα με πρόσθετα είναι πιο ευπαθή.

### β. Λόγος N/T

Όταν ο λόγος N/T ξεπεράσει την τιμή 0,6 η διαπερατότητα του σκυροδέματος αυξάνεται δυσανάλογα επειδή αυξάνεται το μέγεθος και ο αριθμός των τριχοειδών πόρων (βλ. σχήμα 3).



Σχ.3 Επίδραση του λόγου N/T στην διαπερατότητα του σκυροδέματος. (Concrete Manual U.S. Bureau of Reclamation, 1975, αναφέρεται από τους S. Mindess - J. Young, 1981).

### γ. Πορώδες.

Το μέγεθος και η κατανομή των πόρων, όπως και η ποσότητα νερού το οποίο περιέχουν, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη διαπερατότητα του σκυροδέματος. Συνήθως η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε φυσικές και χημικές επιδράσεις μειώνεται όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε τριχοειδείς πόρους.

Σε κάποιες περιπτώσεις είναι δυνατό (π.χ. όταν περιμένουμε επίδραση παγετού) να επιδιώκεται η ύπαρξη ασύνδετων μεταξύ τους πόρων για να εξασφαλίσουμε υψηλή ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

#### δ. Συμπύκνωση.

Με τη συμπύκνωση προσπαθούμε να μειώσουμε τα κενά αέρα στο σκυρόδεμα σε περιεκτικότητα μικρότερη από 1%.

Ο αέρας και το νερό με τη δόνηση μεταφέρονται προς την επιφάνεια του σκυροδέματος, μειώνοντας έτσι το πορώδες. Έτσι αυξάνεται κάπως, με τον τρόπο αυτό, η διαπερατότητα κατά την κατακόρυφη διεύθυνση διότι δημιουργούνται τριχοειδείς πόροι. Η αύξηση της διαπερατότητας είναι προσωρινή, γιατί όσο συνεχίζεται η διαδικασία της ενυδάτωσης οι τριχοειδείς πόροι σφραγίζονται.

#### ε. Συντήρηση.

Η συντήρηση γίνεται με σκοπό :

- Να βοηθήσει το σκυρόδεμα να συγκρατήσει αρκετή υγρασία ώστε να γίνει η ενυδάτωση του τσιμέντου και να επιταχύνουμε την ανάπτυξη της επιθυμητής τελικής αντοχής.

- Να προστατεύσει το σκυρόδεμα από τις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας.

Η διάρκεια συντηρήσεως που απαιτείται, εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου το οποίο χρησιμοποιείται και από τις συνθήκες περιβάλλοντος κατά τη σκυροδέτηση. Ο ελάχιστος χρόνος συντηρήσεως για σκυροδέματα χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ανθεκτικότητας ορίζεται ίσος με 7 ημέρες. Η συντήρηση πρέπει ν' αρχίσει αμέσως μετά τη σκυροδέτηση και να μην διακοπεί. Αν τα μέτρα συντηρήσεως παρθούν μετά από ξήρανση του νεαρού σκυροδέματος θα έχουν πολύ μειωμένη αποτελεσματικότητα, διότι η διαδικασία σκληρύνσεως συνεχίζεται με δυσκολία όταν διακοπεί μιά φορά.

#### στ. Ύπαρξη ρωγμών.

Με την ύπαρξη ρωγμών διευκολύνεται η διείσδυση βλαβερών ουσιών προς τον οπλισμό του σκυροδέματος. Γιά την έκταση και τον τρόπο επιδράσεως του εύρους των ρωγμών πάνω στη διάβρωση του ενσωματωμένου χάλυβα, σε σύγκριση με την επίδραση του πάχους επικαλύψεως οι απόψεις είναι κάπως διχασμένες. (Βλέπε φωτογραφίες σελ. 25-26).

Η δημιουργία αυτών των ρωγμών μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες π.χ.

Φυσικές : Συστελλόμενα αδρανή,  
Συστολή ξηράνσεως.

Χημικές : Διάβρωση οπλισμού (διαμήκειες ρωγμές)  
Αντίδραση αδρανών - αλκαλίων (άτακτη ρηγμάτωση)

Θερμικές : Εναλλαγές παγετού - τήξεως  
Πρόωρη θερμική συστολή.

Κατασκευαστικές : Υπερφόρτιση  
Ερπυσμός.

Το νεαρό σκυρόδεμα είναι ιδιαίτερα επιρρεπές στην ρηγμάτωση. Λίγες ώρες μετά τη χύτευση, η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή, για 4 έως 16 ώρες περίπου, με αποτέλεσμα το σκυρόδεμα να ρηγματώνεται πολύ εύκολα.

### Γ. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Οι επιδράσεις που μπορεί να υποστεί το σκυρόδεμα είναι οι εξής :

#### α) Μηχανικές.

- \* Επιβαλλόμενα φορτία
- \* Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις - Διαφορική καθίζηση
  - Συστολή ξηράνσεως
  - Ερπυσμός
  - Σεισμός
  - Μικρομεταβολές της θερμοκρασίας

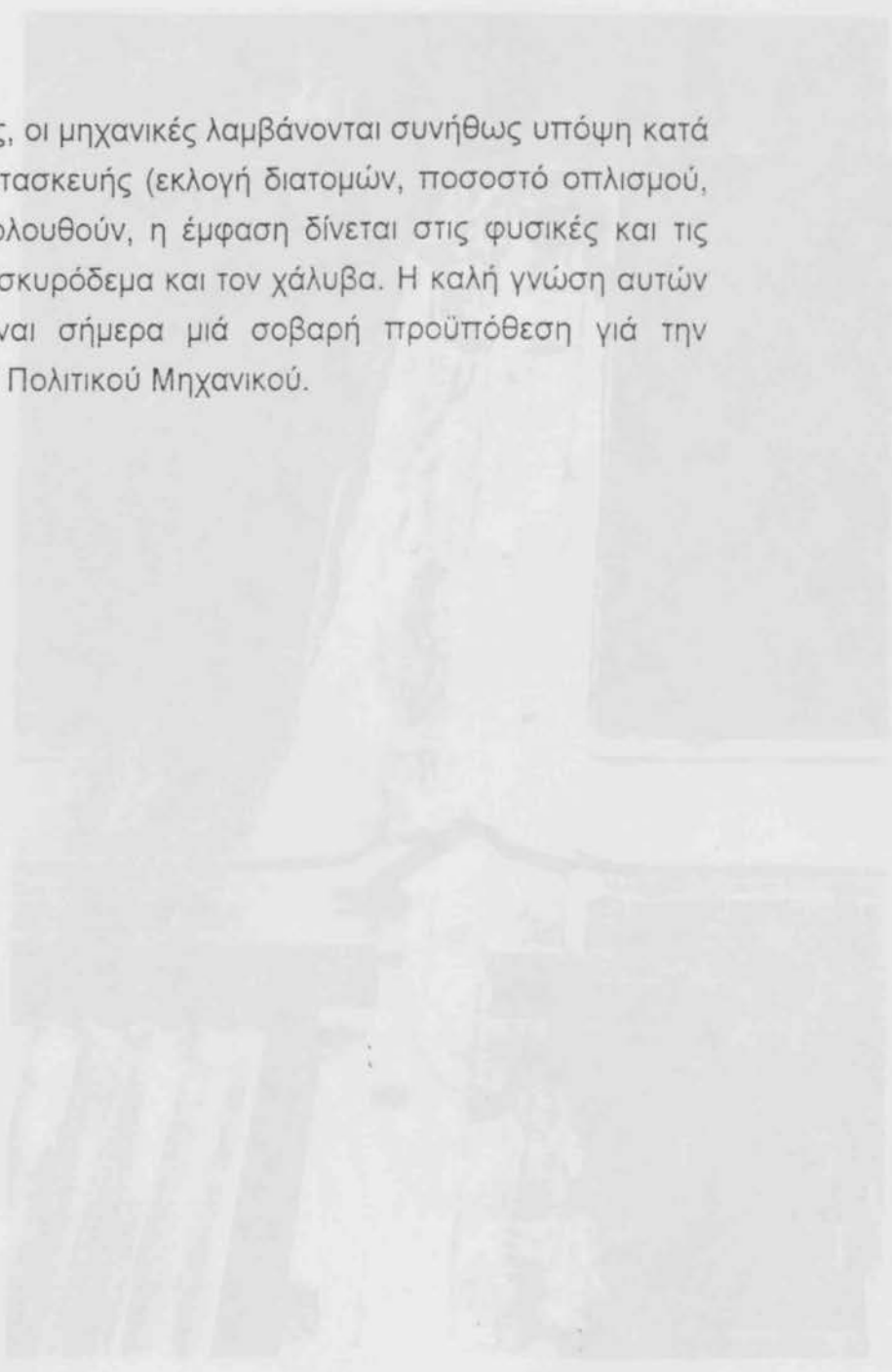
#### β) Φυσικές.

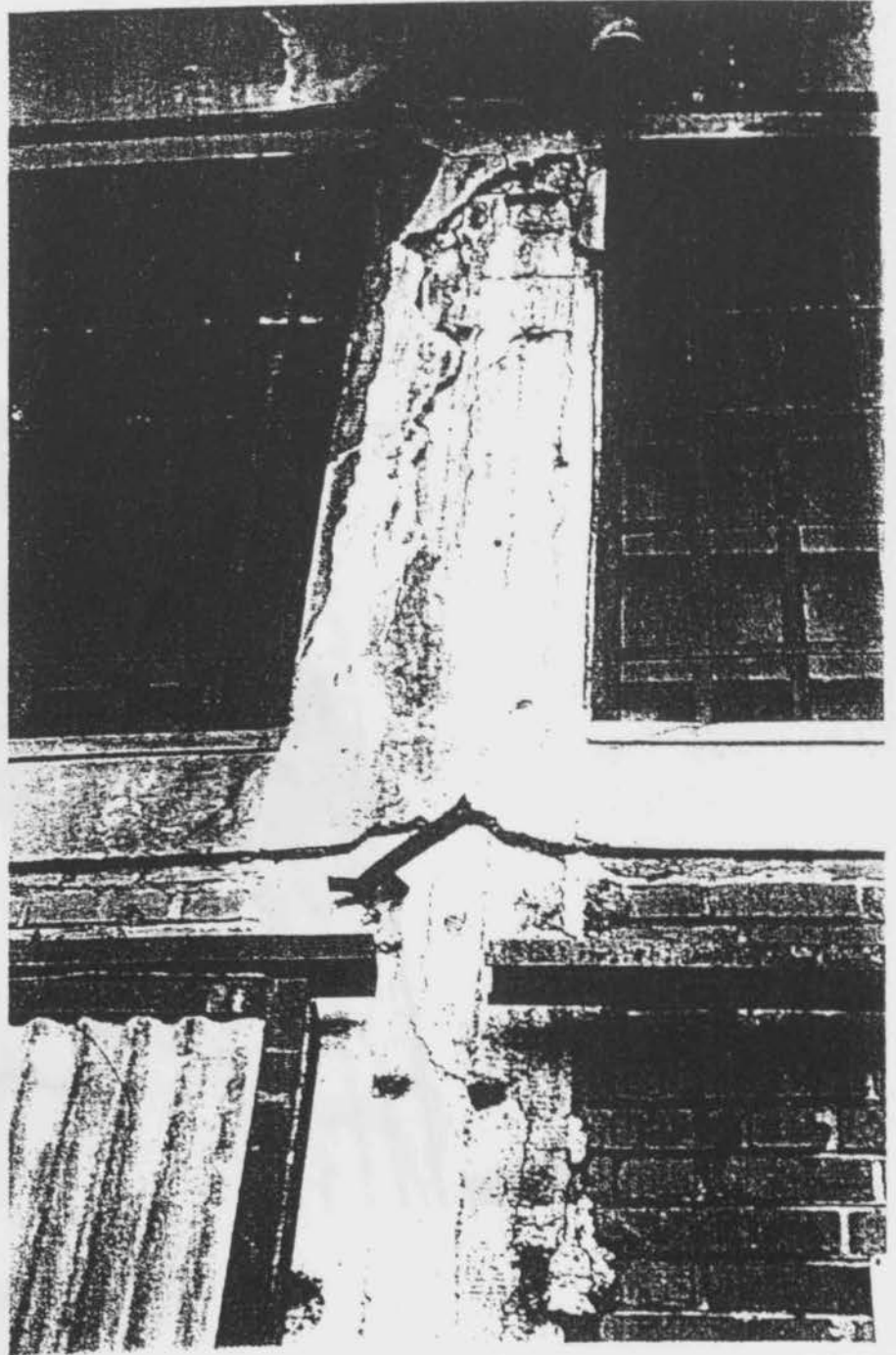
- \* Μηχανική φθορά
  - Απότριψη
  - Υδροφθορά
  - Σπηλαίωση
- \* Ακραίες θερμοκρασίες
  - Παγετός
  - Πυρκαγιά

### γ)Χημικές - Βιολογικές

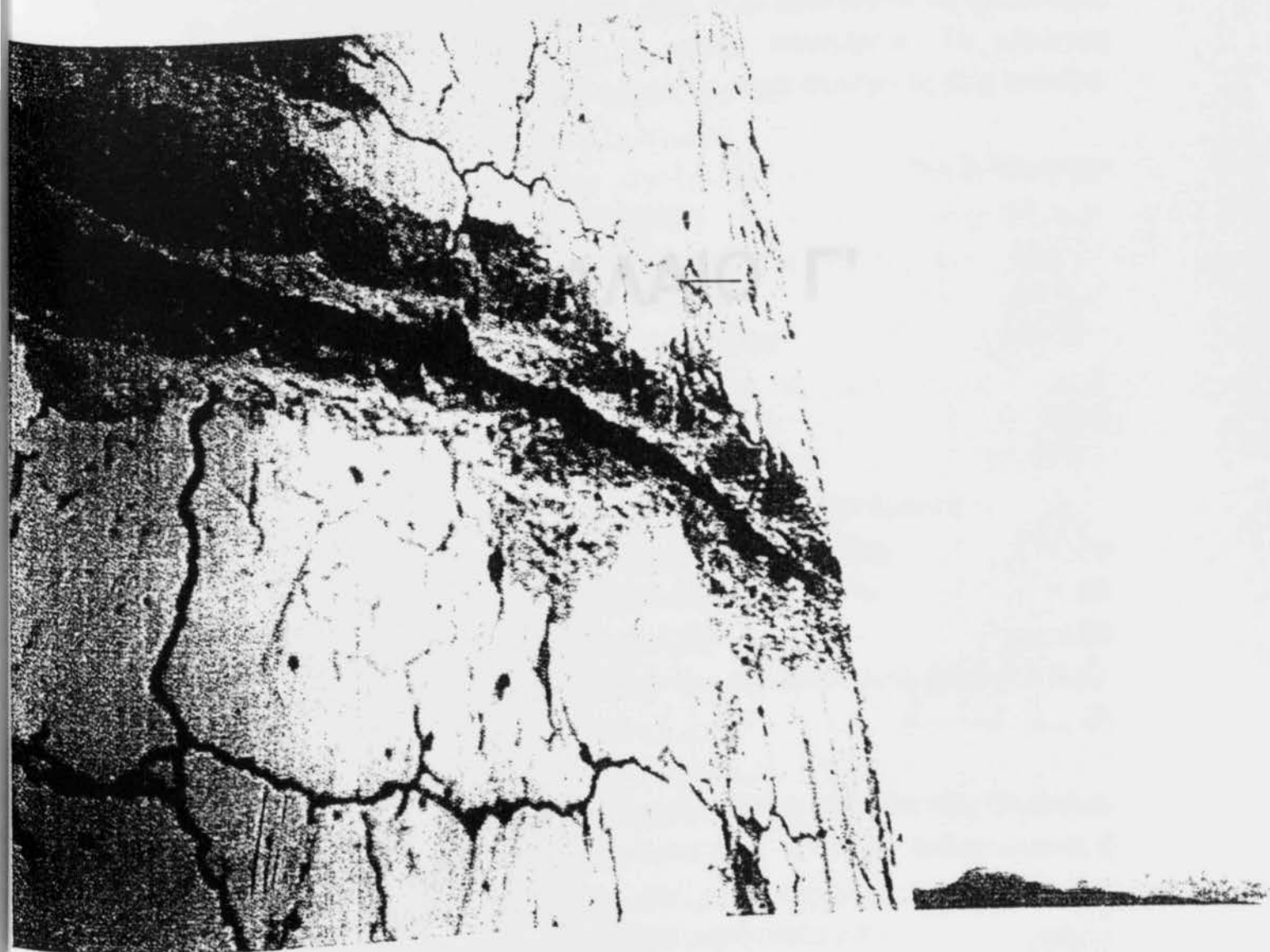
- \* οξέα
- \* Αλατα
- \* Βάσεις
- \* Βακτήρια

Από τις παραπάνω δράσεις, οι μηχανικές λαμβάνονται συνήθως υπόψη κατά τον στατικό σχεδιασμό της κατασκευής (εκλογή διατομών, ποσοστό οπλισμού, κ.λ.π). Ετσι, σ' αυτά που ακολουθούν, η έμφαση δίνεται στις φυσικές και τις χημικές επιδράσεις πάνω στο σκυρόδεμα και τον χάλυβα. Η καλή γνώση αυτών των παραγόντων φθοράς είναι σήμερα μιά σοβαρή προϋπόθεση για την άσκηση του επαγγέλματος του Πολιτικού Μηχανικού.





Διαμήκης ρωγή στο  
σκυρόδεμα λόγω διάβρωσης του  
οπλισμού.



*Ατακτι ρηγμάτωση σκυροδέματος.*



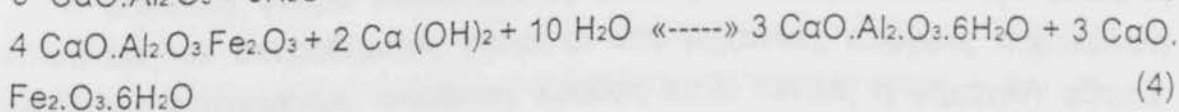
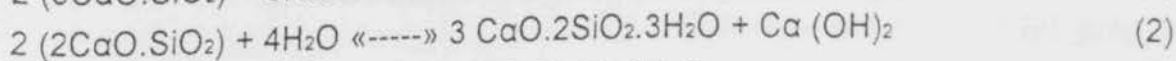
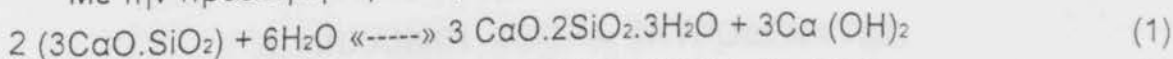
## ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

### Α. ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΩΣ ΥΛΙΚΟ.

Σε παραπάνω κεφάλαιο είδαμε από ποιιά υλικά αποτελείται το σκυρόδεμα, εδώ θα δούμε τις ενώσεις από τις οποίες αποτελείται. Το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο τσιμέντο είναι το Portland, το οποίο περιέχει τις εξής ενώσεις.

Ενώση		% κ.β. τσιμέντου
3 CaO . SiO <sub>2</sub>	(πυριτικό τριασβέστιο)	48
2 CaO . SiO <sub>2</sub>	(πυριτικό διασβέστιο)	27
3 CaO . Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(αργιλικό τριασβέστιο)	11
4 CaO . Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(αργιλοσιδηρικό τριασβέστιο)	8
άλλες ενώσεις		<u>9</u>
		100.0

Με την προσθήκη νερού πραγματοποιούνται οι εξής αντιδράσεις :



Εκτός, όμως, από το Portland, χρησιμοποιούνται και άλλα είδη τσιμέντων. Τα τσιμέντα αυτά περιέχουν διάφορες προσμίξεις οι οποίες δρουν φυσικά ή χημικά και επηρεάζουν τις ιδιότητες του τσιμέντου (π.χ. μεταβάλλουν το πορώδες, επιτυγχάνουν μεγάλες αντοχές σε μικρή ηλικία κ.τ.λ.).

Οι προσμίξεις οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως είναι :

- Ιπτάμενες τέφρες
- Πυριτική παιπάλη
- Φυσικές ποζολάνες
- Φυσικοί ηφαιστειακοί λίθοι
- Σκωρίες ψφικαμίνων
- Τέφρα κελυφους ρυζιού



- Ανυδρη ή Ενυδρη γύψος ( $\text{CaSO}_4$  ή  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- Ανυδρο ή ένυδρο χλωριούχο ασβέστιο ( $\text{CaCl}_2$  ή  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- Οργανικές ενώσεις

Αν το σκυρόδεμα εξετασθεί μικροσκοπικά, τότε, κατά την M.Regourd, (1985), τα αδρανή εμφανίζονται ως πολυφασικά πορώδη υλικά, ο δε τσιμεντοπολτός ως ετερογενές σύστημα. Στον τσιμεντοπολτό περιέχονται ενυδατωμένες ενώσεις ασβεστίου π.χ. ( $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) ή ( $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ ), υδροξείδιο του ασβεστίου [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ], άνυδροι κόκκοι τσιμέντου και άλλων τυχόν στοιχείων και νερό. Στην χημεία τσιμέντου χρησιμοποιούνται οι εξής συντημήσεις.

$\text{C}=\text{CaO}$ ,  $\text{S}=\text{SiO}_2$ ,  $\text{A}=\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}=\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{H}=\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{M}=\text{MgO}$ .

Το  $\text{C}_3\text{-S}_2\text{-H}_3$  αποτελείται από πολύ λεπτά επάλληλα φύλλα, τα οποία είναι κατανεμημένα σε ακανόνιστη δομή. Μεταξύ των ατάκτων κατανεμημένων φύλλων σχηματίζονται οι τριχοειδής πόροι πήγματος με μέγεθος 1 έως 5 mm.

## B. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ

### α. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΦΘΟΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

Η μηχανική φθορά σκυροδέματος είναι η διαδικασία κατά την οποία η επιφάνεια του σκυροδέματος φθείρεται από μηχανικές επιρροές π.χ. κύλιση διαφόρων αντικειμένων, ολίσθηση, κρούση κ.τ.λ. Γενικά, η μηχανική φθορά, όπως αναφέρει το ACL 201.2R-82 μπορεί να διακριθεί σε τρεις κατηγορίες :

- Μηχανική φθορά δαπέδων από σκυρόδεμα εκτεθειμένων στον αέρα, απότριψη.
- Μηχανική φθορά υδραυλικών κατασκευών, υδροφθορά.
- Δράση σπηλαιώσεως.

#### α1. ΑΠΟΤΡΙΨΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

Προκαλείται από την κυκλοφορία πεζών, την ολίσθηση αντικειμένων, την πρόσκρουση οχημάτων ή αντικειμένων, την κυκλοφορία φορτηγών, την κυκλοφορία οχημάτων τα οποία έχουν καρφιά.

Το μηχανισμό φθοράς αποτρίψεως σκυροδέματος μπορούμε να το εξηγήσουμε ως εξής :

Από τις δύο φάσεις του σκυροδέματος, το τσιμεντοκονίαμα έχει συνήθως μικρότερη αντοχή σε απότριψη από τα χονδρά αδρανή και φθείρεται εύκολα. Ο G. Haurtl το 1983 αναφέρει ότι η φθορά του τσιμεντοκονιάματος συνεχίζεται με γοργό ρυθμό μέχρις ότου τα χονδρά αδρανή αποκαλυφθούν αρκετά στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Η συνεχής επίδραση της τριβής έχει σαν αποτέλεσμα τα αδρανή να αφαιρούνται από το σκυροδέμα, δημιουργώντας ανωμαλίες στην επιφάνεια του σκυροδέματος και κατά συνέπεια να γίνεται πιο επιρρεπής στη φθορά. Επομένως το τσιμεντοκονίαμα πρέπει να έχει μεγάλη αντοχή, αφ' ενός μεν για να αντέχει το ίδιο, αφετέρου δε να συγκρατεί πολύ γερά τα αδρανή ώστε να εμποδίζεται η αφαίρεση τους από το σκυροδέμα.

Οι εργαστηριακές έρευνες από τον καθηγητή Graf έδειξαν τα εξής :

- Η επιφανειακή αντοχή του μπετού επηρεάζεται από την κοκκομετρική σύνθεση γενικά των προσμικτών υλικών.

Η χονδροκόκκος άμμος είναι καλύτερη από τη λεπτοκόκκο.

- Η επίδραση του τσιμέντου είναι μικρή. Η σωστή ποσότητα του τσιμέντου με αύξηση της ποσότητας της άμμου δεν αυξάνει την φθορά. Διαπιστώθηκε πάντως πως η αναλογία 1: 8 τσιμέντου : άμμου, παρουσίασε υπερδιπλάσια φθορά από την αναλογία 1:2.

- Επίσης η φθορά του μπετού είναι διπλάσια εάν χρησιμοποιηθεί σκληρό πέτρωμα.

- Όπως επίσης η φθορά του μπετόν αυξάνεται περισσότερο στην παραπάνω περίπτωση όταν το μπετό και το σκληρό πέτρωμα υγραίνονται.

- Τέλος όταν τα πρόσμικτα υλικά άμμος και σκύρα από ασβεστόλιθο αυξάνουν τη φθορά του μπετόν.

Το 1980 ο R. Browne προσδιόρισε τις βλάβες των δαπέδων από σκυροδέμα. Εκτός από την απότριψη σκυροδέματος που είδαμε παραπάνω έχουμε άτακτη ρηγμάτωση, θραύση μικρών ή μεγάλων κομματιών σκυροδέματος, ανισοεπίπεδότητα της επιφάνειας του σκυροδέματος και αποκόλληση του επιφανειακού στρώματος του δαπέδου.

Όπως αναφέρουν οι R. Deacon, 1986 και A. Itersey, 1973 οι λόγοι οι οποίοι οφείλονται οι βλάβες των δαπέδων από σκυροδέμα είναι η μεγάλη χρήση νερού, η οποία μειώνει την αντοχή του σκυροδέματος, η κακή διάστρωση και συμπίκνωση του σκυροδέματος, οι θερμοκρασιακές μεταβολές, η μη σωστή συντήρηση, οι ανεπαρκείς διαδικασίες περατώσεως, η μη σωστή αποσίαση

αρμών, η επίδραση από χημικές ουσίες και τέλος η έλλειψη συνάφειας μεταξύ επιστρώματος και υποστρώματος.

### **α2. ΥΔΡΟΦΘΟΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.**

Σύμφωνα με τον G. Hartl, 1983 και CEB Bull 148 η υδροφθορά όπως το λέει και η λέξη οφείλεται στο νερό. Συγκεκριμένα η ταχύτητα ροής του νερού, η ταχύτητα και το είδος της κινήσεως την οποία εκτελούν τα σώματα που μεταφέρονται με το νερό, το σχήμα, το μέγεθος, το βάρος και η συνολική επιφάνεια των μεταφερομένων σωμάτων και τέλος η σκληρότητα του σκυροδέματος επηρεάζουν την υδροφθορά του σκυροδέματος. (Βλέπε φωτογραφία σελ. 32).

### **α3. ΔΡΑΣΗ ΣΠΗΛΑΙΩΣΕΩΣ.**

Το φαινόμενο σπηλαιώσεως όπως αναφέρουν ο G. Hartl, 1983 και CEB. Bull.148 εμφανίζεται όταν το νερό κινείται με πολύ μεγάλη ταχύτητα παράλληλα σε περιορισμένη επιφάνεια.

Αν αλλάξουμε τη διεύθυνση ροής, τότε δημιουργούνται ασυνέχειες στη ροή με αποτέλεσμα αύξηση τυρβώδους και μείωσης πίεσεως. Η μείωση αυτή της πίεσεως έχει σαν αποτέλεσμα την εξάτμιση του νερού και το σχηματισμό φυσαλίδων με ατμό. Αν με τη ροή οι φυσαλίδες φθάσουν σε περιοχές όπου η πίεση είναι μεγαλύτερη από την πίεση εξατμίσεως του νερού, τότε ο ατμός στις φυσαλίδες συμπικνώνεται και οι φυσαλίδες καταστρέφονται. Έτσι δημιουργούνται κρουστικά κύματα και κύματα πίεσεως προκαλώντας κοιλότητες και ενωμαλίες.

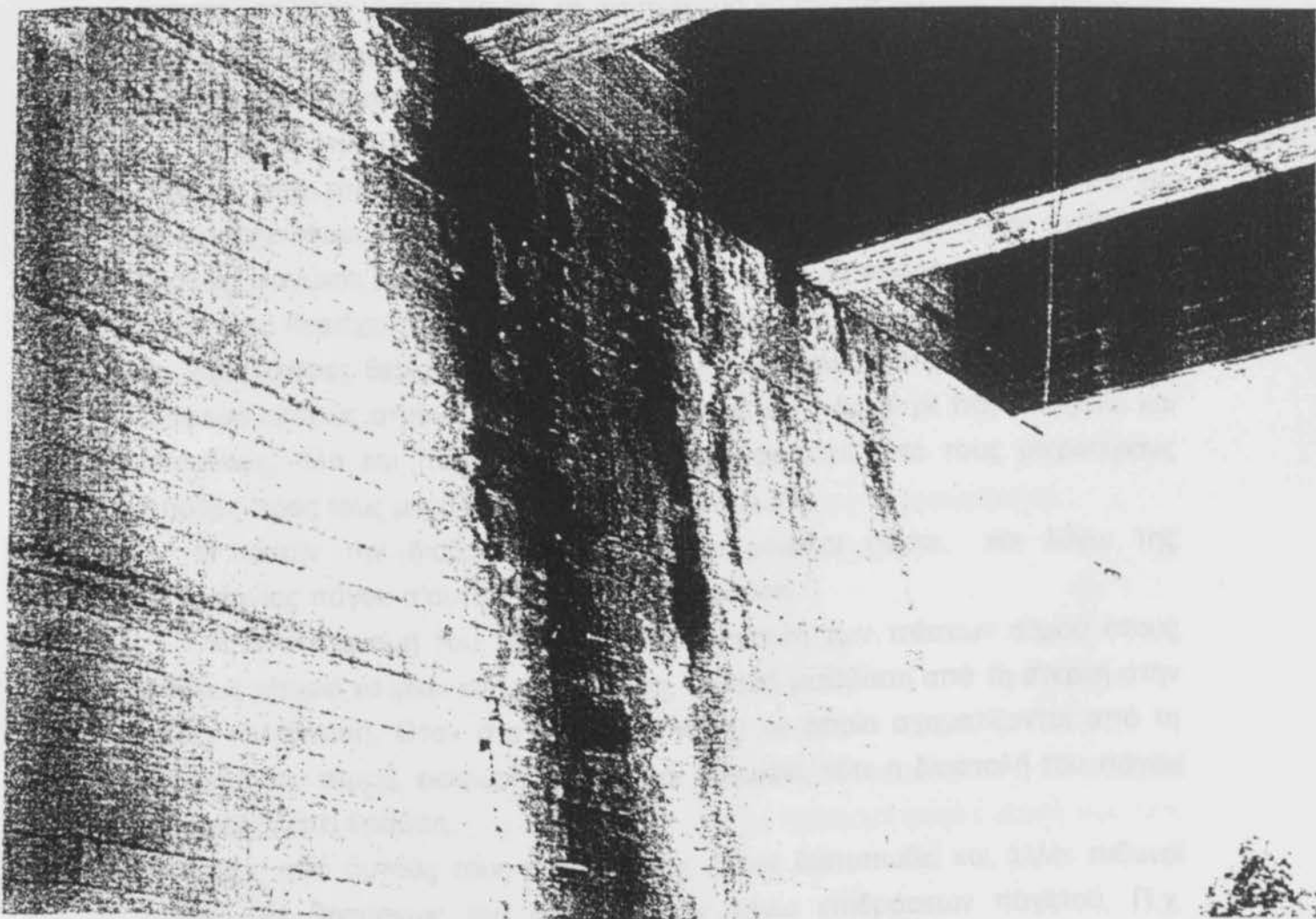
### **β. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΑΓΕΤΟΥ ΚΑΙ ΑΝΤΙΠΑΓΩΤΙΚΩΝ ΑΛΑΤΩΝ.**

Ο παγετός είναι επίδραση η οποία απασχολεί την τεχνολογία του σκυροδέματος στις βόρειες κυρίως χώρες. Εντούτοις, η φθορά αυτής της κατηγορίας παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον και για τη χώρα μας.

Ο παγετός επιβραδύνει την πήξη και την σκλήρυνση του μπετό, δηλαδή είναι ο πλέον επικίνδυνος εχθρός των μπετών.

### Β1. Μικροσκοπικός εφέρας λόγω επιδράσεως παλινδρομ.

Ο Μικροσκοπικός εφέρας λόγω επιδράσεως παλινδρομ, οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την κατασκευή του σκυροδέματος, οι υδατοδιαλύτες που έχουν τοποθετηθεί στην επιφάνεια του σκυροδέματος, λόγω της επιδράσεως των υδατοδιαλυτών, μετακινούνται προς τα κάτω, δημιουργώντας μικροσκοπικούς εφέρας.



Χρωματική αλλοίωση στην επιφάνεια σκυροδέματος βάθρου λόγω αποστραγγίσεως των νερών του καταστρώματος μέσα από τον αρμό.

### β1. Μηχανισμός φθοράς λόγω επιδράσεως παγετού.

Ο Μηχανισμός φθοράς λόγω δημιουργίας παγετού μέσα σε υλικά με πορώδη δομή, όπως είναι το σκυρόδεμα, δεν έχει διευκρινισθεί πλήρως.

Οι κυριότερες εξηγήσεις που έχουν δοθεί, είναι οι παρακάτω :

- Το μπετόν γνωρίζουμε ότι περιέχει πολύ νερό, οπότε σε περίπτωση παγετού το νερό γίνεται πάγος, με αποτέλεσμα να έχουμε αύξηση του όγκου. Ο όγκος του αυξάνεται κατά 9% και η διόγκωση αυτή θα προκαλέσει τοπικές θραύσεις του στερεού ιστού και μείωση της αντοχής του συνόλου.

- Η τάση ατμού σε κάποιον πόρο ο οποίος περιέχει νερό, είναι μεγαλύτερη από την τάση ατμού σε κάποιο γειτονικό πόρο ο οποίος περιέχει πάγο. Αρα για να υπάρξει ισορροπία πιέσεων μεταξύ των δύο αυτών πόρων, είτε πρέπει το νερό να παγώσει και στον άλλο πόρο, είτε να φύγει μιά ποσότητα νερού απ' τον πόρο που περιέχει το νερό. Εξ' άλλου, στους μικρούς πόρους το νερό παγώνει σε χαμηλότερες θερμοκρασίες όσο λοιπόν η θερμοκρασία χαμηλώνει, τόσο η διαφορά τάσεως ατμού μεταξύ πόρων με νερό και πόρων με πάγο αυξάνει και επομένως, όλο και περισσότερο νερό "μεταναστεύει" από τους μικρότερους πόρους προς τους μεγαλύτερους όπου και παγώνει.

Μ' αυτήν την διαδικασία, γεμίζουν οι μεγάλοι πόροι και λόγω της δημιουργίας πάγου σ' αυτούς, προκαλείται θραύση.

- Η ανακατανομή του νερού για εξισορρόπηση των πιέσεων ατμού στους πόρους μπορεί να γίνει και με εξαέρωση, δηλαδή μετάβαση από τη στερεή στην αέρια κατάσταση. Όταν στα κενά του πάγου τα οποία σχηματίζονται από τη διαφυγή του ατμού, εισχωρήσει νερό και παγώσει, τότε η διαστολή του πάγου θα προκαλέσει θραύση.

Εκτός από αυτούς τους μηχανισμούς, έχουν διατυπωθεί και άλλοι πιθανοί μηχανισμοί θραύσεως του σκυροδέματος λόγω επιδράσεων παγετού. Π.χ. θερμικές ασυμβατότητες μεταξύ αδρανών και τσιμεντοπολτού, απορρόφηση από τα αδρανή του νερού ενυδατώσεως, ανάπτυξη πιέσεων λόγω κρυσταλλοποιήσεως, σχηματισμός πάγου στους μικρούς πόρους. Επίσης, οι χαμηλές θερμοκρασίες προκαλούν συστολή των πόρων και ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων μέσα στο σκυρόδεμα.

## β2. Επίδραση αντιπαγωτικών αλάτων.

Η ταυτόχρονη επίδραση παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων, είναι περισσότερο επιζήμια στο σκυρόδεμα απ' ό,τι η απλή επίδραση παγετού. Χρησιμοποιούνται, συνήθως, σε δρόμους, πεζοδρόμια, εξώστες και εξωτερικές σκάλες. Μπορεί όμως από τυχαία αίτια, να μεταφερθούν και σε άλλους χώρους. Έτσι, τα αντιπαγωτικά άλατα προσβάλλουν περισσότερες κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα απ' όσες νομίζουμε.

Τα αντιπαγωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι το χλωριούχο ασβέστιο ( $\text{CaCl}_2$ ), το χλωριούχο νάτριο ( $\text{NaCl}$ ) και σπανιότερα η ουρία [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ] και η αιθυλική αλκοόλη ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ). Οι G.Verbeck - P. Klieger, (1956) (όπως αναφέρει P.Klieger, 1980), έκαναν μιά σειρά πειραμάτων βυθίζοντας δοκίμια σκυροδέματος σε διαλύματα των προαναφερθέντων προϊόντων. Με τα πειράματα αυτά παρατήρησαν ότι μικρές συγκεντρώσεις διαλύματος (2 έως 4% κ.β.) είναι περισσότερο επιζήμιες από μεγάλες συγκεντρώσεις.

## γ. Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε επίδραση παγετού.

### γ1. Ποιότητα του σκυροδέματος.

Γιά την παρασκευή σκυροδέματος το οποίο πιθανολογείται ότι θα υποστεί την επίδραση παγετού, πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στην εκλογή των εξής παραμέτρων :

- Μέγεθος αδρανών.
- Λόγος N/T
- Είδος τσιμέντου - πρόσθετα.
- Προσθήκη αερακτικών.

### γ2. Συνθήκες περιβάλλοντος.

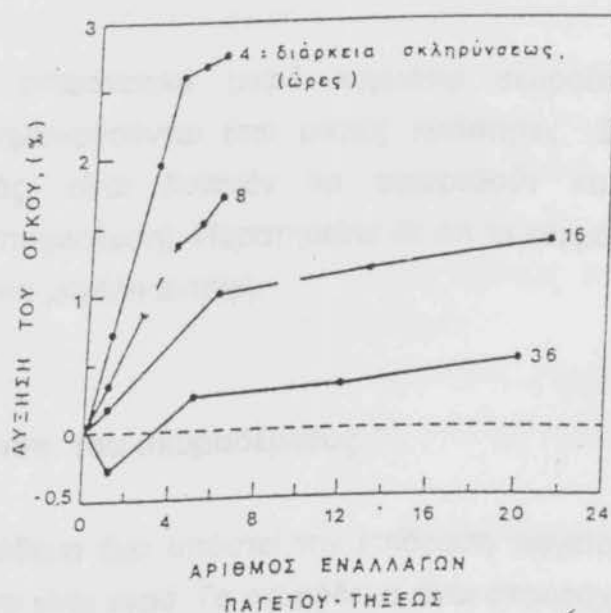
Όταν οι συνθήκες στο περιβάλλον είναι τέτοιες ώστε η σχετική υγρασία του σκυροδέματος να είναι πολύ μεγάλη π.χ. 97%, είναι πολύ πιθανό ότι θα συμβεί

μελλοντική ξήρανση του σκυροδέματος. Εστω και αν η ξήρανση είναι πολύ μικρή, εφόσον συμβεί πριν από την επίδραση παγετού, θα βελτιώσει πολύ την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι παγετού, ανεξάρτητα από την τιμή του λόγου  $N/T$  και την περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε κενά αέρα.

### γ3. Ηλικία του σκυροδέματος.

Όσο αυξάνει η ηλικία του σκυροδέματος, αυξάνεται η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι παγετού, διότι μεταβάλλεται το μέγεθος και η κατανομή των πόρων.

Όπως αναφέρει ο M. Matti, (1986), το σκυρόδεμα μικρής ηλικίας έχει αρκετό νερό στους πόρους του. Επειδή δεν έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία ενυδατώσεως του τσιμέντου. Επίδραση παγετού σε σκυρόδεμα μικρής ηλικίας θα προκαλέσει σημαντική φθορά (βλ. Σχήμα 4).



Σχ. 4 Επίδραση της ηλικίας του σκυροδέματος στην αύξηση του όγκου του σκυροδέματος το οποίο υπόκειται σε επίδραση παγετού (Moller, 1956, αναφέρεται από τον I. Soroka, 1979).

Αυτό συμβαίνει επειδή το σκυρόδεμα δεν έχει αναπτύξει ακόμα αρκετή αντοχή, γιὰ να μπορεί να παραλάβει τις τάσεις οι οποίες αναπτύσσονται με το

σχηματισμό του πάγου. Η μείωση της θλιπτικής αντοχής φτάνει μέχρι το 40% της αντοχής σκυροδέματος το οποίο δεν έχει υποστεί την επίδραση παγετού.

#### δ. ΠΩΣ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ Η ΦΘΟΡΑ ΛΟΓΩ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΣ ΠΑΓΕΤΟΥ.

##### ° Ρηγμάτωση.

Οι τάσεις οι οποίες αναπτύσσονται μέσα στο σκυρόδεμα προκαλούν ρηγμάτωση. Συνήθως οι ρωγμές εμφανίζονται σ' όλη την επιφάνεια του σκυροδέματος. Το εύρος των ρωγμών δεν ξεπερνά τα 0.25 mm, ενώ το βάθος τους περιορίζεται σε 35 mm από την επιφάνεια.

##### ° Απολέπιση και αποφλοίωση του σκυροδέματος.

Αφαιρούνται επιφανειακά μικρά κομμάτια σκυροδέματος υπό μορφή λεπίδων, και δημιουργούνται έτσι μικρές κοιλότητες. Σε περίπτωση πολύ σοβαρής φθοράς, είναι δυνατόν να αφαιρεθούν και μεγάλα κομμάτια σκυροδέματος (αποφλοίωση). Παρατηρείται δε ότι τα κομμάτια που αφαιρούνται μπορεί να έχουν και μεγάλη αντοχή.

##### ° Υγρή εμφάνιση του σκυροδέματος.

Όταν το σκυρόδεμα έχει υποστεί την επίδραση παγετού σε μικρή ηλικία, τότε φαίνεται σαν να είναι υγρό. Το σκυρόδεμα είναι σκουρόχρωμο και θραύεται εύκολα.



## Γ. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ.

Η περίπτωση της εξέτασης της συμπεριφοράς του μπετού έναντι χημικών επιδράσεων, παρουσιάζεται πάντοτε όταν το μπετόν έρχεται σε επαφή με το θαλάσσιο νερό στις κατασκευές δεξαμενών silos για την αποθήκευση διαφόρων υγρών, στην κατασκευή υπονόμων κ.τ.λ. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να εξετάσουμε τη σύσταση των υγρών και τις ζυμώσεις τις οποίες είναι δυνατόν να προκαλέσουν.

Όλες οι βλαβερές χημικές επιδράσεις λαμβάνουν χώρα μόνο με την παρουσία υγρασίας.

Κατά κανόνα, επειδή το μπετό είναι πλούσιο σε ασβέστιο, από χημικής απόψεως είναι μιά ισχυρή βάση, άρα τείνει να ενωθεί με οξέα. Οπου λοιπόν υπάρχουν οξέα, πρέπει το μπετό να προστατευθεί από την είσοδο αυτών εντός της μάζας του. Η καταστροφή του μπετού από τα οξεία λαμβάνει χώρα ως επί το πλείστον δι' αφαιρέσεως διάλυσης ποσότητας τσιμέντου από το μπετόν, οπότε η επιφάνεια αυτού καθίσταται αδρά και συν το χρόνο κατατρύγεται.

Εκτός της καταστροφής αυτής από τα οξέα, μπορεί να καταστραφεί και από ορισμένα άλατα, θειϊκά, θειούχα και θειώδη άλατα προσβάλλουν την περιεχομένη στο τσιμέντο ασβέστο και προκαλούν διόγκωση στο μπετό με συνέπεια αυτό να υφίσταται ρήγματα, σκάζει. Επίσης εάν εξακολουθήσει η επήρρεια των αλάτων, το μπετόν αποσυντίθεται.

Στα άλατα αυτά ανήκει και το θειϊκό μαγνήσιο ( $MgSO_4$ ), ο γύψος που περιέχεται στο τσιμέντο, η παρουσία λόγω της μικρής ποσότητας του δεν ασκεί επιβλαβή επιρροή.

Επίσης η σκωρία και η τέφρα των ατμολέβητων και γενικότερα τα καρβονίδια είναι δυνατό να περιέχουν Θείο.

Συνεπώς πρέπει να προσέχουμε αφ' ενός να μην περιεχόνται αυτά στα σκυρα παρασκευής του μπετού, επίσης δε όταν χρησιμοποιούνται ως μονωτικό και υλικό προσδόσεως κλίσεων και για την επίστρωση και για την πλάκα του δώματος.

Η είσοδος νερού στα καρβονίδια, η οποία επέρχεται διαρραγούν, συνεπεία διαστολής, οι όρμοι των πλακών επιστρώσεως και το θείο των καρβονιδίων δημιουργούν θειϊκό οξύ, το οποίο προκαλεί σχηματισμό θειϊκών αλάτων, που

είναι δυνατόν να προκαλέσουν εκτίναξη των πλακών επικαλύψεων του δώματος ή και ζημιές της πλάκας του μπετό του δώματος.

Τα έλαια και τα λίπη γενικά, φυτικά και ζωικά ενεργούν καταστρεπτικά πάνω στο μπετό, σε αντίθεση με τα ορυκτέλαια και τις ασμαλτικές ενώσεις, οι οποίες δεν επιδρούν άσχημα. Γι' αυτό οι διάφορες προστατευτικές ενώσεις του μπετόν έχουν ως βάση την άσφαλτο.

Τα διάφορα υγρά των υπονόμων δεν προσβάλλουν, κατά κανόνα, τους αγωγούς από μπετόν. Στις παρειές των υπονόμων σχηματίζεται ιδώδες περίβλημα το οποίο εμποδίζει να έρθουν τα υγρά σε επαφή με το μπετόν. Τα προβλήματα όμως παρουσιάζονται όταν νερά βιομηχανιών τα οποία περιέχουν οξέα τα αδειάζουν στους υπονόμους.

Το χημικά καθαρό νερό διαλύει την άσβεστο από το τσιμέντο μέχρι και τα ασβεστολιθικά αδρανή.

Επιβλαβώς πάνω στο μπετό ενεργούν το γαλακτικό οξύ, περίπτωση αποθηκεύσεων νωπών καρπών, το οξικό οξύ, εγκοποιστάσεις παρασκευής τροφίμων, το δεμικό οξύ, εργοστάσια βυρσοδεφειών καθώς η ζάχαρη, ο ζύθος και ο οίνος. Ειδικότερα όταν πρόκειται για αποθήκευση οίνου και ζύθου πολλά αλλοιώνονται και η γεύση αυτών. Οι καπνοί σε σήραγγες δηλ. τα θειούχα αέρια επιδρούν καταστρεπτικά στο μπετό. Η επίδραση αυτή οφείλεται στο οξειδίο του θείου το οποίο προϋποθέτει υγρασία.

Ο σίδηρος όπως είναι γνωστό προστατεύει το μπετό, ενώ ο χαλκός και ο μόλυβδος επηρεάζονται απ' αυτό.

#### Δ. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ

Διάβρωση του σκυροδέματος λόγω βιολογικών επιδράσεων μπορεί να προκληθεί από διάφορους φυτικούς ή ζωικούς μικροοργανισμούς. Η επίδραση των μικροοργανισμών συμβαίνει σε επιφάνειες του σκυροδέματος οι οποίες βρίσκονται κοντά στη θάλασσα, σε υγρό περιβάλλον ή στο εσωτερικό αγωγών αποχετεύσεως. Γιά την ανάπτυξη τους χρειάζονται ίχνη μεταλλικών στοιχείων, τα οποία τα παίρνουν από το σκυρόδεμα.

Οι μικρορωγμές που υπάρχουν στο σκυρόδεμα επιτρέπουν τη διείσδυση των ριζών των φυτών, η οποία μπορεί να προκαλέσει χημική διάβρωση του σκυροδέματος, λόγω έκκρισης οξέων από τις ρίζες.

Επίσης σε υγρό σκυρόδεμα παρατηρούμε ότι αναπτύσσονται λειχήνες και βρύα τα οποία προκαλούν διάβρωση αλλά λόγω της παρουσίας ανθρακικού οξέους δεν είναι μεγάλη.

Σε περιοχές οι οποίες διαβρέχονται διαδοχικά και ξηραίνονται η ύπαρξη φυκιών είναι επιζήμια, διότι συγκρατούν το θαλάσσιο νερό στο οποίο η συγκέντρωση αλάτων αυξάνεται με την εξάτμιση. Επίσης ορισμένα μαλάκια τα οποία προσκολλώνται στην επιφάνεια του σκυροδέματος προκαλούν διάβρωση.

Τέλος διάβρωση σκυροδέματος προκαλούν τα βακτήρια τα οποία αναπτύσσονται σε απορρίματα και σε αγωγούς αποχετεύσεως, αντέχουν δε σε μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας από 4°C έως 80°C.

## Ε. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΙΔΗΡΟΠΛΙΣΜΩΝ

### Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.

#### Γενικά.

Το σκυρόδεμα παρέχει στον χάλυβα προστασία έναντι διαβρώσεως, την ονομαζόμενη "παθητική" προστασία.

Αυτή η προστασία που προσφέρει, οφείλεται στην αλκαλικότητα του σκυροδέματος εξαιτίας του υδροξειδίου του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , υποπροϊόντος της ενυδατώσεως του τσιμέντου. Για μεγάλες τιμές του ΡΗ (από 9 έως 12.8) σχηματίζεται στην επιφάνεια του μετάλλου ένα πολύ λεπτό και σφικτά προσκολλημένο στρώμα οξειδίων του σιδήρου. Το στρώμα οξειδίων σχηματίζεται μόνο σε καθαρή επιφάνεια του μετάλλου. Ετσι όσο το προστατευτικό στρώμα υπάρχει, δεν θα συμβεί διάβρωση του χάλυβα, ατόμα και στην περίπτωση που υπάρξουν οι παραγόντες οι οποίοι απαιτούνται για την εξέλιξη του φαινομένου της διαβρώσεως. Οπως επίσης και όταν έχει καταστραφεί το στρώμα των οξειδίων, να μην διαβρώνεται ο χάλυβας, επειδή οι περιβαλλοντικές συνθήκες δεν είναι "ευνοϊκές", π.χ. σε σκυρόδεμα βυθισμένο σε νερό (λόγω ανεπάρκειας οξυγόνου) ή σε σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων (λόγω ελλείψεως υγρασίας).

Διάβρωση του χάλυβα συμβαίνει σε διάφορες περιπτώσεις, όπως :

- Ο χάλυβας έρχεται σε επαφή με υλικά τα οποία δεν παρουσιάζουν αλκαλικότητα όπως π.χ. ξύλο, νερό, έδαφος, υδρομονωτικά υλικά κ.λ.π. Τα υλικά αυτά είναι πιθανόν να είναι μέρος της κατασκευής ή να έρθουν σε επαφή με το χάλυβα μετά από τυχόν ρηγμάτωση του σκυροδέματος.

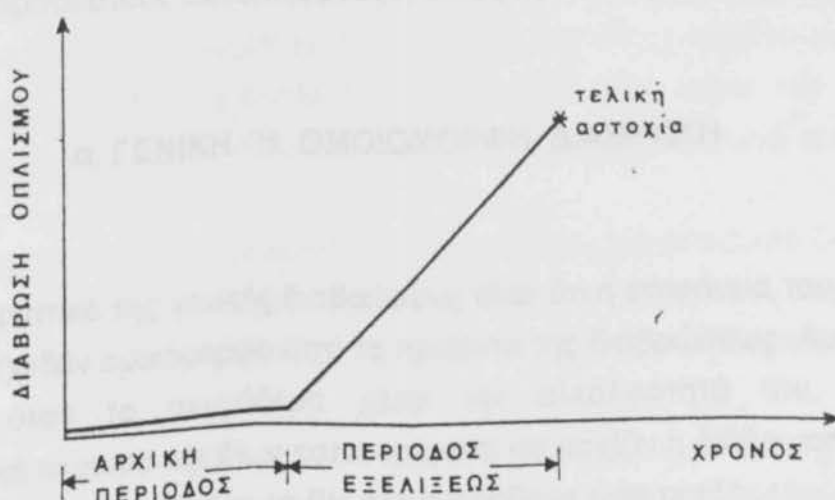
- Το περιβάλλον δεν ήταν αυτό που θα περιμέναμε ή άλλαξε κατά τη διάρκεια χρήσεως της κατασκευής, π.χ. οι χώροι έχουν αυξημένη υγρασία ή οι ξηρές συνθήκες μεταβλήθηκαν ξαφνικά σε υγρές, όπως συμβαίνει σε κουζίνες και πλυντήρια.

- Ο χάλυβας έχει κατασκευαστικές ατέλειες ή είναι εξαιρετικά ευαίσθητος ή έρχεται σε επαφή με άλλα μέταλλα.

- Το σκυρόδεμα είναι κακής ποιότητας και παύει να παρέχει παθητική προστασία στον χάλυβα, π.χ. η διαπερατότητα του σκυροδέματος είναι μεγάλη ώστε να επιτρέπει την διείσδυση χλωριόντων.

Ετσι λοιπόν για να καθορίσουμε τη διάρκεια ζωής μιάς κατασκευής, είναι σημαντικά να γνωρίζουμε πότε θα παρουσιασθεί η διάβρωση του χάλυβα, ποιές παράμετροι επηρεάζουν τη διαδικασία διαβρώσεως και με ποιόν τρόπο.

Ο Κ. Tuutti, (1982), (Όπως αναφέρει ο P. Schiessl, 1983α) χωρίζει τη διάρκεια ζωής σε δύο περιόδους, την αρχική περίοδο ( $t_0$ ) και την περίοδο εξελίξεων ( $t_1$ ) (βλ. σχήμα 5).



Σχ. 5 Εξέλιξη της διαβρώσεως του χάλυβα στο σκυρόδεμα. (Κ. Tuutti, 1982, αναφέρεται από τον P. Schiessl, 1983).

Κατά την αρχική περίοδο συμβαίνουν εκείνες οι διαδικασίες οι οποίες καταστρέφουν την παθητική προστασία του χάλυβα (π.χ. ενανθράκωση του σκυροδέματος, διείσδυση χλωριόντων στο σκυρόδεμα κ.λ.π.). Κατά την περίοδο εξελίξεως προάγεται η διαδικασία διαβρώσεως με την παρουσία επαρκών ποσοτήτων οξυγόνου και υγρασίας, μέχρις ότου επέλθει η "τελική αστοχία". Ο τρόπος με τον οποίο διαβρώνεται ο χάλυβας ποικίλει σημαντικά, ανάλογα με την αιτία που προκαλεί τη διάβρωση.

Για να κατατάξουμε τις μορφές διάβρωσης σε κατηγορίες, πρέπει να διακρίνουμε (κατά το Corrosion Basics, 1984) τις εξής περιπτώσεις :

- ° Γενική ή ομοιόμορφη διάβρωση.
- ° Τοπική διάβρωση.
  - Διάβρωση κατά βελονισμόν (pitting).
  - Μικρορρηγματώδης διάβρωση (crevice)
  - Διάβρωση μεταξύ των κόκκων (intergranular )
- ° Διάβρωση λόγω αναπτύξεως εξωτερικής διαφοράς δυναμικού.
  - Γαλβανική δράση (galvanic)
  - Ηλεκτρολυτική διάβρωση (electrolytic)
- ° Διάβρωση υπό μηχανικήν τάση (stress-corrosion)

Από τις παραπάνω μορφές, η διάβρωση υπό μηχανικήν τάση εμφανίζεται μόνο στους προεντεταμένους χάλυβες.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε αναλυτικά σε κάθε μορφή διαβρώσεως η οποία εμφανίζεται στους συνοπλισμούς ή στους προντεταμένους χάλυβες.

## α. ΓΕΝΙΚΗ Ή ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Χαρακτηριστικό της γενικής διαβρώσεως είναι ότι η επιφάνεια του μετάλλου καλύπτεται σχεδόν ομοιόμορφα από τα προϊόντα της διαβρώσεως. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν το σκυρόδεμα χάσει την αλκαλικότητά του. Τότε το προστατευτικό στρώμα οξειδίων καταστρέφεται και αρχίζει η διάβρωση.

Οι αιτίες που ελαττώνεται το ΡΗ στο σκυρόδεμα είναι οι εξής :

Ενανθράκωση του σκυροδέματος.

Απόπλυση του  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  από το σκυρόδεμα, από επίδραση νερού και τέλος η επίδραση ανθρακικών ή θειικών αλάτων.

Όταν προσβάλεται το σκυρόδεμα από ενανθράκωση προέρχεται από τη χημική αντίδραση του οξειδίου του άνθρακα το οποίο περιέχεται στην ατμόσφαιρα, με το υδροξείδιο του ασβεστίου του σκυροδέματος. Ενανθράκωση παρατηρείται σε αέρα με σχετική υγρασία 50 έως 70%. Επίσης το μέσο βάθος ενανθράκωσης σε εσωτερικούς χώρους είναι μεγαλύτερο απ' ότι σε εξωτερικούς χώρους. Αυτό συμβαίνει διότι σκυρόδεμα το οποίο εκτίθεται στην ατμόσφαιρα, συχνά εμποτίζεται με νερό. Πιο γενικά, υπάρχουν κάποιες παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν την ενανθράκωση του σκυροδέματος : οι συνθήκες περιβάλλοντος, η ποιότητα και το πάχος της επικάλυψης και το είδος του τσιμέντου. (Βλέπε φωτογραφία σελ. 44)

Όσον αφορά τη διάβρωση του χάλυβα είναι ένα σύνθετο και ηλεκτροχημικό φαινόμενο. Το πόσο "ευσταθεί" ο χάλυβας μέσα στο σκυρόδεμα εξαρτάται από το ηλεκτρικό δυναμικό, από το PH, και από τη θερμοκρασία του σκυροδέματος. Ακόμη η διάβρωση κατά βελονισμόν οφείλεται αποκλειστικά στην επίδραση χλωριόντων. Όταν τα ιόντα χλωρίου ( $Cl^-$ ) μπορεί να βρεθούν στο σκυρόδεμα, είτε από την αρχή με την παρασκευή του σκυροδέματος, ή να διεισδύσουν από το περιβάλλον αργότερα. (Βλέπε φωτογραφία σελ. 45).

Η διείσδυση των χλωριόντων γίνεται : ή με την επαφή των κατασκευών με το νερό της θάλασσας, με βιομηχανικά αλμυρά νερά, με τη χρήση αντιπαγωτικών αλάτων, ακόμη με κάποιες σταγόνες θαλάσσιου νερού που μπορεί να τις μεταφέρει ο αέρας. (έχει διαπιστωθεί ότι τέτοιες σταγόνες μπορούν να επηρεάσουν μία κατασκευή ακόμη και σε απόσταση μέχρι 10 Km από τη θάλασσα και τέλος στην περίπτωση πυρκαγιάς απ' όπου κάηκαν αντικείμενα από πολιβινυλίου (PVC), το οποίο όταν διασπαστεί δίνει αέριο  $HCl$  το οποίο εισδύει στο σκυρόδεμα και αντιδρά με την άσβεστο και ελευθερώνει τελικά ιόντα χλωρίου.

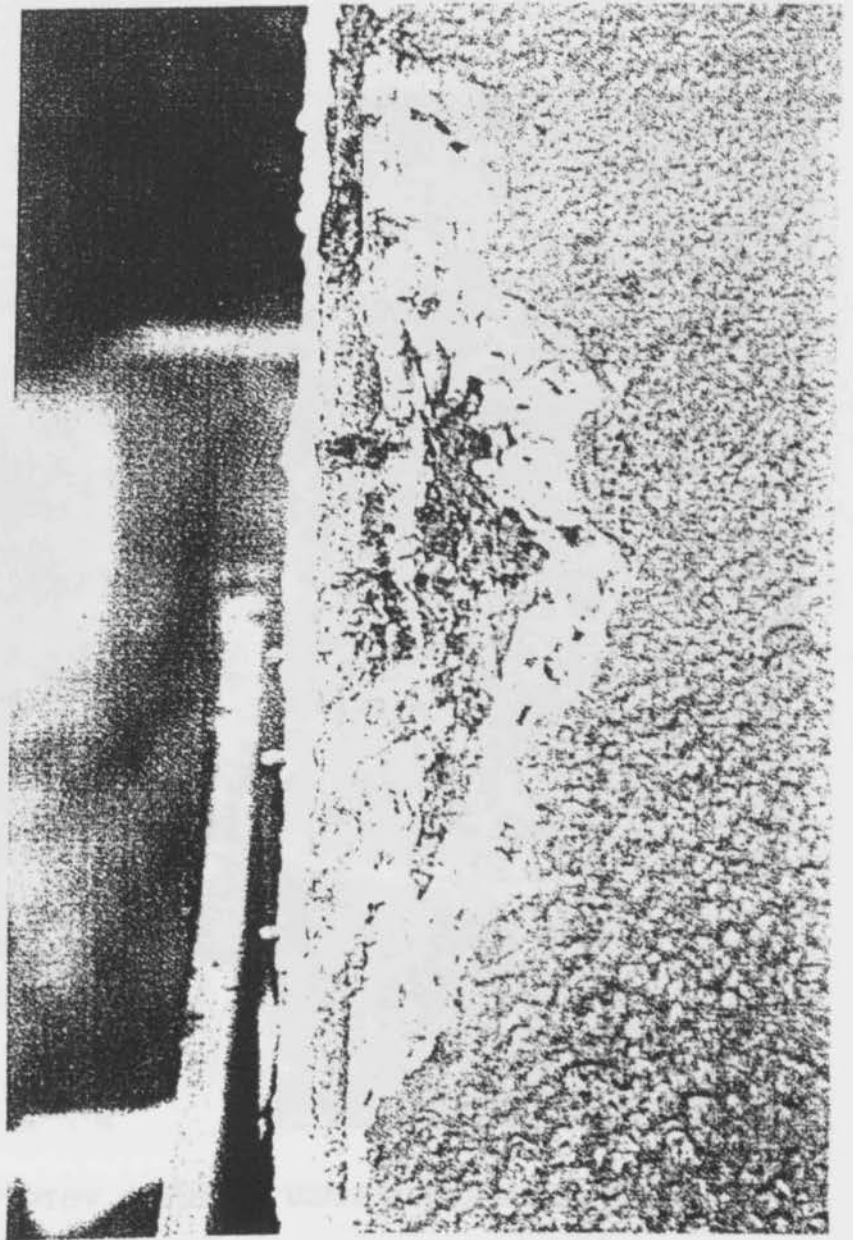
Από τα χλωριόντα που βρίσκονται στο σκυρόδεμα, μία ποσότητα δεσμεύεται χημικά από τον τσιμεντοπολτό, ενώ τα υπόλοιπα χλωριόντα παραμένουν ελεύθερα. Η διάβρωση του χάλυβα προκαλείται από τα ελεύθερα χλωριόντα. (Βλέπε φωτογραφία σελ. 46).

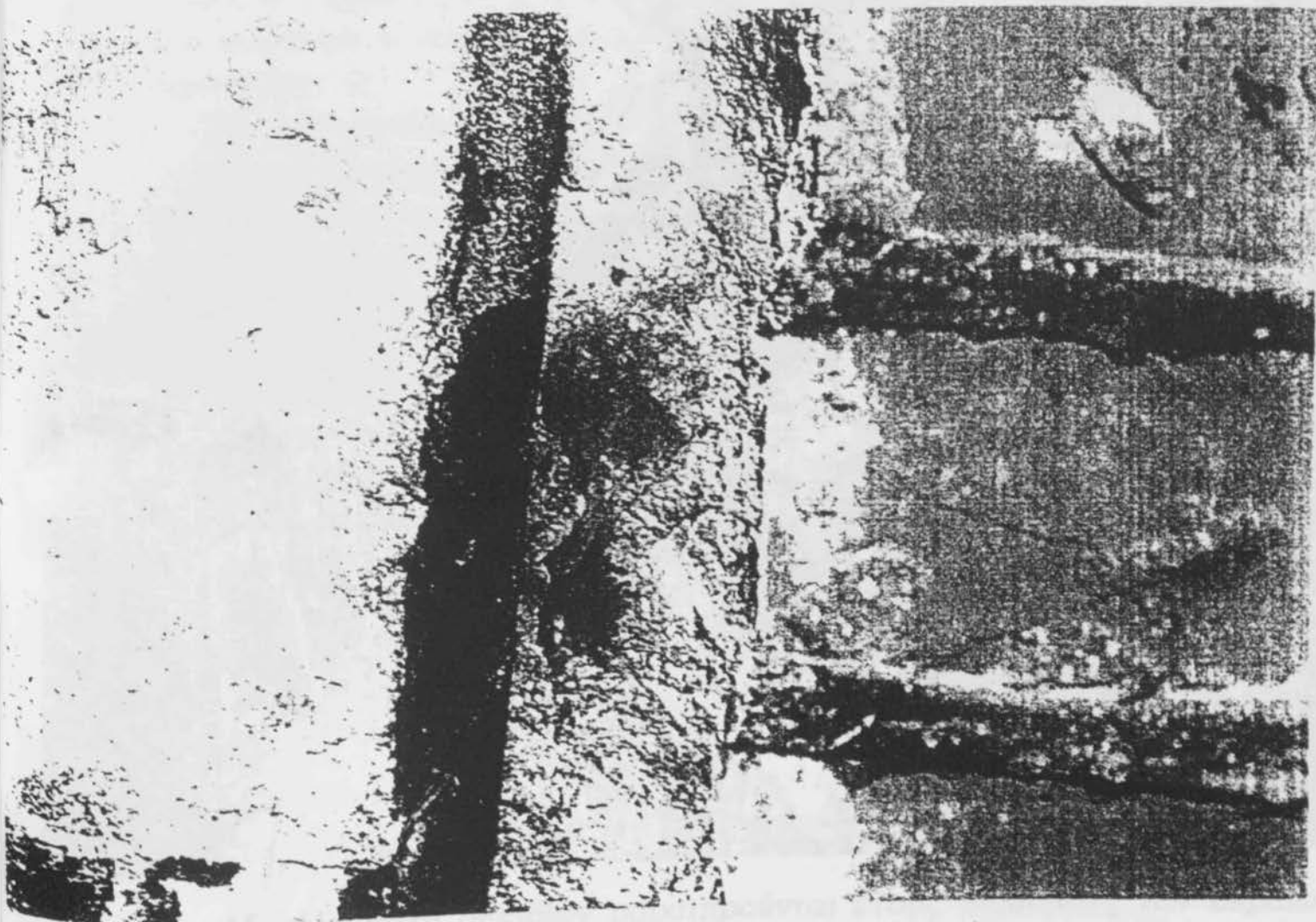
Έχει παρατηρηθεί όμως από πειράματα που έχουν γίνει ότι όταν το σκυρόδεμα περιέχει από την αρχή μέσα χλωριόντα, ο χάλυβας διαβρώνεται πιο λίγο, απ' ότι στην περίπτωση που τα χλωριόντα διεισδύαν απ' έξω, στο σκυρόδεμα. Το τσιμέντο μπορεί να δεσμεύσει ποσότητα χλωριόντων μέχρι 0.4% κ.β. τσιμέντου. Σχηματίζεται έτσι άλας [ $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ ] το οποίο είναι ακίνδυνο για το σιδηροπλισμό.

"Διπλή" ενανθράκωση σε

βάθρο:

- ενανθράκωση σκυροδέματος  
μανδύα: 10 έως 15mm
- ενανθράκωση παλιού σκυροδέ-  
ματος: 20 έως 25mm.



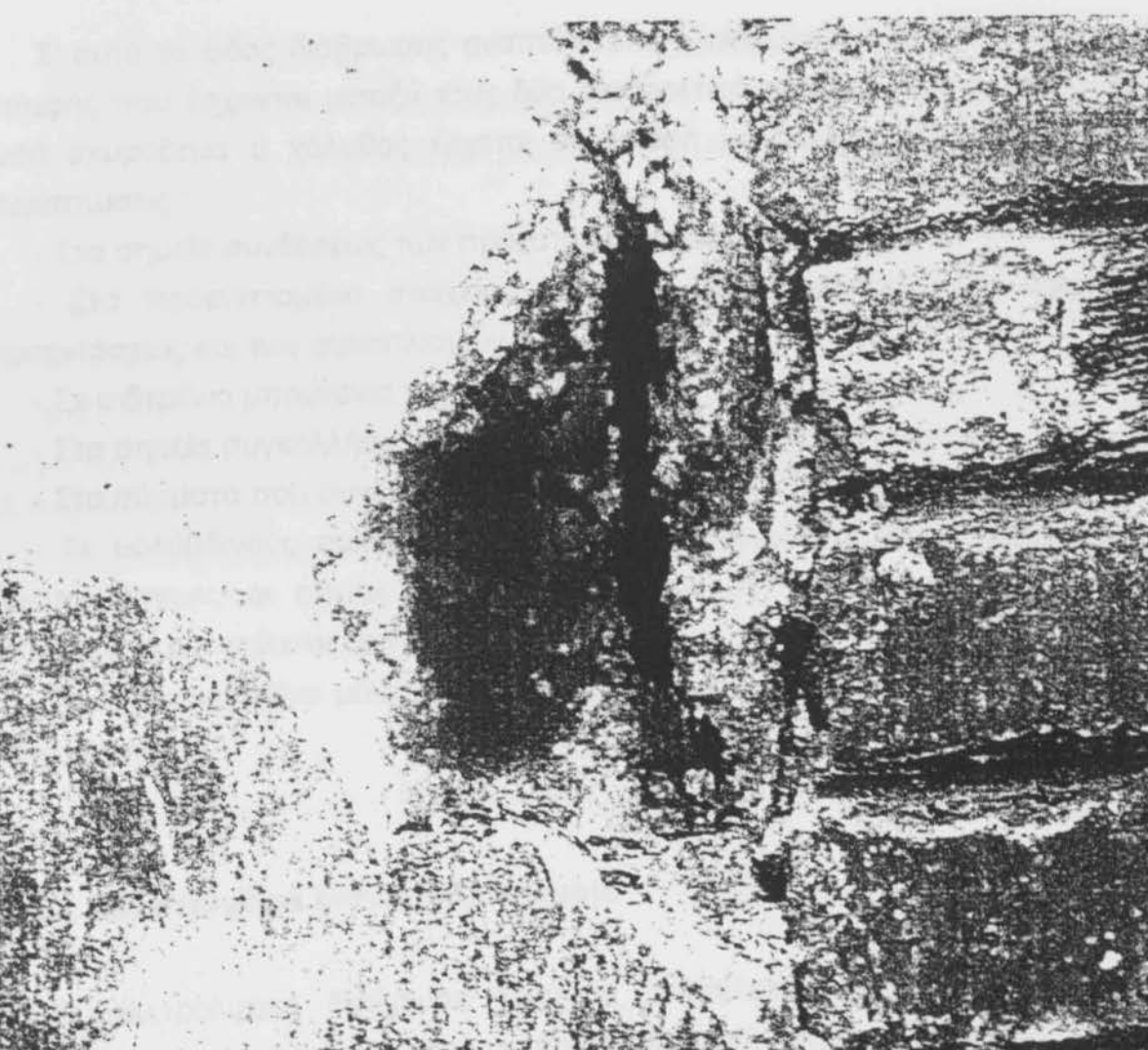


Διάβρωση κατά βελονισμόν στον οπλισμό υποστυλώματος, παρά την διατήρηση της αλκαλικότητας του σκυροδέματος.



## Η ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΙΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

Ορισμένα στοιχεία, τα οποία αποτελούν μέρος της δομής των υλικών, μπορούν να αναπτυχθούν σε διαφορετικές μορφές, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο χώρο. Αυτό συμβαίνει λόγω της διαφορετικής συμπεριφοράς των υλικών σε σχέση με τις αλλαγές στην κατάσταση του περιβάλλοντος.



Μεγάλα πάχη οξειδίων παρατηρούνται στους οπλισμούς των ακραίων υποστυλωμάτων. Η οξείδωση είναι αποτέλεσμα της επιδράσεως χλωριόντων, ενώ το σκυρόδεμα εξακολουθεί να διατηρεί την αλκαλικότητά - του.

## β. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΛΟΓΩ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ.

### β1. Γαλβανική δράση.

Σ' αυτό το είδος διάβρωσης αναπτύσσεται ηλεκτροχημική δράση λόγω της επαφής που έρχονται μεταξύ τους δύο διαφορετικά μέταλλα. Στις κατασκευές από σκυρόδεμα ο χάλυβας έρχεται σε επαφή με άλλα μέταλλα στις εξής περιπτώσεις :

- Στα σημεία συνδέσεως των προκατασκευασμένων στοιχείων.
- Στα προεντεταμένα στοιχεία, σε τυχόν σημεία επαφής του σωλήνα προεντάσεως και των συνοπλισμών.
- Σε σιδερένια μπουλόνια τα οποία θα αγγίζουν τον χάλυβα.
- Στα σημεία συγκολλήσεως των χάλυβων π.χ. σε γωνίες πλαισίων.
- Στα σύρματα που συνδέουν τους συνδετήρες με τον κύριο οπλισμό.
- Σε μολύβδινους σωλήνες υδρεύσεως ή χάλκινους σωλήνες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, οι οποίοι έρχονται σε επαφή με τον οπλισμό φερόντων στοιχείων που οφείλεται σε κακοτεχνίες.
- Σε επισκευασμένα μέλη κατασκευής στα σημεία συνδέσεως του παλιού με το νέο οπλισμό.

### β2. Συμπεριφορά έναντι ηλεκτρισμού.

Η ηλεκτρολυτική διάβρωση είναι το αποτέλεσμα άμεσης εφαρμογής ρεύματος στην κατασκευή από κάποια εξωτερική πηγή. Το άοπλο ξηρό σκυρόδεμα δεν είναι ευαίσθητο στο ηλεκτρικό ρεύμα. Σε υγρή κατάσταση μπορεί όμως κάτω από δυσμενείς συνθήκες η διαρκής επίδραση συνεχούς ρεύματος να οδηγήσει μέσω ηλεκτρολύσεως, σε καταστροφή. Παρασιτικά ρεύματα π.χ. κοντά σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και υπογείων σιδηροδρόμων, μπορεί να οδηγήσουν σε ροή του συνεχούς ρεύματος μέσα στον οπλισμό ή μέσα σε σκυρόδεμα με υγρασία. Για οπλισμένο σκυρόδεμα ή ηλεκτροχημική ζημιά του σκυροδέματος έναντι μόνο της αύξησης του κινδύνου διάβρωσης του χάλυβα σκυροδέματος είναι δευτερεύουσας σημασίας.

Γιά να προστατευθεί ο χάλυβας από την ηλεκτρολυτική (Γκιούρδας) διάβρωση, μπορούμε να λάβουμε κάποια μέτρα, όπως να βάλουμε ηλεκτρική μόνωση ανάμεσα στην πηγή του ηλ. ρεύματος και της κατασκευής ή βέβαια χρησιμοποιώντας σκυρόδεμα πολύ καλής ποιότητας χωρίς χλωριόντα.

## Ζ. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ.

α) Η χρήση αργιλικών τσιμέντων μπορεί να δημιουργήσει έκλυση υδρογόνου στην επιφάνεια του χάλυβα.

β) Επίσης η χρησιμοποίηση γενικά από διάφορες χημικές ουσίες (όπως π.χ. αμμωνία) είναι επιβλαβή για τον χάλυβα προεντάσεως γιατί που αναπτύσσω δυναμικό των + 200 mV.

γ) Μεγάλο ρόλο ακόμη παίζει και η χημική σύσταση των χαλύβων, και οι τυχόν ατέλειες κατά την κατεργασία τους.

δ) Ακόμη μεγάλος κίνδυνος διάβρωσης υπάρχει όταν αυξάνεται η εφελκυστική τάση.

ε) Και τέλος όταν καταστρέφεται το προστατευτικό στρώμα των οξειδίων, αυξάνουν οι πιθανότητες διάβρωσης υπό μηχανική τάση.



## Α. ΜΕΤΡΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### α1. ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΑΠΕΔΩΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΩΝ ΣΕ ΑΠΟΤΡΙΨΗ.

- Η σύνθεση του σκυροδέματος πρέπει να έχει μελετηθεί έτσι ώστε το σκυρόδεμα να έχει την μικρότερη δυνατή εξίδρωση. Η ελάχιστη ποσότητα του σκυροδέματος ορίζεται σε  $350 \text{ kg/m}^3$ . Αν διαστρωθεί σε δύο στρώσεις τότε η ποσότητα της κάτω στρώσεως δεν μπορεί να είναι μικρότερη από την ποσότητα της άνω στρώσεως περισσότερο από  $50 \text{ Kg/m}^3$ . Η χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη στις 28 ημέρες πρέπει να είναι τουλάχιστον 30 MPa.

- Η διάστρωση του σκυροδέματος θα ακολουθεί τις απαιτήσεις των γενικών προδιαγραφών δαπέδων. Η ακόλουθη πρόσθετη απαίτηση πρέπει να ικανοποιείται στην περίπτωση που το δάπεδο, για λόγους οικονομίας, κατασκευάζεται με μία πάνω στρώση από σκληρά αδρανή και μία κάτω στρώση από συνήθη αδρανή : Μεταξύ του πέρατος διαστρώσεως της υποκείμενης στρώσεως και της ενάρξεως διαστρώσεως της υπερκείμενης, δεν πρέπει να μεσολαβεί χρόνος μεγαλύτερος από 20 min για θερμοκρασία περιβάλλοντος μεταξύ  $25^\circ \text{C}$  και  $32^\circ \text{C}$ , ή 40 min για θερμοκρασία μικρότερη από  $25^\circ \text{C}$ . Επίσης το σκυρόδεμα δεν πρέπει να υφίσταται απόμιξη, και να συμπυκνώνεται πλήρως.

- Η χρησιμοποίηση σκληρών αδρανών στο σκυρόδεμα της πάνω στρώσεως είναι ασύμφορη, είναι δυνατόν να αυξηθεί η ανθεκτικότητα της επιφάνειας σε απότριψη μέσω εμπήξεως χονδρών αδρανών στην επιφάνεια του ήδη συμπυκνωμένου σκυροδέματος. Η εμπήξη αυτή γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή χρησιμοποιώντας ειδικούς κυλίνδρους ή δονητικές δοκούς, έτσι ώστε οι κόκκοι να συσσωματωθούν επαρκώς στην ανώτερη στρώση του σκυροδέματος. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι ψηφίδες διαστάσεων 12-16mm και 14-20mm, σε ποσοότητες τουλάχιστον  $6 \text{ Kgr/m}^2$  και  $8 \text{ Kg/m}^2$  αντιστοίχως.

- Το σκυρόδεμα πρέπει να συντηρηθεί για 14 ημέρες σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. Η συντήρηση του πρέπει να αρχίσει αμέσως μόλις τελειώσει η διάστρωση του και να μην διακοπεί καθόλου επί 14 ημέρες.

- Μετά την παρέλευση 14 ημερών επιτρέπεται η κυκλοφορία οχημάτων μέγιστου μικτού φορτίου μέχρι 5t. Πλήρης παρέλευση γίνεται μετά από 28 ημέρες.

Σε περίπτωση που χρειάζεται να αποκοπούν οι αρμοί με αρμοκόπτοι, επιτρέπεται η διέλευση των σχετικών μηχανημάτων πάνω από το νεαρό σκυρόδεμα οπότε είναι απαραίτητο να γίνει κοπή αρμών, με την προϋπόθεση ότι δεν θα θίγονται τα μέτρα συντηρήσεως.

## **α2. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΥΔΡΟΦΘΟΡΑ**

- Σύμφωνα με τις απόψεις του H.Reinhardt, 1983 πρέπει να αποφεύγονται γωνίες και τοπικές ασυνέχειες, ώστε να μην δημιουργούνται μεταβολές της ταχύτητας και τυρβώδες. Η ταχύτητα ροής πρέπει να είναι μικρότερη από 8 m/s σε κλειστούς αγωγούς, και μικρότερη από 12 m/s σε ανοικτούς αγωγούς, ώστε να αποφύγουμε τον κίνδυνο σπηλαιώσεως.

- Όλες οι γωνίες και οι αρμοί διαστολής συνιστάται να καλύπτονται από κομμάτια χάλυβα, για προστασία του σκυροδέματος από προσκρούσεις. Το ίδιο πρέπει να γίνεται για τα άνω άκρα υδατοφράγματος, όπου συνδέονται τα χαλύβδινα καλώδια αναρτήσεως.

- Επίσης ο ξυλότυπος πρέπει να είναι στεγανός και δύσκαμπος, ώστε το σκυρόδεμα να είναι ομοιογενές και η επιφάνεια του σκυροδέματος να είναι κατά το δυνατό λεία και επίπεδη. Μετά την αφαίρεση του ξυλοτύπου, το σκυρόδεμα πρέπει να διατηρείται υγρό για δύο εβδομάδες.

- Σε περίπτωση επισκευής, πρέπει να αφαιρούνται όλα τα χαλαρωμένα τμήματα του σκυροδέματος και να καθαρίζεται η επιφάνεια του σκυροδέματος. Η νέα επικάλυψη πρέπει να είναι τσιμεντοκονίαμα με μέγιστη διάσταση αδρανών περίπου το 1/3 του πάχους της επικάλυψης.

## **α3. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΔΡΑΣΗ ΣΠΗΛΑΙΩΣΕΩΣ.**

Σύμφωνα με τις απόψεις του H.Reinhardt, 1983 το σκυροδέμα είναι πυκνό, με μικρή διάσταση αδρανών, να υπάρχει δε καλή συνάφεια μεταξύ σκύρων και τσιμεντοκονιάματος. Έχει όμως αποδειχθεί ότι ακόμα και άριστα κατασκευασμένο σκυρόδεμα θα υποστεί έστω και μετά από αρκετό χρόνο

φθορά λόγω σπηλαιώσεως. Η ταχύτητα ρής του νερού πρέπει να είναι μικρότερη από 8 m/s στους κλειστούς αγωγούς, και μικρότερη από 12 m/s στους ανοικτούς αγωγούς.

Σε περίπτωση επισκευής, πρέπει να επειτευχθεί καλή πρόσκυση μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος. Το νέο άρωμα σκυροδέματος πρέπει να περιέχει την ίδια ποσότητα τσιμέντου και άμμου κατά βάρος. Η μέγιστη διάσταση αδρανών πρέπει να είναι το 1/3 έως 1/5 του πάχους του νέου στρώματος.

Η χρήση πολυμερών στο σκυρόδεμα δίνει καλά αποτελέσματα, όταν η χρήση τους γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και από ειδικευμένο προσωπικό.

- Για δάπεδα εκτεθειμένα σε σοβαρή φθορά (δάπεδα εργοστασίων, αποθηκών), συνίσταται η προσθήκη πάνω από το μπετό επιστρώσεις σιδηροκονέως, η δε αναλογία παρασκευής του τσιμεντοκονιάματος της επιστρώσεως να μην είναι μεγαλύτερη του 1:3.

- Επίσης για την κατασκευή καταστρωμάτων πεζοδρομίων και οδών απαραίτητος είναι ο προσδιορισμός της αντοχής σε φθορά του μπετού κατά τους Γ.Κ. 2108, τα σχετικά δοκίμια έχουν επιφάνεια 50 cm<sup>2</sup>, λόγω της επιρροής της υγρασίας, αυτά ξηραίνονται σε θερμοκρασία 100°C. Τα δοκίμια μαζί με αυτά ζυγίζονται, τα βάζουμε σε μιά ειδική συσκευή και επί της επιφάνειας του διασπείρεται σμύρις Νάξου κοκκομετρικής συνθέσεως 900 έως 1.600 βροχίδων, βάρους 20g. Ανά 22 στροφές του δίσκου απομακρύνονται τα ρινίσματα μπετού και σμυρίδος και επί της αποκαλυπτόμενης επιφάνειας διασπείρονται έτερα 20g σμυρίδος. Μετά 5X22=110 στροφές και κατανάλωση 5X20=100g σμυρίδος, το δοκίμο ζυγίζεται και έτσι βρίσκουμε την απώλεια βάρους αυτού. Η παραπάνω δοκιμασία επαναλαμβάνεται τρεις φορές και στο τέλος παίρνουμε το μέσο όρο των απωλειών του βάρους του δοκιμίου σε g. Αυτό το εξαιρούμε με το φαινόμενο βάρος του υλικού του δοκιμίου και παίρνουμε τον αντίστοιχο όγκο, ο οποίος διαιρούμενος διά της επιφάνειας του δοκιμίου μας δίνει την απώλεια σε cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>, το οποίο αποτελεί και το μέτρο της αντοχής σε φθορά.

## β. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΑΓΕΤΟΥ.

Οι πληροφορίες που υπάρχουν είναι από H.Reinhardt, 1983. Αν το σκυρόδεμα δεν έχει παρασκευασθεί σωστά και δεν πληρεί τις απαιτήσεις

ανθεκτικότητας σε επίδραση παγετού, πρέπει να ληφθούν πρόσθετα μέτρα για να αποφύγουμε την καταστροφή του σκυροδέματος. Τα πρόσθετα μέτρα έχουν ως σκοπό να εμποδίσουν την απορρόφηση νερού από το σκυρόδεμα, ώστε να αποφευχθεί ο κρίσιμος βαθμός κορεσμού του σκυροδέματος.

Συνήθως η επιφάνεια του σκυροδέματος επικαλύπτεται με αδιάβροχες μεμβράνες. Ο G. Litvan, (1981), αναφέρει ότι η σιλικόνη αποδεικνύεται πολύ καλό υλικό επιχρίσεως διότι εμποδίζει την διείσδυση της βροχής ενώ επιτρέπει την εξάτμιση του νερού το οποίο υπάρχει στο σκυρόδεμα.

Ειδικότερα, για κατασκευές οι οποίες εκτίθεται διαρκώς στο νερό, (π.χ. θεμέλια σε υγρό έδαφος), έχει μεγάλη σημασία να προστατεύεται ολόκληρη η επιφάνεια του σκυροδέματος. Οι μεμβράνες έχουν το μειονέκτημα ότι πρέπει να ανανεώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Για την επισκευή σκυροδέματος το οποίο δεν έχει υποστεί μεγάλη φθορά, χρησιμοποιούνται εποξειδικές ρητίνες. Αν η φθορά είναι μεγάλη, τότε αφαιρείται το κατεστραμμένο στρώμα και κατασκευάζεται νέο επίστρωμα. Για την επισκευή του νέου σκυροδέματος, χρησιμοποιούνται τα ίδια υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του παλιού σκυροδέματος, αλλά ο λόγος N/T πρέπει να έχει μικρότερη τιμή.

Όσον αφορά τα αντιπαγωτικά άλατα, η εκλογή τους πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή. Ο E. Wurth, 1978, συνιστά την χρήση μεθυλικής αλκοολικής ως αποτελεσματικού μποταξικού υλικού για την καταστροφή του πάγου. Η μεθυλική αλκοόλη δεν προσβάλλει χημικά το σκυρόδεμα ή τον χάλυβα. Έχει όμως τα μειονεκτήματα ότι πρέπει να ανανεώνεται μετά από λίγες ώρες και ότι το κόστος της είναι πενταπλάσιο του κόστους των αντιπαγωτικών αλάτων.

#### γ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ.

- Η χρήση ποζολανικών προσμίξεων στο τσιμέντο (όπως αναφέρουν οι M. Regourd et al., 1980 και ο L. Hjorth, 1983), προσδίδει εξαιρετικά μεγάλη ανθεκτικότητα στο σκυρόδεμα έναντι επιδράσεως θαλασσίου ύδατος. Η ενυδάτωση ενός τσιμέντου Portland που περιέχει 15% ποζολάνες προκαλεί δέσμευση του  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  για τον σχηματισμό προϊόντων ενυδατώσεως. Όταν δε το  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  στο σκυρόδεμα είναι δεσμευμένο μέσα στα προϊόντα ενυδατώσεως



του τσιμέντου, τότε η φθορά η οποία προκαλείται στο σκυρόδεμα με απόπλυση είναι μικρή. Τα τσιμέντα με σκωρίες συμπεριφέρονται όταν περιέχουν σκωρίες σε ποσοστό τουλάχιστον 65%. Τα αργιλικά τσιμέντα συμπεριφέρονται ικανοποιητικά σε επίδραση θαλάσσιου νερού. Από τον L. Hjorth (1983), συνίσταται μικρή περιεκτικότητα του τσιμέντου σε γύψο, ώστε η γύψος να μην δεσμεύσει το  $C_3A$  κατά τις αντιδράσεις ενυδατώσεως.

Ο Mehta (1976), (όπως αναφέρει ο L. Hjorth, 1983) συνιστά περιεκτικότητα σε  $C_3A$  να δεσμεύση τα χλωριόντα. Η ποσότητα αυτή εντούτοις, περιορίζεται στο 5% διότι με την επίδρασηθειικών αλάτων δημιουργούνται άλατα όπως ο ετρινγκίτης τα οποία διογκώνονται προκαλώντας θραύση του σκυροδέματος. Έτσι ο L. Hjorth, (1983), συνιστά χρήση τσιμέντου με χαμηλή περιεκτικότητα σε γύψο, με περιεκτικότητα σε  $C_3A$  έως 3% και προσήκη ποζολάνων ή σκωριών.

- Όταν το εδαφικό νερό είναι όξινο ( $PH < 6$ ), πρέπει να αποφεύγεται η χρήση τσιμέντου Portland ή τσιμέντου Portland ανθεκτικού σεθειικά. Τα αργιλικά τσιμέντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε έδαφος με  $PH=4$ . Τα πολυθειούχα συμπεριφέρονται πολύ καλά σε έδαφος με  $PH=3,5$  αν το σκυρόδεμα είναι πυκνό και έχει λόγο  $N/T$  μικρότερο από 0.40. Σε ιδιαίτερες περιπτώσεις (π.χ. λεπτές διατομές, μέλη κατασκευών στα οποία ασκείται υδραυλική πίεση στην μία πλευρά, διατομές των οποίων ένα τμήμα είναι στο νερό), πρέπει να ελαττώνεται περισσότερο ο λόγος  $N/T$ , να αυξάνεται δε η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο, ώστε να μειώνεται η διαπερατότητα του σκυροδέματος.

- Στο Concrete International, March 1986, δίνονται οι εξής συστάσεις για προστασία έναντι επιδράσεως χλωριόντων :

- Χαμηλή διαπερατότητα σκυροδέματος επιτυγχάνεται με μεγάλη περιεκτικότητα σε τσιμέντο και μέγιστο λόγο  $N/T$  0.40.

- Επικάλυψη τουλάχιστον 60 mm

- Μακρόχρονη υγρή συντήρηση.

#### δ. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΕΩΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΕΝΑΝΤΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΣ.

Οι προτάσεις είναι του T. Thornton, 1978, BRE Digest, 1982, σύμφωνα με τις οποίες η φθορά του σκυροδέματος των αγωγών που οφείλεται σε επίδραση

βακτηρίων, μπορεί να περιορισθεί ή ακόμα και να αποφευχθεί με την λήψη των εξής μέτρων :

- Αφαίρεση της ιλύος και των προσχώσεων από τον σωλήνα, για να περιορισθεί η διατιθέμενη ποσότητα θείου.

- Αποτροπή της δημιουργίας υδροθείου μέσα στον σωλήνα με διάφορους τρόπους, π.χ. μείωση του τυρβώδους της ροής, περιορισμός της ποσότητας των θειικών αλάτων κ.λ.π.

- Αφαίρεση του δημιουργηθέντος υδροθείου, π.χ. με εξαερισμό των αγωγών, με προσθήκη χλωρίνης για να οξειδωθεί το υδροθείο, με προσθήκη αλάτων βαρέων μετάλλων τα οποία προκαλούν καθίζηση του υδροθείου κ.λ.π.

- Ελαχιστοποίηση της ποσότητας του υπάρχοντος αέρα με αύξηση του βαθμού πληρώσεως του σωλήνα.

- Εξουδετέρωση του δημιουργηθέντος θειϊκού οξέος με προσθήκη αέριας αμμωνίας.

- Προσθήκη βακτηριοκτόνων στο νερό των αγωγών, π.χ. προσθήκη ανθρακικού χαλκού, πυριτιποφθοριούχου νάτριου, πενταχλωροφαινόλης κ.λ.π.

- Προσθήκη διαφόρων ουσιών κατά την παρασκευή του σκυροδέματος : Συνήθως χρησιμοποιείται σύνδροσ θειϊκός χαλκός σε ποσότητα 0,1% κ.β. τσιμέντου ή σκόνη μεταλλικού χαλκού σε ποσότητα 1% κ.β. τσιμέντου. Ο μεταλλικός χαλκός πρέπει να μην είναι οξειδωμένος, διότι διαφορετικά δεν προστατεύει το σκυρόδεμα και επηρεάζει αρνητικά την διαδικασία σκληρύνσεως του σκυροδέματος.

- Βαφές και επιχρίσματα στο σκυρόδεμα : Έχουν ως βάση το οξείδιο του δισθενούς χαλκού, αλλά μπορεί να είναι και οργανικές ενώσεις, ενώσεις αρσενικού, κασσίτερου και υδραργύρου, οι οποίες είναι πολύ δηλητηριώδεις. Η διαδικασία επιχρίσεως επαναλαμβάνεται κάθε 2 έως 3 έτη.

## Β. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΣΙΔΗΡΟΠΛΙΣΜΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ.

### ΓΕΝΙΚΑ.

Ο χάλυβας μπορεί να προστατευθεί είτε άμεσα, εμποδίζοντας την προσβολή του μετάλλου, είτε μειώνοντας την διαπερατότητα του σκυροδέματος για να εμποδιστεί η διείσδυση επιβλαβών ουσιών.

- Τα μέτρα προστασίας που λαμβάνουμε είναι τα εξής :

α) Μέσα στο σκυρόδεμα.

° ανασταλτικά διαβρώσεως.

β) Πάνω στον οπλισμό.

° Ανοξειδωτοι χάλυβες

° Επιχρίσματα στον χάλυβα

° Χρήση οπλισμών από τιτάνιο.

γ) Στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

° Εμποτισμός με πολυμερή.

° Προστατευτικά επιστρώματα.

° Υδατοστεγείς μεμβράνες.

Στα προαναφερθέντα μέτρα μπορεί να γίνει και συνδυασμός των περισσότερων από αυτών, ανάλογα με το κόστος, την ευκολία εφαρμογής και ανάλογα με τον κίνδυνο διάβρωσης.

#### α) Μέσα στο σκυρόδεμα.

° Ανασταλτικά διαβρώσεως.

Τα ανασταλτικά διαβρώσεως μπορεί να είναι οργανικά άλατα ή ανόργανα άλατα.

Είναι ουσίες που προστίθεται στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του, με σκοπό την προστασία του ενσωματωμένου χάλυβα από διάβρωση.

Από πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί, έχει αναφερθεί ότι το νιτρώδες ασβέστιο  $[Ca (NO_2)_2]$  - το οποίο συμπεριλαμβάνεται στα ανόργανα άλατα - σε ποσότητα 0,44% κ.β. σε διάλυμα ασβέστου το οποίο περιείχε και χλωριόντα σε

ποσοστά 0,36% κ.β. Χάλυβας εμβαπτισμένος σε αυτό το διάλυμα είχε μεγάλη ανθεκτικότητα σε διάβρωση.

Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι προσθήκη 1.4% φωσφορικού άλατος στο σκυρόδεμα μπορεί να εξουδετερώσει την επίδραση χλωριόντων που βρίσκονται μέσα στο σκυρόδεμα σε ποσότητα μέχρι 0.3% κ.β. τσιμέντου.

Ακόμη ως ανασταλτικό διαβρώσεως από την επίδραση χλωριόντων έχει αναφερθεί από τους A. Anderson - R. Black (1985), και η λιγνοσουλφόνη.

Είναι υλικό που προέρχεται από τα απορρίμματα της βιομηχανίας ξύλου με βάση την λιγνίνη. Και όπως έχει διαπιστωθεί προσφέρει πολύ καλή προστασία έναντι διαβρώσεως.

Βέβαια τα ανασταλτικά διαβρώσεως επηρεάζουν πολλές φορές αρνητικά τις φυσικές ιδιότητες του μπετό. Όπως να επιβραδύνουν την σκλήρωση του τσιμέντου ή να προκαλέσουν μείωση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος.

## β) Πάνω στον οπλισμό.

° Ανοξειδωτοι χάλυβες.

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες έχουν ως κύριο συστατικό το σίδηρο και ως πρόσθετο μέταλλο το χρώμιο σε ποσότητα 11 έως 12%, κι αυτό γιατί όταν ξεπεράσει το 15% δημιουργείται άνιση κατανομή του χρωμίου στο μεταλλικό ιστό. Με συνέπεια, όταν ο μεταλλικός ιστός διαστρεβλώνεται, ο χάλυβας να έχει μικρή ανθεκτικότητα σε διάβρωση. Το χρώμιο σε κατάλληλη ποσότητα δίνει μεγάλη παθητικότητα του χάλυβα σε διάβρωση. Όπως επίσης και ένας κατάλληλος συνδυασμός στο χάλυβα με πρόσθετα 9% νικέλιο, και 18% χρώμιο, έχουν πολύ μεγάλη ανθεκτικότητα σε διάβρωση.

Αλλα υλικά που μπορεί να προστεθούν στον χάλυβα είναι :

- Το νικέλιο.

Το κράμα αυτό παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και σε επίδραση χλωριόντων.

- Το μολυβδαίνιο.

Το οποίο έχει την ίδια επίδραση στον χάλυβα όπως και το χρώμιο.

- Το τιτάνιο και νιόβιο.

Δεσμεύει τον άνθρακα του χάλυβα, κι έτσι μειώνεται ο κίνδυνος διάβρωσης μεταξύ των κόκκων.

- Το άζωτο.

Το οποίο έχει τις ίδιες ιδιότητες με το νικέλιο.

Συμπεριφορά ανοξειδωτών χαλύβων σε διάφορα είδη διαβρώσεως. :

Οι ανοξειδωτοί χάλυβες υπόκεινται σε γενική διάβρωση, μόνο σε πολύ όξινο ή πολύ αλκαλικό περιβάλλον.

Τα χλωριόντα προκαλούν διάβρωση κατά βελονισμό στους ανοξειδωτούς χάλυβες, στους χάλυβες υψηλής αντοχής και στα κράματα αλουμινίου ή μαγνησίου.

Η τοπική διάβρωση λοιπόν αποφεύγεται με την προσθήκη διαφόρων μετάλλων στους ανοξειδωτούς χάλυβες. Όσο για την διάβρωση μεταξύ των κόκκων στους ανοξειδωτούς χάλυβες αποφεύγεται με προσθήκη τιτανίου ή νικελίου στο κράμα, τα οποία έχουν την ιδιότητα να δεσμεύουν του άνθρακα με μεγαλύτερη ευκολία απ' ό,τι το χρώμιο.

Οι ανοξειδωτοί χάλυβες παρουσιάζω υψηλό ηλεκτρικό δυναμικό, έτσι σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να συμβεί διάβρωση λόγω γαλβανικής δράσης.

Ακόμη στους χάλυβες που περιέχουν χρώμιο και νικέλιο. Το νικέλιο είναι το συστατικό που μειώνει την ευαισθησία των χαλύβων σε διάβρωση υπό μηχανική τάση.

° Επιχρίσματα στον χάλυβα.

Το επίχρισμα στην επιφάνεια του σκυροδέματος δεν προσφέρει επαρκή προστασία, γιατί η προστασία περιορίζεται όταν το σκυρόδεμα ρηγματωθεί. Γι' αυτό τα επιχρίσματα, χρησιμοποιούνται μερικές φορές απ'ευθείας πάνω στο χάλυβα που τον εμποδίζουν να έρθει σε επαφή με οξυγόνο, υγρασία ή χλωριόντα.

Τα επιχρίσματα θα πρέπει να εφαρμόζονται πάνω σε χάλυβα ο οποίος είναι απολύτως καθαρός, χωρίς σκόνη ή σκουριά, και απαλλαγμένος από ελαιώδεις ουσίες.

Τα επιχρίσματα μπορεί να είναι μεταλλικά ή μη μεταλλικά

- Μη μεταλλικά επιχρίσματα.

Τα συνηθέστερα υλικά επιχρίσεως είναι οι εποξειδικές ρητίνες και το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC). Από τα οποία το δεύτερο υλικό παρουσιάζει μεγάλη ανθεκτικότητα, από χημική προσβολή από οξέα και βάσεις. Ενώ το πρώτο υλικό παρουσιάζει καλή πρόσφυση στον χάλυβα και έχει μεγάλη ανθεκτικότητα μέσα σε αλκαλικό περιβάλλον, όπου τέτοιο είναι το περιβάλλον του σκυροδέματος. Οι εποξειδικές ρητίνες εφαρμόζονται στον χάλυβα με δύο μεθόδους :

- Υγρή εμβάπτιση.

- Ηλεκτροστατικό ψεκασμό ο οποίος είναι και οποίο συνηθισμένως.

Κατά τη διαδικασία της επιχρίσεως, ο χάλυβας θερμαίνεται γύρω στους 200°C, και αυτό γίνεται για να μην επηρεάζονται οι φυσικές του ιδιότητες αφού αυτή η θερμοκρασία θεωρείται χαμηλή. Επίσης πρέπει να καθαρίζεται καλά η επιφάνεια του χάλυβα, γιατί σε περίπτωση που δεν καθαριστεί καλά, παρατηρείται ρηγμάτωση στο επίχρισμα.

Ενα μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι το ότι καταστρέφεται εύκολα το επίχρισμα κατά τη μεταφορά και αποθήκευση των χαλύβων.

Οι επιχρισμένοι χάλυβες δεν πρέπει να εκτίθενται στον ήλιο γιατί η ακτινοβολία καταστρέφει της ρητίνες. Οπότε θα χρειαστεί επισκευή το επίχρισμα.

Ακόμη, γενικά σε μιά κατασκευή θα πρέπει να αποφεύγεται η επαφή μεταξύ των επιχρισμένων και μη επιχρισμένων χαλύβων.

- Μεταλλικά επιχρίσματα

Αυτά τα επιχρίσματα εφαρμόζονται με τους εξής τρόπους :

- Με ψεκασμό τηγμένου μετάλλου.

- Με εμβάπτιση των χαλύβδων σε πηγμένο μέταλλο.

- Με επιμετάλλωση σε ηλεκτρολυτική συσκευή.

Τα μεταλλικά επιχρίσματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

α) Στην κατηγορία που ανήκουν τα μέταλλα τα οποία έχουν δυναμικό διαβρώσεως μεγαλύτερο από το δυναμικό διαβρώσεως του χάλυβα, π.χ.: ο κασσίτερος, το νικέλιο, ο χαλκός, ο ορύχαλκος κ.α.

Τα μέταλλα όμως αυτά προσφέρουν προστασία στο χάλυβα μόνο όσο το επίχρισμα είναι σε καλή κατάσταση. Όταν καταστραφεί το επίχρισμα, προκαλείται διάβρωση του χάλυβα και

β) Σ' αυτή την κατηγορία που ανήκουν τα μέταλλα τα οποία έχουν δυναμικό διαβρώσεως μικρότερο από το δυναμικό διαβρώσεως του χάλυβα π.χ.: ψευδάργυρος, αλουμίνιο κ.α.

Ο ψευδάργυρος έχει πιά μεγάλη ανθεκτικότητα σε διάβρωση από τον χάλυβα, όταν εκτίθεται σε θαλάσσιο περιβάλλον.

Και αυτό οφείλεται στα σκληρά, πυκνά προϊόντα της διαβρώσεως τα οποία δημιουργούνται στην επιφάνεια του ψευδάργυρου, παρέχοντας προστασία στο μέταλλο.

Επίσης κατά τη χρήση γαλβανισμένων χαλύβων χρειάζεται προσοχή, για να αποφύγουμε γαλβανική δράση μεταξύ γαλβανισμένων και μη γαλβανισμένων χαλύβων.

Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα τη διάβρωση των ανεπίχριστων χαλύβων. Ετσι λοιπόν πρέπει να επιχρίονται όλοι οι χάλυβες και τα σίδερα μιάς κατασκευής.

° Χρήση οπλισμών από τιτάνιο.

Η χρήση τιτανίου γίνεται σε περιβάλλον πολύ διαβρωτικό λόγω της μεγάλης ανθεκτικότητας, που έχει αφού σχηματίζει ένα συμπαγή ισχυρά προσκολλημένο στρώμα οξειδίων. Από το συμπαγή στρώμα οξειδίων, παρέχει προστασία στο μέταλλο όταν σχηματίζεται με την παρουσία μικρών ποσοτήτων υγρασίας. Το τιτάνιο αντέχει σε κάθε μορφή διαβρώσεως, έχει όμως μικρότερο δυναμικό σε σχέση με τα άλλα μέταλλα. Ετσι διατρέχει κίνδυνο διαβρώσεως λόγω γαλβανικής δράσεως.

### γ) Στην επιφάνεια του σκυροδέματος

° Εμποτισμός με πολυμερή.

Τον εμποτισμό του σκυροδέματος με πολυμερή του κάνουμε όταν έχουμε σκοπό να μειώσουμε την διαπερατότητα του σκυροδέματος όταν το περιβάλλον είναι πολύ διαβρωτικό.

° Προστατευτικά επιστρώματα στο σκυρόδεμα.

Τα επιστρώματα με ειδικά σκυροδέματα χρησιμοποιούνται για να μειώσουν τη διαπερατότητα του υπάρχοντος σκυροδέματος (υπόστρωμα). Το επίστρωμα μπορεί να τοποθετηθεί και πριν ολοκληρωθεί η σκλήρυνση του υποστρώματος. Ετσι έχουμε μικρό χρόνο κατασκευής, και σαν αποτέλεσμα να μειώνεται και το κόστος.

° Υδατοστεγείς μεμβράνες.

Οι πιο συνηθισμένες μορφές μεμβρανών είναι τα έτοιμα βιομηχανοποιημένα φύλλα, και ορισμένα υγρά υλικά.

Η υδατοστεγής μεμβράνη θα πρέπει να ικανοποιεί κάποιες απαιτήσεις :

- Να μην αντιδρά με τα συστατικά του σκυροδέματος.
- Να εξασφαλίζει καλή πρόσφυση με το υπόστρωμα
- Να είναι εύκολη η τοποθέτησή της.
- Να εμποδίζει τη διείσδυση χλωριόντων και υγρασίας υπό διάφορες συνθήκες, όπως π.χ.: μεταβολές της θερμοκρασίας.

Κατά την τοποθέτηση των μεμβρανών παίζουν μεγάλο ρόλο οι καιρικές συνθήκες και οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Γενικά η ποιότητα της μεμβράνης ποικίλει σημαντικά.

Η χρήση τους βέβαια παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι δεν είναι πολύ ανθεκτικές μέσα στον χρόνο, και χρειάζεται ανανέωση σε τακτά χρονικά διαστήματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε'



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε'

## ΑΛΛΕΣ, ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΡΓΑ ΑΠΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟ ΚΑΙ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

### Α. ΥΔΑΤΟΣΤΕΓΑΝΟΤΗΣ.

Το σκυρόδεμα είναι γενικά αδιαπέραστο από το νερό όταν με τα διατιθέμενα μέσα συμπυκνώσεως μπορεί να διεξαχθεί πλήρης συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος.

Σε αυτά ανήκουν τα αδρανή υλικά με μικρή περιεκτικότητα, κενό και χαμηλό υδατοσιμεντοσυντελεστή. Επίσης το πάχος των αδιαπεράτων από το νερό δομικών στοιχείων δεν πρέπει να είναι κάτω των 30 cm. Σε δομικά στοιχεία με ρηγματωμένη εφελκούμενη ζώνη το πάχος της μη ρηγματωμένης θλιβόμενης ζώνης πρέπει να είναι τουλάχιστον 15 cm.

### Β. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ.

Η θερμομονωτική ικανότητα ενός δομικού υλικού χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $= \lambda$ . Αυτός δίνει το ποσό της θερμότητας σε KCal το οποίο διέρχεται από επιφάνεια  $1 \text{ m}^2$  στρώσεως δομικού υλικού πάχους 1m σε μιά ώρα, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών είναι  $1^\circ\text{C}$ . Όσο μεγαλύτερο είναι το φαινόμενο βάρος δομικού υλικού, τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Επίσης το  $\lambda$  επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα σε υγρασία. Η θερμομονωτικότητα του σκυροδέματος είναι σε σχέση προς άλλα τεχνικά υλικά των ολοσώμων κατασκευών, σχετικά κακή. Μόνο οι φυσικοί λίθοι και τα μέταλλα εμφανίζουν δυσμενέστερες τιμές. Το DIN 4108 "Θερμομόνωσης κτιριακών έργων" περιλαμβάνει διεξοδικά στοιχεία επί του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

### Γ. ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ.

Ο ήχος μπορεί να μεταβιβασθεί σε ένα έργο μέσω στερεού σώματος (θόρυβος από το βάδισμα) ή από τον αέρα. Το απλό ή το ωπλισμένο σκυρόδεμα συμπεριφέρεται απέναντι στις δύο αυτές μορφές εμφανίσεως του ήχου, διαφορετικά.

Επειδή το σκυρόδεμα είναι βαρύ, δεν μπορεί να τεθεί σε ταλάντωση από και μέσω του αέρα μεταδιδόμενων χαμηλής ενέργειας ηχητικών κυμάτων και ως εκ τούτου αποτελεί ιδιαίτερως καλή μόνωση έναντι από τον αέρα ήχο. Αντίθετα μέσω του στερεού σώματος ο ήχος μεταδίδεται λόγω της υψηλής ελαστικότητας του σκυροδέματος εύκολα.

Ιδιαίτερα ενοχλητικός είναι ο θόρυβος από το βάδισμα σε κτίρια κατοικιών. Αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί μεταξύ άλλων με τη "κολυμβητή κονία". Στην περίπτωση αυτή η κονία τοποθετείται πάνω σε μαλακή, μονωτικής επιστρώσεως (κελλού, ύαλος ή λιθόμαλλοι και με τέτοιο τρόπο ώστε η κονία σε καμία θέση, ούτε και στα τοιχώματα να έρχεται σε επαφή με το φέρον σκυρόδεμα ή τη τοιχοποιία. Επίσης στα τοιχώματα η μονωτική επίστρωση πρέπει να φτάνει μέχρι του ύψους της άνω στάθμης της κονίας. Ακόμη και μικρά κατασκευαστικά σφάλματα, οδηγούν στο σχηματισμό "ηχογεφυρών", που μπορεί να εκμηδενίσουν τη μονωτική ικανότητα, σε αντίθεση με τον ήχο (που παράγεται λόγω του βαδίσματος, γιά μιά τέτοια κατασκευαστική διαμόρφωση.

### Δ. ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΑΝΤΙ ΤΟΥ ΠΥΡΟΣ.

Οι υψηλές θερμοκρασίες λόγω πυρκαγιάς προκαλούν μεταβολές στην αντοχή του σκυροδέματος με αποτέλεσμα να έχουμε πολλές επιδράσεις :

- Συνέπεια της ξηράνσεως η αντοχή μπορεί αρχικά να αυξηθεί.
- Οι διάφοροι συντελεστές θερμικής μηκύνσεως προκαλούν καταστάσεις οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε τοπικές καταστροφές και επομένως σε πτώση της αντοχής.
- Η θερμική διάσπασή των υδροξειδίων στους 100 - 600 ° ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  στους 540°) και ανθρακικών αλάτων (π.χ.  $\text{CaCO}_3$  άνω των 800°).
- Τα εκλυόμενα αέρια τα οποία μπορούν να δράσουν εκρηκτικά.

- Η απότομη μεταβολή όγκου του χαλαζιού στους 575 ° κ.λ.π.

Ο κίνδυνος καταστροφής από φωτιά σε έργα από ωπλισμένο σκυρόδεμα είναι μικρός. Διότι πρόκειται για ογκώδη δομικά στοιχεία των οποίων η θερμοκρασία αυξάνεται αργά και φτάνουν σε υψηλές θερμοκρασίες μόνο μετά από πολύ και συνεχή επενέργεια της φωτιάς. Για να μειωθεί ο κίνδυνος, τα κινδυνεύοντα από τη φωτιά δομικά στοιχεία από ωπλισμένο σκυρόδεμα πρέπει κατά το δυνατό να διαμορφώνονται στατικά αόριστοι φορείς. Επειδή η φωτιά ενεργεί περισσότερο στο κάτω μέρος του οπλισμού, ο οπλισμός που βρίσκεται στο πάνω μέρος διατηρεί την αντοχή του και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε νέα στατική λειτουργία.

Στο προεντεταμένο σκυρόδεμα ο κίνδυνος ζημίας από την επίδραση της φωτιάς είναι μεγαλύτερος από το ωπλισμένο σκυρόδεμα. Οι χάλυβες προεντάσεως συμπεριφέρονται και μάλιστα στην αύξηση της θερμοκρασίας, όπως και οι κανονικοί χάλυβες οπλισμού. Με την αύξηση της επικάλυψης στο σκυρόδεμα και των μονωτικών προστατευτικών στρώσεων π.χ. απλή ασβεστοσιμεντοκονία, επιχρίσματα Vermiculite ή περλίτου, είναι δυνατόν να μειωθεί σημαντικά η ταχύτητα αύξησεως της θερμοκρασίας και με αυτόν τον τρόπο να εξασφαλισθεί η αντοχή έναντι του πυρός.

Εάν φέροντα δομικά στοιχεία από άοπλο σκυρόδεμα εκτίθενται για μεγάλο χρονικό διάστημα σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 250° C, πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά τσιμέντα και διαλεκτά αδρανή υλικά.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Χρήστος Οικονόμου "Προεντεταμένο σκυρόδεμα"
2. Β. Κ. Παπαθανασοπούλου "Το μπετόν"
3. Δημ. Πέντζας "Ωπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα"
4. Θ. Π. Τάσιος - Κ. Αλιγιζάκη "Ανθεκτικότητα, ωπλισμένου σκυροδέματος"
5. Γκιούρδας "Ωπλισμένο σκυρόδεμα"