Sisällysluettelo

Esipuhe . . . 3

1 JOHDATUS BETONIIN JA BETONIRAKENTAMISEEN . . . 13

1.1 Betoni rakennusmateriaalina . . . 13
1.2 Betonin ja betonirakenteiden peruskäsitteet . . . 16
1.3 Betonirakentamisen historia . . . 18

2 BETONIN OSA-AINEET . . . 23

2.1 Sementti . . . 23
2.1.1 Sementin valmistus . . . 23
2.1.2 Sementtistandardit . . . 28
2.1.3 Sementin laadunvalvonta . . . 31
2.1.4 Sementin ominaisuudet . . . 34
2.2 Kiviaines . . . 41
2.2.1 Betonissa käytettävän kiviaineksen vaatimukset . . . 42
2.2.2 Kiviaineksen geometriset ominaisuudet . . . 43
2.2.3 Kiviaineksen mekaaniset ja fyysiset ominaisuudet . . . 48
2.2.4 Kiviaineksen kemialliset ominaisuudet . . . 49
2.2.5 Radioaktiivisuus . . . 51
2.2.6 Uusiokiviainesten erityisvaatimukset . . . 53
2.2.7 Kiviaineksen käsittely ja varastointi . . . 53
2.3 Seosaineet . . . 54
2.3.1 Lentotuhka . . . 54
2.3.2 Masuunikuonajauhe . . . 55
2.3.3 Silika . . . 55
2.3.4 Seosaineiden käytön enimmäismäärät . . . 56
2.4 Vesi . . . 57
2.5 Lisäaineet . . . 58
2.5.1 Lisäaineiden tuotehyväksyntä ja työturvallisuus . . . 59
2.5.2 Notkistavat lisäaineet . . . 60
2.5.3 Huokostimet . . . 62
2.5.4 Hidastimet . . . 64
2.5.5 Kiihdyttimet . . . 64
2.5.6 Muut lisäaineet . . . 65
2.6 Väripigmentit . . . 65
2.7 Kuidut . . . 66
2.7.1 Teräskuidut . . . 66
2.7.2 Polymeerikuidut . . . 66

3 BETONIN OMINAISUUDET . . . 68

3.1 Betonimassan ominaisuudet . . . 68
3.1.1 Notkeus . . . 69
3.1.2 Ilmamäärä . . . 72
3.1.3 Maksimiraekoko . . . 73

3.1.4 Lämpötila 73
3.1.5 Koossapysyvyys 74
3.2 Betonin ominaisuudet sitoutumisvaiheessa ja kovettumisen alkuvaiheessa 74
3.2.1 Tilavuuden muutokset, kutistuminen ja paisuminen 75
3.2.2 Plastinen painuma 76
3.2.3 Plastinen kutistuma 77
3.2.4 Autogeeninen kutistuma 79
3.3 Sitoutuminen 80
3.4 Kovettuneen betonin mikrorakenne 81
3.4.1 Huokosrakenne 81
3.5 Kovettuneen betonin ominaisuudet 84
3.5.1 Puristuslujuus 85
3.5.2 Vetolujuus 89
3.5.3 Jäätymislujuus ja muottien purkamislujuus 91
3.5.4 Betonin lujuudenkehitys 92
3.5.5 Kimmokerroin 94
3.5.6 Viruma 95
3.5.7 Kuivumiskutistuma 96

4 BETONIRAKENTEIDEN SÄILYVYYS 98

4.1 Betonirakenteen vaurioitumisilmiöt 99
4.1.1 Betonipinnan kuluminen 101
4.1.2 Betonin halkeilu 101
4.1.3 Lämpötilaerojen aiheuttama halkeilu 104
4.1.4 Kuivumiskutistumisen aiheuttama halkeilu 104
4.1.5 Halkeamien itsetiivistyminen 106
4.1.6 Mikrohalkeamat 106
4.2 Raudoituksen korroosio 107
4.2.1 Korroosion eteneminen 108
4.2.2 Korroosion seuraukset 109
4.3 Betonin karbonatisoituminen 110
4.4 Kloridien tunkeutuminen betoniin 113
4.5 Betoni pakkasessa 115
4.5.1 Betonin pakkasvauriot 115
4.5.2 Betonin pakkasenkestävyys 116
4.5.3 P- ja F-luku 118
4.6 Betoni korkeissa lämpötiloissa 119
4.6.1 Korkean lämpötilan vaikutus betoniin 119
4.6.2 Betonin ominaisuuksia korkeissa lämpötiloissa 122
4.6.3 Teräsbetonirakenteen toiminta palotilanteessa 127
4.6.4 Rakenteiden palonkestävyysvaatimukset ja vaatimusten luokittelu 130
4.7 Betonin kemialliset korroosiot 130
4.7.1 Sementtipastan hydrolyysireaktiot 132

4.7.2 Happojen ja kovettuneen sementtipastan ioninvaihtoreaktiot ... 132
4.7.3 Paisuttavia reaktiotuotteita aiheuttavat sulfaatit ... 133
4.7.4 Ettringiitin muodostuminen ... 134
4.7.5 Alkali-kiviainesreaktiot ... 135
4.8 Betonin biologiset rasitukset ... 137
4.9 Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu ... 138
4.9.1 Betonirakenteiden rasitusluokat ... 138
5 BETONIRAKENTAMISEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET ... 142
5.1 Kestävä rakentaminen ... 142
5.1.1. Energiatehokkuus (RakL 37 §) ... 143
5.2 Rakennuksen elinkaariominaisuudet (RakL 39 §) ... 144
5.2.1 Kantavat rakenteet ... 145
5.2.2 Täydentävät rakenteet ... 146
5.2.3 Rakenteiden pinnat ... 146
5.3 Betonirakennuksen elinkaarenaikaiset ympäristökuormat ... 147
5.3.1 Hiilijalanjälki ... 147
5.3.2 Rakennustuotteiden ympäristöselosteet ... 149
5.4 Rakennuksen vähähiilisyys ... 150
5.4.1 Rakennuksen ilmastoselvitys ja rakennustuoteluettelo ... 150
5.4.2 Uuden rakennuksen hiilijalanjäljen raja-arvot ... 151
5.5 Betonirakenteet ja kestävä kehitys ... 151
5.5.1 Säilyvyys ... 152
5.5.2 Rakenneratkaisun vaikutus ... 152
5.5.3 Betonin ympäristökuormat ... 153
5.5.4 Betonin osa-aineiden ympäristökuormat ... 161
5.6 Betoni ja kiertotalous ... 166
5.6.1 Rakenneosien uudelleenkäyttö ... 169
5.7 Luonnon monimuotoisuus ... 173
5.7.1 Sementtiteollisuus ... 173
5.7.2 Kiviainesteollisuus ... 174
6 BETONIN KOOSTUMUKSEN MÄÄRITTÄMINEN ... 175
6.1 Betonin suhteitus ... 175
6.1.1 Suhteituksen perusyhtälö ... 176
6.1.2 Suhteitusnomogrammin käyttö ... 178
6.2 Suhteitukseen vaikuttavat keskeiset tekijät ... 180
6.2.1 Betonirakenteiden ja betonin luokitukset ... 180
6.2.2 Nimellislujuus, tavoitelujuus ja suhteituslujuus ... 180
6.2.3 Kiviainesten yhdistäminen ... 182
6.2.4 Seosaineiden merkitys ... 187
6.2.5 Lisäaineet suhteituksessa ... 189
6.3 Suhteituksen tekeminen ... 190
6.3.1 Suhteituksen päävaiheet ... 190
6.3.2 Notkeus suhteituksessa ... 194

6.3.3 Suhteituksen lujuuskorjaukset ... 196
6.3.4 Korkealujuusbbetonien suhteituksen yleispiirteitä ... 196

7 BETONIRAKENTAMISEN LAADUNVARMISTUS ... 197

7.1 Laatu ja laadunvarmistus ... 197
7.2 Betonirakentamisen viranomaisvaatimukset ... 198
7.2.1 Kelpoisuuden osoittaminen ... 199
7.2.2 Rakennustuoteasetus ... 199
7.2.3 Rakennustuotteiden kansallinen tuotehyväksyntälaki ... 200
7.2.4 Muut varmennusmenettelyt ... 201
7.2.5 Vaativuusluokat ja toteutusluokat ... 201
7.2.6 Betonityössä vaaditut pätevyydet ... 201
7.3 Betonin valmistuksen laadunvalvonta ... 202
7.4 Rakenteiden valmistuksen laadunvalvonta ... 204
7.4.1 Vastaanottotarkastukset ... 204
7.4.2 Työsuorituksen laadunvalvonta ... 204
7.4.3 Elementtitehtaat ... 206
7.5 Betonin puristuslujuuden vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen ... 207
7.5.1 Betoniperheen muodostaminen ... 208
7.5.2 Vertailubetoni ... 209
7.5.3 Näytteenotto ja näytteiden määrä ... 210
7.5.4 Puristuslujuuden vaatimustenmukaisuuden ehdot ... 212
7.5.5 Esimerkkejä betonin vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta ... 216
7.5.6 Puristuslujuuden tunnistustestaus ja -ehdot ... 219
7.5.7 Valvontakortin käyttö laadunvalvonnassa sekä laadunohjauksessa ... 222
7.5.8 Rakenteessa olevan betonin lujuuden arviointi ... 226
7.5.9 Betonin pakkasenkestävyyden laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden toteaminen ... 227
7.5.10 Epätyydyttävän laadun aiheuttamat toimenpiteet ... 228

8 BETONIRAKENTAMISEN TUOTANTOTEKNIIKAT ... 230

8.1 Betonirakenteet ... 230
8.1.1 Teräsbetonirakenteelle asetetut vaatimukset ... 231
8.1.2 Suunnittelu- ja rakentamistoleranssit ... 232
8.1.3 Rakennepiirustukset ja niiden tulkitseminen ... 234
8.2 Betonityön suunnittelu ja johtaminen ... 240
8.2.1 Betonityönjohtaja ... 240
8.2.2 Valmistelevat työt ... 240
8.2.3 Betonityösuunnitelma ... 240
8.3 Muotit ja niiden tukirakenteet ... 245
8.3.1 Betonipinnat ja vaatimukset ... 245
8.3.2 Muottien rakenteet ja muottimateriaalit ... 245
8.3.3 Muottien pintamateriaalit ... 247
8.3.4 Muottien käyttö ja varastointi ... 249

8.3.5 Muottijärjestelmät 252
8.3.6 Muottien tukirakenteet ja niiden suunnittelu 264
8.3.7 Muottityön suunnittelu 266
8.3.8 Muotinirrotusaineet 270
8.3.9 Rakennuksen rungon suunnittelu ja muottikustannukset 274
8.3.10 Työsaumat 276
8.4 Betoniteräkset ja raudoitus 280
8.4.1 Teräsbetonirakenteiden toimintaperiaatteet 280
8.4.2 Betoniteräkset 287
8.4.3 Raudoitteiden valmistus 298
8.4.4 Raudoituksen peruskomponentit 301
8.4.5 Kaksiulotteiset hitsatut raudoituskomponentit 302
8.4.6 Kolmiulotteiset raudoituskomponentit ja -elementit 303
8.4.7 Erikoistuotteet 304
8.4.8 Raudoitusjärjestelmät 304
8.4.9 Raudoituksen tuenta 305
8.4.10 Raudoitus 306
8.5 Betonin valmistus 316
8.5.1 Betoniasemat 316
8.5.2 Betonin osa-aineiden käsittely 318
8.5.3 Betonimassan sekoitus 323
8.5.4 Betonin valmistuksen ohjaus 324
8.6 Betonin valinta ja betonimassan käsittely 325
8.6.1 Betonin valinnan kulku 325
8.6.2 Betonimassan valinta rakenteittain 327
8.6.3 Valmisbetonin tilaus ja vastaanotto 329
8.6.4 Betonimassan kuljetus 330
8.6.5 Betonimassan siirrot työmaalla 334
8.6.6 Työmaalla betonointitöissä huomioon otettavia seikkoja 342
8.6.7 Betonitöiden työturvallisuus 344
8.6.8 Betonin valu ja tiivistys 348
8.6.9 Erityyppisten rakenteiden betonointi 354
8.7 Jälkihoito 357
8.8 Betonitöiden laadunvarmistus 360

9 ERIKOISMASSAT JA -MENETELMÄT 362

9.1 Itsetiivistyvät betonit 362
9.1.1 Ominaisuudet ja käyttökohteet 362
9.1.2 Itsetiivistyvän betonin suhteitus 364
9.1.3 Valumenetelmät 365
9.1.4 Muotit 366
9.1.5 Betonointi ja jälkihoito 367
9.2 Ruiskubetonointi 368
9.2.1 Ruiskubetonointimenetelmät 369
9.2.2 Ruiskubetonin betoniteknologiaa 372

9.2.3 Ruiskutus . . . 374
9.2.4 Standardit, määräykset ja ohjeet . . . 378
9.2.5 Ruiskubetonin käyttökohteita ja kehitysnäkymät . . . 379
9.3 Liukuvalu . . . 380
9.3.1 Kalusto . . . 381
9.3.2 Betonityöt . . . 383
9.3.3 Nostotyöt ja mittaukset . . . 385
9.3.4 Liukuvalutekniikan käyttökohteita . . . 386
9.4 Vedenalainen betonointi . . . 387
9.4.1 Contractor-menetelmä . . . 388
9.4.2 Vyörytysmenetelmä . . . 391
9.4.3 Uppobetonin käyttö . . . 391
9.5 Massiivisten rakenteiden valu . . . 392
9.5.1 Rakenteen vaikutus lämmönnousuun . . . 393
9.5.2 Betonin koostumuksen vaikutus . . . 394
9.5.3 Massiivisten rakenteiden betonointi . . . 395
9.6 Jännitetyt betonirakenteet . . . 396
9.6.1 Jännitettyjen rakenteiden toiminta . . . 396
9.6.2 Jännemenetelmät . . . 397
9.6.3 Aineet ja tarvikkeet . . . 398
9.6.4 Jännitystyö . . . 401
9.6.5 Jännitettyjen betonirakenteiden edut ja käyttökohteet . . . 403
9.7 Kuitubetonit . . . 405
9.7.1 Teräskuitubetonit . . . 405
9.7.2 Polymeerikuitujen käyttö . . . 406
9.7.3 Kuitubetonin valmistus . . . 407
9.7.4 Kuidun laadun ja tyypin vaikutus betoniin . . . 407
9.7.5 Kuitujen sekoittaminen . . . 408
9.7.6 Kuitubetonin laadunvalvonta . . . 409

10 BETONIPINNAT . . . 410
10.1 Erilaiset pintatyypit ja -käsittelyt . . . 410
10.1.1 Muottia vasten valetut betonipinnat . . . 410
10.1.2 Tuoreena käsitellyt betonipinnat . . . 412
10.1.3 Kovettuneen betonin pinnan käsittelyjä . . . 414
10.1.4 Värilliset betonipinnat . . . 416
10.1.5 Muita betonipintoja . . . 417
10.2 Betonipintojen luokitus ja laatuvaatimukset . . . 418
10.3 Pintakoodit . . . 420
10.4 Likaantumista estävät suoja-aineet . . . 422

11 BETONILATTIAT . . . 423
11.1 Betonilattioiden rasitukset . . . 423
11.2 Betonilattioiden laatuvaatimukset . . . 424
11.2.1 Luokitusjärjestelmä . . . 424
11.2.2 Laatutekijöiden määritysperusteet . . . 426

11.3 Betonilattioiden perustyypit ... 431
11.3.1 Maanvarainen betonilattia ... 431
11.3.2 Kantava betonilattia ... 432
11.3.3 Pintabetonilattiat ... 432
11.4 Betonilattian rakenteelliset toimintavaihtoehdot ... 433
11.4.1 Raudoitettu lattia ... 433
11.4.2 Kuitubetonilattia ... 433
11.4.3 Jännitetty maanvarainen betonilattia ... 433
11.5 Saumat ... 434
11.5.1 Irrotus- ja työsaumat ... 434
11.5.2 Kutistumasaumat ... 434
11.5.3 Liikuntasaumat ... 434
11.5.4 Saumaton lattia ... 435
11.6 Betonilattioiden valumenetelmät ... 435
11.6.1 Laaja-aluevalu ... 436
11.6.2 Saumaton valu ... 436
11.6.3 Ruutuvalu, kaistavalu ja leväkaistavalu ... 436
11.7 Betonilattioiden toteuttaminen ... 437
11.7.1 Aloituspalaveri ... 437
11.7.2 Esityöt ... 437
11.7.3 Betonin valinta ... 437
11.7.4 Betonointi ... 438
11.7.5 Hierto ... 439
11.7.6 Jälkihoito ... 440

12 ELEMENTTIRAKENTAMINEN ... 443

12.1 Teolliset betonielementtijärjestelmät ... 443
12.1.1 Betonielementtijärjestelmien taustaa ... 443
12.1.2 Asuinkerrostalot ... 444
12.1.3 Toimisto- ja liikerakennusten runkojärjestelmät ... 445
12.1.4 Teollisuus- ja varastorakennusten runkojärjestelmät ... 447
12.1.5 Pysäköintilaitosten runkojärjestelmät ... 449
12.1.6 Infrarakentaminen ... 450
12.2 Elementtityypit ... 452
12.2.1 Teräsbetoniset lyöntipaalut ... 452
12.2.2 Sokkelielementit ... 454
12.2.3 Pilarit ... 454
12.2.4 Palkit ... 455
12.2.5 Massiiviset seinät ... 457
12.2.6 Laattarakenteet ... 458
12.2.7 Liittorakenteet ... 461
12.2.8 Porrashuoneet ja portaat ... 463
12.2.9 Hissikuilut ... 463
12.2.10 Hormit, tekniikkaseinät ja kylpyhuoneet ... 464
12.2.11 Julkisivuelementit ... 465

12.3 Liitokset ... 469
12.4 Betonielementtien valmistus ... 471
12.4.1 Betonityypit ... 471
12.4.2 Pilarien ja palkkien valmistus ... 473
12.4.3 Julkisivuelementtien valmistus ... 475
12.4.4 Parveke-elementit ... 477
12.4.5 Väliseinäelementit ... 477
12.4.6 Väestönsuojaelementit ... 478
12.4.7 Laattaelementit ... 478
12.4.8 Betonielementtien CE-merkintä ... 479
12.5 Elementtien toimitus ... 480
12.5.1 Toimitusehdot ... 480
12.5.2 Tuotannonsuunnittelu ... 481
12.5.3 Toimituksen ohjaus ... 482
12.5.4 Valmistuksen ohjaus ... 482
12.5.5 Laadunvarmistus ... 483
12.5.6 Varastointi ... 483
12.5.7 Elementtien kuljetus ... 484
12.6 Elementtien asennus ... 486
12.6.1 Asennustyösuunnitelma ja työmaatoimet ... 486
12.6.2 Asennuksen osapuolet ... 487
12.6.3 Asennusjärjestys ja rungon jäykistäminen ... 488
12.6.4 Asennustyön työturvallisuus ... 489

13 BETONITUOTTEET ... 491
13.1 Ympäristöbetonituotteet ... 491
13.1.1 Tavoitteena viihtyisä ympäristö ... 491
13.1.2 Materiaali ja valmistus ... 492
13.2 Betoniharkot ... 493
13.3 Kunnallistekniset tuotteet ... 494
13.3.1 Betoniputket ... 494
13.3.2 Betonikaivot ... 495
13.4 Betonituotteiden valmistus ... 497

14 BETONISILLAT ... 499
14.1 Sillanrakentamiseen liittyvät ohjeet ja määräykset ... 499
14.2 Käytettävät materiaalit ... 501
14.2.1 Betoni ... 501
14.2.2 Raudoitus ... 501
14.3 Laadunvarmistus ... 502
14.4 siltarakenteiden betonointi ... 503
14.5 Vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen ... 504

15 TALVIBETONOINTI ... 506
15.1 Talviolosuhteet Suomessa ... 507
15.2 Talvibetonointiin varautuminen ... 507

15.3 Betonin lujuudenkehitys kylmissä olosuhteissa 508
15.3.1 Betonin jäätymislujuus 509
15.3.2 Muotinpurkulujuus 510
15.3.3 Lämpötilan vaikutus betonin lujuudenkehitykseen 511
15.3.4 Betonimassan lämpötila 512
15.4 Kylmissä olosuhteissa käytettävät betonit 515
15.5 Betonin valmistus talvella 517
15.6 Betonin lämpökäsittely 519
15.7 Betonin suojaus ja lämmitys 520
15.7.1 Suojaustavat 520
15.7.2 Lämmitysmenetelmät 522
15.8 Pakkasessa kovettuvan betonin käyttö 530
15.9 Eri rakenteissa käytettävät menetelmät 530
15.10 Talvibetonointitoimenpiteet 534
15.10.1 Talvibetonointisuunnitelma 535
15.10.2 Betonin kuljetus ja siirrot 538
15.10.3 Betonin jälkihoito kylmissä olosuhteissa 538
15.11 Kylmien olosuhteiden betonointivirheet 539

16 BETONIRAKENTEIDEN KOSTEUDENHALLINTA 541

16.1 Kosteuden vaikutukset betonirakenteissa 542
16.2 Betonirakenteiden kosteuslähteet 543
16.3 Betonin kosteuskäyttäytyminen 545
16.3.1 Kosteuden kemiallinen ja fysikaalinen sitoutuminen 545
16.3.2 Betonin ominaisuuksien vaikutus kuivumiseen 549
16.4 Betonilattiarakenteen kuivuminen 551
16.5. Betonilattiarakenteen kuivattamisen tavoitteet rakennusaikana 555
16.6 Betonilattiarakenteiden kosteudenhallintatoimenpiteet 556
16.6.1 Betonilattiarakenteiden kosteudenhallintaprosessi 556
16.6.2 Kosteusriskien arviointi 557
16.6.3 Kuivattamisen optimointi 559
16.6.4 Työmaaolosuhteiden hallinta 560
16.6.5 Betonirakenteiden kuivatus 563

17 BETONIRAKENTEIDEN KORJAAMINEN 567

17.1 Korjaustarpeen määrittäminen 567
17.2 Korjaushankkeen kulku 568
17.3 Betonirakenteiden vauriot ja niiden syyt 570
17.4 Korjausperiaatteet ja -tavat 570
17.4.1 Korjaustapoja 572
17.5 Korjattavien pintojen esikäsittely 575
17.5.1 Betonin poistaminen 576
17.5.2 Pintojen puhdistaminen 578
17.6 Korjaustyön laadunvarmistus 581