

Sisällysluettelo

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	24
2.1	Sementti	24
2.1.1	Sementin valmistus	24
2.1.2	Sementtistandardit	29
2.1.3	Sementin laadunvalvonta	32
2.1.4	Sementin ominaisuudet	35
2.2	Kiviaines	43
2.2.1	Betonissa käytettävän kiviaineksen vaatimukset	44
2.2.2	Kiviaineksen geometriset ominaisuudet	45
2.2.3	Kiviaineksen mekaaniset ja fyysiset ominaisuudet	50
2.2.4	Kiviaineksen kemialliset ominaisuudet	51
2.2.5	Radioaktiivisuus	53
2.2.6	Uusiokiviainesten erityisvaatimukset	55
2.2.7	Kiviaineksen käsittely ja varastointi	55
2.3	Seosaineet	56
2.3.1	Lentotuhka	56
2.3.2	Masuunikuonajauhe	57
2.3.3	Silika	57
2.3.4	Seosaineiden käytön enimmäismäärät	58
2.4	Vesi	59
2.5	Lisäaineet	60
2.5.1	Lisäaineiden tuotehyväksyntä ja työturvallisuus	61
2.5.2	Notkistavat lisäaineet	62
2.5.3	Huokostimet	63
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	69
3.1	Betonimassan ominaisuudet	69
3.1.1	Notkeus	70
3.1.2	Ilmamäärä	72

3.1.3	Maksimiraekoko	73
3.1.4	Lämpötila	73
3.1.5	Koossapysyvyys	73
3.2	Betonin ominaisuudet sitoutumisvaiheessa ja kovettumisen alkuvaiheessa	74
3.2.1	Tilavuuden muutokset, kutistuminen ja paisuminen	74
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	99
4.1	Betonirakenteen vaurioitumisilmiöt	100
4.1.1	Betonipinnan kuluminen	102
4.1.2	Betonin halkeilu	102
4.1.3	Lämpötilaerojen aiheuttama halkeilu	105
4.1.4	Kuivumiskutistumisen aiheuttama halkeilu	105
4.1.5	Halkeamien itsetiivistyminen	107
4.1.6	Mikrohalkeamat	107
4.2	Raudoituksen korroosio	108
4.2.1	Korroosion eteneminen	109
4.2.2	Korroosion seuraukset	110
4.3	Betonin karbonatisoituminen	111
4.4	Kloridien tunkeutuminen betoniin	114
4.5	Betonin pakkasvauriot	116
4.5.1	Betonin pakkasenkestävyys	117
4.5.2	P- ja F-luku	119
4.6	Betoni korkeissa lämpötiloissa	120
4.6.1	Korkean lämpötilan vaikutus betoniin	120
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	134
4.8	Betonin biologiset rasitukset	135
4.9	Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu	136
4.9.1	Betonirakenteiden rasitusluokat	137
5	BETONIRAKENTAMISEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	142
5.1	Kestävä rakentaminen	142
5.2	Rakennuksen elinkaaren aikaiset ympäristökuormat	143
5.3	Betonirakenteet ja kestävä kehitys	144
5.3.1	Säilyvyys	145
5.3.2	Rakenneratkaisun vaikutus	145
5.3.3	Betonin ympäristökuormat	146
5.3.4	Betonin osa-aineiden ympäristökuormat	148
5.4	Betoni ja kiertotalous	150
6	BETONIN KOOSTUMUKSEN MÄÄRITTÄMINEN	155
6.1	Betonin suhteitus	155
6.1.1	Suhteituksen perusyhtälö	156
6.1.2	Suhteistusnomogrammin käyttö	158
6.2	Suhteitukseen vaikuttavat keskeiset tekijät	160
6.2.1	Betonirakenteiden ja betonin luokitukset	160
6.2.2	Nimellislujuus, tavoitelujuus ja suhteituslujuus	160
6.2.3	Kiviainesten yhdistäminen	162
6.2.4	Seosaineiden merkitys	167
6.2.5	Lisäaineet suhteituksessa	169
6.3	Suhteituksen tekeminen	170
6.3.1	Suhteituksen päävaiheet	170
6.3.2	Notkeus suhteituksessa	174
6.3.3	Suhteituksen lujuuskorjaukset	176
6.3.4	Korkealujusbetonien suhteituksen yleispiirteitä	176
7	BETONIRAKENTAMISEN LAADUNVARMISTUS	177
7.1	Laatu ja laadunvarmistus	177
7.2	Betonirakentamisen viranomaisvaatimukset	178
7.2.1	Kelpoisuuden osoittaminen	178
7.2.2	Rakennustuoteasetus	179
7.2.3	Rakennustuotteiden kansallinen tuotehyväksyntälaki	180
7.2.4	Muut varmennusmenettelyt	181
7.2.5	Vaativuusluokat ja toteutusluokat	181
7.2.6	Betonityössä vaaditut pätevydet	181
7.3	Betonin valmistuksen laadunvalvonta	182
7.4	Rakenteiden valmistuksen laadunvalvonta	184
7.4.1	Vastaanottotarkastukset	184

7.4.2	Työnsuorituksen laadunvalvonta	184
7.4.3	Elementtitehtaat	185
7.5	Betonin puristuslujuuden vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen	186
7.5.1	Betoniperheen muodostaminen	187
7.5.2	Vertailubetoni	188
7.5.3	Näytteenotto ja näytteiden määrä	189
7.5.4	Puristuslujuuden vaatimustenmukaisuuden ehdot	191
7.5.5	Esimerkkejä betonin vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta . .	196
7.5.6	Puristuslujuuden tunnistustestaus ja -ehdot	199
7.5.7	Valvontakortin käyttö laadunvalvonnassa sekä laadunohjauksessa	199
7.5.8	Betonin puristuslujuus rakennekoekappaleilla	204
7.5.9	Betonin pakkasenkestävyyden laadunvalvonta ja vaatimusten- mukaisuuden toteaminen	206
7.5.10	Epättydyttävän laadun aiheuttamat toimenpiteet	207
8	BETONIRAKENTAMISEN TUOTANTOTEKNIIKAT	209
8.1	Betonirakenteet	209
8.1.1	Teräsbetonirakenteelle asetetut vaatimukset	210
8.1.2	Suunnittelu- ja rakentamistoleranssit	211
8.1.3	Rakennepiirustukset ja niiden tulkitseminen	213
8.2	Betonityön suunnittelu ja johtaminen	220
8.2.1	Betonityönjohtaja	220
8.2.2	Valmistelevat työt	220
8.2.3	Betonityösuunnitelma	220
8.3	Muotit ja niiden tukirakenteet	226
8.3.1	Betonipinnat ja vaatimukset	226
8.3.2	Muottien rakenteet ja muottimateriaalit	226
8.3.3	Muottien pintamateriaalit	228
8.3.4	Muottien käyttö ja varastointi	230
8.3.5	Muottijärjestelmät	233
8.3.6	Muottien tukirakenteet ja niiden suunnittelu	245
8.3.7	Muottityön suunnittelu	247
8.3.8	Muotinirrotusaineet	251
8.3.9	Rakennuksen rungon suunnittelu ja muottikustannukset	255
8.3.10	Työsaumat	257
8.4	Betoniteräksiset ja raudoitukset	261
8.4.1	Teräsbetonirakenteiden toimintaperiaatteet	261
8.4.2	Betoniteräksiset	268
8.4.3	Raudoitteiden valmistus	279
8.4.4	Raudoituksen peruskomponentit	281
8.4.5	Kaksiulotteiset hitsatut raudoituskomponentit	282
8.4.6	Kolmiulotteiset raudoituskomponentit ja -elementit	284
8.4.7	Erikoistuotteet	284
8.4.8	Raudoitusjärjestelmät	285

8.4.9	Raudoituksen tuenta	285
8.4.10	Raudoitus	286
8.5	Betonin valmistus	298
8.5.1	Betoniasemat	298
8.5.2	Betonin osa-aineiden käsittely	300
8.5.3	Betonimassan sekoitus	305
8.5.4	Betonin valmistuksen ohjaus	306
8.6	Betonin valinta ja betonimassan käsittely	307
8.6.1	Betonin valinnan kulku	307
8.6.2	Betonimassan valinta rakenteittain	309
8.6.3	Valmisbetonin tilaus ja vastaanotto	311
8.6.4	Betonimassan kuljetus	312
8.6.5	Betonimassan siirrot työmaalla	316
8.6.6	Työmaalla betonointitöissä huomioon otettavia seikkoja	324
8.6.7	Betonitöiden työturvallisuus	326
8.6.8	Betonin valu ja tiivistys	330
8.6.9	Eryttypisten rakenteiden betonointi	336
8.7	Jälkihoito	339
8.8	Betonitöiden laadunvarmistus	342
9	ERIKOISMASSAT JA -MENETELMÄT	346
9.1	Itsetiivistyvä betoni	346
9.1.1	Ominaisuudet ja käyttökohteet	346
9.1.2	Itsetiivistyvän betonin suhteitus	348
9.1.3	Valumenetelmät	349
9.1.4	Muotit	350
9.1.5	Betonointi ja jälkihoito	351
9.2	Ruiskubetonointi	352
9.2.1	Ruiskubetonointimenetelmät	353
9.2.2	Ruiskubetonin betoniteknologiaa	356
9.2.3	Ruiskutus	358
9.2.5	Standardit, määräykset ja ohjeet	362
9.2.6	Ruiskubetonin käyttökohteita ja kehitysnäkymät	363
9.3	Liukuvalu	364
9.3.1	Kalusto	365
9.3.2	Betonityöt	367
9.3.3	Nostotyöt ja mittaukset	369
9.3.4	Liukuvalutekniikan käyttökohteita	370
9.4	Vedenalainen betonointi	371
9.4.1	Contractor-menetelmä	372
9.4.2	Vyörytysmenetelmä	375
9.4.3	Uppobetonin käyttö	375
9.5	Massiivisten rakenteiden valu	376
9.5.1	Rakenteen vaikutus lämmön nousuun	377
9.5.2	Betonin koostumuksen vaikutus	377

9.5.3	Massiivirakenteen betonointi	379
9.6	Jännitetyt betonirakenteet	380
9.6.1	Jännitettyjen rakenteiden toiminta	380
9.6.2	Jännemenetelmät	381
9.6.3	Aineet ja tarvikkeet	382
9.6.4	Jännitystyö	385
9.6.5	Jännitettyjen betonirakenteiden edut ja käyttökohteet	387
9.7	Kuitubetoni	389
9.7.1	Teräskuitubetonit	389
9.7.2	Polymeerikuitujen käyttö	390
9.7.3	Kuitubetonin valmistus	391
9.7.4	Kuidun laadun ja tyyppin vaikutus betoniin	391
9.7.5	Kuitujen sekoittaminen	392
10	BETONIPINNAT	393
10.1	Erilaiset pintatyyppit ja -käsittelyt	393
10.1.1	Muottia vasten valetut pinnat	393
10.1.2	Tuoreena käsitellyt betonipinnat	395
10.1.3	Kovettuneen betonin pinnan käsittelyjä	397
10.1.4	Värilliset betonipinnat	399
10.1.5	Muita betonipintoja	400
10.2	Betonipintojen luokitus ja laatuvaatimukset	401
10.3	Pintakoodit	403
10.4	Likaantumista estävät suoja-aineet	405
11	BETONILATTIAT	406
11.1	Betonilattioiden rasitukset	406
11.2	Betonilattioiden laatuvaatimukset	407
11.2.1	Luokitusjärjestelmä	407
11.2.2	Laatutekijöiden määritysperusteet	409
11.3	Betonilattioiden perustyyppit	412
11.4	Betonilattian rakenteelliset toimintavaihtoehdot	413
11.4.1	Raudoitettu lattia	413
11.4.2	Kuitubetonilattia	413
11.4.3	Jännitetty maanvarainen betonilattia	414
11.5	Saumat	414
11.6	Betonilattioiden valumenetelmät	417
11.7	Betonilattioiden toteuttaminen	418
12	ELEMENTTIRAKENTAMINEN	425
12.1	Teolliset betonielementtjärjestelmät	425
12.1.1	Betonielementtjärjestelmien taustaa	425
12.1.2	Asuinkerrostalot	426
12.1.3	Toimisto- ja liikerakennusten runkojärjestelmät	427
12.1.4	Teollisuus- ja varastorakennusten runkojärjestelmät	429
12.1.5	Pysäköintilaitosten runkojärjestelmät	431

12.1.6	Infrarakentaminen	432
12.2	Elementtityypit	434
12.2.1	Teräsbetoniset lyöntipaalut	434
12.2.2	Sokkelielementit	436
12.2.3	Pilarit	436
12.2.4	Palkit	437
12.2.7	Massiiviset seinät	439
12.2.8	Laattarakenteet	440
12.2.9	Liittorakenteet	443
12.2.9	Porrashuoneet ja portaat	445
12.2.10	Hissikuilut	445
12.2.11	Hormit, tekniikkaseinät ja kylpyhuoneet	446
12.2.12	Julkisivuelementit	447
12.3	Liitokset ja saumat	451
12.3.1	Liitokset	451
12.4	Betonielementtien valmistus	454
12.4.1	Betonityypit	454
12.4.2	Pilarien ja palkkien valmistus	456
12.4.3	Julkisivuelementtien valmistus	458
12.4.4	Parveke-elementit	460
12.4.5	Väliseinäelementit	460
12.4.6	Väestönsuojaelementit	461
12.4.7	Laattaelementit	461
12.4.8	Betonielementtien CE-merkintä	462
12.5	Elementtien toimitus	463
12.5.1	Toimitusehdot	463
12.5.2	Tuotannonsuunnittelu	464
12.5.3	Toimituksen ohjaus	465
12.5.4	Valmistuksen ohjaus	465
12.5.5	Laadunvarmistus	466
12.5.6	Varastointi	466
12.5.7	Elementtien kuljetus	467
12.6	Elementtien asennus	471
12.6.1	Asennustyösuunnitelma ja työmaatoimet	471
12.6.2	Asennuksen osapuolet	472
12.6.3	Asennusjärjestys ja rungon jäykistäminen	473
12.6.4	Asennustyön työturvallisuus	474
13	BETONITUOTTEET	476
13.1	Ympäristöbetonituotteet	476
13.2	Betoniharkot	477
13.3	Kunnallistekniset tuotteet	477
13.3.1	Betoniputket	477
13.3.2	Betonikaivot	479
13.4	Betonituotteiden valmistus	480

14	BETONISILLAT	482
14.1	Sillanrakentamiseen liittyvät ohjeet ja määräykset	482
14.2	Käytettävät materiaalit	484
14.2.1	Betoni	484
14.2.2	Raudoitus	484
14.3	Laadunvarmistus	484
14.4	siltarakenteiden betonointi	486
14.5	Vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen	487
15	TALVIBETONOINTI	489
15.1	Talviolosuhteet Suomessa	490
15.2	Talvibetonointiin varautuminen	490
15.3	Betonin lujuudenkehitys kylmissä olosuhteissa	491
15.3.1	Betonin jäätymislujuus	492
15.3.2	Muotinpurkulujuus	493
15.3.3	Lämpötilan vaikutus betonin lujuudenkehitykseen	494
15.3.4	Betonimassan lämpötila	495
15.4	Kylmissä olosuhteissa käytettävät betonit	498
15.5	Betonin valmistus talvella	500
15.6	Betonin lämpökäsittely	502
15.7	Betonin suojaus ja lämmitys	503
15.7.1	Suojaustavat	503
15.7.2	Lämmitysmenetelmät	505
15.8	Pakkasessa kovettuvan betonin käyttö	513
15.9	Eri rakenteissa käytettävät menetelmät	513
15.10	Talvibetonointitoimenpiteet	517
15.10.1	Talvibetonointisuunnitelma	518
15.10.2	Betonin kuljetus ja siirrot	521
15.10.3	Betonin jälkihoito kylmissä olosuhteissa	521
15.11	Kylmien olosuhteiden betonointivirheet	522
16	BETONIRAKENTEIDEN KOSTEUDENHALLINTA	525
16.1	Kosteuden vaikutukset betonirakenteissa	525
16.2	Betonirakenteiden kosteuslähteet	527
16.3	Kosteuden sitoutumismuodot	529
16.4	Betonirakenteen kuivuminen	533
16.5	Rakentamisen kosteudenhallinta	537
16.5.1	Kosteudenhallintaprosessi	537
16.5.2	Työmaan kosteudenhallintasuunnitelma	538
16.5.3	Kosteusriskien hallinta	539
16.5.4	Betonirakenteiden kuivumisaika-arviot	542
16.5.5	Työmaaolosuhteiden hallinnan suunnittelu	543
16.5.6	Kastumisen estäminen	543
16.5.7	Betonirakenteiden kuivatus	546
16.5.8	Kosteusmittausuunnitelma	548
16.5.9	Kosteudenhallinnan organisointi, seuranta ja valvonta	550

17 BETONIRAKENTEIDEN KORJAAMINEN	551
17.1 Korjaustarpeen määrittäminen	551
17.2 Korjaushankkeen kulku	552
17.3 Betonirakenteiden vauriot ja niiden syyt	554
17.4 Korjausperiaatteet ja -tavat	554
17.4.1 Korjaustapoja	555
17.5 Korjattavien pintojen esikäsittely	559
17.5.1 Betonin poistaminen	560
17.5.2 Pintojen puhdistaminen	562
17.6 Korjaustyön laadunvarmistus	565