



INHOUDSTAFEL

Voorwoord	3
Auteurs, coördinatie en opvolging	5
Hoofdstuk I - BETON, EEN VEELZIJDIG BOUWMATERIAAL	11
1 Inleiding	11
2 Het materiaal beton	11
3 Geschiedenis van beton als constructie-materiaal.....	12
3.1 Beton als opvulmateriaal.....	12
3.2 Gewapend beton - van boog naar balk	16
3.3 Voorgespannen beton: het verleggen van de grenzen	18
4 Ontwikkelingen in de betontechnologie	20
4.1 Betonsamenstelling.....	20
4.2 Productie en verwerking	23
4.3 Normalisatie en certificatie	26
5 Milieuaspecten	27
6 Conclusie	28
Hoofdstuk II - BETONBESTANDELEN	29
Hoofdstuk II.1 - CEMENT.....	29
1 Definitie.....	29
2 Historiek	29
2.1 Natuurlijk cement.....	29
2.2 Kunstmatig cement	30
2.3 Het Belgische cement in enkele cijfers	31
3 Cementbestanddelen	32
3.1 Portlandklinker	32
3.1.1 Definitie.....	32
3.1.2 Basisgrondstoffen	33
3.1.3 Fabricatieprocessen	35
3.1.4 Chemische en mineralogische samenstelling van klinker	38
3.2 Gegraneerde hoogovenslak.....	39
3.2.1 Definitie.....	39
3.2.2 Basisgrondstoffen en fabricatieproces.....	40
3.2.3 Scheikundige samenstelling van de slak	41
3.2.4 Mineralogische samenstelling van slak en hydraulische reacties.....	42
3.3 Vlieg-as.....	42



3.3.1	<i>Definitie</i>	42
3.3.2	<i>Chemische samenstelling</i>	42
3.4	Kalksteen.....	44
3.5	Andere hoofdbestanddelen.....	45
3.6	Nevenbestanddelen.....	45
3.7	Toevoegingen.....	45
3.8	Calciumsulfaat.....	46
4	Productie van cement door het doseren en malen van de bestanddelen	46
4.1	Dosering van de bestanddelen: cementsoorten volgens hun samenstelling.....	47
4.2	Maalproces met kogelmolen.....	49
4.3	Maalproces met rollenpers.....	50
4.4	De separator.....	51
4.5	Opslag en verzending van het cement.....	51
5	Hydraulische reacties van het cement	52
5.1	De hydratatie.....	52
5.2	De rol van de bindingsregelaar.....	55
6	Eisen in de norm NBN EN 197-1	56
6.1	Mechanische eisen.....	56
6.1.1	<i>De normsterkte</i>	56
6.1.2	<i>De beginsterkte</i>	56
6.2	Fysische eisen.....	57
6.3	Chemische eisen.....	58
6.3.1	<i>Sulfaat- en chloridegehalte</i>	58
6.3.2	<i>Gloeiverlies en onoplosbare rest</i>	58
6.4	Duurzaamheidseisen.....	58
7	Controle van het cement	59
7.1	Voornaamste proeven.....	59
7.1.1	<i>Bepaling van de sterkte (NBN EN 196-1)</i>	59
7.1.2	<i>Bepaling van de bindingstijd en van de vormhoudendheid (NBN EN 196-3)</i>	59
7.1.3	<i>Bepaling van de maalbaarheid en van de volumieke massa</i>	61
7.1.4	<i>Bepaling van de hydratatiewarmte</i>	62
7.1.5	<i>Chemische analyse</i>	63
7.2	CE-markering en reglementaire certificatie.....	63
7.3	Vrijwillige certificatie.....	64
8	Bijkomende eigenschappen	64
8.1	Cement met lage hydratatiewarmte (LH) volgens de norm NBN EN 197-1.....	64



8.2	Cement bestand tegen sulfaten (SR) volgens de norm NBN EN 197-1 en cement met hoge bestandheid tegen sulfaten volgens de norm NBN B 12-108	65
8.2.1	<i>Gewoon cement bestand tegen sulfaten volgens NBN EN 197-1</i>	<i>65</i>
8.2.2	<i>Cement met hoge bestandheid tegen sulfaten volgens NBN B 12-108 ...</i>	<i>66</i>
8.3	Cement met begrensd alkali-gehalte (LA) volgens de norm NBN B 12-109	67
8.4	Cement met hoge aanvangssterkte (HES) volgens de norm NBN B 12-110	68
9	Speciale cementsoorten	69
9.1	Wit cement	69
9.2	Aluminaatcement	69
9.3	Overgesulfateerd cement.....	70
9.4	Andere speciale cementsoorten.....	70
10	Cementkeuze	71
10.1	Aanduiding volgens de normen	71
10.2	Cementkeuze in functie van de toepassing	71
11	Milieuaspecten	73
12	Aspecten inzake veiligheid en gezondheid	74
13	Bibliografie	75
	Hoofdstuk II.2 - GRANULATEN	79
1	Inleiding	79
2	Oorsprong van de granulaten	79
2.1	Natuurlijke granulaten.....	80
2.1.1	<i>Natuurlijk zand en grind.....</i>	<i>80</i>
2.1.2	<i>Kalksteen.....</i>	<i>82</i>
2.1.3	<i>Zandsteen.....</i>	<i>83</i>
2.1.4	<i>Porfier</i>	<i>84</i>
2.1.5	<i>Andere natuurlijke granulaten.....</i>	<i>84</i>
2.2	Kunstmatige granulaten	84
2.3	Gerecycleerde granulaten	85
2.4	Teruggewonnen granulaten	86
3	Geometrische eigenschappen van granulaten.....	87
3.1	Korrelmaat.....	87
3.2	Korrelverdeling	88
3.3	Fijn materiaal.....	91
3.4	Vorm	91
3.4.1	<i>Grove granulaten</i>	<i>92</i>



3.4.1.1	Gehalte aan ronde/gebroken granulaten	92
3.4.1.2	Gehalte aan platte granulaten	92
3.4.2	Zand	93
3.5	Gehalte aan schelpen	93
4	Mechanische en fysische eigenschappen van granulaten	94
4.1	Weerstand tegen verbrijzeling	94
4.2	Weerstand tegen afslijting	95
4.3	Weerstand tegen polijsten	95
4.4	Volumieke massa	96
4.5	Waterabsorptie en -gehalte	97
5	Chemische eigenschappen van granulaten	98
6	Duurzaamheid van granulaten	99
6.1	Weerstand tegen vriezen en dooien	99
6.2	Alkali Silica Reactiviteit	99
7	Eisen voor granulaten	99
7.1	Algemeen	99
7.2	Gerecycleerde granulaten	101
7.3	Kunstmatige granulaten	102
8	Identificatie	102
9	Certificatie	104
10	Bibliografie	104
Hoofdstuk II.3 - WATER		107
1	Inleiding	107
2	Het water en de W/C-factor	107
2.1	Totale waterhoeveelheid W_T	108
2.2	Effectieve waterhoeveelheid W_{eff} en geabsorbeerde waterhoeveelheid W_{abs}	108
2.3	Water afkomstig van de granulaten, hulpstoffen of toevoegsels	108
2.3.1	Water afkomstig van de granulaten (W_{gran})	108
2.3.2	Water afkomstig van de toevoegsels (W_{toev})	110
2.3.3	Water afkomstig van de hulpstoffen (W_{hulp})	110
2.4	Toegevoegd water – aanmaakwater voor het beton	110
3	Rol van het water	111
4	Vereiste waterkwaliteit	112
4.1	Soorten water	112
4.2	Monsterneming	114
4.3	Proeven en eisen	114
5	Invloed van de watertemperatuur	117



6 Bibliografie	118
Hoofdstuk II.4 - HULPSTOFFEN.....	119
1 Inleiding.....	119
1.1 Definitie	119
1.2 Bewarings- en veiligheidsvoorschriften.....	120
2 Plastificeerders/waterreducerders	121
2.1 Definitie	121
2.2 Samenstelling	121
2.3 Werking	121
2.4 Gevolgen voor de betonspecie en het verhard beton.....	122
2.5 Eisen	123
2.6 Invloedsfactoren.....	123
2.7 Toepassingsgebieden	123
3 Superplastificeerders / sterk waterreducerders	124
3.1 Definitie	124
3.2 Samenstelling	124
3.3 Werking	125
3.4 Gevolgen voor de betonspecie en het verhard beton.....	126
3.5 Eisen	127
3.6 Invloedsfactoren.....	128
3.7 Toepassingsgebieden	129
4 Luchtbelvormers	129
4.1 Definitie	129
4.2 Samenstelling	130
4.3 Werking	130
4.4 Gevolgen voor de betonspecie en het verhard beton.....	131
4.5 Eisen	132
4.6 Invloedsfactoren.....	132
4.7 Toepassingsgebieden	134
5 Bindingsvertragers	134
5.1 Definitie	134
5.2 Samenstelling	134
5.3 Werking	135
5.4 Gevolgen voor de betonspecie en het verhard beton.....	135
5.5 Eisen	136
5.6 Invloedsfactoren.....	136
5.7 Toepassingsgebieden	137
6 Bindings- en verhardingsversnellers	137



6.1	Definitie	137
6.2	Samenstelling.....	137
6.3	Werking.....	138
6.4	Gevolgen voor de betonspecie en het verhard beton	138
6.5	Eisen.....	138
6.6	Invloedsfactoren	139
6.7	Toepassingsgebieden.....	139
7	Watervasthoudende hulpstoffen	139
7.1	Definitie	139
7.2	Samenstelling.....	139
7.3	Werking.....	140
7.4	Gevolgen voor de betonspecie en het verhard beton	140
7.5	Eisen.....	140
7.6	Invloedsfactoren	141
7.7	Toepassingsgebieden.....	141
8	Waterdichtingsmiddelen in de massa.....	141
8.1	Definitie	141
8.2	Samenstelling.....	141
8.3	Werking.....	142
8.4	Gevolgen voor de betonspecie en het verhard beton	142
8.5	Eisen.....	142
8.6	Invloedsfactoren	143
8.7	Toepassingsgebieden.....	143
9	Hulpstoffen die de viscositeit beïnvloeden	143
9.1	Definitie	143
9.2	Samenstelling.....	144
9.3	Werking.....	144
9.4	Gevolgen voor de betonspecie en het verhard beton	144
9.5	Eisen.....	144
9.6	Invloedsfactoren	145
9.7	Toepassingsgebieden.....	145
10	Hulpstoffen, niet beschreven in de norm NBN EN 934-2	145
10.1	Schuimmiddelen	145
10.2	Krimpcompenserende hulpstoffen	146
10.3	Ontluchtende hulpstoffen	147
10.4	Hulpstoffen voor colloïdaal beton	147
11	Bibliografie	148



Hoofdstuk II.5 - TOEVOEGSELS VAN TYPE I EN II	151
Hoofdstuk II.5.1 - TOEVOEGSELS	151
1 Inleiding	151
2 Type I toevoegsels	152
2.1 Fillers	152
2.2 Pigmenten	153
3 Type II toevoegsels	154
3.1 Vliegas.....	154
3.1.1 Definitie.....	154
3.1.2 Herkomst en productie.....	155
3.1.3 Chemische samenstelling.....	156
3.1.4 Fysische kenmerken	157
3.1.5 Puzzolane activiteit	158
3.1.6 Toepassing in beton	158
3.2 Gemalen gegranuleerde hoogovenslak	159
3.2.1 Definitie.....	159
3.2.2 Herkomst en productie.....	159
3.2.3 Chemische samenstelling.....	160
3.2.4 Fysische kenmerken	160
3.2.5 Latent hydraulische activiteit.....	161
3.2.6 Toepassing in beton	161
3.3 Silicafume	162
3.3.1 Definitie.....	162
3.3.2 Herkomst en productie.....	162
3.3.3 Chemische samenstelling.....	163
3.3.4 Fysische kenmerken	164
3.3.5 Puzzolane activiteit	165
3.3.6 Toepassing in beton	165
4 Gebruik van toevoegsels in beton	166
4.1 Inleiding	166
4.2 Principe van het k-waarde concept	167
4.3 k-waarde concept voor vliegas conform de norm NBN EN 450-1	168
4.4 k-waarde concept voor silicafume van klasse 1 conform de norm NBN EN 13263-1	169
4.5 k-waarde concept voor gemalen gegranuleerde hoogovenslakken conform ATG 'Gemalen hoogovenslakken - LMA'	169
4.6 Voorbeeldberekening met k-waarde.....	170
4.7 Concept voor de gelijkwaardige prestatie van beton.....	171



4.8 Concept voor de gelijkwaardige prestatie van combinaties.....	172
5 Bibliografie	173
Hoofdstuk II.5.2 - PIGMENTEN	175
1 Kleurstof en pigment	175
2 Eisen voor het kleuren van beton.....	176
3 Types pigmenten	177
4 Voorkomen en gebruik van pigmenten	179
5 Bibliografie	183
Hoofdstuk II.6 - VEZELS	185
1 Inleiding	185
2 Vezeltypes	185
3 Gebruik van vezelbeton	187
3.1 Voordelen in de plastische fase	187
3.2 Voordelen in de verharde fase	188
3.3 Nadelen van vezelbeton	188
3.4 Toepassingen van vezelbeton.....	189
4 Normering	189
5 Bibliografie	190
Hoofdstuk III - BETONSPECIE EN VERHARDEND BETON.....	191
1 Inleiding	191
2 Het hydratatieproces	191
2.1 Algemeen.....	191
2.2 Chemische reacties.....	191
2.2.1 Portlandcement.....	192
2.2.2 Hoogovencement of hoogovenslak als toevoegsel	193
2.2.3 Puzzolane toevoegsels.....	193
2.3 Hydratiewarmte	193
2.4 Hydratatiegraad.....	195
2.5 Relatie tussen microstructuurvorming en macro-eigenschappen.....	197
2.6 Het belang van de water-cementfactor.....	198
3 Betonspecie.....	200
3.1 Consistentie	200
3.1.1 Algemeen	200
3.1.2 Meting van de consistentie	200
3.1.3 Zetmaat (NBN EN 12350-2).....	201
3.1.4 Schudmaat (NBN EN 12350-5)	202
3.1.5 Vebe-tijd (NBN EN 12350-3).....	204



3.1.6	Verdichtingsmaat (NBN EN 12350-4).....	204
3.1.7	Consistentieklassen.....	205
3.2	Reologie.....	206
3.3	Binding.....	207
3.4	Luchtgehalte.....	207
3.5	Volumieke massa.....	208
3.6	Rendement.....	208
3.7	Totale watergehalte.....	209
4	Verhardend beton.....	211
4.1	Warmteontwikkeling.....	211
4.1.1	Algemeen.....	211
4.1.2	Inwendige verhinderde vervorming.....	211
4.1.3	Uitwendige verhinderde vervorming.....	213
4.2	Sterkteontwikkeling.....	213
4.3	Stijfheidsontwikkeling.....	215
4.4	Breukrek.....	215
4.5	Diagram spanning-vervorming.....	216
4.6	Coëfficiënt van Poisson.....	217
4.7	Krimp.....	217
4.8	Kruip.....	218
4.9	Thermische eigenschappen.....	218
5	Invloed van de temperatuur op de eigenschappen van betonspecie en verhardend beton.....	218
6	Invloed van vroegtijdige uitdroging op de eigenschappen van betonspecie en verhardend beton.....	220
7	Sterktevoorspelling van verhardend beton in de praktijk.....	221
8	Bibliografie.....	223
Hoofdstuk IV - VERHARD BETON.....		225
1	Inleiding.....	225
2	Volumieke massa.....	225
3	Sterkte.....	226
3.1	Druksterkte.....	226
3.2	Treksterkte.....	229
4	Vervorming.....	233
4.1	Elasticiteitsmodulus.....	233
4.2	Coëfficiënt van Poisson.....	235
5	Krimp.....	235
6	Kruip.....	239



7 Thermische uitzettingscoëfficiënt	243
8 Thermisch en akoestisch isolatievermogen	243
9 beton in extreme omstandigheden	246
9.1 Invloed van hoge temperaturen	246
9.2 Schade door brand.....	247
9.3 Invloed van lage temperaturen	250
10 Bibliografie	251

Hoofdstuk V - DUURZAAMHEID **253**

1 Inleiding	253
2 Theoretische achtergrond	254
2.1 Transportmechanismen in beton	254
2.1.1 Poriënstructuur.....	254
2.1.2 Permeabiliteit.....	256
2.1.3 Verschillende transportmechanismen.....	258
2.1.3.1 Transport door diffusie	258
2.1.3.1.1 Diffusie van waterdamp	258
2.1.3.1.2 Diffusie van gassen	262
2.1.3.1.3 Diffusie van ionen	262
2.1.3.2 Transport door capillaire opzuiging	263
2.1.3.3 Transport door hydrostatische druk	265
2.2 Scheurvorming.....	265
2.2.1 Toelaatbare scheuren.....	265
2.2.2 Ontoelaatbare scheurvorming	266
3 Aantastingmechanismen	268
3.1 Milieuklassen en duurzaamheidseisen	268
3.1.1 Milieuklassen.....	268
3.1.2 Duurzaamheidseisen	270
3.1.3 Relatie cement-duurzaamheid	274
3.2 Aantasting door corrosie	274
3.2.1 Corrosiemechanisme.....	274
3.2.2 Beschermende werking van het dekkingsbeton	276
3.2.3 Door carbonatatie geïnitieerde corrosie	276
3.2.3.1 Carbonatatie (initiatiefase)	276
3.2.3.2 Door carbonatatie geïnitieerde corrosie (propagatiefase)	278
3.2.3.3 Preventiemaatregelen	280
3.2.4 Door chloride geïnitieerde corrosie	281
3.2.4.1 Corrosiemechanisme	281
3.2.4.2 Ingedrongen chloriden.....	283



3.2.4.3	Ingemengde chloriden	284
3.2.4.4	Preventiemaatregelen	285
3.3	Aantasting door vorst/dooicycli (met/zonder dooizouten).....	286
3.3.1	<i>Vorst/dooicycli</i>	286
3.3.1.1	Effect van vorst op beton.....	286
3.3.1.2	Preventiemaatregelen	289
3.3.2	<i>Vorst/dooicycli in combinatie met dooizouten</i>	290
3.3.2.1	Effect van dooizouten	290
3.3.2.2	Preventiemaatregelen	291
3.4	Aantasting door alkali-silica reactie.....	291
3.4.1	<i>Mechanisme</i>	291
3.4.2	<i>Preventiemaatregelen</i>	294
3.5	Chemische aantasting door externe zouten en zuren.....	296
3.5.1	<i>Destructie door expansieve zouten (sulfaataantasting)</i>	296
3.5.1.1	Sulfaataantasting	296
3.5.1.2	Preventiemaatregelen	297
3.5.2	<i>Oplossen van cementsteen door zuren</i>	298
3.5.2.1	Zuuraantasting.....	298
3.5.2.2	Preventiemaatregelen	300
3.5.3	<i>Afbraak van cementsteen door zouten</i>	300
3.5.3.1	Magnesium- en ammoniumzouten	300
3.5.3.2	Preventiemaatregelen	301
4	Duurzaamheidseisen in de praktijk.....	301
4.1	Toepassing van milieuklassen.....	301
4.2	Toepassen van omgevingsklassen	302
4.3	Betondekking.....	308
4.3.1	<i>Algemeen</i>	308
4.3.2	<i>Minimale betondekking c_{min}</i>	308
4.3.3	<i>Tolerantie Δc_{dev}</i>	310
5	Tabellen specifieke gebruiksgeschiktheid	312
6	Bibliografie	315
Hoofdstuk VI - SPECIFICATIE		317
1	Inleiding.....	317
2	Basiseisen	318
2.1	Basiseis A: Druksterkte	318
2.2	Basiseis B: Duurzaamheid.....	318
2.3	Basiseis C: Consistentie	319
2.4	Basiseis D: D_{upper} en D_{lower}	319



3	Aanvullende eisen (E)	320
4	Voorbeelden	323
5	Bibliografie	324
Hoofdstuk VII - SAMENSTELLING		325
1	Inleiding	325
2	Basiseisen	326
3	Theoretisch kader	326
3.1	Sterkte.....	326
3.1.1	<i>Wet van Feret</i>	327
3.1.1.1	Formule	327
3.1.1.2	Opmerkingen	329
3.1.1.3	Oefeningen op de wet van Feret	330
3.1.2	<i>Andere formules</i>	332
3.2	Verwerkbaarheid	334
3.2.1	<i>De waterbehoefte</i>	335
3.2.2	<i>Het watergehalte</i>	338
3.2.3	<i>Hulpstoffen</i>	339
3.3	Duurzaamheid.....	340
3.4	Geometrische overwegingen.....	342
3.4.1	<i>Wandeffect – Gemiddelde straal van een te storten volume beton</i>	342
3.4.2	<i>Gemiddelde straal van een opening</i>	343
3.4.3	<i>Nominale grootste korrelafmeting van de granulaten</i>	343
3.5	Opbouw van het inerte skelet en optimale samenstelling	344
3.5.1	<i>Algemeen</i>	344
3.5.2	<i>Pakkingsmodellen</i>	344
3.5.2.1	Algemene “Theory of particle mixtures”, ontwikkeld voor mengsels met twee componenten	345
3.5.2.2	Model van vast deeltje met bijbehorende holle ruimte	345
3.5.2.3	Holle ruimte verhoudingsdiagrammen	347
3.5.3	<i>Richtkrommen</i>	352
3.5.3.1	Richtkrommen voor het inerte skelet	352
3.5.3.1.1	Onderbroken of discontinue samenstellingen	352
3.5.3.1.2	Doorlopende of continue samenstellingen	352
3.5.3.2	Richtkrommen van het vaste skelet.....	355
3.5.3.2.1	Methode van Bolomey	355
3.5.3.2.2	Methode van Faury	356
4	Vertaling naar normen	358
5	Praktisch mengselontwerp	362



6	Software tools	367
6.1	Methode van de kleinste kwadraten als benaderingsmethode voor een vooropgestelde richtkromme.....	367
6.2	Softwarepakket Mix Design.....	370
7	Uitgewerkte voorbeelden	370
7.1	Voorbeeld 1.....	370
7.2	Voorbeeld 2.....	377
7.3	Voorbeeld 3.....	383
7.4	Voorbeeld 4.....	387
8	Bibliografie	392
Hoofdstuk VIII - PRODUCTIE EN TRANSPORT		395
1	Inleiding	395
2	Types betoncentrales	396
2.1	Volgens de gebruikte vervaardigingsmethode.....	396
2.2	Volgens de configuratie van de centrale.....	397
2.3	Volgens de mate van verplaatsbaarheid.....	398
3	Aanvoer en opslag van de bestanddelen	399
3.1	Algemeen.....	399
3.2	Cement.....	399
3.2.1	<i>Aanvoer</i>	399
3.2.2	<i>Opslag</i>	400
3.2.3	<i>Voorzorgen</i>	400
3.2.4	<i>Verlading</i>	401
3.3	Granulaten (zand en steenslag).....	401
3.3.1	<i>Aanvoer</i>	401
3.3.2	<i>Opslag</i>	401
3.3.3	<i>Voorzorgen</i>	403
3.4	Aanmaakwater.....	408
3.4.1	<i>Aanvoer en opslag</i>	408
3.4.2	<i>Voorzorgen en behandeling</i>	408
3.5	Hulpstoffen.....	409
3.5.1	<i>Aanvoer en opslag</i>	409
3.5.2	<i>Voorzorgen en verlading</i>	409
3.6	Toevoegsels.....	410
3.7	Vezels.....	410
4	Dosering van de bestanddelen	410
4.1	Algemeen.....	410
4.2	Cement.....	411



4.3	Granulaten	412
4.4	Water	413
4.5	Hulpstoffen	414
4.6	Toevoegsels van type I of II.....	414
4.7	Vezels	415
5	Het mengen van de betonspecie	417
5.1	Algemeen	417
5.2	Mengertypes.....	417
5.3	Basisprincipes van het mengen	420
5.3.1	<i>Volgorde van het inbrengen van de bestanddelen.....</i>	<i>420</i>
5.3.2	<i>Vullingsgraad</i>	<i>420</i>
5.3.3	<i>Mengtijd.....</i>	<i>421</i>
5.4	Ledigen van de menger.....	421
6	Transport van betonspecie.....	422
6.1	Lange afstanden.....	422
6.1.1	<i>Betonmixers</i>	<i>422</i>
6.1.2	<i>Vrachtwagen met laadbak.....</i>	<i>425</i>
6.2	Korte afstanden	426
6.2.1	<i>Rechtstreeks storten in de bekisting.....</i>	<i>426</i>
6.2.2	<i>Gebruik van stortverlengingen of -buizen</i>	<i>426</i>
6.2.3	<i>Gebruik van kruiwagens of kiepkarren.....</i>	<i>427</i>
6.2.4	<i>Gebruik van transportbanden</i>	<i>427</i>
6.2.5	<i>Gebruik van een kubel of een grijper met een hijskraan.....</i>	<i>427</i>
6.2.6	<i>Gebruik van de betonpomp.....</i>	<i>429</i>
7	De leveringsbon.....	430
8	Recyclage in de betoncentrale	432
9	Prefabricage	434
9.1	Algemeen.....	434
9.2	Voordelen van prefabricatie	437
9.2.1	<i>Kwaliteit van de producten</i>	<i>437</i>
9.2.2	<i>Tijds winst op de werf</i>	<i>437</i>
9.2.3	<i>Invloed van weersomstandigheden.....</i>	<i>437</i>
9.2.4	<i>Indeling van geprefabriceerde betonproducten.....</i>	<i>438</i>
9.3	Beschrijvingen van productieprocessen van courante betonproducten....	439
9.3.1	<i>Betonblokken en -stenen.....</i>	<i>439</i>
9.3.2	<i>Voorgespannen holle vloerplaten of holle welfsels.....</i>	<i>440</i>
10	Bibliografie.....	443



Hoofdstuk IX - VERWERKING	445
1 Inleiding.....	445
2 Controles voor de plaatsing van het beton.....	445
2.1 Kwaliteitsbeheer.....	445
2.2 Bekisting	446
2.3 Wapening	446
2.4 Beton	447
2.5 Gegarandeerde verwerkingstijd	448
3 Toevoegingen aan het beton op de bouwplaats.....	449
3.1 Watertoevoeging.....	449
3.2 Toevoeging van een superplastificeerder of andere hulpstoffen	450
3.3 Toevoeging van vezels	450
4 Storten van beton in een bekisting	451
4.1 Aandachtspunten	451
4.2 Verpompen van het beton	452
4.2.1 <i>Betonpompen</i>	452
4.2.2 <i>Pompbaar beton</i>	454
5 Speciale stortmethodes.....	455
6 Verdichten	455
6.1 Inleiding	455
6.2 Verdichten door trillingen	456
6.2.1 <i>Trilnaalden</i>	457
6.2.2 <i>Bekistingstrillers</i>	461
6.2.3 <i>Oppervlaktetrillers</i>	461
6.2.4 <i>Triltafel</i>	462
6.3 Verdichten door schokken.....	462
6.4 Verdichten door te persen	463
6.5 Verdichten door te walsen (pletten)	463
6.6 Verdichten door centrifugeren.....	463
7 Stortnaden.....	464
8 Afwerking	464
9 Bibliografie	466
Hoofdstuk X - BETONSTAAL	467
Hoofdstuk X.1 - WAPENING	467
1 Inleiding.....	467
1.1 Principe.....	467
1.2 Ontwikkeling.....	467
2 Soorten betonstaal.....	468



3	Aanduiding van betonstaal	470
4	Kwaliteit van betonstaal	471
5	Geometrische eigenschappen van betonstaal.....	472
5.1	Nominale diameter	472
5.2	Nominale doorsnede A	473
5.3	Hoogte en tussenafstand van de ribben.....	474
5.4	Diepte en tussenafstand van de deuken	474
5.5	Identificatie van de producent en van de technische klasse	474
6	Bewerking, opslag en transport.....	475
6.1	Bewerking van betonstaal in de werkplaats	475
6.1.1	<i>Algemeen</i>	<i>475</i>
6.1.2	<i>Knippen en buigen.....</i>	<i>476</i>
6.1.3	<i>Het rechten.....</i>	<i>476</i>
6.1.4	<i>Technologisch lassen.....</i>	<i>476</i>
6.1.5	<i>Controle van de eigenschappen tijdens de plaatsing.....</i>	<i>477</i>
6.2	Opslag en transport	477
6.2.1	<i>Algemeen</i>	<i>477</i>
6.2.2	<i>Opslag in de wapeningscentrale</i>	<i>477</i>
6.2.3	<i>Transport naar de bouwplaats.....</i>	<i>478</i>
6.2.4	<i>Opslag en transport op de bouwplaats.....</i>	<i>478</i>
6.3	Bewerking op de bouwplaats	478
7	Verankering van draden en staven	479
8	Doorverbinden van staven en draden	479
9	Plaatsen van de wapening	481
9.1	Minimale afstand tussen de wapeningsstaven.....	481
9.2	Betondekking	481
9.3	Afstandhouders	482
10	Bibliografie	483
Hoofdstuk X.2 - VOORSPANWAPENING.....		485
1	Inleiding	485
1.1	Principe	485
1.2	Ontwikkeling	485
2	Soorten voorspanwapening	486
3	Aanduiding van voorspanwapening	488
4	Eigenschappen van voorspanwapening	489
4.1	Klassieke eigenschappen	489
4.2	Speciale eigenschappen.....	490
4.2.1	<i>Isothermische relaxatieproef.....</i>	<i>490</i>



4.2.2	<i>Vermoeiingsproef met axiale belasting</i>	491
4.2.3	<i>Spanningscorrosieproef in een ammoniumthiocyanaat-oplossing</i>	491
4.2.4	<i>Weerstand tegen multi-axiale spanningen - de afbuigtrekproef</i>	492
5	Methodes voor voorspanning	492
5.1	Algemeen	492
5.2	Voorspanning door hechting	493
5.2.1	<i>Algemeen</i>	493
5.2.2	<i>Afbuiging van voorspanwapening</i>	493
5.3	Voorspanning met nagerekt staal	493
5.3.1	<i>Algemeen</i>	493
5.3.2	<i>Goedkeuring van de naspankits</i>	494
5.3.3	<i>Wikkelproof</i>	495
5.3.4	<i>Rendementsproef op de volledige kabel</i>	495
5.3.5	<i>Rendementsproef op de individuele strengen</i>	495
6	Bewaring en plaatsing van voorspanwapening	495
6.1	Voorzorgen bij bewaring	495
6.2	Plaatsing van de voorspanwapening en kokers	496
6.3	Betondekking van de voorspanwapening	496
6.4	Bevestigingen	496
6.5	Continuïteit van de voorspanwapening: koppelingen	497
7	Het opspannen	497
7.1	Ijking van de vizels	497
7.2	Ontwikkeling van de betonsterkte	497
7.3	Wrijvingsproef – verankeringslengte	498
7.4	Bescherming door injectie	499
8	Voorbeeld van toepassing in België	499
9	Bibliografie	500
Hoofdstuk XI - BEKISTING		503
1	Inleiding	503
2	Bekistingsopbouw	505
2.1	Klassieke bekisting	505
2.2	Systeembekisting	506
2.2.1	<i>Traditionele systeembekisting</i>	506
2.2.2	<i>Modulaire systeembekisting</i>	507
3	Materialen	508
3.1	Hout	508
3.1.1	<i>Algemeen</i>	508
3.1.2	<i>Soorten</i>	509



3.2	Metaal.....	509
3.3	Kunststof.....	510
3.4	Vergelijkende tabel.....	512
4	Speciale bekistingen en materialen.....	512
4.1	Permanente bekisting.....	513
4.1.1	<i>Niet-meewerkende permanente bekisting.....</i>	<i>513</i>
4.1.2	<i>Meewerkende permanente bekisting.....</i>	<i>514</i>
4.2	Klimbekisting.....	515
4.3	Glijbekisting.....	515
4.4	Bekisting met pompsysteem onderaan.....	517
4.5	Bekistingsuitvoeringen met gecontroleerde doorlaatbaarheid (CPF-liners).....	517
4.6	Kartonnen bekistingen.....	518
5	Ontwerp.....	518
5.1	Algemene ontwerpprincipes.....	518
5.2	Toleranties.....	520
5.3	Betonspeciedruk.....	521
5.3.1	<i>Verticale betonspeciedruk.....</i>	<i>521</i>
5.3.2	<i>Horizontale betonspeciedruk.....</i>	<i>522</i>
5.3.2.1	<i>Berekening van de horizontale bekistingsdruk.....</i>	<i>522</i>
5.3.2.2	<i>Opvangen van de horizontale speciedruk.....</i>	<i>525</i>
5.4	Uiterlijk van beton.....	526
5.4.1	<i>Contactbekisting.....</i>	<i>526</i>
5.4.2	<i>Naden, stortnaden en centerpengaten.....</i>	<i>528</i>
6	Ontkistingsmiddelen.....	530
7	Bibliografie.....	531

Hoofdstuk XII - ONTKISTING, NABEHANDELING EN BESCHERMING..... 533

1	Inleiding.....	533
2	Bescherming van jong beton tegen uitdroging.....	534
2.1	Verdamping van het water aan het oppervlak van de betonspecie.....	534
2.2	Nadelige gevolgen van de uitdroging van het betonoppervlak.....	535
2.2.1	<i>Stilvallen van de hydratatie.....</i>	<i>536</i>
2.2.2	<i>Scheurvorming ten gevolge van plastische krimp en vroegtijdige uitdrogingskrimp.....</i>	<i>536</i>
2.3	Nabehandelingmethoden.....	537
2.3.1	<i>De bekisting laten staan.....</i>	<i>538</i>
2.3.2	<i>Afdekken met zeilen in kunststof of afdekpanelen.....</i>	<i>538</i>
2.3.3	<i>Aanbrengen van een natte bedekking.....</i>	<i>539</i>



2.3.4	<i>Nabehandelen met water</i>	539
2.3.5	<i>Aanbrengen van een nabehandlingsproduct ("curing compound")</i>	540
2.4	Duur van de nabehandeling	541
2.4.1	<i>Algemeenheden</i>	541
2.4.2	<i>Eisen</i>	542
2.4.2.1	In situ gestort beton	542
2.4.2.2	Geprefabriceerde betonproducten	545
3	Bescherming van de betonspecie tegen regen	546
4	Bescherming van jong beton tegen vorst	546
4.1	Involed van de koude op jong beton	546
4.1.1	<i>Vertraging van de binding en verharding</i>	547
4.1.2	<i>Vorstschade bij jong beton</i>	547
4.2	Te nemen voorzorgsmaatregelen in de winter	547
4.2.1	<i>Betonsamenstelling</i>	548
4.2.2	<i>Transport van het beton</i>	549
4.2.3	<i>Plaatsen en beschermen van het beton</i>	549
4.2.4	<i>Controle van de verharding</i>	551
5	Bescherming van verhardend beton tegen thermische scheurvorming	551
5.1	Warmteontwikkeling in verhardend beton	551
5.1.1	<i>Isotherme omgeving</i>	551
5.1.2	<i>Adiabatische omgeving</i>	552
5.2	Maatregelen ter voorkoming van thermische scheuren	553
5.2.1	<i>Betonsamenstelling</i>	553
5.2.2	<i>Isolatiemaatregelen</i>	553
5.2.3	<i>Afkoeling van het element in de verhardingsfase</i>	554
6	Het ontkisten	554
6.1	Het tijdstip van ontkisten	554
6.1.1	<i>Algemeenheden</i>	554
6.1.2	<i>Eisen</i>	555
6.2	Voorzorgsmaatregelen tijdens het ontkisten	557
6.3	Versnellen van de verharding.....	557
6.3.1	<i>Algemeen</i>	557
6.3.2	<i>Stoomverharding</i>	557
7	Bescherming van verhard beton	559
7.1	Verbetering van de weerstand tegen vervuiling	559
7.2	Bescherming tegen chemische aantasting	560
7.2.1	<i>Chemische aantasting van beton</i>	560
7.2.2	<i>Graad van agressiviteit van de chemische aantasting</i>	560
7.2.3	<i>Oppervlaktebeschermingsmiddelen</i>	561



7.3	Waterdichtheid van beton.....	562
7.4	Bescherming van het beton tegen carbonatatie	562
7.5	Aanbrengen van coatings op beton.....	562
8	Bibliografie.....	563
Hoofdstuk XIII - WEGENBETON		565
1	Inleiding	565
2	Types betonwegen.....	568
2.1	Platenbeton	568
2.2	Doorgaand gewapend beton (DGB).....	569
3	Indeling van wegen.....	570
4	Belastingen op betonverhardingen	572
4.1	Belastingen eigen aan het beton	572
4.2	Verkeersbelasting	573
4.3	Belasting door vorst en dooizouten.....	574
5	Samenstellende bestanddelen van wegenbeton.....	574
5.1	Grove granulaten	574
5.2	Fijne granulaten (zand)	577
5.3	Water	578
5.4	Cement	578
5.5	Hulpstoffen	579
6	Samenstelling van wegenbeton	580
6.1	Voorbeelden van samenstellingen	582
6.1.1	<i>Voorbeeld 1</i>	<i>582</i>
6.1.2	<i>Voorbeeld 2</i>	<i>582</i>
7	Eigenschappen en eisen voor wegenbeton	583
7.1	Druksterkte	583
7.2	Verwerkbaarheid	584
7.3	Luchtgehalte	584
7.4	Wateropslorping.....	585
7.5	Weerstand tegen afschilfering.....	585
8	Verwerking van wegenbeton	586
8.1	Aanmaak en dosering	586
8.2	Vervoer van de betonspecie	587
8.3	Uitspreiden van de betonspecie	588
8.4	Aanleg tussen vaste bekistingen.....	589
8.5	Aanleg met glijbekistingmachine	589
8.6	Oppervlakafwerking.....	590
8.7	Oppervlakbescherming.....	591



9	Bijzondere toepassingen van wegenbeton	592
9.1	Geluidsarme betonwegen	592
9.2	Snelhardend beton	593
9.3	Gekleurd (uitgewassen) beton	594
9.4	Gefigureerd beton	595
10	Cementgebonden mengsels voor weg-funderingen	596
10.1	Algemeen.....	596
10.2	Cementgebonden steenslagmengsel	598
10.3	Zandcement.....	599
10.4	Schraal beton.....	599
10.5	Drainerend schraal beton.....	600
10.6	Walsbeton	601
11	Bibliografie	602
Hoofdstuk XIV - SPECIALE BETONSOORTEN		605
Hoofdstuk XIV.1 - VEZELBETON		605
1	Definitie	605
2	Werking van vezels en eigenschappen van vezelbeton	606
3	Berekening van vezelbeton	608
4	Praktische richtlijnen	611
5	Toepassingen	612
6	Bibliografie	613
Hoofdstuk XIV.2 - ZELFVERDICHTEND BETON		615
1	Inleiding	615
2	Reologie	615
3	Karakterisering in verse toestand	618
3.1	Kenmerken	618
3.2	Specifieke proefmethoden voor ZVB.....	619
3.2.1	<i>Vloeimaat</i>	619
3.2.2	<i>Trechtertijd</i>	620
3.2.3	<i>L-box</i>	620
3.2.4	<i>J-ring</i>	621
3.2.5	<i>Stabiliteitsproef met de zeef</i>	622
4	Mengselontwerp	623
4.1	Algemeen.....	623
4.1.1	<i>Methoden voor het mengselontwerp</i>	624
4.2	Voorbeeld van een samenstelling van ZVB	625
5	Specificatie	626
5.1	Te vermelden gegevens.....	626



5.2	Keuze van de klassen in functie van de toepassing	627
5.3	Vloeimaatklasse	628
5.4	Viscositeitsklasse	628
5.5	Klasse blokkeringsmaat.....	628
5.6	Weerstandsklasse tegen ontmenging.....	629
6	Uitvoering	629
6.1	Ontvangst op de bouwplaats.....	629
6.2	Plaatsing.....	629
6.3	Bekisting.....	632
6.4	Nabehandeling.....	633
7	Eigenschappen van verhard zelfverdichtend beton.....	633
8	Toepassingen.....	634
9	Bibliografie	635
Hoofdstuk XIV.3 - SPUITBETON		639
1	Inleiding	639
2	Spuittechniek	640
2.1	Droge methode.....	640
2.2	Natte methode	641
3	Betonsamenstelling	641
3.1	Droge methode.....	642
3.2	Natte methode	642
4	Uitvoering	643
5	Eigenschappen.....	644
6	Bibliografie	644
Hoofdstuk XIV.4 - ZICHTBETON EN ARCHITECTONISCH BETON		645
1	Inleiding	645
2	Ontwerp	646
3	Eigenschappen van de randzone en van de betonhuid.....	648
3.1	De randzone.....	648
3.2	De kleur van het oppervlak.....	651
3.3	Soorten oppervlakken.....	656
3.3.1	<i>Bekist en niet-bekist oppervlak</i>	<i>656</i>
3.3.2	<i>Onbewerkt oppervlak</i>	<i>656</i>
3.3.3	<i>Bewerkt oppervlak</i>	<i>657</i>
3.3.3.1	Uitwassen met water	657
3.3.3.2	Uitwassen met zuur	658
3.3.3.3	Polijsen.....	659
3.3.3.4	Gritstralen	660



3.3.3.5	Boucharderen	661
4	NBN B 15-007: Zichtbeton	661
4.1	Classificaties van zichtbeton	661
4.2	Specificatie van zichtbeton	663
5	PTV 21-601: Geprefabriceerde elementen van architectonisch beton.....	663
6	Bibliografie	664
Hoofdstuk XIV.5 - HOGESTERKTEBETON EN ULTRA-HOGESTERKTEBETON.....		665
1	Inleiding.....	665
2	Principes van mengselontwerp	666
2.1	Grondstoffen	666
2.1.1	<i>Cement.....</i>	<i>666</i>
2.1.2	<i>Fijne en grove granulaten</i>	<i>666</i>
2.1.3	<i>Silicafume.....</i>	<i>667</i>
2.1.4	<i>Metakaolien.....</i>	<i>667</i>
2.1.5	<i>Superplastificeerder/sterk waterreducerder.....</i>	<i>667</i>
2.1.6	<i>Vezels</i>	<i>667</i>
2.2	Mengselontwerp	668
3	Specificatie.....	669
4	Eigenschappen en karakteristieken.....	670
5	Toepassingen	671
6	Bibliografie	672
Hoofdstuk XIV.6 - LICHT BETON		675
1	Definitie.....	675
2	Types lichte granulaten	676
3	Specificatie van licht beton.....	678
3.1	Voorschrijven op basis van eigenschappen en prestaties	678
3.2	Specificatie op basis van de samenstelling.....	680
4	Eigenschappen en kenmerken van licht beton	681
5	Mengselsamenstelling voor licht beton	685
5.1	Druksterkte.....	685
5.2	Samenstelling van het inert skelet	686
5.3	Waterabsorptie, waterbehoefte en vochtigheid van de granulaten.....	686
5.4	Ontwerp op basis van de volumieke massa	687
5.5	Voorbeeld van een mengselontwerp	687
6	Aanmaak en verwerking.....	688
6.1	Mengen	688
6.2	Transport en verwerking	689
6.3	Verdichting en nabehandeling.....	690



7 Toepassingen.....	690
8 Bibliografie.....	692
Hoofdstuk XIV.7 - SCHUIMBETON.....	695
1 Inleiding	695
2 Eigenschappen.....	696
3 Mengselontwerp	697
4 Vervaardiging	698
5 Voorzorgsmaatregelen.....	698
6 Toepassingen.....	699
7 Bibliografie.....	700
Hoofdstuk XIV.8 - COLLOÏDAAL BETON	701
1 Inleiding	701
2 Uitdagingen	701
3 Colloïdaal beton	702
4 Toepassingen van colloïdaal beton.....	704
4.1 Waterdicht colloïdaal beton	704
4.1.1 Toepassingsgebied	704
4.1.2 Specificatie	705
4.1.3 Uitvoering.....	706
4.2 Waterdoorlatend colloïdaal beton	706
4.2.1 Toepassingsgebied	706
4.2.2 Specificatie	708
4.2.3 Uitvoering.....	709
4.3 Colloïdaal penetratiebeton.....	710
4.3.1 Toepassingsgebied	710
4.3.2 Specificatie	711
4.3.3 Uitvoering.....	711
5 Bibliografie.....	712
Hoofdstuk XIV.9 - ZWAAR BETON.....	713
1 Inleiding	713
2 Zware granulaten	713
3 Specificatie van zwaar beton.....	715
4 Eigenschappen.....	715
5 Mengselontwerp	715
6 Productie en verwerking: voorzorgsmaatregelen.....	716
7 Bibliografie.....	717



Hoofdstuk XIV.10 - VUURVAST BETON	719
1 Inleiding.....	719
2 De verschillende types vuurvast beton	720
3 Grondstoffen voor vuurvast beton	721
3.1 Het bindmiddel.....	721
3.1.1 Aluminaatcement.....	721
3.1.2 Chemische bindmiddelen	723
3.1.3 Alternatieve bindmiddelen.....	723
3.2 Fijne deeltjes	723
3.3 Aggregaten	724
3.4 Hulpstoffen.....	725
3.5 Vezels.....	726
4 Plaatsing van vuurvast beton.....	726
4.1 Algemeen.....	726
4.2 De uitvoeringsmethodes	727
4.2.1 Storten	727
4.2.2 Storten met trillen.....	727
4.2.3 Zelfvloeiend beton.....	727
4.2.4 Spuiten	727
4.3 Ontkisting	728
4.4 Voorgevormde materialen	728
5 Drogen en bakken van vuurvast beton.....	728
6 Bibliografie	730
Hoofdstuk XIV.11 - POLYMEER-GEMODIFICEERD BETON	731
1 Inleiding.....	731
2 Types polymeren.....	732
3 Eigenschappen van polymeer-gemodificeerd beton	734
4 Synergetisch effect tussen cementhydratatie en polymeerfilmvorming.....	734
5 Toepassingen	735
6 Bibliografie	736
Hoofdstuk XV - CONTROLE EN CERTIFICATIE	737
1 Inleiding.....	737
1.1 De kwaliteit van beton.....	737
1.2 De regels van de kunst en normalisatie.....	737
1.3 Verantwoordelijkheid.....	739
1.4 Begrippen m.b.t. kwaliteitsborging	740
2 Reglementaire en vrijwillige certificatie.....	740
2.1 CE-markering en reglementaire certificatie	740



2.2	Vrijwillige certificatie	746
2.2.1	<i>Inleiding</i>	746
2.2.2	<i>Certificatie van beton</i>	751
2.3	Partijkeuring	754
3	Stortklaar beton	755
3.1	Keuze van de grondstoffen	755
3.1.1	<i>Algemene geschiktheid</i>	755
3.1.2	<i>Specifieke geschiktheid</i>	756
3.2	Bepaling, identificatie en groeperingen van producten	756
3.3	Initiële proeven (IT).....	757
3.4	Beheersing van het productieproces en productiecontrole	758
3.4.1	<i>Algemeen</i>	758
3.4.2	<i>Beheer van de grondstoffen</i>	759
3.4.3	<i>Controle van de productieapparatuur</i>	760
3.4.4	<i>Meet- en proefuitrusting</i>	760
3.4.5	<i>Verificaties tijdens de productie</i>	760
3.5	Conformiteitscontrole	761
3.5.1	<i>Algemeen</i>	761
3.5.2	<i>Gecontroleerde eigenschappen</i>	761
3.5.3	<i>Monsterneming en proefstukken</i>	762
3.5.4	<i>Monsternemingsplan en frequentie</i>	763
3.5.5	<i>Conformiteitscriterium</i>	765
3.5.6	<i>Interpretatie en correctieve maatregelen</i>	775
3.6	Leveringsdocumenten en informatie.....	775
3.6.1	<i>Informatie</i>	775
3.6.2	<i>Leveringsbonnen</i>	776
4	Geprefabriceerde betonelementen	776
4.1	Inleiding	776
4.2	Keuze van de grondstoffen	777
4.3	Definitie, identificatie en samenvoeging van producten.....	777
4.4	Initiële proeven.....	778
4.5	Beheer en controle van het productieproces	778
4.6	Conformiteitscontrole	779
4.7	Leveringsbonnen en informatie.....	780
5	Controle op gerealiseerde bouwwerken.....	782
5.1	Algemeen	782
5.2	In situ proeven	782
5.3	Proeven op monsters ontnomen uit het bouwwerk	783
5.3.1	<i>Mechanische proeven</i>	783



5.3.2	<i>Fysische proeven</i>	785
5.3.3	<i>Chemische proeven</i>	785
5.3.4	<i>Snelle chemische identificatiemethoden</i>	785
5.3.5	<i>Petrografisch - microscopisch onderzoek</i>	786
5.3.6	<i>Versnelde verouderingsproeven op verhard beton</i>	786
6	Overzicht van de proeven in het kader van de BENOR-certificatie van stortklaar beton	786
7	Bibliografie	789
	Inhoudstafel	791