

ONTWERP EN DIMENSIONERING VAN CONSTRUCTIES VOLGENS EUROCODE 0 (EN 1990)

In november 2002 publiceerde het Belgisch Instituut voor Normalisatie (BIN) de eerste Eurocodes in de vorm van definitieve normen (EN). Dit luidde de tweede fase van het invoeringsproces van de structurele Eurocodes als referentienormen voor het ontwerp en de dimensionering van constructies in. In dit artikel wordt dieper ingegaan op Eurocode 0 (in België gepubliceerd onder de benaming NBN EN 1990 "Grondslag voor constructief ontwerp"), zijn toepassingsgebied, de ontwerp- en dimensioneringsprincipes in de grenstoestanden en in het bijzonder de belastingscombinaties die dienen beschouwd te worden bij de dimensionering van alle constructies.

*Benoit Parmentier, ir., adjunct-laboratoriumhoofd, afdeling Geotechniek en Structuren
Didier Delincé, ir., onderzoeker, afdeling Geotechniek en Structuren*

1 VOORWOORD : DE EUROCODES

Aangezien het BIN in november 2002 de eerste Eurocodes in hun definitieve versie als Belgische gehomologeerde normen of "Eurocodes NBN EN" gepubliceerd heeft, kan het volgens ons nuttig zijn de lezer in te lichten over de precieze inhoud van deze documenten. Hiertoe heeft de Normen-Antenne "Eurocodes" van het WTCB de brochure "De Eurocodes. Memento 2003" [17] opgesteld. Deze is beschikbaar bij de Dienst Publicaties van het WTCB of op de website van de Normen-Antenne (zie kader aan het einde van het artikel).

Om geldig te zijn in een Lidstaat, moet elk deel van de Eurocode EN aangevuld worden met een Nationale Bijlage (ANB), waarin de op nationaal vlak bepaalde parameters (NDP) (*) ingevuld worden. De Eurocodes EN zullen gepubliceerd worden voor een overgangperiode van minstens 3 jaar. Tijdens deze periode is een coëxistentie mogelijk met de oude nationale normen over hetzelfde ontwerp, die nadien moeten ingetrokken worden.

Opmerking

Een lexicon met de gebruikte termen kan gearchiveerd worden in de brochure "De Eurocodes. Memento 2003" [17] of op de website van de Normen-Antenne "Eurocodes".

2 EUROCODE 0

2.1 ALGEMENE VOORSTELLING VAN EUROCODE 0

De theoretische benadering waarop de Eurocodes berusten, is niet nieuw. Ze vindt haar oorsprong in de norm ISO 2394 [14] en in de CEB-bulletins [9, 10]. De innovatie bestaat in de wil om de ontwerp- en rekenmethoden te veralgemenen voor alle constructietypes, onafhankelijk van het gebruikte materiaal. Hoewel Eurocode 0 (EC0) in eerste instantie bestemd is om samen met de andere Eurocodes gebruikt te worden voor wat de dimensionering van constructies betreft, is de informatie met betrekking tot het aspect betrouwbaarheid die

(*) NDP: *Nationally Determined Parameters*. Deze zijn vergelijkbaar met de vroegere *boxed values*, d.i. waarden waarvan de bepaling overgelaten werd aan de Lidstaten (veiligheidscoëfficiënten, klimaatvoorwaarden, ...). In België gebeurt de opstelling van de ANB voor Eurocode 0 in een BIN-werkgroep. Dit document zou tegen het begin van het jaar 2004 afgewerkt moeten zijn.

erin gegeven wordt, eveneens van toepassing voor de ontwerpmethoden die niet door de Eurocodes behandeld worden. Dit document [4] kan dus dienen als leidraad bij de beoordeling van andere belastingen en de manier waarop deze kunnen gecombineerd worden, met het oog op de modelvorming van het gedrag van de materialen en constructies die niet in de Eurocodes aan bod komen. De nieuwe Eurocodes zouden dus ook gebruikt kunnen worden voor andere materialen dan deze die in de huidige Eurocodes behandeld worden (bijvoorbeeld glas).

Eurocode 0 is bijgevolg zowel geldig voor de herstelling, de renovatie als de gebruiksverandering van constructies, hoewel er op dit ogenblik nog geen enkele richtlijn of norm bestaat die van toepassing is voor de beoordeling van bestaande constructies (*).

Deze eerste Eurocode richt zich dus tot een zeer gediversifieerd publiek. Hij zal onmisbaar worden voor studiebureaus, maar ook voor aannemers, bouwheren, openbare besturen, architecten, ..., omdat hij de basisprincipes voor het ontwerp uiteenzet, ongeacht het gebruikte constructiemateriaal.

Eurocode 0 vormt, in zekere mate, de tegen-

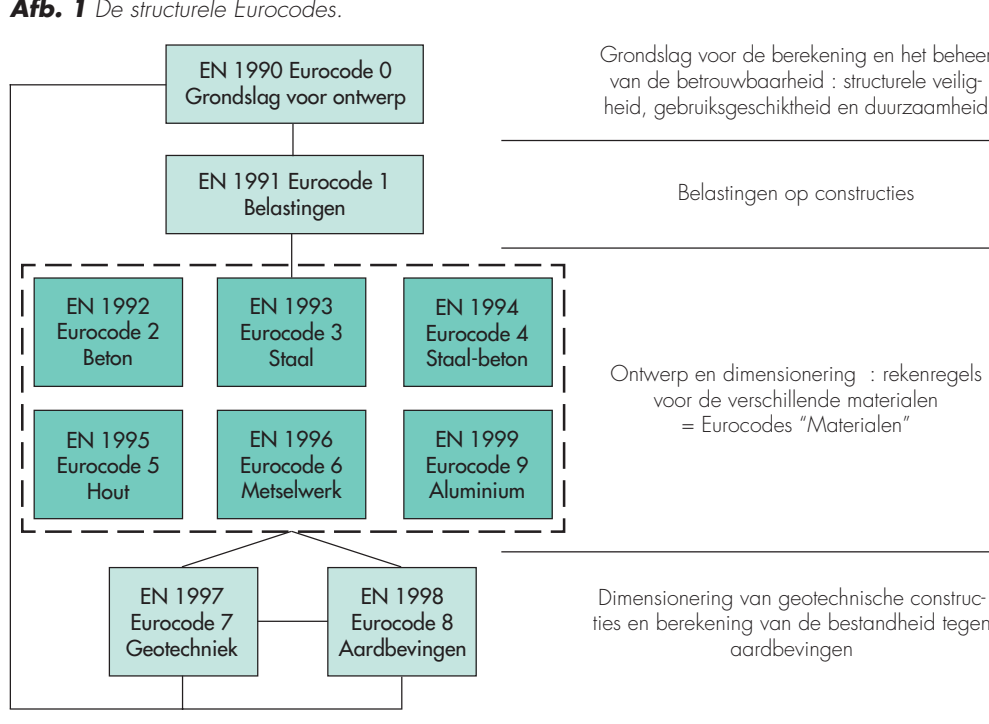
hanger van de Belgische norm NBN B 03-001 [1] en zal deze in de toekomst waarschijnlijk definitief vervangen.

2.2 GRONDSLAG VAN EUROCODE 0

Vanuit een historisch oogpunt was het ontwerp van constructies gebaseerd op een deterministische benadering die tot doel had een zekere veiligheid te waarborgen. Bij de laatste aanpassingen van de rekenregels werd echter de voorkeur gegeven aan een semi-probabilistische benadering.

Bij de controle van de structurele veiligheid en de gebruiksgeschiktheid van een constructie met een semi-probabilistische benadering wordt nagegaan of de constructie een aantal grenstoestanden, waarboven ze niet meer voldoet aan de gedragseisen van het project, niet overschrijdt. De Eurocodes maken een onderscheid tussen de uiterste grenstoestanden (UGT) en de gebruiksgrenstoestanden (GGT). De eisen met betrekking tot de duurzaamheid van de constructie zijn verschillend, afhankelijk van de beschouwde grenstoestand. Dit leidt tot het gebruik van verschillende belastingscombinaties.

Afb. 1 De structurele Eurocodes.



(*) De norm ISO 13822 [15] kan echter samen met Eurocode 0 gebruikt worden voor de uitvoering van dit type berekeningen.

2.2.1 BEHEER VAN DE BETROUWBAARHEID EN CLASSIFICATIE VAN CONSTRUCTIES

Deel 2 van Eurocode 0 vermeldt de eisen waaraan alle constructies moeten beantwoorden; deze komen overeen met de zogenaamde “fundamentele voorschriften” (FV), die vastgelegd zijn in de “Bouwproductenrichtlijn” (BPR) (*) :

- ◆ FV 1 : “Mechanische weerstand en stabiliteit”
- ◆ FV 2 : “Brandveiligheid”
- ◆ FV 3 : “Hygiëne, gezondheid en milieu”
- ◆ FV 4 : “Gebruiksveiligheid”
- ◆ FV 5 : “Geluidshinder”
- ◆ FV 6 : “Energiebesparing en warmtebehoud”.

De Eurocodes behandelen vooral de FV 1 en 2 (voor FV 2 wordt enkel het aspect m.b.t. de “stabiliteit van de dragende elementen die gedurende een bepaalde tijd verzekerd moet zijn” besproken). FV 4 “Gebruiksveiligheid”, in verband met de stabiliteit en de mechanische weerstand, komt eveneens, maar in mindere mate, aan bod in de Eurocodes.

We willen erop wijzen dat de Bouwproductenrichtlijn het voor ontwerpers mogelijk maakt de Eurocodes te gebruiken om de dimensionering van constructie-elementen te valideren. Daarnaast laat ze doorschemeren dat deze Eurocodes ook van nut kunnen zijn voor de CE-markering (stalen profielen, geprefabriceerde betonnen balken, houten elementen, ...).

Afb. 2 De veiligheidsfactoren kunnen verminderd worden door een betere controle op de uitvoering.



In dit artikel gaan we dieper in op de manier waarop Eurocode 0 en de andere Eurocodes het mogelijk maken aan deze eisen te voldoen.

Zoals hiervoor reeds vermeld, zijn de Eurocodes gebaseerd op zogenaamde semi-probabilistische rekenmethoden. Aangezien de Belgische norm NBN B 03-001 ook zulke methoden toepast, is dit dus niets (werkelijk) nieuws. In de Belgische norm werd een onderscheid gemaakt tussen een verminderde, een gewone en een verhoogde veiligheid. In Eurocode 0 spreekt men respectievelijk over een zwakke, middelmatige en zware gevolgklasse.

Deze classificatie in drie gevolgklassen (CC – *Consequence Classes*) (**) wordt voorgesteld in tabel 1 (p. 36). Ze is gebaseerd op de gevolgen in termen van mensenlevens of de gevolgen op economisch, sociaal of milieuvlak.

Aan deze gevolgklassen zijn betrouwbaarheidsklassen verbonden (RC – *Reliability Class*), waarvoor minimale betrouwbaarheidsindexwaarden aanbevolen zijn. De betrouwbaarheidsindex (β) geeft de gecumuleerde waarde weer van het risico op gebreken (verminderde normaalwet) van de constructie of van een deel ervan. Het principe van de Eurocodes berust op de opstelling van belastingscombinaties en een berekening van de weerstand om een minimale streefbetrouwbaarheid te waarborgen, waarbij het risico op scheuren van een element of een volledige constructie verwaarloosbaar is (***).

In de praktijk past men partiële veiligheidscoëfficiënten toe op de belastingen en op de weerstanden die gegeven zijn in Eurocode 0 (Bijlage A1) en in de Europese normen EN 1991 tot 1999. Deze voldoen normaalgesproken aan een betrouwbaarheidsklasse RC2 (d.i. de betrouwbaarheidsklasse die verbonden is met de gevolgklasse CC2 en die het vaakst voorkomt). Ze zijn gebaseerd op een semi-probabilistische analyse van de voorkomende belastingen en weerstanden (zie § 2.2.2).

De betrouwbaarheid van een constructie is afhankelijk van het ontwerp, maar ook van de controle op dit ontwerp (DSL – *Design Supervision Levels*) en de inspectieniveaus tijdens de uitvoering (IL – *Inspection Levels*). Deze zijn verbonden met de hiervoor vermelde betrouwbaarheidsklassen (RC).

(*) Construction Products Directive (CPD 89/106/CEE) : de Nederlandse tekst is beschikbaar op het Internet, op het volgende adres : http://europa.eu.int/eur-lex/nl/consleg/pdf/1989/nl_1989L0106_do_001.pdf

(**) Bij gebreken of bij een slechte werking van de constructie.

(***) Een kans op 200000, over een referentieperiode van 50 jaar.

Tabel 1 Gevolgklassen volgens Eurocode 0.

OVEREENSTEMMING MET NBN B 03-001	GEVOLGKLASSE	BESCHRIJVING	VOORBEELDEN VAN GEBOUWEN EN CONSTRUCTIES
Verhoogde veiligheid	CC3	Zware gevolgen in termen van verlies van mensenlevens, of erg zware gevolgen op economisch, sociaal of milieuvlak	Tribunes, openbare gebouwen, waar gebreken zware gevolgen kunnen hebben (bv. concertzalen)
Gewone veiligheid	CC2	Middelmatige gevolgen in termen van verlies van mensenlevens, of aanzienlijke gevolgen op economisch, sociaal of milieuvlak	Residentiële of openbare gebouwen en kantoorgebouwen, waar gebreken middelmatige gevolgen kunnen hebben (bv. kantoorgebouwen)
Verminderde veiligheid	CC1	Zwakke gevolgen in termen van verlies van mensenlevens, of verwaarloosbare gevolgen op economisch, sociaal of milieuvlak	Agrarische gebouwen, waartoe de mensen normaal geen toegang hebben (bv. opslagruimten), serres

Zo is de minimale eis die geassocieerd is met een inspectieniveau IL1 tijdens de uitvoering (verbonden met de klasse RC1) een controle door de persoon die de werken uitgevoerd heeft. Bij het niveau IL3 wordt daarentegen een controle door een buitenstaander aanbevolen (die geen deel uitmaakt van de firma die de werken uitvoert).

Voor de bepaling van de uitvoeringscontroles kan men criteria opstellen die niet enkel van toepassing zijn op de controle van de bouwwerken, maar ook op de controle van de producten. Aangezien deze laatste kunnen verschillen van een constructiemateriaal tot een ander, zouden hierover meer aanwijzingen moeten gegeven worden in de uitvoeringsnormen waarnaar de Europese normen EN 1992 tot EN 1996 en EN 1999 verwijzen, evenals in de normen betreffende kwaliteitsbeheer (bijvoorbeeld norm ISO 9001). De partiële veiligheidscoëfficiënt op een materiaal uit een constructie-element zal bijvoorbeeld kunnen verminderd worden, indien een inspectieniveau, hoger dan het normaal voorziene niveau (bv. IL2 voor RC2/CC2), toegepast wordt.

Zoals hierna besproken, maken de procedures voor de kwaliteitscontrole op de positionering van de wapening op de bouwplaats (maar ook in de fabriek bij prefabricage) het volgens de Belgische norm NBN ENV 13670-1 [8] eveneens mogelijk de veiligheidscoëfficiënten te verminderen.

2.2.2 SEMI-PROBABILISTISCHE BENADERING VAN DE STRUCTURELE VEILIGHEID/CONTROLE VAN DE GRENSTOESTANDEN MET DE PARTIËLE COËFFICIËNTENMETHODE

Eurocode 0 volgt de semi-probabilistische benadering en beveelt het gebruik van de *partiële-coëfficiëntenmethode* aan voor de controle van de grenstoestanden. Deze methode werd oorspronkelijk ontwikkeld voor betonconstructies. Ze is gebaseerd op een semi-probabilistische benadering die bestaat in de toepassing van *partiële veiligheidscoëfficiënten* op bepaalde parameters. De bedoeling is verschillende onzekerheden en onnauwkeurigheden, die eigen zijn aan het ontwerp van constructies, in rekening te brengen.

Afb. 3 Wapeningen op de bouwplaats.



Deze veiligheidscoëfficiënten werden bepaald uitgaande van een statistische studie en maken het mogelijk een index $\beta = 3,8$ te bereiken voor een betrouwbaarheidsklasse RC2, over een referentieperiode van 50 jaar. De partiële veiligheidscoëfficiënten worden toegepast om volgende onzekerheden in rekening te brengen :

- ◆ de waarde van de *belastingen* (indien de belastingen anders zijn dan verwacht, ...) door een coëfficiënt γ_f
- ◆ het rekenmodel van de *effecten* van deze belastingen (momenten, interne krachten, ... indien de belasting niet precies inwerkt op de verwachte plaats) door een coëfficiënt γ_{sd}
- ◆ de waarde van de eigenschappen van de materialen (weerstand, vervormbaarheid, ...) door een coëfficiënt γ_m
- ◆ de *onzekerheden m.b.t. het weerstandsmodel* (gescheurd beton, terwijl dit idealiter niet-gescheurd is, ...) en de geometrische afwijkingen (afmetingen van de doorsneden en positionering van de wapening) door een coëfficiënt γ_{rd} .

Ter vereenvoudiging (*) hebben we het aantal coëfficiënten tot twee herleid : γ_F en γ_M . Zo komen we tot :

$$\begin{aligned} \text{BELASTING} : \gamma_F &= \gamma_{sd} \cdot \gamma_f \\ \text{WEERSTAND} : \gamma_M &= \gamma_{rd} \cdot \gamma_m \end{aligned}$$

2.2.3 GRENSTOESTANDEN

Zoals hiervoor reeds vermeld, maakt Eurocode 0 een onderscheid tussen twee grenstoestanden waaraan voldaan moet worden voor de berekening van alle constructies.

De uiterste grenstoestanden (UGT) betreffen de *veiligheid van personen en/of de veiligheid van de constructie* (instorting, ...). Dit begrip komt doorgaans overeen met het maximale draagvermogen van een constructie of een constructie-element. De overdreven vervormingen, die kunnen leiden tot structurele gebreken tengevolge van een mechanische instabiliteit, worden eveneens tot de uiterste grenstoestanden gerekend (bv. knik).

De gebruiksgrenstoestanden (GGT) betreffen de *goede werking van de constructie* of van de constructie-elementen, het comfort van de personen en het uitzicht van de constructie (scheurvorming, overmatige vervorming, ...).

Afb. 4 Gescheurd beton.



In beide gevallen (UGT of GGT) dient men E_d te berekenen. Dit is de rekenwaarde voor het effect van de belastingen (interne kracht, moment, ...) op een constructie-element of op de volledige constructie. Zoals hierna uitgelegd, werd deze waarde berekend uitgaande van een belastingscombinatie, afhankelijk van de beschouwde grenstoestand.

2.2.3.1 Uiterste grenstoestanden (UGT)

Om aan de uiterste grenstoestanden van een constructie of een constructie-element te voldoen, dient men de volgende criteria te controleren voor een *blijvende/tijdelijke* en *toevallige of seismische* ontwerpsituatie (de controle betreft in het laatste geval enkel de weerstand) :

- ◆ controle van het *statische evenwicht* (grenstoestand van het statische evenwicht – “EQU”)
- ◆ controle van de *weerstand* (grenstoestand van de weerstand – “STR/GEO”) met behulp van de vergelijking :

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

waarbij :

- E_d de rekenwaarde van het effect van de belastingen is, zoals bijvoorbeeld een interne kracht, een moment of een vector die verschillende interne krachten of momenten voorstelt
- R_d de rekenwaarde van de overeenkomstige weerstand voorstelt
- ◆ controle van de *weerstand tegen vermoeiing* (FAT) : hiertoe verwijst Eurocode 0 naar de Europese normen EN 1992 tot EN 1999 (grenstoestanden bij vermoeiing).

(*) Bij geotechnische belastingen gebruikt men echter alle partiële veiligheidscoëfficiënten. Zie EC7 [12].

2.2.3.2 Gebruiksgrenstoestanden (GGT)

Bij gebruiksgrenstoestanden moet men een onderscheid maken tussen deze die omkeerbaar (trilling van een constructie door de windwerking, bepaalde vervormingen, ...) en deze die onomkeerbaar (scheuren in beton bijvoorbeeld) zijn. De te beschouwen belastingscombinaties zijn immers verschillend, afhankelijk van het type grenstoestand (zie § 2.2.3.5), aangezien de gevolgen van een overschrijding van de grenstoestanden niet identiek zijn.

De criteria voor de dimensionering in de gebruiksgrenstoestanden worden *gebruiksgeschiktheidscriteria* genoemd. De controle op deze criteria wordt uitgedrukt met behulp van de volgende formule :

$$E_d \leq C_d \quad (2)$$

waarbij :

- ◆ E_d de rekenwaarde van de effecten van de belastingen is, zoals gedefinieerd in het gebruiksgeschiktheids criterium C_d (doorbuiging, ...). Deze wordt bepaald aan de hand van de geschikte combinatie (zie § 2.2.3.5)
- ◆ C_d de grensrekenwaarde van de gebruiksgeschiktheidscriteria is.

Doorgaans worden de gebruiksgeschiktheids-eisen voor elk afzonderlijk project bepaald. In het stadium van de ontwerpnormen (ENV) gaven de Eurocodes voor de verschillende materialen de te controleren gebruiksgeschiktheids-criteria op, afhankelijk van het type constructiemateriaal. In het stadium van definitieve normen (EN) vermelden ze eveneens aanbevolen waarden. De criteria kunnen echter ook bepaald worden met behulp van Eurocode 0 en zijn overeenkomstige Nationale Bijlage (ANB), onafhankelijk van het gebruikte materiaal, wat uiteindelijk logisch is. In de Belgische context werd in het ontwerp van Nationale Bijlage beslist te verwijzen naar de gloednieuwe norm NBN B 03-003 [2]. Deze bepaalt de criteria (C_d) voor de volgende effecten (E_d) :

- ◆ de doorbuiging
- ◆ de scheuropening (*)
- ◆ de trillingsfrequentie.

2.2.3.3 Belastingen

De belastingen (F) worden afhankelijk van hun variatie in de tijd ingedeeld :

- ◆ blijvende (permanente) belastingen (G) : eigengewicht, vaste uitrusting, onrechtstreekse belastingen tengevolge van de krimp, ...
- ◆ veranderlijke (variabele) belastingen (Q) : gebruiksbelastingen in gebouwen, op daken, wind- en sneeuwbelasting, ...
- ◆ toevallige (accidentele) belastingen (A) : ontploffingen, schokken, ...

De in de Eurocodes beschouwde belastingen zijn karakteristieke waarden (F_k) die doorgaans overeenstemmen met de waarde die met een waarschijnlijkheid van 95 % zal voorkomen tijdens de referentieduur (§ 1.5). Het gaat dus om een grenswaarde die, statistisch gezien, slechts in 5 % van de gevallen zal overschreden worden in de referentieperiode (**).

De klimatologische belastingen zijn gebaseerd op karakteristieke waarden, die steunen op een waarschijnlijkheid van voorkomen van 0,02 % over een referentieperiode van 1 jaar. Dit stemt overeen met een gemiddelde terugkeerperiode (***) van 50 jaar.

De rekenwaarde voor het effect E_d van een specifieke belastingscombinatie F_i wordt dus uitgedrukt door de volgende vergelijking :

$$E_d = E\{\gamma_{F,i} \cdot F_{rep,i}; a_d\} \quad (3)$$

Afb. 5 Opwelling en scheurvorming van beton.



(*) Dit criterium wordt echter niet besproken in de Belgische norm NBN B 03-003. Eurocode 2 [3,11] voor betonconstructies en Eurocode 4 voor gemengde constructies bevatten meer informatie hierover.

(**) De belastingen op de gebouwen moeten bepaald worden overeenkomstig Eurocode 1 [6].

(***) Gemiddelde tijdsduur die verloopt tussen twee identieke verschijnselen.

waarbij :

- ◆ $\gamma_{F,i}$ de partiële veiligheidscoëfficiënt op de belasting vormt
- ◆ $F_{rep,i}$ de representatieve waarde van de belasting is
- ◆ a_d de rekenwaarde van de geometrische gegevens is.

De waarde van de belastingen moet bepaald worden volgens Eurocode 1 [6]. In het specifieke geval van geotechnische belastingen is de methode ietwat verschillend. Voor meer informatie hierover verwijzen we naar een artikel dat verscheen in een vorige editie van het WTCB-Tijdschrift [16].

2.2.3.4 Weerstand

Het gebruik van partiële veiligheidscoëfficiënten om de onzekerheden in het domein van de weerstand R_d in rekening te brengen, leidt tot de volgende vereenvoudigde vergelijking :

$$R_d = R \left\{ \eta_i \cdot \frac{X_{k,i}}{\gamma_{M,i}} ; a_d \right\} \quad (4)$$

waarbij :

- ◆ $X_{k,i}$ de karakteristieke waarde van een materiaaleigenschap voorstelt
- ◆ η_i een omzettingcoëfficiënt voorstelt, die rekening houdt met een weerstandsverschil door de vochtigheid of de temperatuur, met de volume- of schaaffecten en met de effecten van de belastingsduur
- ◆ $\gamma_{M,i}$ een veiligheidscoëfficiënt op het materiaal voorstelt (bepaald door elke materiaalgebonden Eurocode. Deze coëfficiënt is voorgesteld in tabel 2 voor de verschillende constructiematerialen)
- ◆ a_d de rekenwaarde voor de geometrische gegevens voorstelt.

De eigenschappen van de materialen worden dus eveneens uitgedrukt door het begrip karakteristieke waarde X_k . Deze wordt ofwel gedefinieerd als het 5 %-fractiel ofwel als het 95 %-fractiel, naargelang het de lage of de hoge waarde van de eigenschap is die ongunstig is voor de berekening in de grenstoestand.

De waarde van de coëfficiënt γ_M stelt de te treffen veiligheidsmaatregelen voor ten opzichte van een materiaal waarvan de mechanische eigenschappen al dan niet goed gekend zijn (door middel van zijn statistische verde-

ling). Naarmate de waarden van de materiaal-eigenschappen meer van het gemiddelde afwijken, zullen de te treffen veiligheidsmaatregelen voor de betreffende eigenschap strenger moeten zijn. De eigenschappen van staal schommelen bijvoorbeeld veel minder dan deze van beton. Als men de terminologie gebruikt die gegeven wordt door de vergelijking (4) voor de berekening van de weerstand van gewapend beton, verkrijgt men :

- ◆ R_d = de rekenwaarde voor de weerstand (bijvoorbeeld weerstandbiedend buigmoment) van een balk uit gewapend beton (beton = materiaal 1, staal = materiaal 2)
- ◆ $\gamma_{M,1} = \gamma_c = 1,50$ voor beton
- ◆ $\gamma_{M,2} = \gamma_s = 1,15$ voor staal.

We stellen vast dat de veiligheidscoëfficiënt voor beton (γ_c) hoger is dan deze voor staal, tengevolge van de grotere variatie van de betonsterkte ten opzichte van de staalsterkte. Dit is voornamelijk te wijten aan de grotere heterogeniteit van het materiaal beton.

De factor η is erg belangrijk voor materialen zoals hout (*), waarbij de verschillende mechanische karakteristieken zeer gevoelig zijn voor de relatieve omgevingsvochtigheid en de duur van de belasting. Voor beton gebruikt men een η -factor ter waarde van 0,85 om het weerstandsverlies op lange termijn in rekening te brengen.

Het is ook interessant om weten dat de factoren $\gamma_{M,i}$ soms kunnen verminderd worden, afhankelijk van het materiaaltyp. Zo kan een vermindering (in dit geval voor betonconstructies *in situ*) (***) bijvoorbeeld gebaseerd zijn op :

- ◆ de controle van de kwaliteit en van de verminderde toleranties op het niveau van de geometrie van de doorsnede en de positionering van de wapening
- ◆ het gebruik van verminderde of (*in situ*) gemeten geometrische parameters in de berekening
- ◆ de beoordeling van de betonsterkte in de constructie (***)

De waarden $\gamma_c = 1,1$ en $\gamma_c = 1,4$ (in plaats van 1,15 en 1,5 bij gebrek aan andere waarden) kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden, indien de variatiecoëfficiënt van de druksterkte van beton kleiner is dan 10 % (zie Bijlage A van prEN 1992-1-1) [11]. Voor geprefabriceerde producten kan men dezelfde gedachtengang

(*) In dit specifieke geval neemt η de k_{mod} -waarde aan voor de UGT en de k_{def} -waarde voor de GGT. Zie EC5 [7].

(**) Zie prEN 1992-1-1 – Bijlage A i.v.m. de wijziging van de partiële factoren voor materialen [11].

(***) Hiervoor verwijzen we naar de Europese ontwerpnorm prEN 13670 en de Europese norm EN 206 voor beton.

volgen. Voor meer informatie kan de lezer gebruik maken van de product- en uitvoeringsnormen (EN 13369 voor geprefabriceerde betonelementen en ENV 13670-1 voor ter plaatse gestort beton). Hierin komen ook de mogelijke voordelen van een totaalbeheer van het project tot uiting, vanaf het ontwerp tot de controle van de uitgevoerde constructie.

We willen er eveneens op wijzen dat deze factoren kunnen verschillen, afhankelijk van de beschouwde rekensituatie (bij een toevallige situatie is $\gamma_{M,i}$ voor beton bijvoorbeeld gelijk aan 1,2) [11].

2.2.3.5 Te beschouwen belastingscombinaties voor de berekening van de grenstoestanden

Om een controle uit te voeren met behulp van de partiële-coëfficiëntenmethode, is het eveneens nodig de te beschouwen belastingscombinaties ter berekening van E_d (rekenwaarde van de effecten van de belastingen), die voorkomt in de grenstoestandvergelijkingen, te bepalen. Deel 6 van Eurocode 0 definieert de te beschouwen combinaties, afhankelijk van de grenstoestand en de project-situatie, op basis van de waarden van de partiële veiligheidscoëfficiënten γ_p , van de te beschouwen veranderlijke belastingen en de waarden van de ψ -coëfficiënten (*), die gegeven worden in de normatieve Bijlage A.1. Het merendeel van deze waarden zijn gedefinieerd als NDP en moeten dus door elke Lidstaat bepaald worden in een ANB bij Eurocode 0 (zie § 1). Deze waarden zijn opgenomen in tabel 3 voor de begeleidende waarden van de veranderlijke belasting (ψ), evenals in tabel 4

voor de waarden van de veiligheidscoëfficiënten op de belastingen (γ_G, ξ).

Opmerking

In de volgende vergelijkingen die de verschillende belastingscombinaties voorstellen, betekent het "+"-teken "moet gecombineerd worden met" en betekent het "Σ"-teken "het gecombineerde effect van".

A. BELASTINGSCOMBINATIES IN DE UGT

□ Blijvende of veranderlijke projectsituaties – Fundamentele combinaties

Voor de grenstoestanden STR/GEO drukt Eurocode 0 (vergelijking 6.10 uit Eurocode 0) de te gebruiken combinatie uit met behulp van de volgende formule :

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (5)$$

De controle kan echter ook gebeuren (vergelijkingen 6.10a en 6.10b uit Eurocode 0) door gebruik te maken van de ongunstigste van de volgende twee combinaties :

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.1)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.2)$$

waarbij :

- ◆ $\gamma_{G,j}$ een veiligheidscoëfficiënt op de blijvende belasting j is
- ◆ γ_P een veiligheidscoëfficiënt op de voorspanningsbelasting is
- ◆ $\gamma_{Q,i}$ een veiligheidscoëfficiënt op de voornaamste veranderlijke belasting is

Tabel 2 $\gamma_{M,i}$ -waarden van constructiematerialen, overgenomen uit de Eurocodes.

UGT – BLIJVENDE/VERANDERLIJKE SITUATIE	REF.	$\gamma_{M,i}^{(1)}$
Gewapend beton	[EC2]	1,5
Staal voor gewapend of voorgespannen beton	[EC2]	1,15
Constructiestaal	[EC3]	1,1
Massief hout	[EC5]	1,3
Metselwerk	[EC6]	1,5 tot 3 ⁽²⁾
Aluminium	[EC9]	1,1
Verbindingselementen voor constructies uit staal-beton (gelaste bouten)	[EC4]	1,25
Verbindingselementen voor hout	[EC5]	1,1
(1) Waarden van de veiligheidscoëfficiënt op de weerstand in de UGT.		
(2) Afhankelijk van de categorie van het metselwerk.		

(*) Factoren voor de berekening van de begeleidende waarde van een veranderlijke belasting.

- ◆ $\gamma_{Q,i}$ een veiligheidscoëfficiënt op de veranderlijke belasting i is
- ◆ ξ_j een verminderingsfactor op de blijvende belasting j is
- ◆ $G_{k,j}$ de karakteristieke waarde van de blijvende belasting j voorstelt
- ◆ $Q_{k,l}$ de karakteristieke waarde van de voornaamste veranderlijke belasting voorstelt
- ◆ $Q_{k,i}$ de karakteristieke waarde van de veranderlijke belasting i voorstelt
- ◆ P de representatieve waarde van de voorspanningsbelasting voorstelt
- ◆ $\psi_{0,i}$ een factor voor de waarde van de combinatie van de veranderlijke belasting i vormt.

De keuze tussen de twee methodes (vergelijking 6.1 of vergelijking 6.2) zou op het niveau van de ANB kunnen beperkt worden (bv. slechts één keuze mogelijk). Dit alternatief voor de in België traditioneel gebruikte combinatie (vergelijking 6.1) komt voornamelijk uit de Scandinavische landen, die reeds bij het begin van de ontwikkeling van de Eurocodes ervoor gekozen hebben de algemene combinatie van het semi-probabilistische model te behouden en niet het vereenvoudigde model, gegeven in vergelijking 6.10. Zowel de toepassing van de eerste als van de tweede methode maakt het mogelijk te waarborgen dat de constructie ten minste, en op equivalente wijze, beantwoordt aan een betrouwbaarheidsklasse RC2 (zie § 2.2.1). Met de vergelijkingen 6.10a en 6.10b kan men een betrouwbaarheidsniveau (β) bereiken dat onafhankelijker is van het gebruikte constructiemateriaal (onrechtstreeks weergegeven door de waarde $\chi = Q_k / [G_k + Q_k]$). Het staat vast dat de vergelijking (5) leidt tot β -waarden die afhankelijker zijn van χ dan de vergelijkingen uit (6). Het gebruik van vergelijking 6.10b veronderstelt echter een perfecte statistische kennis van de aanwezige blijvende belastingen om de veiligheidsfactoren die ermee verbonden zijn in rekening te kunnen brengen ($\gamma_G \Rightarrow \xi \cdot \gamma_G = 0,85 \cdot 1,5 \cong 1,28$ in plaats van 1,35 in de UGT).

Indien men vergelijking 6.10b gebruikt, moet men eveneens vergelijking 6.10a controleren en de ongunstigste combinatie kiezen. Hieromtrent bestaan verschillende discussiepunten in de betrokken BIN-commissie. Het definitieve advies zou vóór het einde van 2003 moeten gegeven worden in de Nationale Bijlage van Eurocode 0.

Voor een meer uitgebreide benadering van deze vraag verwijzen we naar de "Designers' Guide to EN 1990" [13] en naar een rapport dat opgesteld werd door verschillende specialisten en

Afb. 6 Sneeuwbelasting : een parameter die in elke afzonderlijke Lidstaat moet bepaald worden.



nagekeken werd door onafhankelijke experts (het is consulteerbaar op de volgende website : <http://www.cembureau.be/Concreteissues.htm>).

□ Toevallige projectsituaties

We beschouwen de volgende formule :

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (7)$$

waarbij :

- ◆ $\psi_{1,1}$ een factor voor de frequente waarde van de voornaamste veranderlijke belasting vormt
- ◆ $\psi_{2,i}$ een factor voor de quasi-blijvende waarde van de veranderlijke belasting i vormt
- ◆ A_d de rekenwaarde van de toevallige belasting voorstelt.

De partiële belastingscoëfficiënten γ_F zijn gelijk aan 1, tenzij een andere waarde opgegeven wordt in de Europese normen EN 1991 tot EN 1999.

De belastingscombinaties houden een expliciete toevallige belasting A_d in (bijvoorbeeld in het geval van een schok), maar kunnen ook betrekking hebben op een situatie die het gevolg is van een toevallige oorzaak. In dit geval is $A_d = 0$.

□ Seismische projectsituaties

We beschouwen de volgende formule :

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (8)$$

waarbij A_{Ed} de rekenwaarde van de seismische belasting voorstelt.

B. BELASTINGSCOMBINATIES IN DE GGT

In tegenstelling tot de UGT zijn de gebruiksgrenstoelstanden niet geassocieerd met een projectsituatie. Ze zijn veeleer verbonden met gevolgen : onomkeerbare situaties, omkeerbare situaties en omkeerbare situaties met een invloed op het uitzicht en de duurzaamheid op lange termijn. Daarom worden de belastingscombinaties voor de GGT als volgt uitgedrukt :

- ◆ karakteristieke combinatie, ook zeldzame combinatie genoemd : deze wordt doorgaans gebruikt voor onomkeerbare GGT :

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (9)$$

- ◆ frequente combinatie : deze wordt normaalgesproken gebruikt voor omkeerbare GGT :

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (10)$$

- ◆ quasi-blijvende combinatie : deze wordt gebruikt voor omkeerbare gebruiksgrenstoelstanden die een belangrijke invloed hebben op het uitzicht en de duurzaamheid van de constructie op lange termijn :

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (11)$$

Voor de controle van de aanvaardbare doorbuiging van vloerelementen, die aan de onderkant bepleisterd zijn (scheursterkte, afschilfering, ...), stelt de Belgische norm NBN B 03-003 de waarde $C_d = \ell/350$ (*) voorop, waarbij ℓ de afstand tussen de steunpunten van de vloer is. Deze waarde is geassocieerd met de zeldzame combinatie uit Eurocode 0. Wat het visuele comfort betreft, wordt echter een geschiktheids criterium $C_d = \ell/300$ (**) opgegeven, terwijl de combinatie voor de berekening van het effect E_d de frequente combinatie is.

Eurocode 0 voegt nog toe dat de waarde van de partiële coëfficiënten γ_M op de materialen eveneens gelijk moet zijn aan 1, tenzij de volgende Eurocodes andere waarden vermelden.

BESLUIT

Eurocode 0 geeft een overzicht van de regels die dienen gerespecteerd te worden bij de berekening van een constructie volgens de semi-probabilistische benadering. Deze norm beschrijft in detail de stappen die men moet volgen voor de dimensionering met een betrouwbaarheid die het mogelijk maakt het risico op scheurvorming te beperken, voornamelijk door de controle bij uiterste grenstoelstanden (UGT) en bij gebruiksgrenstoelstanden (GGT). Dit gebeurt met de partiële-coëfficiëntenmethode, die een specifieke veiligheidscoëfficiënt toekent aan de belastingen en de weerstand. Deze veiligheidscoëfficiënten maken het mogelijk rekening te houden met de verschillende onzekerheden tengevolge van de onvolledige kennis van de ontwerper betreffende de belastingen die zullen inwerken op de constructie en de weerstand van de verschillende materialen die gebruikt zullen worden.

De grondbeginselen van Eurocode 0 zijn niet nieuw. De in dit document voorgestelde rekenmethode lijkt sterkt op deze die gebruikt wordt in de Belgische norm NBN B 03-001 en die hij in de nabije toekomst zal vervangen. Alle personen waarvoor dit document van belang is – en dit zijn er erg veel – dienen dus aan de nieuwe tekst, terminologie en concepten te wennen, opdat ze meester zouden blijven van hun project, vanaf het ontwerp tot zijn uitvoering, en dit rekening houdend met de kosten. ■

(*) Op de doorbuiging $w_b + w_c$, d.w.z. de uiteindelijke totale doorbuiging (ogenblikkelijke doorbuiging van het dragende element).

(**) Op de uiteindelijke totale doorbuiging w_{abc} , zoals gedefinieerd in de Belgische norm NBN B 03-003.

Tabel 3 ψ -coëfficiënten, overgenomen uit de norm NBN EN 1990 en uit het ontwerp van ANB [5].

BELASTINGEN	ψ_0	ψ_0	ψ_0
Belastingen bij gebruik van het gebouw (zie EN 1991-1-1)			
– Categorie A : woningen, residentiële zones	0,7	0,5	0,3
– Categorie B : kantoren	0,7	0,5	0,3
– Categorie C : vergaderzalen	0,7	0,7	0,6
– Categorie D : winkels	0,7	0,7	0,6
– Categorie E : opslagruimten	1	0,9	0,8
– Categorie F : verkeerszone, voertuigen met een gewicht ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
– Categorie G : verkeerszone, voertuigen met een gewicht > 30 kN en ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
– Categorie H : daken	0	0	0
Sneeuwbelastingen op gebouwen (zie EN 1991-1-3)	0,5 ⁽¹⁾	0	0
Windbelastingen op gebouwen (zie EN 1991-1-4)	0,6 ⁽¹⁾	0,2	0
Temperatuur (niet bij brand) in de gebouwen (zie EN 1991-1-5)	0,6 ⁽¹⁾	0,5	0
Bijzondere belastingen tijdens de uitvoering ⁽²⁾	1	–	0,2
⁽¹⁾ $\psi_0 = 0,3$ voor een veranderlijke belasting van korte duur (< 1 maand) die gepaard gaat met een andere veranderlijke belasting van korte duur (ANB).			
⁽²⁾ De ψ -factoren moeten, indien nodig, geval per geval bepaald worden (zie EN 1991-1-6)			

Tabel 4 γ en ξ -coëfficiënten voor de belastingscombinaties in de grenstoestanden, volgens NBN EN 1990 en uit het ontwerp van ANB [5].

UITERSTE GRENSTOESTANDEN (UGT)			BLIJVENDE BELASTINGEN		VOORNAAMSTE VERANDERLIJKE, TOEVALLIGE OF SEISMISCHE BELASTING	VERANDERLIJKE BEGELEIDENDE BELASTINGEN ⁽⁴⁾	
			<i>Ongunstig</i>	<i>Gunstig</i>		<i>Voornaamste (eventueel)</i>	<i>Andere</i>
Projectsituatie	Vergelijking	$\gamma_{G_i, sup} G_{k_i, sup}$	$\gamma_{G_i, inf} G_{k_i, inf}$	$(\gamma_{Q,1} Q_{k,1})$	$\gamma_{Q,i} \psi_{x,i} Q_{k,i}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{x,i} Q_{k,i}$	
<i>Blijvend / tijdelijk</i> ⁽¹⁾	Set A EQU ⁽²⁾	(Verg. 6.10)	$1,10 G_{k_i, sup}$ ⁽²⁾	$0,90 G_{k_i, inf}$ ⁽²⁾	$1,50 Q_{k,1}$	$1,50 \psi_{0,i} Q_{k,i}$	
	Set B STR/GEO	(Verg. 6.10)	$1,35 G_{k_i, sup}$	$1,00 G_{k_i, inf}$	$1,50 Q_{k,1}$	$1,50 \psi_{0,i} Q_{k,i}$	
		(Verg. 6.10a)	$1,35 G_{k_i, sup}$	$1,00 G_{k_i, inf}$	$1,50 \psi_{0,i} Q_{k,i}$	$1,50 \psi_{0,i} Q_{k,i}$	
	(Verg. 6.10b)	$1,15 G_{k_i, sup}$ ⁽³⁾	$1,00 G_{k_i, inf}$	$1,50 Q_{k,1}$	$1,50 \psi_{0,i} Q_{k,i}$		
Set C STR/GEO	(Verg. 6.10)	$1,00 G_{k_i, sup}$	$1,00 G_{k_i, inf}$	$1,10 Q_{k,1}$	$1,10 \psi_{0,i} Q_{k,i}$		
<i>Toevallig</i>	(Verg. 6.11a/b)	$1,00 G_{k_i, sup}$	$1,00 G_{k_i, inf}$	A_d	$1,00 \psi_{1,1} Q_{k,1}$	$1,00 \psi_{2,i} Q_{k,i}$	
<i>Seismisch</i>	(Verg. 6.12a/b)	$1,00 G_{k_i, sup}$	$1,00 G_{k_i, inf}$	$\gamma_i A_{Ek}$ of A_{Ed}		$1,00 \psi_{2,i} Q_{k,i}$	
GEBRUIKSGRENSTOESTANDEN (ELS)			BLIJVENDE BELASTINGEN			VERANDERLIJKE BELASTINGEN ⁽⁴⁾	
			<i>Ongunstig</i>	<i>Gunstig</i>		<i>Voornaamste</i>	<i>Andere</i>
<i>Combinatie</i>	Karakteristiek	(Verg. 6.14a/b)	$G_{k_i, sup}$	$G_{k_i, inf}$		$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
	Frequent	(Verg. 6.15a/b)	$G_{k_i, sup}$	$G_{k_i, inf}$		$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
	Quasi-blijvend	(Verg. 6.16a/b)	$G_{k_i, sup}$	$G_{k_i, inf}$		$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

⁽¹⁾ Opmerking 2 uit tabel A1.2 A uit de Eurocode maakt het mogelijk de grenstoestanden "EQU/STR" te controleren door te veronderstellen dat $\gamma_{G, sup} = 1,35$ en dat $\gamma_{G, inf} = 1,15$.


⁽²⁾ De keuze tussen de sets A, B of C voor de belastingscombinaties in de UGT moet gebeuren aan de hand van de gegevens uit de norm en de ANB.


⁽³⁾ Vergelijking 6.10b : een verminderingscoëfficiënt ξ wordt toegepast voor blijvende ongunstige belastingen, bijvoorbeeld : $\xi \cdot \gamma_{G, sup} = 1,15$.

⁽⁴⁾ Bij de gunstige veranderlijke belastingen moet de partiële veiligheidscoëfficiënt gelijk zijn aan 0.

Dit artikel kwam tot stand in het kader van de actie KMO Normen-Antenne "Eurocodes", opgericht binnen het WTCB met de steun van de Federale Overheidsdienst "Economie". Ze heeft tot doel informatie over de Eurocodes zo ruim mogelijk te verspreiden naar de betrokken sectoren toe en in het bijzonder naar de KMO.

Voor meer informatie hieromtrent kan u terecht op de volgende internetsite, ofwel rechtstreeks contact opnemen met het WTCB :

 02/655.77.11

 02/653.07.29

 antennes.eurocodes@bbri.be

 <http://www.normen.be/eurocodes>

LITERATUURLIJST

- 1** Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN B 03-001 Grondslagen voor de beoordeling van de veiligheid en de bruikbaarheid van draagsystemen. Brussel, BIN, 2^e editie, 1988.
- 2** Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN B 03-003 Vervormingen van draagsystemen. Vervormingsgrenswaarden. Gebouwen. Brussel, BIN, 1^e editie, 2003.
- 3** Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN B 15-002 ENV 1992-1-1 Eurocode 2 Berekening van betonconstructies. Deel 1-1 : algemene regels en regels voor gebouwen. Brussel, BIN, 1999.
- 4** Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN EN 1990 Eurocode. Grondslag voor constructief ontwerp. Brussel, BIN, 2002.
- 5** Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN EN 1990 ANB Nationale bijlage bij Eurocode 0. Brussel, BIN, ontwerp, september 2003 (Bijlage A1).
- 6** Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN EN 1991-1-1 Eurocode 1 Belastingen op constructies. Deel 1-1 : algemene belastingen. Dichtheden, eigengewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen. Brussel, BIN, 2002.
- 7** Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN ENV 1995-1-1 Eurocode 5 Ontwerp van houten draagsystemen. Deel 1-1 : algemene regels en regels voor gebouwen. Brussel, BIN, 1995.
- 8** Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN ENV 13670-1 Het vervaardigen van betonconstructies. Deel 1 : algemeen gedeelte. Brussel, BIN, 2000.
- 9** Comité euro-international du béton (*)
International System of Unified Standard Codes of Practice for Structures. Lausanne, CEB Bulletins, nr. 124 en 125, 1978.
- 10** Comité euro-international du béton (*)
Reliability of Concrete Structures. Lausanne, Final Report of Permanent Commission 1, CEB Bulletin, nr. 202, 1991.
- 11** Europees Comité voor Normalisatie
prEN 1992-1-1 Eurocode 2 Calcul des structures en béton. Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments. Brussel, CEN, Final Draft, 2003.
- 12** Europees Comité voor Normalisatie
prEN 1997-1 Geotechnical design. General rules. Brussel, CEN, doc. N 364, april 2002.
- 13** Gulvanessian H., Calgaro J-A. en Holick M.
Designer's Guide to EC0. Basis of structural design. Londen, Thomas Telford Publishing, 2002.
- 14** International Organization for Standardization
ISO 2394 General Principles on Reliability for Structures. Genève, ISO, 1998.
- 15** International Organization for Standardization
ISO 13822 Bases for Design of Structures. Assessment of Existing Structures. Genève, ISO, 2001.
- 16** Legrand C., De Vos M. en Bauduin C.
Dimensionering van geotechnische constructies : hoe bruikbaar is Eurocode 7 in de praktijk ? Brussel, WTCB-Tijdschrift, herfst 1998.
- 17** Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf
De Eurocodes. Memento 2003. Brussel, WTCB, 2003.

(*) Het Comité euro-international du béton (CEB) fuseerde in 1998 met de Fédération internationale de la précontrainte (FIP). Uit deze fusie ontstond de Fédération internationale du béton (FIB).