

# *Geregistreeerde Belgische norm*

**NBN EN 1993-1-6 NL**

2e uitg., maart 2011

**Normklasse: B 51**

## **Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-6 : Algemene regels - Sterkte en stabiliteit van schaalconstructies (+ AC:2009)**

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-6 : Résistance et stabilité des structures en coque (+ AC:2009)

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-6 : Strength and stability of shell structures (+ AC:2009)

### **Toelating tot publicatie: 23 maart 2011**

Vervangt NBN ENV 1993-1-6 (1999).

Deze Europese norm EN 1993-1-6:2007 heeft de status van een Belgische norm.

Deze Europese norm bestaat in drie officiële versies (Duits, Engels, Frans).

De Nederlandstalige versie is uitgegeven onder de verantwoordelijkheid van het NBN. Deze NBN EN 1993-1-6 NL is identiek aan de NBN EN 1993-1-6, 2e uitg., augustus 2007 en heeft dezelfde status als de officiële versies.

Hoewel de grootste zorg is besteed aan deze Nederlandstalige uitgave, kunnen fouten en onvolledigheden niet geheel worden uitgesloten. Het NBN kan dan ook niet aansprakelijk worden gesteld voor rechtstreekse en/of onrechtstreekse schade, ontstaan door of verband houdend met de toepassing van deze uitgave.

Deze norm mag in België slechts samen met zijn nationale bijlage (ANB) worden toegepast. Deze laatste legt hoofdzakelijk de waarden van de parameters vast die op nationaal vlak worden bepaald.



**Bureau voor Normalisatie - Birminghamstraat 131 - 1070 Brussel - België**

Tel: +32 2 738 01 12 - Fax: +32 2 733 42 64 - E-mail: [info@nbn.be](mailto:info@nbn.be) - NBN Online: [www.nbn.be](http://www.nbn.be)  
Bank 000-3255621-10 IBAN BE41 0003 2556 2110 BIC BPOTBEB1 BTW BE0880857592

**norme belge  
enregistrée**

**NBN EN 1993-1-6 NL**

2e éd., mars 2011

**Indice de classement: B 51**

---

**Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-6 : Résistance et stabilité des structures en coque (+ AC:2009)**

Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-6 : Algemene regels - Sterkte en stabiliteit van schaalconstructies (+ AC:2009)

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-6 : Strength and stability of shell structures (+ AC:2009)

---

**Autorisation de publication: 23 mars 2011**

Remplace NBN ENV 1993-1-6 (1999).

La présente norme européenne EN 1993-1-6:2007 a le statut d'une norme belge.

La présente norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français).

La version en néerlandais est publiée sous la responsabilité du NBN. Cette norme NBN EN 1993-1-6 NL est identique à la NBN EN 1993-1-6, 2e éd., août 2007 et a le même statut que les versions officielles.

Bien que le plus grand soin ait été apporté à la réalisation de cette édition néerlandaise, des erreurs ou omissions ne peuvent être totalement exclues. Par conséquent, le NBN décline toute responsabilité pour les dommages directs et/ou indirects dus ou liés à l'application de la présente norme.

Cette norme ne peut être utilisée en Belgique qu'en combinaison avec son annexe nationale (ANB) qui fixe principalement la valeur des paramètres à déterminer au niveau national.



**Bureau de Normalisation - Rue de Birmingham 131 - 1070 Bruxelles - Belgique**  
Tél: +32 2 738 01 12 - Fax: +32 2 733 42 64 - E-mail: info@nbn.be - NBN Online: www.nbn.be  
Banque 000-3255621-10 IBAN BE41 0003 2556 2110 BIC BPOTBEB1 TVA BE0880857592

# NATIONAAL VOORWOORD VAN NBN EN 1993-1-6:2007

1. De norm NBN EN 1993-1-6:2007 «Eurocode 3 – Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-6: Algemene regels - Sterkte en stabiliteit van schaalconstructies» omvat de nationale bijlage NBN EN 1993-1-6 ANB:2011 met een normatief karakter in België. Hij vervangt vanaf de datum van de publicatie in het Belgische Staatsblad van de bekrachtiging van de norm NBN EN 1993-1-6 ANB:2011 de volgende norm:

NBN ENV 1993-1-6:1999 Eurocode 3 – Ontwerp van stalen draagsystemen -  
Deel 1-6: Algemene regels – Aanvullende regels  
voor schalenbouw

Het corrigendum EN 1993-1-6/AC:2009, zoals door CEN gepubliceerd, is na deze norm toegevoegd.

2. De Europese normen (EN) waarnaar de tekst van deze norm met hun Engelse titel verwijst, dragen in België de volgende Nederlandstalige titels:

| Vermelde norm   | Nederlandstalige titel (NBN)  |
|---|---|
| EN 1090-2 Execution of steel structures and aluminium structures<br><br>Part 2: Technical requirements for steel structures | NBN EN 1090-2 Uitvoering van staalconstructies en aluminiumconstructies<br><br>Deel 2: Technische eisen voor staalconstructies                                  |
| EN 1990 Basis of structural design  | NBN EN 1990 Eurocode - Grondslagen van het constructief ontwerp   |
| EN 1991 Eurocode 1: Actions on structures   | NBN EN 1991 Eurocode 1 : Belastingen op constructies  |
| EN 1993 Eurocode 3 : Design of steel structures<br><br>Part 1.1: General rules and rules for buildings                      | NBN EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies<br><br>Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen                                    |
| EN 1993 Eurocode 3 : Design of steel structures<br><br>Part 1.3: Cold formed thin gauged members and sheeting               | NBN EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies<br><br>Deel 1-3: Algemene regels - Aanvullende regels voor koudgevormde profielen en platen |

|   |   |
|---|---|
| <p>EN 1993 Eurocode 3 : Design of steel structures</p> <p>Part 1.4: Stainless steels</p>  | <p>NBN EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies</p> <p>Deel 1-4: Algemene regels - Aanvullende regels voor roestvast staal</p>                 |
| <p>EN 1993 Eurocode 3 : Design of steel structures</p> <p>Part 1.5: Plated structural steels</p>  | <p>NBN EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies</p> <p>Deel 1-5: Algemene regels - Constructieve plaatvelden</p>                               |
| <p>EN 1993 Eurocode 3 : Design of steel structures</p> <p>Part 1.9: Fatigue strength of steel structures</p>  | <p>NBN EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies</p> <p>Deel 1-9: Algemene regels - Vermoeiing</p>  |
| <p>EN 1993 Eurocode 3 : Design of steel structures</p> <p>Part 1.10: Selection of steel for fracture toughness and through-thickness properties</p> | <p>NBN EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies</p> <p>Deel 1-10: Algemene regels - Materiaaltaaiheid en eigenschappen in de dikterichting</p> |

EUROPESE NORM  
 EUROPÄISCHE NORM  
 EUROPEAN STANDARD  
 NORME EUROPÉENNE

**EN 1993-1-6**

februari 2007

ICS 91.010.30; 91.080.10

Vervangt ENV 1993-1-6:1999

Nederlandstalige versie

**Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-6:  
 Algemene regels - Sterkte en stabiliteit van schaalconstructies**

Eurocode 3 - Bemessung und  
 Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-6:  
 Festigkeit und Stabilität von Schalen

Eurocode 3 - Design of steel structures  
 - Part 1-6: Strength and Stability of  
 Shell Structures

Eurocode 3 - Calcul des structures en  
 acier - Partie 1-6: Résistance et stabilité  
 des structures en coque

Deze Europese norm is door de CEN aangenomen op 12 juni 2006. De Nederlandstalige versie is uitgegeven onder verantwoordelijkheid van het NBN en heeft dezelfde status als de officiële versies.

De CEN-leden zijn verplicht zich te houden aan het huishoudelijk reglement van de CEN/CENELEC waarin is vastgelegd onder welke voorwaarden aan deze Europese norm, zonder veranderingen, de status van nationale norm moet worden gegeven. Bijgewerkte lijsten van en bibliografische gegevens betreffende zulke nationale normen kunnen op aanvraag worden verkregen bij het centrale secretariaat en bij elk CEN-lid.

Deze Europese norm bestaat in drie officiële versies (Duits, Engels en Frans). Een versie in een andere taal, die onder verantwoordelijkheid van een CEN-lid in zijn landstaal is gemaakt en die is aangemeld bij het centrale secretariaat, heeft dezelfde status als de officiële versies.

Leden van de CEN zijn de nationale normalisatie-organisaties van België, Bulgarije, Cyprus, Denemarken, Duitsland, Estland, Finland, Frankrijk, Griekenland, Hongarije, Ierland, IJsland, Italië, Letland, Litouwen, Luxemburg, Malta, Nederland, Noorwegen, Oostenrijk, Polen, Portugal, Roemenië, Slovenië, Slowakije, Spanje, Tsjechië, het Verenigd Koninkrijk, Zweden en Zwitserland.



**CEN Managementcentrum:**  
 Marnixlaan 17, B-1000 Brussel

**CENELEC Centraal Secretariaat:**  
 Marnixlaan 17, B-1000 Brussel

| <b>Inhoud</b>   | <b>Bladzijde</b> |
|---|------------------|
| <b>Voorwoord</b>  | <b>4</b>         |
| <b>1 Algemeen</b>   | <b>5</b>         |
| 1.1 Onderwerp en toepassingsgebied  | 5                |
| 1.2 Normatieve verwijzingen   | 6                |
| 1.3 Termen en definities  | 7                |
| 1.4 Symbolen  | 12               |
| 1.5 Tekenconventies   | 15               |
| <b>2 Grondslagen voor het ontwerp en de modellering</b>   | <b>16</b>        |
| 2.1 Algemeen  | 16               |
| 2.2 Soorten berekeningen  | 16               |
| 2.3 Schaalrandvoorwaarden   | 18               |
| <b>3 Materialen en geometrie</b>  | <b>19</b>        |
| 3.1 Materiaaleigenschappen  | 19               |
| 3.2 Rekenwaarden van geometrische gegevens  | 19               |
| 3.3 Geometrische toleranties en geometrische imperfecties                                       | 19               |
| <b>4 Uiterste grenstoestanden in stalen schalen</b>   | <b>20</b>        |
| 4.1 Te beschouwen uiterste grenstoestanden  | 20               |
| 4.2 Berekeningsconcepten voor het ontwerp van schalen volgens de methode van de grenstoestanden | 22               |
| <b>5 Spanningsresultanten en spanningen in schalen</b>  | <b>25</b>        |
| 5.1 Spanningsresultanten in de schaal   | 25               |
| 5.2 Modellering van de schaal ten behoeve van de berekening                                     | 25               |
| 5.3 Soorten berekeningen  | 27               |
| <b>6 Plastische grenstoestand (LS1)</b>   | <b>27</b>        |
| 6.1 Rekenwaarden van de belastingen   | 27               |
| 6.2 Spanningsberekening   | 28               |
| 6.3 Ontwerp door een algemene numerieke MNA of GMNA berekening                                  | 29               |
| 6.4 Rechtstreeks ontwerp  | 30               |
| <b>7 Grenstoestand van cyclische plasticiteit (LS2)</b>   | <b>30</b>        |
| 7.1 Rekenwaarden van de belastingen   | 30               |
| 7.2 Spanningsberekening   | 30               |
| 7.3 Ontwerp door een algemene numerieke MNA of GMNA berekening                                  | 31               |
| 7.4 Rechtstreeks ontwerp  | 32               |
| <b>8 Knikgrenstoestand (LS3)</b>  | <b>32</b>        |
| 8.1 Rekenwaarden van de belastingen   | 32               |
| 8.2 Speciale definities en symbolen   | 32               |
| 8.3 Voor knik toepasselijke randvoorwaarden   | 33               |
| 8.4 Geometrische toleranties die voor knik toepasselijk zijn                                    | 33               |
| 8.5 Spanningsberekening   | 40               |
| 8.6 Ontwerp door algemene numerieke berekening gebruik makend van MNA en LBA berekeningen       | 42               |
| 8.7 Ontwerp met een algemene numerieke berekening gebruik makend van een GMNIA berekening       | 45               |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>9 Grenstoestand van vermoeiing (LS4)</b>                                   | <b>50</b> |
| 9.1 Rekenwaarden van de belastingen   | 50        |
| 9.2 Spanningsberekening   | 50        |
| 9.3 Ontwerp met algemene numerieke LA of GNA berekening                       | 52        |
| <b>BIJLAGE A (normatief)</b>  | <b>53</b> |
| <b>Spanningen in schalen volgens de membraantheorie</b>                       | <b>53</b> |
| A.1 Algemeen  | 53        |
| A.2 Onverstijfde cilinderschalen  | 54        |
| A.3 Onverstijfde kegelschalen   | 55        |
| A.4 Onverstijfde bolschaal  | 57        |
| <b>Bijlage B (normatief)</b>  | <b>58</b> |
| <b>Bijkomende uitdrukkingen voor de weerstanden tegen plastisch bezwijken</b> | <b>58</b> |
| B.1 Algemeen  | 58        |
| B.2 Onverstijfde cilinderschalen  | 59        |
| B.3 Cilinderschalen verstijfd met ringen                                      | 61        |
| B.4 Verbindingen tussen schalen   | 63        |
| B.5 Cirkelvormige platen met axisymmetrische randvoorwaarden                  | 66        |
| <b>Bijlage C (normatief)</b>  | <b>67</b> |
| <b>Uitdrukkingen voor de lineair elastische membraan- en buigspanningen</b>   | <b>67</b> |
| C.1 Algemeen  | 67        |
| C.2 Onverstijfde cilinderschalen ingeklemd aan de onderrand                   | 68        |
| C.3 Cilinderschalen met scharnierende onderrand                               | 70        |
| C.4 Inwendige spanningen in onverstijfde cilinderschalen                      | 72        |
| C.5 Ringverstijver op de cilinderschaal                                       | 73        |
| C.6 Cirkelvormige platen met axisymmetrische randvoorwaarden                  | 75        |
| <b>Bijlage D (normatief)</b>  | <b>77</b> |
| <b>Uitdrukkingen voor de knikspanningsberekening</b>                          | <b>77</b> |
| D.1 Onverstijfde cilinderschalen met constante wanddikte                      | 77        |
| D.2 Onverstijfde cilinderschalen met stapsgewijs veranderlijke wanddikte      | 88        |
| D.3 Onverstijfde cilinderschalen met overlapvoegen                            | 93        |
| D.4 Onverstijfde volledige en afgeknotte kegelschalen                         | 95        |

## Voorwoord

Dit document EN 1993-1-6, Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-6: Algemene regels - Sterkte en stabiliteit van schaalconstructies, is voorbereid door de Technische Commissie CEN/TC250 "Constructieve Eurocodes", waarvan BSI het secretariaat voert. CEN/TC250 is verantwoordelijk voor alle Constructieve Eurocodes.

Deze Europese norm moet uiterlijk in augustus 2007 de status van een nationale norm krijgen, hetzij door de publicatie van een eensluidend vertaalde tekst, hetzij door het overnemen van een van de bronteksten. Nationale normen die strijdig zijn met deze norm, moeten uiterlijk in maart 2010 ingetrokken zijn.

Dit document vervangt ENV 1993-1-6.

Volgens het huishoudelijk reglement van CEN-CENELEC, zijn de nationale normalisatie-instellingen van de volgende landen verplicht deze Europese norm in te voeren: Oostenrijk, België, Bulgarije, Cyprus, Tsjechië, Denemarken, Estland, Finland, Frankrijk, Duitsland, Griekenland, Hongarije, IJsland, Ierland, Italië, Letland, Litouwen, Luxemburg, Malta, Nederland, Noorwegen, Polen, Portugal, Roemenië, Slowakije, Slovenië, Spanje, Zweden, Zwitserland en het Verenigd Koninkrijk.

## Nationale bijlage voor EN 1993-1-6

Deze norm geeft alternatieve werkwijzen, waarden en aanbevelingen met opmerkingen die aangeven waar nationale keuze mag worden gemaakt. Daarom behoort de nationale norm die EN 1993-1-6 implementeert, een nationale bijlage te hebben met daarin alle nationaal bepaalde parameters (NBP's) nodig voor het ontwerp en de berekening van staalconstructies in het betreffende land.

In EN 1993-1-6 wordt nationale keuze toegelaten voor:

- 3.1.(4)
- 4.1.4 (3)
- 5.2.4 (1)
- 6.3 (5)
- 7.3.1 (1)
- 7.3.2 (1)
- 8.4.2 (3)
- 8.4.3 (2)
- 8.4.3 (4)
- 8.4.4 (4)
- 8.4.5 (1)
- 8.5.2 (2)
- 8.5.2 (4)
- 8.7.2 (7)
- 8.7.2 (16)
- 8.7.2 (18) (2 maal)
- 9.2.1 (2)P



# 1 Algemeen

## 1.1 Onderwerp en toepassingsgebied

(1) EN 1993-1-6 geeft fundamentele rekenregels voor stalen plaatconstructies die de vorm van een omwentelingsschaal hebben.

(2) Het is de bedoeling deze norm te gebruiken in combinatie met EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-4, EN 1993-1-9 en de relevante toepassingsdelen van EN 1993, waaronder:

- Deel 3.1 voor torens en masten;
- Deel 3.2 voor schoorstenen;
- Deel 4.1 voor silo's;
- Deel 4.2 voor reservoirs;
- Deel 4.3 voor buisleidingen.

(3) Deze norm definieert de karakteristieke waarden en de rekenwaarden van de weerstand van de constructie.

(4) Deze norm betreft de eisen voor het ontwerp en de berekening in de uiterste grenstoestanden van:

- plastisch bezwijken;
- cyclische plasticiteit;
- knik;
- vermoeiing.

(5) Het algemene evenwicht van de constructie (glijding, optilling, kanteling) is niet opgenomen in deze norm, maar is behandeld in EN 1993-1-1. Speciale beschouwingen voor specifieke toepassingen zijn vervat in de relevante toepassingsdelen van EN 1993.

(6) De bepalingen in deze norm zijn van toepassing op axiaalsymmetrische schalen en de bijbehorende cirkelvormige of ringvormige platen en op ringbalken en meridionale verstijvers wanneer zij deel uitmaken van de volledige constructie. Algemene methodes voor computerberekeningen van alle schaalvormen zijn behandeld. Gedetailleerde uitdrukkingen voor de handberekening van onverstijfde cilinders en kegels zijn gegeven in de bijlagen.

(7) Cilindrische en kegelvormige panelen zijn niet expliciet behandeld in deze norm. De bepalingen kunnen evenwel toepasbaar zijn indien de gepaste randvoorwaarden behoorlijk in rekening zijn gebracht.

(8) Deze norm is bestemd voor toepassing op stalen schaalconstructies. Waar geen norm bestaat voor schaalconstructies vervaardigd van andere metalen, mogen de bepalingen van deze norm worden toegepast op voorwaarde dat de gepaste materiaaleigenschappen behoorlijk in rekening worden gebracht.

(9) De bepalingen van deze norm zijn bestemd om te worden toegepast binnen het temperatuursinterval gedefinieerd in de relevante toepassingsdelen van EN 1993. De maximale temperatuur is beperkt zodat de invloed van de kruip kan worden verwaarloosd indien de effecten van kruip wegens de hoge temperatuur niet zijn voorzien in het betreffende toepassingsdeel.

(10) De bepalingen in deze norm zijn toepasselijk op constructies die voldoen aan de in EN 1993-1-10 gegeven voorwaarden betreffende brosse breuk.

(11) De bepalingen van deze norm zijn van toepassing bij de constructieve berekening onder belastingen die als quasi-statisch kunnen worden behandeld.

(12) In deze norm is ondersteld dat zowel de windbelasting als de stroming van de stortgoederen over het algemeen kunnen worden behandeld als quasi-statische belastingen.

## EN 1993-1-6: 2007

(13) Dynamische effecten behoren te zijn in rekening gebracht in overeenstemming met het betreffende toepassingsdeel van EN 1993, inclusief de gevolgen voor de vermoeiing. De spanningsresultanten volgend uit het dynamische gedrag zijn in dit deel evenwel behandeld als quasi-statisch.

(14) De bepalingen van deze norm zijn van toepassing op constructies die in overeenstemming met EN 1090-2 zijn gebouwd.

(15) Deze norm behandelt niet de aspecten van lekkage.

(16) Deze norm is bedoeld voor toepassing op constructies binnen de volgende grenzen:

rekentemperaturen van het metaal binnen het interval van  $-50^{\circ}\text{C}$  tot  $+300^{\circ}\text{C}$ ;  
 straal tot dikte verhouding binnen het interval van 20 tot 5000.

**OPMERKING:** Het behoort te zijn vermeld dat de regels van deze norm voor de spanningsberekening eerder conservatief kunnen zijn indien ze worden toegepast op sommige geometrieën en belastingsvoorwaarden voor relatief dikwandige schalen.

## 1.2 Normatieve verwijzingen

(1) Deze Europese norm omvat, door gedateerde of niet gedateerde verwijzing, bepalingen uit andere publicaties. Deze normatieve verwijzingen worden vermeld op de toepasselijke plaatsen in de tekst en de publicaties worden hierna opgesomd. Voor gedateerde verwijzingen, zijn latere verbeteringen aan of herzieningen van elk van deze publicaties slechts van toepassing op deze Europese norm wanneer zij erin zijn opgenomen door een verbetering of een herziening. Voor niet gedateerde verwijzingen is de laatste editie van de publicatie, waarnaar verwezen wordt, van toepassing.

|            |  |
|------------|--|
| EN 1090-2  | <i>Execution of steel structures and aluminium structures – Part 2: Technical requirements for steel structures;</i> |
| EN 1990    | <i>Basis of structural design;</i>   |
| EN 1991    | <i>Eurocode 1: Actions on structures ;</i>   |
| EN 1993    | <i>Eurocode 3: Design of steel structures:</i>   |
| Part 1.1:  | <i>General rules and rules for buildings;</i>  |
| Part 1.3:  | <i>Cold formed thin gauged members and sheeting;</i>   |
| Part 1.4:  | <i>Stainless steels;</i>   |
| Part 1.5:  | <i>Plated structural elements;</i>   |
| Part 1.9:  | <i>Fatigue strength of steel structures;</i>   |
| Part 1.10: | <i>Selection of steel for fracture toughness and through-thickness properties;</i>                                   |
| Part 1.12: | <i>Additional rules for the extension of EN 1993 up to steel grades S 700</i>  |
| Part 2:    | <i>Steel bridges;</i>  |
| Part 3.1:  | <i>Towers and masts;</i>   |
| Part 3.2:  | <i>Chimneys;</i>   |
| Part 4.1:  | <i>Silos;</i>  |
| Part 4.2:  | <i>Tanks;</i>  |
| Part 4.3:  | <i>Pipelines;</i>  |
| Part 5:    | <i>Piling.</i>   |