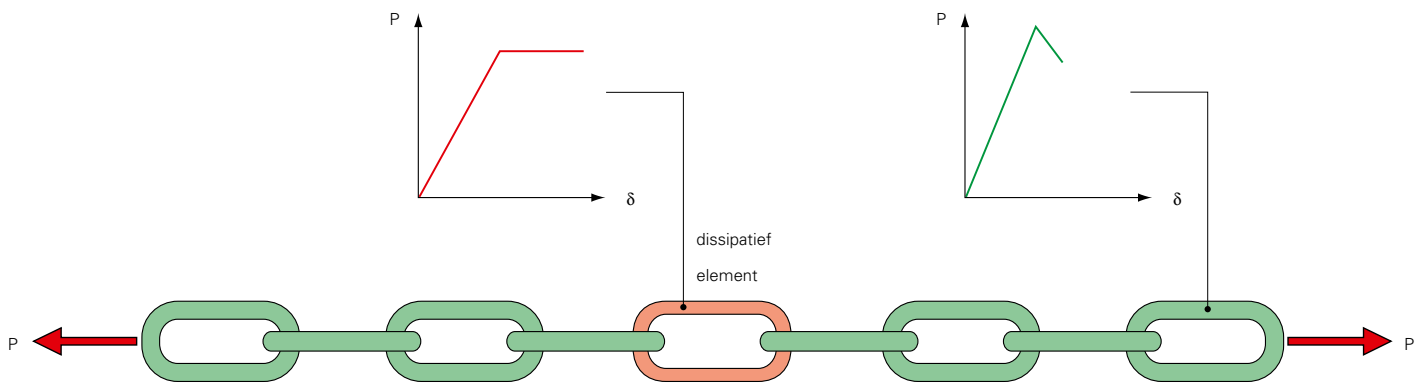


Stabiliteitssystemen volgens Eurocode 8



1. Principe capaciteitsmethode^[1].

Onlangs verscheen de witte NPR 9998. Evengoed is aardbevingsbestendig ontwerpen voor velen nog een hele opgave, vooral bij de beschouwing van het stabiliteitssysteem. De niet wettelijk voorgeschreven Eurocode 8 biedt hulp bij het analyseren van het stabiliteitssysteem, maar ook bij het bepalen van de ductiliteitsfactor, het dissipatief constructiegedrag en ductiel bezwijkgedrag. Een kort overzicht.

dr.ir. P.A. Teeuwen en M.S. Dijk MSc

Paul Teeuwen is adviseur staalconstructies en Maartje Dijk is constructeur, beiden bij Witteveen + Bos in Deventer.

De Europese normenserie Eurocode 8 (de NEN-EN 1998-reeks) geeft bepalingen voor het ontwerp en de berekening van aardbevingsbestendige constructies. De reeks bestaat uit zes delen, waarvan de delen 1, 3 en 5 relevant zijn voor gebouwen. In Nederland is de normenreeks op dit moment niet wettelijk voorgeschreven en zijn er geen Nederlandse Nationale Bijlagen opgesteld. Onlangs is echter de (witte) NPR 9998 gepubliceerd. Hiermee kan beoordeeld worden of nieuw te bouwen of (te versterken) bestaande gebouwen sterk genoeg zijn om de belasting van de optredende aardbevingen in Noord-Nederland als gevolg van de gaswinning kunnen weerstaan. In deze NPR zijn eerste aanzetten voor Nationale Bijlagen bij Eurocode 8 gegeven. Hoe een constructie van een gebouw in een aardbevingsgebied met deze regelgeving in de praktijk dient te worden ontworpen, zal echter voor veel constructeurs nog een grote opgave zijn. Dit artikel

gaat in op de hoofdaspecten van het ontwerpen van een aardbevingsbestendige staalconstructie. Hiertoe wordt de basis van het aardbevingsbestendig ontwerpen toegelicht. Daarna wordt ingegaan op verschillende type stabiliteitsconstructies, waarmee een aardbevingsbestendige constructie kan worden gerealiseerd. Alles gerelateerd aan Eurocode 8.

Ontwerpfilosofie

De Eurocode 8 geeft fundamentele eisen voor ontwerp- en berekeningsdoeleinden van aardbevingsbestendige constructies. Deze eisen, die een relatie hebben met de mate van beschadiging van een constructie, worden onderscheiden naar twee niveaus aangeduid met de grenstoestand 'No Collapse' (NC) en 'Damage Limitation' (DL). Grenstoestand NC heeft tot doel om mensenlevens te beschermen tegen het effect van een aardbeving met een kans van optreden van 0,2% per jaar (1 per 475) door het voorkomen van (voortschrijdende) instorting en het behouden van de constructieve samenhang. Dit houdt in dat de constructie flink beschadigd mag raken en dat er permanente

horizontale vervormingen kunnen zijn opgetreden. Het verticale draagvermogen moet echter behouden blijven en er moet voldoende horizontale stijfheid resteren om eventuele naschokken te kunnen weerstaan. Herstel van de constructie is in dit geval meestal niet meer rendabel.

De tweede grenstoestand (DL) heeft tot doel het beperken van economische schade door een aardbevingsbelasting met een geringere herhalingstijd. Dit wordt bereikt door het beperken van de optredende laterale vervormingen. Blijvende vervormingen in de constructie zijn niet toelaatbaar; beperkte schade aan niet-dragende elementen is acceptabel mits deze eenvoudig en op economische wijze kan worden hersteld.

In afwijking van de Eurocode kent de NPR drie grenstoestanden.

1. De bouwconstructie staat vrijwel op instorten (Near Collapse, NC).
2. Significante beschadiging (Significant Damage, SD).
3. Beperkte schade (Damage Limitation, DL).

De grenstoestand SD is vergelijkbaar met de grenstoestand No Collapse uit de Eurocode.

Ductiliteit

Voor de grenstoestand No Collapse maakt Eurocode 8 onderscheid in drie ductiliteitsklassen: Ductility Class *Low* (DCL), Ductility Class *Medium* (DCM) en Ductility Class *High* (DCH). Het ontwerp van constructies

Tabel 1. Bovengrenswaarden voor gedragsfactoren q voor stalen raamwerken.

type	ductiliteitsklassen	q
niet-dissipatieve raamwerken	DCL (detaillering volgens EC3)	1,5
ongeschoorde raamwerken	DCM DCH	4 $5\alpha_u/\alpha_1$
concentrisch geschoorde raamwerken (diagonalen)	DCM DCH	4 4
concentrisch geschoorde raamwerken (V-verband)	DCM DCH	2 2,5
excentrisch geschoorde raamwerken	DCM DCH	4 $5\alpha_u/\alpha_1$

in DCL is gebaseerd op elastisch materiaalgedrag waarbij voor ieder onderdeel geldt dat het weerstand moet kunnen bieden aan de interne krachten die er door de seismische (ontwerp)belasting werkzaam op zijn. Constructies die volgens deze methode worden ontworpen, zullen relatief zwaar zijn, en mogelijk onvoldoende veiligheid bieden tegen aardbevingen met magnitudes die boven de verwachting liggen; aardbevingen gedragen zich immers niet volgens het boekje. Bij overbelasten bezwijkt de constructie mogelijk door knik, kip of door bezwijken van de bouten of lassen. Het bezwijkmechanisme is op voorhand niet bekend. Er is in dit geval sprake van niet-dissipatief constructiegedrag en doorgaans bros bezwijkgedrag. Het ontwerp van constructies in DCM of DCH is gebaseerd op dissipatief constructiegedrag. Hierbij worden specifieke onderdelen van de constructie aangemerkt als dissipatieve constructieonderdelen en ontworpen om wisselende plastische deformaties te ondergaan. De constructieve samenhang van de constructie blijft behouden waardoor de constructie in staat is een hoeveelheid energie te absorberen in deze plastische zones. Er is sprake van dissipatief constructiegedrag en ductiel bezwijkgedrag.

Gedragsfactoren

Via absorptie van energie door plastische deformaties in de constructie wordt het effect van een aardbevingsbelasting op de constructie gereduceerd. De reductiegrootte hangt af van het type constructie. Eurocode 8 gebruikt de gedragsfactor q om de elastische aardbevingsbelasting te reduceren naar

de seismische ontwerpbelasting, daarbij het energiedissiperend vermogen van de constructie in beschouwing nemend. De waarde van q reflecteert de mate waarin een constructie in staat is wisselende plastische deformaties te ondergaan, en dus energie te dissiperen. De waarde van q varieert van 1,0 tot maximaal 1,5, 4,0 of 8,0 voor respectievelijk laag-, gemiddeld- en hoog-dissipatief constructiegedrag. De waarde is daarbij afhankelijk van het type constructie dat wordt beschouwd. Tabel 1 geeft een overzicht van de gedragsfactoren voor verschillende type stalen raamwerken. Opvallend hierbij is dat, hoewel er voor constructies in DCL geen dissipatief gedrag wordt verondersteld en geen specifieke ontwerpmaatregelen dienen te worden genomen, een q -factor van 1,5 mag worden aangehouden in plaats van 1,0. Deze hogere waarde weerspiegelt de aanwezigheid van een minimaal aanwezig niveau aan oversterkte en ductiliteit in iedere willekeurige staalconstructie.

De vergrotingsfactor α_u/α_1 in tabel 1 relateert de verhouding van de bezwijklast van de constructie (de belasting bij het ontstaan van een globaal plastisch (schrans)mechanisme) tot de seismische ontwerpbelasting (α_u) aan de verhouding van de belasting waarbij het eerste plastische scharnier in de constructie ontstaat tot de seismische ontwerpbelasting (α_1). Deze kwantificeert de mate waarin de constructie plastische vervorming toelaat, de ductiliteit. De waarde kan worden bepaald met een niet-lineaire pushover-analyse, maar mag niet groter zijn dan 1,6. Alternatief kunnen de aanbevolen waarden worden gebruikt die worden gege-

ven in de norm. De ontwerper is vrij om binnen de in Eurocode 8 gestelde grenzen een q -factor te kiezen. Over het algemeen is het voordelig om voor een hoge q -factor te kiezen, omdat de seismische belasting daarmee lager wordt. In sommige gevallen leidt een hoge q -factor echter tot een complexer ontwerp, bijvoorbeeld omdat aan de detaillering hogere eisen worden gesteld. Daarnaast kunnen de optredende vervormingen en daarmee de tweede orde-effecten te groot worden aangezien deze, in het geval van een lineaire analyse, worden bepaald op basis van de ongereduceerde seismische belasting.

Capaciteitsmethode

Teneinde het optreden van plastische deformaties in de daartoe aangewezen dissipatieve delen van de constructie te garanderen, dienen de overige (niet-dissipatieve) constructiedelen te worden beschermd tegen (bros) bezwijken. Deze delen moeten daarom weerstand bieden tegen krachten die gerelateerd zijn aan de werkelijke capaciteit van de dissipatieve elementen, en niet aan de interne krachten die er door de ontwerp-aardbevingsbelasting werkzaam op zijn. Deze methode wordt aangeduid als de capaciteitsmethode. In afbeelding 1 is het principe van de capaciteitsmethode schematisch weergegeven analoog aan een ketting waarvan de zwakste schakel maatgevend is voor de sterkte^[1]. Indien aan één schakel een lagere sterkte wordt toegekend, maar met voldoende ductiliteit, is het bezwijkgedrag van de gehele ketting kwantificeerbaar en beheersbaar.

Omdat de werkelijke capaciteit van de dissipatieve elementen het uitgangspunt vormt voor het ontwerp van de niet-dissipatieve elementen, is de werkelijke vloeigrens van het staal van essentieel belang. Deze is doorgaans (substantieel) hoger dan de nominale vloeigrens. Derhalve dienen eisen te worden gesteld aan de mechanische eigenschappen van het staal. Voor de dissipatieve onderdelen moet naast de nominale waarde ook een bovengrens voor de vloeigrens worden gedefinieerd. Omdat de werkelijke maximale vloeigrens in een ontwerpfase doorgaans niet bekend is mag deze als volgt worden bepaald: