



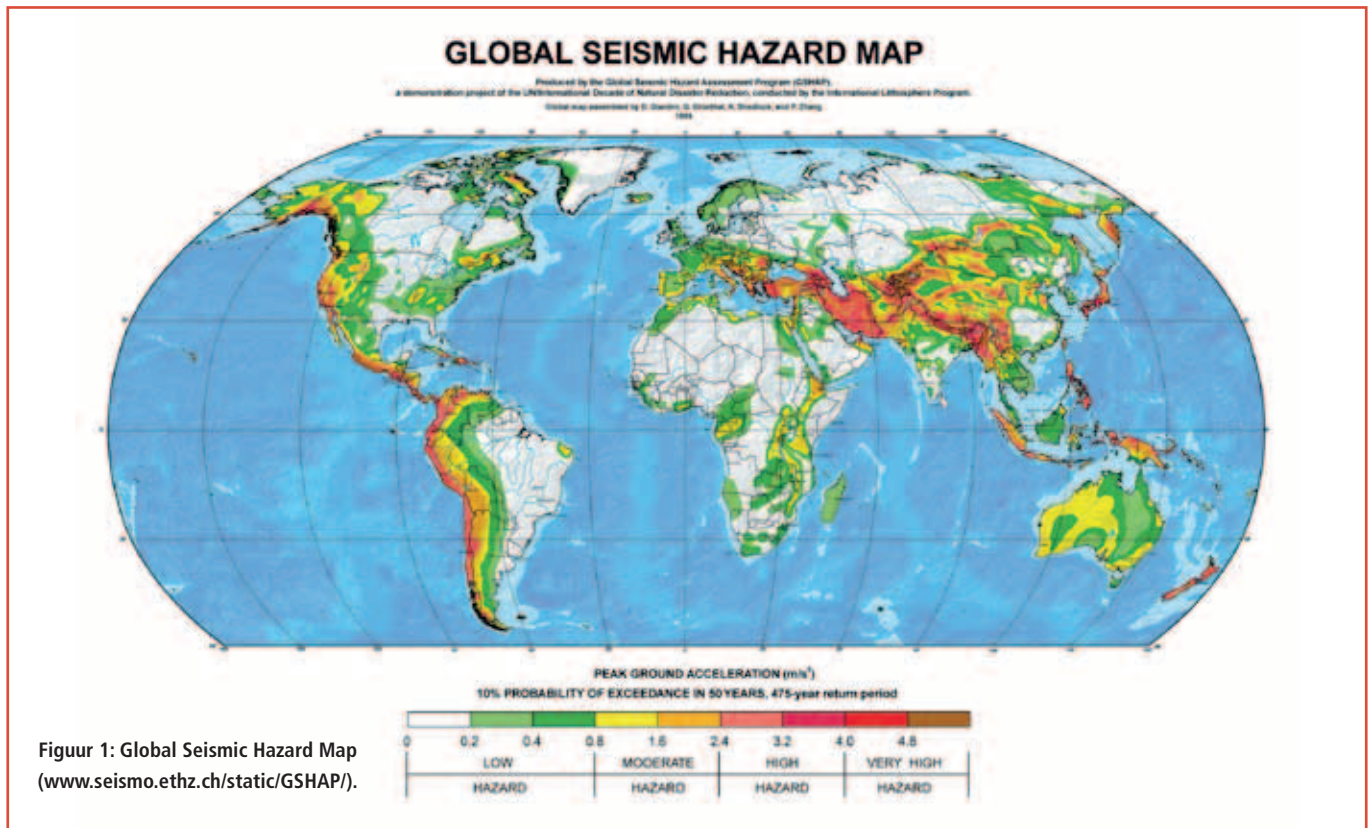
# Aardbevingsbestendig bouwen

**A**ardbevingen ontstaan wanneer plots vervormingsenergie vrijkomt ten gevolge van de breuk van rotsgesteente aan de randen tussen tectonische platen; hierdoor ontstaan seismische golven in de ondergrond die interageren met de funderingen van constructies (gebouwen, bruggen, tunnels, nucleaire centrales, LNG tanks, silo's, nutsleidingen, grondkerende constructies, dammen, torens, masten,...) en deze in beweging zetten. Structuren worden tijdens een aardbeving onderworpen aan belangrijke inertiekrachten, die evenredig zijn met de massa en de grondversnelling en in evenwicht worden gehouden door de (an-)elastische krachten in de weerstandbiedende structurele elementen (kolommen, wanden, balken, platen). Vooral de horizontale componenten van de excitatie zijn een zorg, aangezien deze dikwijls worden versterkt in slappere ondiepe grondlagen en heel wat constructies flexibeler zijn in de laterale dan in de verticale richting.

Recente grote aardbevingen (M7.0 Haiti Region 2010, M8.8 Off-shore Bio-Bio Chili 2010, M6.3 Christchurch 2011, M9.0 Honshu 2011) tonen aan dat het seismisch risico zeer sterk afhankelijk is van de verwachte trillingsniveaus en ook

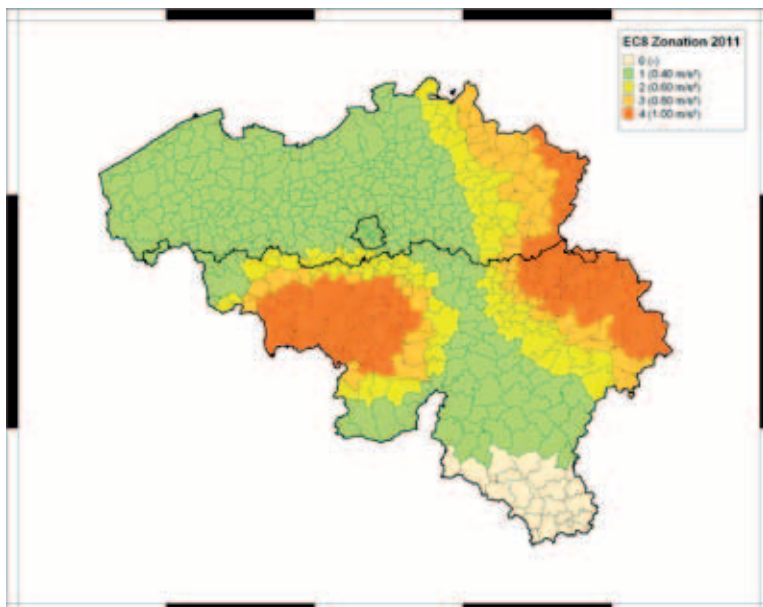
van factoren als bevolkingsdichtheid en kwetsbaarheid van gebouwen en technische installaties.

Seismische bouwcodes (Eurocode 8 [1], Uniform Building Code in de USA, Building Standard Law in Japan,...) geven aan hoe aardbevingsbestendig kan worden gebouwd, rekening houdend met de lokale seismiciteit en de economische beperking dat het seismisch risico wel zoveel mogelijk kan worden beperkt, maar nooit helemaal kan worden uitgesloten. Ingenieurs streven ernaar om bij zeer grote aardbevingen de standzekerheid van constructies te garanderen en aldus het verlies aan mensenlevens te beperken, waarbij (beperkte) schade aan het gebouw wordt getolereerd. Bij lichtere aardbevingen, die frequenter voorkomen, wordt beoogd om schade te vermijden of de kostprijs van herstellingen beperkt te houden. In Eurocode 8 worden structuren onderverdeeld in belangrijkheidsklassen, waarbij klasse II overeenkomt met gewone gebouwen die m.b.t. standzekerheid ontworpen worden voor aardbevingen met een retourperiode van 475 jaar (overschrijdingskans van 10 % over een periode van 50 jaar). Voor gebouwen van klasse I die weinig risico inhouden voor de openbare veiligheid (bv. schuren) wordt



een lagere retourperiode (242 jaar) gehanteerd, terwijl voor gebouwen van klasse IV waarvan de integriteit van vitaal belang is (bv. hospitalen, brandweerkazernes, centrales) een grotere retourperiode (1300 jaar) wordt gebruikt. Bij de inschatting van de seismische gevarencans wordt rekening gehouden met de lokale geologie, tektoniek, en historische seismiciteit; de seismische zonerings definieert de referentiepiekgrondversnelling op rotsbodeme die overeenkomt met een retourperiode van 475 jaar (figuur 1). In gebieden met lage seismiciteit, zoals België, is deze

versnelling overal kleiner dan 0.10 g (figuur 2), terwijl in Japan waarden hoger dan 0.48 g worden gebruikt (figuur 1). Voor de bepaling van de ontwerpgrondversnelling wordt rekening gehouden met de gebouwklasse (aangepaste retourperiode) en met de funderingsgrond (grotere grondversnellingen in slappere funderingsgrond), met bijzondere aandacht voor sites met grote contrasten in grondstijfheid (waarin versterking van trillingen optreedt) en liquefactiegevoelige gronden. De seismische respons van structuren wordt dikwijls begroot aan de hand van responspectra, die representatief zijn voor de seismiciteit van een gebied en rekening houden met de amplitude, frequentie-inhoud, duur, diepte, afstand en aard van de aardbevingen. De frequentie-inhoud van mogelijke aardbevingen wordt geconfronteerd met de eigenfrequenties van gebouwen, waarop versterking van verplaatsingen en inwendige krachten wordt verwacht. Intrinsieke demping in de structuur (of andere mogelijkheden om energie te dissiperen) zorgt ervoor dat de respons bij resonantie beperkt blijft.



**Figuur 2: Seismische zonerings van België** ([2], Seismologische Dienst van België)

Bij het seismisch ontwerp van gebouwen staat de transfer van horizontale inertiekrachten via weerstandbiedende elementen zoals kolommen, wanden, balken en platen naar oordeelkundig uitgevoerde funderingen die steunen op draagkrachtige grond (stevige zandlagen, rots,...) centraal. Rekening houdend met de aard van de excitatie speelt de massaverdeling in een gebouw een grote rol en is een eenvoudige layout met symmetrische weerstandbiedende elementen (wanden, liftkokers, traphallen) te verkiezen, zodat supplementaire torsie (en grotere inwendige krachten) wordt vermeden. Gelijkvloerse winkelruimtes of hogere verdiepingen dienen van voldoende

laterale weerstand te worden voorzien zodat al te soepele verdiepingen ("soft stories") worden vermeden. Verbindingen (bv. aansluitingen tussen balken en kolommen) worden onderworpen aan belangrijke cyclische sollicitaties en dienen zorgvuldig te worden gedetailleerd; in raamwerken zorgen kruisverbanden voor bijkomende stijfheid. Bij grote aardbevingen rekent men ook op de ductiliteit van constructie-elementen om gedurende cyclische vervorming op gecontroleerde wijze energie te dissiperen; dit gebeurt bij voorkeur eerder in balken dan in kolommen ("strong column, weak beam") of in structurele elementen, zoals kruisverbanden (figuur 3), die indien nodig gemakkelijk kunnen worden vervangen.

In gebieden met hoge seismiciteit (Japan, Californië) worden gebouwen dikwijls seismisch geïsoleerd ("base isolation") door boven de funderingen een seismische snede aan te brengen en het gebouw op soepele ondersteuning te plaatsen (veren, rubber, staal-rubber) (figuur 4). Hierdoor wordt een dynamisch systeem met een lage eerste eigenfrequentie bekomen, waarboven trillingen sterk gereduceerd worden doorgegeven naar de bovenstructuur, resulterend in beperkte verplaatsingen en snedekrachten. "Tuned mass dampers" zijn een andere vorm van passieve isolatie (onder meer toegepast in de Taipei 101 toren) waarbij een massa soepel wordt opgehangen in een gebouw, getuned op de eerste laterale frequentie, zodat bij excitatie in deze frequentieband vooral deze massa trilt en de respons van het gebouw wordt gereduceerd. Daarnaast voegt men ook lokale energiedissiperende elementen of viskeuze dempers (figuur 3) toe.

Bij actieve seismische isolatie worden de trillingen in een gebouw continu gemonitord en worden bij detectie van een aardbeving krachtige actuatoren in werking gesteld die op een gecontroleerde wijze bewegingen veroorzaken die de opgelegde bewegingen tegenwerken en resulteren in sterk gereduceerde inwendige krachten in de structuur. Actieve systemen zijn echter zeer duur en kwetsbaar, aangezien ze afhankelijk zijn van stroomvoorziening tijdens een aardbeving. Daarom is er momenteel heel wat onderzoek naar hybride systemen, waarbij passieve isolatie gecombineerd wordt met lichtere actuatoren.

Uit het voorgaande overzicht blijkt dat er heel wat technische mogelijkheden zijn om aardbevingsbestendig te bouwen (zowel voor hoog- als laagbouw). Het succes hiervan hangt niet alleen af van de implementatie en naleving van aangepaste bouwvoorschriften, maar ook van de financiële draagkracht van een land en zijn bevolking, zoals blijkt uit recente grote aardbevingen. Voor ontwikkelingslanden is daarom bijkomende ondersteuning nodig in onderzoek en ontwikkeling.

#### Referenties

- [1] EN 1998-1 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.
- [2] prNBN EN 1998-1 ANB, Eurocode 8: Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies – Deel 1: Algemene regels, seismische belastingen en regels voor gebouwen – Nationale bijlage.



Figuur 3: Kruisverbanden en dempers (bron: Taylor Devices).



Figuur 4: Base isolation van het Tan Tzu Medical Center in Taiwan (bron: Dynamic Design Solutions).

#### De auteurs

Geert DEGRANDE, Departement Burgerlijke Bouwkunde, K.U.Leuven  
E-mail: [Geert.Degrande@bwk.kuleuven.be](mailto:Geert.Degrande@bwk.kuleuven.be)

Mattias SCHEVENELS, Departement Burgerlijke Bouwkunde, K.U.Leuven  
E-mail: [Mattias.Schevenels@bwk.kuleuven.be](mailto:Mattias.Schevenels@bwk.kuleuven.be)

#### Studienamiddag "Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies"

Op woensdag 18 mei 2011 organiseert het Genootschap Civiele Techniek van TI-KVIV in het Ingenieurshuis te Antwerpen een studienamiddag "Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies", in het kader van de lessencyclus rond de Eurocodes.