

Aan: Leden NEN Werkgroep Aardbevingen

Van: Taakgroep 1, Module 1,

met input van

en

Betreft: Begeleidend memo bij concept vernieuwde Annex H NPR, voor uit-het-vlak belaste wanden

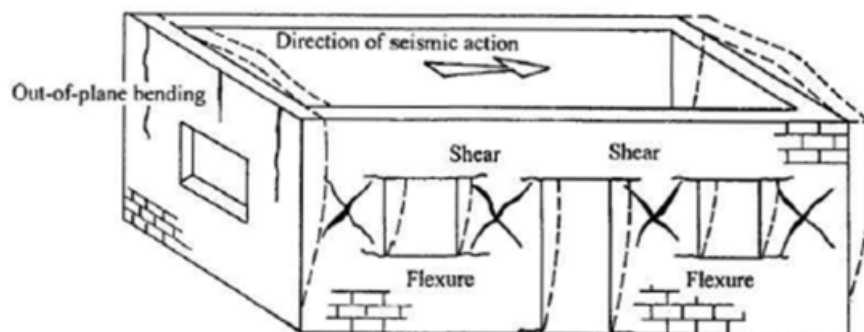
Datum: 29 mei 2020

### *Aanleiding*

De NPR van 2018 heeft een flinke stap voorwaarts gezet richting niet-lineaire push-over analyses (NLPO). Annex G biedt gereedschap dat zich qua complexiteit en hanteerbaarheid bevindt tussen enerzijds (te) eenvoudige lineaire analyses en anderzijds zeer complexe niet-lineaire time history analyses (NLTH). Annex G biedt verschillende levels van benadering, variërend van eenvoudige zijdelingse mechanische-beschouwingen (SlaMa, 'light'), via macro-elementen ('medium') tot verfijnde eindige elementen ('full'), waarbij de mate van conservatisme kan worden afgewogen tegen benodigde inspanning. Annex G richt zich op *in-plane globaal* bezwijken van het gebouw als geheel. Veel tijd is destijds ingeruimd voor kalibratie van Annex G aan beschikbare lab-testen, afgestemd op de gehanteerde veiligheidsfilosofie.

De NPR van 2018 biedt ook een Annex H voor analyse van *uit-het-vlak lokaal* bezwijken van wanden. Door tijdsdruk destijds is deze Annex minder ver ontwikkeld. Kalibratie aan lab-testen en inbedding in de veiligheidsfilosofie kregen weinig aandacht. Ook was bekend dat zaken ontbreken, zoals het positieve effect van zijdelingse ondersteuning van de wanden naast ondersteuning aan onder- en bovenzijde, zoals vaak voorkomt.

Om die reden hebben Mijnraad, Hooglerarenpanel, TNO, NEN en anderen doorontwikkeling geadviseerd van Annex H. Het resultaat is de thans voorliggende draft vernieuwde Annex H.



Impressie: Linker- en rechterwand worden *uit-het-vlak* belast, voor- en achterwand *in-het-vlak*.

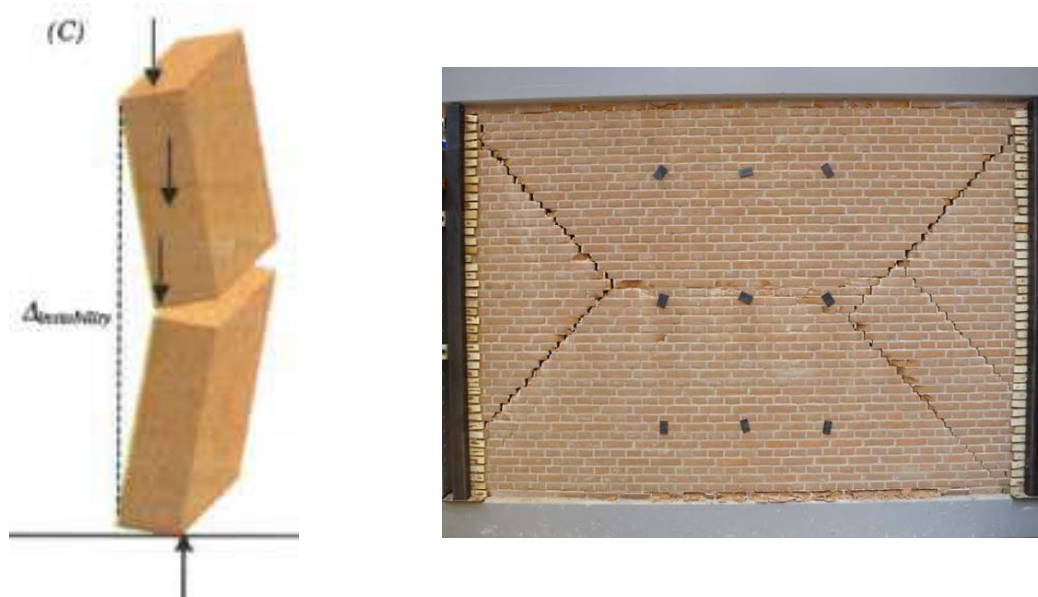
### *Relevantie*

Recente inzichten uit Groningen laten zien dat vanwege de afnemende dreiging een reductie optreedt van de in-plane versterkingsopgave, maar dat vooral nog een grote out-of-plane opgave lijkt te resteren. Dit blijkt uit o.a. versterkingsadviezen en steekproeven op basis van de huidige NPR. De huidige Annex H en mogelijk conservatisme daarin spelen een rol. De uit-het-vlak materie is ook een factor in het nog onvoldoende begrepen verschil tussen de HRA en de NPR.

Juist voor de Nederlandse bouwwijze met zeer slanke wanden en spouwmuren is bezwijken door belasting uit-het-vlak een belangrijke overweging. Dit vraagt om gekalibreerde en betrouwbare modellen. De relevantie is groot.

### *Toelichting op wijzigingen aan de weerstandskant (capacity)*

De vorige Annex H beschouwde alleen in één richting overspannende wanden (one-way bending, figuur linksonder) en uitkragende wanden (cantilever walls). De in één richting overspannende wanden werden geschematiseerd als zijnde alleen boven en onder vastgehouden, links en rechts vrij. Je krijgt dan drie horizontale scheuren, boven en onder en in het midden, en de wand “klapt er uit”. De nieuwe Annex H beschouwt ook in twee richtingen overspannende wanden (two-way bending, figuur rechtsonder). Hierbij kunnen verticale ondersteuning ter linker- of rechterzijde worden meegenomen. Dit geeft een flinke toename in kracht-capaciteit; er moet zich nu een enveloppe-achtig scheurpatroon ontwikkelen, dat geeft meestal meer weerstand en bij vertande scheuren meer energie-absorptie.

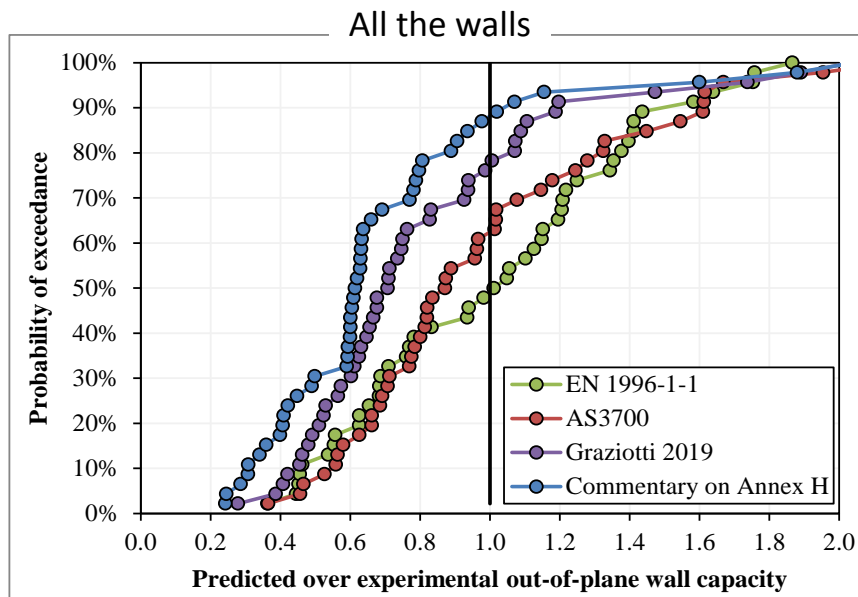


Vier methoden zijn geëvalueerd aan de hand van een meest complete set van 46 nationaal en internationaal beschikbare lab-experimenten. Dit betrof casussen met variaties van de ondersteuning (3 of 4, met en zonder return walls), wanden met/zonder openingen, verschillende bovenbelasting, halfsteens- en steensmuren, statische en dynamische testen. De vier methoden zijn ook geëvalueerd op basis van consistentie van de onderliggende mechanica en van betrouwbaarheid van de onderliggende materiaaleigenschappen voor algemene toepassing. Uit deze evaluaties en vergelijkingen, en in afstemming met parameterbepalingen en veiligheidsfilosofie, is de meest representatieve methode gekozen. Dit is een variant op een Australische methode. Na stevige discussies is een gedragen keuze gemaakt.

Aan twee discussiepunten is recht gedaan door opmerkingen in de tekst. De eerste is een verwijzing naar de Eurocode en Nationale Annex voor metselwerk, om de relatie te leggen met gangbare methoden voor metselwerk onder windbelasting en met parameterbepaling voor metselwerkeigenschappen. Deze verwijzing is vooral van toepassing op metselwerk uit grote kalkzandsteenblokken of –elementen. De tweede is een opmerking over het belang van randvoorwaarden en bovenbelastingen, en de verantwoordelijkheid van de constructeur om deze in te schatten op basis van opnames en in het besef dat deze randvoorwaarden en bovenbelastingen tijdens een dynamische gebeurtenis kunnen afwijken van de statische beginsituatie. Daarnaast zijn suggesties ten aanzien van het omgaan met spouwmuren verwerkt en opgenomen.

Winst van de nieuwe Annex wordt vooral verwacht bij scheidingswanden die weinig bovenbelasting hebben maar wel vaak een ondersteuning links en/of rechts, en bij bijv. korte penanten in langsgewels van rijtjeshuizen, die vaak zijdelings gesteund worden en een lage bovenbelasting hebben indien de vloeren in één richting overspannen

Onderstaande figuur geeft een impressie van de kalibratie aan de two-way bending weerstandskant. De stippen corresponderen met de 46 casussen, de lijnen met de vier onderzochte methoden.



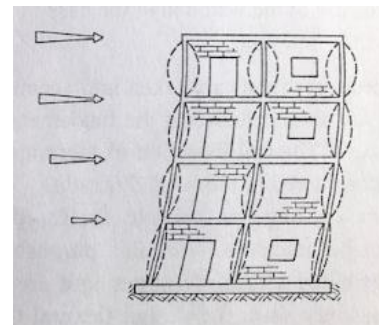
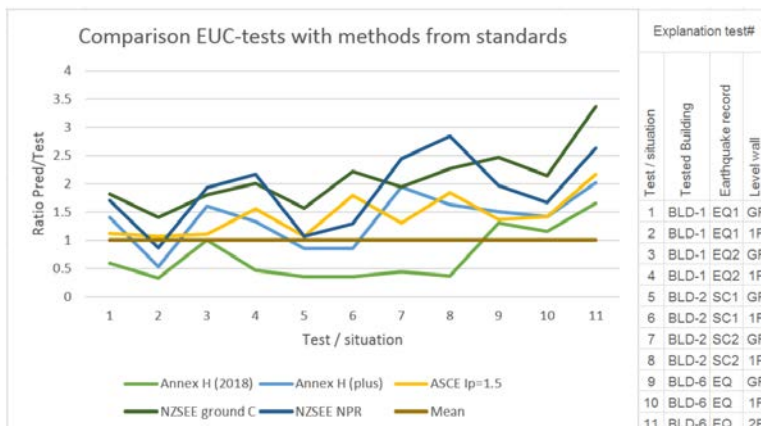
*Toelichting op wijzigingen aan de belastingkant (demand)*

De wand bevindt zich ergens in het gebouw en zal daar ter plaatse een belasting ondergaan die afhangt van de beweging/trilling van het gebouw als totaal. Deze *demand* op de wand dient vergeleken te worden met de capacity; daaruit volgt de beoordeling, of hij voldoet of niet. Vijf verschillende benaderingen voor de demand zijn geëvalueerd aan de hand van 11 representatieve shake-table testen, 18 direct displacement based design berekeningen, 7 niet-lineair dynamische modelberekeningen en literatuur. Verschillende typen gebouwen zijn beschouwd. Uit deze beschouwing is beredeneerd de beste methode gekozen, een aangepaste Annex H methode.

Ook hier zijn pittige discussies gevoerd en is een gedragen keuze gemaakt.

Bij de keuze van zo'n algemene demand formulering (een zgn. code spectrum) ontcom je er niet aan dat voor een aantal wanden in een aantal gebouwen een behoorlijk conservatisme aanwezig is, terwijl gemiddeld gezien de match beperkt conservatief en veilig gekozen is. Ook werd duidelijk dat de demand-benadering in de huidige Annex H gemiddeld gezien aan de optimistische kant was (onveilig).

Onderstaande figuur geeft een impressie van dit kalibratieproces voor de demand-zijde, voor de 11 genoemde lab-testen ("Annex H plus" is de nieuwe methode).



Het team heeft deze discussie- en zorgpunten geadresseerd door de principe-lijn van een gelaagde aanpak neer te zetten (tiered approach, analoog aan Annex G, nu vermeld in de inleiding van Annex H):

- Tier 1: Algemeen code secondary floor spectrum (huidige methode, met beste keuze voor type spectrum, voor alle gebouwen)
- Tier 2: Gebouw-specifiek secondary floor spectrum (reeds geplande vervolgfase, met aanvullende NLTH analyses, dan kan per hoofdtype gebouw een meer specifiek passend spectrum geproduceerd worden)
- Tier 3: Volledig niet-lineair dynamische analyse volgens Annex F.

Daarnaast is in de laatste vergadering via een integrale afweging vanuit zowel de capacity als demand zijde besloten om vanwege bewezen ductiliteit bij two-way bending voor vertande scheuren een conservatisme weg te nemen door verhoging van de q-factor aan de belastingkant. Dit verlaagt de belasting in dergelijke situaties. Een eerder voorstel om daartoe een verlaging van de return periode voor two-way bending in Annex H toe te passen ging te ver, maar dit tussenvoorstel had brede steun.

### *Verloop van het proces*

Bovenstaand is gepoogd een indruk te geven van het proces, enkele dilemma's, verantwoording van de gemaakte keuzes (met x% van de kennis toch 100% keuzes gemaakt, niet afhaken of slechts hintten op NLTH analyses), en hoe bepaalde zorgpunten geadresseerd worden in vervolgfases of in de praktijk geadresseerd kunnen worden.

De ontwikkeling heeft plaats gevonden in de periode oktober 2019 t/m mei 2020.

De capacity-zijde is verzorgd door TU Delft, de demand-zijde door BORG. Input van andere taakgroep-leden kwam soms wat laat op gang maar is uiteindelijk goed naar boven gekomen en verwerkt. Dit betrof met name Bureau Hageman (samenhang two-way bending met Eurocode en nationale metselwerk annex, blik op materiaalparameters en demand-zijde, praktische opmerkingen spouwmuren e.d.), TNO (voor o.a. algemene balans veiligheidsdenken, steun calibratie, reductie conservatisme), consultants waaronder Arup en RHDHV (o.a. extra nadruk op randvoorwaarden, belastingen, en de link naar dynamisch denken en NLTH analyses). NEN bewaakte voortgang en tijd. Voorzitter algemene werkgroep schoof aan in laatste fase.

Uit de laatst gevoerde discussies is naar voren gekomen dat er duidelijk moet worden aangegeven dat Annex H vereenvoudigde berekeningsmethoden beschrijft waarmee in een eerste stap kan worden beoordeeld of wanden voldoen aan de eisen voor de constructieve veiligheid. Indien dit hiermee niet kan worden aangetoond, dan betekent dat niet persé dat de wand niet voldoet, en kan een meer geavanceerde berekeningsmethode (zoals een tier 2 methode met een gebouwspecifiek spectrum of een tier 3 op FEM gebaseerde NLTH berekening) worden ingezet om de constructieve veiligheid aan te tonen. Dit is verwerkt in de inleiding van Annex H.

Het op correcte wijze bepalen en meenemen van de aansluitingen van wanden aan de overige constructieve delen en andere randvoorwaarden, alsmede het bepalen van de juiste verticale belastingen op wanden, gedurende een aardbeving is zeer essentieel. Analooeg daaraan moeten ook de materiaaleigenschappen goed worden geselecteerd, met behulp van de aanwijzingen elders in de NPR en in de nationale bijlage bij Eurocode 6. Dit vraagt kennis van de gebruikers en wellicht een nadere toelichting in bijvoorbeeld voorbeeldberekeningen, een achtergrond- of een instructiedocument, om daarmee "foutief" gebruik van de beschreven methodes en het trekken van eventuele verkeerde conclusies zoveel mogelijk te voorkomen. Deze opmerkingen zijn grotendeels ook van toepassing bij meer geavanceerde berekeningen.

### *Voorzien effect, impact van deze vernieuwde Annex H*

Gezien het strakke tijdschema was de prioriteit om een zo betrouwbaar mogelijke, wetenschappelijk onderbouwde, aan testen en analyses gekalibreerde Annex op te leveren.

Aan een kwantitatieve effect-analyse, of impact-analyse voor de situatie in Groningen zijn we nog niet toegekomen. Het advies aan BZK/NCG is om een dergelijke analyse op te starten. Hier zijn ideeën voor. Het kan met analyses van voorbeeld-casussen beginnen en kan vervolgens geparametriseerd aangepakt worden, door de populatie van wanden te beschouwen met hun variërende afmetingen, randvoorwaarden, bovenbelastingen, openingen, materiaaleigenschappen, en hun variërende belastingsituaties afhankelijk van hun positie in het gebied (seismische zone) en in het gebouw. Kwalitatief gesproken verwachten we winst. Ten opzichte van de vorige Annex H is de demand zijde weliswaar strenger, maar de verwachting is dat dit voor de totale populatie ruim gecompenseerd wordt door winst aan de capacity zijde, vanwege veel voorkomende meerzijdig gesteunde wanden.

Het huidige plan voorziet in het geven van een kennisoverdrachtssessie naar de praktijk in de vorm van een webinar. Tevens is voorzien in doorontwikkeling van bovengenoemde tier 2. Daarnaast zal module 3 van NEN (cross-validatie van verschillende levels van in-plane NLPO methoden, en vergelijking met NLTH) waar mogelijk uitgebreid worden met aandacht voor out-of-plane.