



Hanze
University of Applied Sciences
Groningen

Myths and Fallacies in the Groningen Earthquake Problem

inaugural speech

I. E. (Ihsan) Bal, PhD

share your talent. **move** the world.

**Myths and Fallacies
in the Groningen Earthquake
Problem**

inaugural speech

I. E. (Ihsan) Bal, PhD



Nigel Priestley (credit: Tobolski Watkins Engineering)

This book is dedicated to Prof. Nigel Priestley, author among many other publications of the book “Myths and Fallacies in Earthquake Engineering”. His book is considered to be a mile-stone in earthquake engineering, stating the problems and misconceptions in the classical force-based design procedure that is widely used all around the world. Prof. Priestley inspired many young individuals in New Zealand, in San Diego and in ROSE School, Pavia, Italy. I had the honour to be one of his students and found the chance to discuss technical matters with this humble but brilliant personality during my education.

Table of Contents

Preface	5
1. Groningen earthquakes are different: an augmented reality	7
2. Earthquake-proof buildings: mission impossible	9
3. Correlation of damage with small and frequent earthquakes: a wrong start	12
4. Monitoring the earthquakes: confusion	14
5. Seismic codes, guidelines and NPR: not a good choice	21
6. Solving the myths, correcting the fallacies	24
References	26

How quick are we to learn:
that is, to imitate what others have done or thought
before. And how slow are we to understand:
that is, to see the deeper connections.

Frits Zernike

Colophon

Title: Myths and Fallacies in the Groningen Earthquake Problem
Author: I.E. (Ihsan) Bal, Phd
Translations E-D: Maaïke van der Rijst, Tekstadvies en –productie
Final editing: Rixt Froentjes
Editor: Hanze Research Centre for Built Environment
NoorderRuimte, June 2018
Layout: Canon Business Services
Printing: Grafische Industrie De Marne
Photography cover: Holstein Restauratie Architectuur
ISBN: 978-90-826635-1-8

www.noorderruimte.nl

© 2018 Ihsan E. Bal



Application for the reproduction of any part of this book in any form should be made to the author. No part of this publication may be reproduced, stored or introduced in a retrieval system or transmitted in any form or by other means (electronic, mechanical, photocopying or otherwise) without the author's prior, written permission.

Preface

I was somewhat surprized with the fog in Groningen upon my arrival. This is not the fog that covers the beautiful landscapes of the northern Netherlands in the evening and in the early morning. No... It is the fog that obscures the real aspects of the earthquake problem in the region and is crystallised in the phrase “Groningen earthquakes are different”, which I have encountered numerous times whenever I raised a question of the type “But why..?”. A sentence taken out of the quiver as the absolute technical argument which mysteriously overshadows the whole earthquake discussion.

Q: Why do we not use Eurocode 8 for seismic design, instead of NPR?

A: *Because the Groningen earthquakes are different!*

Q: Why do we not monitor our structures like the rest of the world does?

A: *Because the Groningen earthquakes are different!*

Q: Why does NPR, the Dutch seismic guidelines, dictate some unusual rules?

A: *Because the Groningen earthquakes are different!*

Q: Why are the hazard levels incredibly high, even higher than most European seismic countries?

A: *Because the Groningen earthquakes are different!*

and so it keeps going...

This statement is very common, but on the contrary, I have not seen a single piece of research that proves it or even discusses it. In essence, it would be a difficult task to prove that the Groningen earthquakes are different. In any case it barricades a healthy technical discussion because most of the times the arguments converge to one single statement, independent of the content of the discussion. This is the reason why our first research activities were dedicated to study if the Groningen earthquakes are really different. Up until today, we have not found any major differences between the Groningen induced seismicity events and natural seismic events with similar conditions (magnitude, distance, depth, soil etc...) that would affect the structures significantly in a different way.

Since my arrival in Groningen, I have been amazed to learn how differently the earthquake issue has been treated in this part of the world. There will always be differences among different cultures, that is understandable. I have been exposed to several earthquake engineers from different countries, and I can expect a natural variation in opinions, approaches and definitions. But the feeling in Groningen is different. I soon realized that, due to several factors, a parallel path, which I call “an

augmented reality” below, was created. What I mean by an augmented reality is a view of the real-world, whose elements are augmented and modified. In our example, I refer to the engineering concepts used for solving the earthquake problem, but in an augmented and modified way. This augmented reality is covered in the fog I described above. The whole thing is made so complicated that one is often tempted to rewind the tape to the hot August days of 2012, right after the Huizinge Earthquake, and replay it to today but this time by making the correct steps. We would wake up to a different Groningen today.

I was instructed to keep the text as well as the inauguration speech as simple as possible, and preferably, as non-technical as it goes. I thus listed the most common myths and fallacies I have faced since I arrived in Groningen. In this book and in the presentation, I may seem to take a critical view. This is because I try to tell a different part of the story, without repeating things that have already been said several times before. I think this is the very reason why my research group would like to make an effort in helping to solve the problem by providing different views. This book is one of such efforts.

The quote given at the beginning of this book reads “How quick are we to learn: that is, to imitate what others have done or thought before. And how slow are we to understand: that is, to see the deeper connections.” is from Frits Zernike, the Nobel winning professor from the University of Groningen, who gave his name to the campus I work at. Applying this quotation to our problem would mean that we should learn from the seismic countries by imitating them, by using the existing state-of-the-art earthquake engineering knowledge, and by forgetting the dogma of “the Groningen earthquakes are different” at least for a while. We should then pass to the next level of looking deeper into the Groningen earthquake problem for a better understanding, and also discover the potential differences.

1. Groningen earthquakes are different: an augmented reality

Induced earthquakes related to large-scale human activities of the exploitation of natural resources constitute one of the most recent research topics in earthquake engineering. Natural resource sites in Europe and in the US, such as Groningen, Basel, Texas and Oklahoma, attract research interest rendering induced seismicity as the spearhead in earthquake engineering at the moment. The main question arising thus is whether the existing state-of-the-art in the earthquake engineering discipline is applicable to the regions that are introduced to induced seismic events and were not prone to seismic activities before. This question covers a wide spectrum of topics, from seismological definitions and measurement of earthquakes to response of non-seismically designed buildings in the structural inventory to recursive and relatively low magnitude events. The discussion goes back even to the trivial question of whether these events can be called “earthquakes” or are simply “tremors”.

Comparison of seismic events to each other is at least a difficult endeavour, if possible at all. Earthquakes are complex geophysical events affected by numerous parameters, most of which are still unknown or unidentified by the researchers. Considering that even the comparison of seismic records from two relatively close stations within the same seismic event is not straight-forward, then comparison of natural events to induced seismicity events which do not occur at similar locations in most cases becomes an extremely challenging task.

One of the major barriers in this comparison is the availability of data. The seismic records from induced seismic events are, first, derived from a very limited number of regions, and second, they cover a very short period of observation, shorter than a decade in most cases. Furthermore, relatively small-magnitude earthquakes need to be compared to induced earthquakes, but such low-magnitude seismic events are not always reported or kept in servers long by the data providers in highly seismic regions.

A recent research paper presented by our Research Group in the European Conference on Earthquake Engineering (Bal et al., 2018) looks into parameters that are comparable in induced and natural earthquakes and searches for “differences” within the very limited database used. Due to the inherent difficulties mentioned throughout that paper, it is not possible to reach a definitive conclusion whether natural and induced seismic events are different or similar.

The existing state-of-the-art may not provide clear distinctions between induced and natural seismic events, however, most of the established rules and approaches of earthquake engineering can serve to purposes of research focused on induced seismicity as well. In this respect, it can be said that most researchers involved in induced seismicity already presume a large amount of similarities between the two types of events.

The induced seismicity events of Groningen are often compared with natural seismicity events, and a quick conclusion is drawn stating that “*the Groningen earthquakes are different*”. This statement is mostly the result of a misconception of comparing very large seismic events and their results with the induced seismicity in Groningen. In this case, the comparison is made by using non-comparable quantities. Our study is an effort to compare the comparable, starting from the question on how to define what quantities are comparable. A study on a limited database, by using relatively simple comparisons on both strong motion and structural response fields, yields the conclusion that there are no clear differences between induced seismic events and comparable natural seismic events, unless the opposite is proven.

There is some published work in the literature that aims to find out whether the induced earthquakes in other parts of the world are different from natural ones. To my knowledge, apart from our first attempt, there is no study which checks whether the Groningen earthquakes are really different or not. Though often used as an argument but never subjected to any scientific scrutiny, this statement has no other use than helping the formation of **an augmented reality**.

2. Earthquake-proof buildings: mission impossible

Engineers have been systematically working on designing structures against earthquake actions for over a century. Interestingly enough, apart from a few cases that are related to nuclear power plants (Newmark & Hall, 1969), the aim has never been to construct earthquake-proof buildings.

If we look at it from an etymological point of view, the analogy with water-proof will help us better understand what earthquake-proof may resemble. Water-proof literally means “no penetration of water”, or in other words, “no effects due to water penetration”. Earthquake-proof would then mean “no effects on structures due to earthquake actions”. Is that possible or feasible at all?

Designing and constructing an earthquake-proof building is more a question of feasibility and effectiveness than technical ability. In some structures, though limited to the design earthquake level, an earthquake-proof construction may be possible. This would, however, entail unfeasibly large structural members, to a point that would limit the architectural use of the structure, let alone the astronomical construction costs. This is the reason why the seismic codes in the world request the life safety of citizens during large magnitude earthquakes, and there is practically no code that demands an earthquake-proof type of structural response for ordinary structures. The seismic design philosophy in the world suggests that the structures should be able to withstand:

- frequent earthquakes with minor damage,
- rare earthquakes with repairable damage, and
- very rare earthquakes without collapse.

The “frequent earthquakes” are the service level earthquakes that the structures will certainly and very often face during their economic life. “Rare earthquakes” are the large seismic events with a significant chance that the structures will face these during their lifetime, thus the seismic design should be based on this type of seismic level. This is the reason why the rare earthquake is also called “design earthquake” in earthquake engineering. The “very rare” earthquakes are not expected during the life time of a structure, and thus the structures are not designed for such catastrophic events. In case they occur, however, the structure should withstand such seismic actions without suffering total collapse, without causing loss of life.

It may be quite difficult for the people in Groningen to accept this, but when looking at it from the perspective explained above, the structure given in Figure 1 was successful in terms of earthquake engineering design philosophy. Considering that the February 2011 Christchurch Earthquake (M_w 6.2) was way above the design level earthquake defined by the code at that time, this event was a “very rare” event for the region. The structure given in Figure 1 performed exactly as desired by reaching an ultimately high damage level but without collapsing. In countries where the seismicity levels are high, what matters for earthquake engineers is that people are able to walk away safely from buildings like in Figure 1 after the very strong shaking. The level and type of seismicity, causes, effects and expectations are obviously, and understandably, different in Groningen.



Figure 1. Photo of a residential house from CBD Christchurch, New Zealand (taken by Ihsan E. Bal after 22 February 2011 Christchurch Earthquake M_w 6.2)

The word “aardbevingsbestendig” in Dutch is often translated as “earthquake-proof”. This is wrong not only from an accurate translation point of view, but also, as explained above, from a technical point of view. Given the special conditions of the earthquake issue in Groningen, as explained in the next section, this situation is literally a case lost-in-translation, leading people to have very different expectations of what really is possible and feasible. If one sees this section of the book within the damage claims perspective, it can be concluded that there will be cracks in the Groningen houses, as long as there are earthquakes, in most cases even if strengthening measures are applied. It can immediately be understood then that

aiming at “no cracks” in Groningen structures has no point, in other words, it is just **mission impossible**.

The seismic design levels in earthquake engineering are defined based on the concept of saving lives, thus based on large natural earthquakes. Knowing the fact that the earthquake-proof is a mission technically impossible, maybe it is time to introduce a new terminology and philosophy, that better fits the facts and expectations of the region: Comfort Level Earthquake (CLE). This new design concept is further explained in the last chapter.

3. Correlation of damage with small and frequent earthquakes: a wrong start

The “gas extraction-earthquake-damage-claim-compensation” cycle in Groningen given in Figure 2 has some gaps. My colleagues at Hanze Research Centre for Built Environment NoorderRuimte can explain other views of this vicious cycle, especially in terms of social impact. My point is rather technical. This is an issue that causes legal liability, but the proof is expected from technical people. The required proof however does not fit within the earthquake engineering perspective. The very reason for this is the ambiguous relationship between small recursive earthquakes and visible structural cracks. A clear relationship is further hindered by the particular soil and structural properties in the Groningen region.

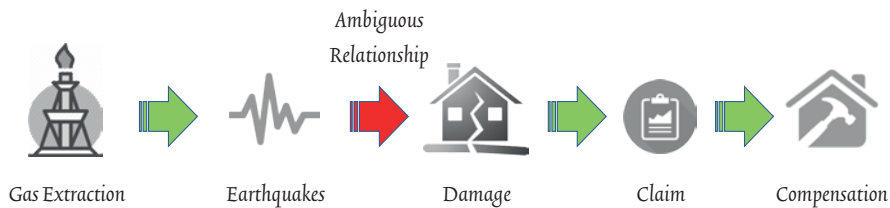


Figure 2. The earthquake cycle in Groningen

One can claim that most structures in the earthquake region were already damaged because the soil is soft, the ground water table oscillates, and structures are vulnerable to external conditions anyhow and deteriorate in time. I am afraid that this would not be a wrong proposition. The other side of the coin, however, is that the quite small and recursive earthquakes can cause serious damages on structures, not because of the direct loading on the load bearing system but due to the interaction between the soft soil and the structure. Most structures in the region are masonry, a brittle material that cannot compensate even slight foundation movements. In this case, recursive tremors can easily move the soil, imposing support settlement to the structural bearing system that can take place even after the earthquake. This would cause damages that look like triggered by soil movement, but are these cracks really caused by the soil settlement or by the earthquakes? As can be seen, confirming or excluding one or the other causes can be quite complicated and cumbersome, if not pointless, in terms of engineering work, time and money.

One good example to show the difficulty of the job is the work our Research Group conducted on Fraeylemaborg in Slochteren (Dais et al., 2018). This royal monument experienced serious damages in recent earthquakes and was repaired twice. Our structural computer simulations did not explain why these damages had occurred.

After much more detailed work in which we collected more data, investigated the structural damages and damage signs more thoroughly, and ran non-destructive vibration tests on the structure, we came up with a scenario. This scenario is shown in Figure 3. According to that, the mostly-damaged North-West wing of the structure must have lost support in order to trigger the cracks observed on that part of the structure. This loss of support can only occur if the masonry retaining structure failed and moved, allowing the soil and the foundation system to follow in a mostly lateral direction. There are signs around the structure supporting this scenario. In this case, the observed cracks may seem soil-related to a technical person who does not know the earthquake history of Fraylemaborg. However, the soil movement is most probably related to the earthquakes. This is a collateral damage that is extremely difficult to prove, and yet our scenario remains just a scenario after the detailed work.

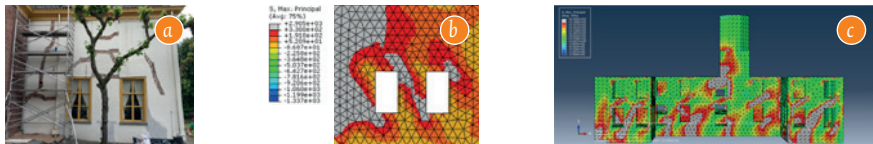


Figure 3. Fraylemaborg in Slochteren,

- (a) The real crack pattern observed in North-West wing of the structure,
- (b) the response of the same wall for the seismic scenario simulated in the computer
- (c) the response of the entire structure for the same seismic scenario (the grey contours show the regions at which cracks would be expected)

In short, even with my education in earthquake engineering and almost two decades of practice in earthquakes and structures, I personally am not able to clearly connect or disconnect visible structural cracks in Groningen houses with the earthquakes that have not exceeded M_w 3.6 so far. Cracks would be much more pronounced if the earthquakes occurred in larger magnitudes, because then the identification of cracks caused by earthquakes would be a much easier job. In the existing situation of small magnitude earthquakes, I can always have my views, which I would rather call “speculations”. There is, however, a great gap between a personal and rather subjective opinion and technically sound conclusions to create base for a financial claim or to decline such a claim. This is the reason why I believe that the people in the region should be financially compensated, independent of the number, length, width, distribution and cause of the cracks in their properties. After all, who wants to live in a house that has no earthquake-caused cracks but keeps shaking continuously? This is the reason why I call the entire “gas extraction-quake-damage-claim-compensation” loop a **wrong start**. People in the earthquake region should be compensated unconditionally!

4. Monitoring the earthquakes: confusion

Monitoring the earthquakes is an important part of the earthquake engineering discipline. This is because the earthquake motion is a complex movement of earth that cannot be described by using single numbers. It differs significantly, for example, from meteorological observations in which the simplified values such as temperature, humidity, probability of rain would be enough to explain the weather of the entire day to the citizens. On the other hand, a single earthquake that does not last more than 10 seconds can be described in more than 50 different ways. These would require computational calculations, plots of earthquake parameters changing several times in a second, and complex comparisons in the statistical domain. This does not mean that earthquake engineering is a more complicated discipline of science than other disciplines, but it is just one of the most difficult disciplines to communicate to citizens. Uncertainty is in the nature of earthquake engineering, something that people or decision makers who are used to black-and-white conclusions do not necessarily sympathise with.

An earthquake monitoring device that functions in 3D typically records 600 data lines in a second. A minute of seismic recording then requires 36,000 data lines, full of numbers in positive and negative signs, increasing and decreasing in milliseconds. The famous PGA (peak ground acceleration) most Groningen people are familiar with, for example, is the absolute maximum of these 36,000 points, that might have occurred as a tiny peak in a millisecond, or in other words, in the blink of an eye. Relating the damage claims or lives of people to that single number that does not last more than the blink of an eye would obviously not make sense. Many more and rather complicated indicators are needed. This, in turn, requires comprehensive monitoring activities to record what actually happened in seconds of time on the face of the earth, and sometimes, also on the structures.

A good example is the comparison of the November 2014 Zandweer Earthquake, Middelstum-2 record with August 2012 Huizinge Earthquake, Middelstum-1 record. Both records have similar PGA values, but many other indicators, such as spectral values and PGV (peak ground velocity) are quite different. Overall, it is also known that, despite producing a similar PGA, the Huizinge event was much more damaging than the Zandweer event. If we recorded only an absolute maximum acceleration on the earth, then we would have a very wrong picture of these two earthquakes.

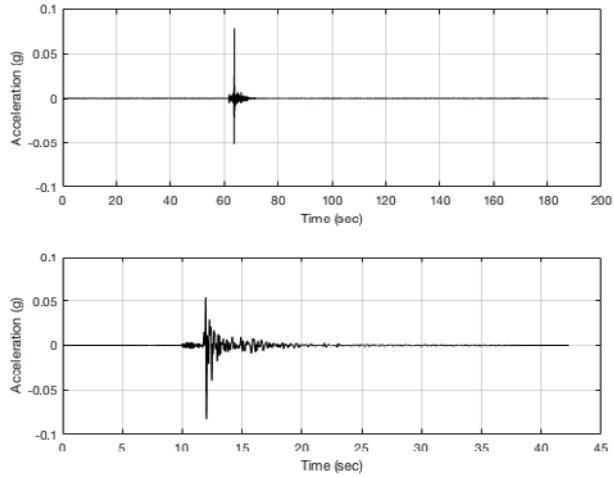


Figure 4. Comparison of the November 2014 Zandweer Earthquake, Middelstum-2 record (above) with August 2012 Huizinge Earthquake, Middelstum-1 record (below) with similar PGA values

After underlining the importance of seismic monitoring, we now come to the burning question. What to monitor, and more importantly, how to monitor?

There are two types of monitoring activities in earthquake engineering: i) strong ground motion (SGM) recording, and ii) structural health monitoring (SHM). The monitoring by KNMI is the SGM activity. To my knowledge, there is only one structure in the region that is monitored according to the well-known standards of SHM, and that is Fraeylamaborg in Slochteren. This monument is monitored by using 5 accelerometers, placed by our team, and 1 tiltmeter at the base, placed by StabiAlert. This is already a good combination of sensors, but it can always be improved to better understand the behaviour of this structure during and after an earthquake.

The earth in Groningen moves when there is an earthquake in New Zealand, or in the US, or somewhere else. This is the reason why observatories around the world can practically report earthquakes taking place anywhere in the world. This earth movement however is a very weak type of motion and can be quantitatively detected only by seismometers, which are weak ground motion recording equipment. Seismometers do not need to be close to the earthquake source. If the recorder is 50km or closer to the fault rupture, then the movements on earth can be felt by humans and can be clearly recorded by other instruments than the seismometers, such as accelerometers. Accelerometers have to be close to the earthquake source. This is the reason why acceleration recordings close to the

earthquake zone are called Strong Ground Motion records. The accelerometer stations KNMI installed in the region are Strong Ground Motion stations that function similar to the accelerometers of other agencies in the world. There are 50+ accelerometer stations of KNMI, recording every earthquake in the region, and they have been quite useful for understanding the effects of earthquakes in the area. In agreement with all this, the seismic guideline NPR also indicates an acceleration response spectrum, a scale that defines how much acceleration each structure would be subjected to during a hypothetical earthquake. So far, so good... We can now start addressing more disputable questions on the monitoring issue.

Tilt-meters

One of the hottest issues in the region is the use or non-use of tilt-meters. Tilt-meters, as the name implies, measure the tilt, that is a rotation angle from a certain axis. They are extremely sensitive equipment that in some cases can detect even far-off earthquakes. They are also sensitive to surface waves, an issue we often ignore in earthquake engineering, and a topic we will come back to in the following parts of this section. But overall, there are quantities that only the tilt-meters can measure. They also can be more sensitive to the strong and weak motions than the accelerometers, thus in some cases they exhibit peaks in their measurements while accelerometers do not present any meaningful motion. However, the practical difficulty in using the tilt-meters lays in the interpretation of results rather than in the sensitivity or accuracy of this equipment. The readings of tilt-meters are often qualitative rather than quantitative, depending on where they are placed. In other words, a tilt-meter can detect a motion, but a structural engineer would not be able to understand what this motion means for the structure.

If the tilt-meter is placed on the foundation, on soil close to a retaining wall or directly on the retaining wall, on a dyke, or on a tall part (like a tower) of a structure, then the tilt-meter reading can be extremely useful for structural engineers. It should be noted, however, that a structural engineer would be more interested in the results right before and right after the earthquake than those that occur within the seconds the earthquake motion takes place. This makes the tilt-meters a Structural Health Monitoring equipment that can complement other equipment to shed light on before-after comparisons of sensitive parts of some structures. To be clear, if a structure is instrumented only with tilt-meters, this is not meaningful alone. If used for structural monitoring, tilt-meters should complement accelerometers.

It is worth mentioning here the surface-waves and tilt-meters as well. Some of the readers may recall the AM radios used in the past. These were radios with longer antennas and could detect radio signals from far-off radio stations. The AM-type radio waves have small amplitude, and very large wave-length. They contain a large amount of energy, and because of this they can travel far distances without being

damped. FM-radios are for short distances, the waves have lower energy content, and can be detected with shorter antennas. When an earthquake occurs somewhere in the world, the FM-type earthquake waves are damped on the way, while the long-period AM-type waves can travel all around the world. These are the waves tilt-meters can detect. But such waves are often ignored in earthquake engineering because of their very low amplitude and very long wave periods. These periods are often in the range of 2-3 seconds, a period that is of interest only for very large structures, such as a kilometre-long suspension bridge or a 50-storey skyscraper. Some of the records I have seen from the tilt-meter records in Groningen, however, go down to 0.5 sec period. If this is valid, it can be of scientific interest. This is an issue that needs further research.

In conclusion, tilt-meters :

- are not an alternative for accelerometers, as accelerometers are not an alternative for tilt-meters; these are different types of equipment,
- can provide crucial information about the structure, especially right after an earthquake
- are not stand-alone structural monitoring equipment, but they can be very useful in combination with other sensors
- further research is needed to discover the use of tilt-meters in shallow earthquakes and the detection of surface-wave characteristics

Velocity monitoring in housing and public buildings

There are nearly 400 buildings in the region in which advanced strong ground motion (SGM) equipment has been placed, though the activity is not SGM. These are accelerometers, but they are used for measuring velocity. This is done by further post-processing and integrating the original data. This network is one of the densest in the world.

First of all, for a non-technical reader, we need to describe the use of accelerations and velocities in earthquake engineering. Acceleration is a very useful term in earthquake engineering because it is directly correlated with the force acting on the structure during an earthquake. When the mass (mass can easily be obtained from the weight) of the structure is multiplied with the acceleration; the result gives approximately the force acting on the structure. If the horizontal accelerations are measured during an earthquake, it will be possible to estimate the force acted on that structure during that earthquake. This is the reason why the earthquake engineering community in the world have been using accelerometers for almost a century now, and most importantly, the entire earthquake resistant design concept is based on accelerations. Furthermore, the Dutch seismic guidelines, NPR, like all seismic codes in the world, also uses acceleration-based design forces.

There are two main discussions on these sensors and their use. Firstly, the location of the sensors and the way of mounting is in question. Secondly, the use of velocity instead of accelerations has implications. The first issue was already addressed in reports published by NAM. The paragraph below is taken from a public report published on the NAM website (Bommer et al, 2017):

The network now comprises of nearly 400 instruments and hence potentially could provide an extremely valuable database for the derivation of GMMs. However, most of the instruments are not installed at ground-level but rather mounted on brackets on walls and may therefore be influenced by structural response. Additionally, an operator-imposed PGV threshold of 0.1 cm/s has limited significantly the availability of records so far. Work is now underway to ascertain with what degree of confidence the recorded data can be assumed to represent the actual ground-motions, as well as to ensure that the PGV threshold will not restrict the production of records during future earthquakes.

The paragraph below is also taken from a public report published on the NAM website, as the next version of the above report (Bommer et al, 2018):

... to date these recordings have not been used in the model derivation because of concerns regarding the installation of many of the accelerographs above floor level (Figure 5 in this report). In order to investigate the degree to which the structural response of these buildings may have influenced the recordings—and therefore the degree to which they can be used as representations of the actual ground motion—experiments have been conducted.

In the study by Bommer et al (2018), they use the shake table tests conducted in LNEC in Lisbon where instruments on wall brackets were reproduced together with a second instrument correctly installed at the base of the building (Figure 6 in this report).

The reader would then come up with the question: if the entire earthquake engineering discipline has been based on measuring accelerations on the ground (remember the Strong Ground Motion term) for a century, if NPR is based on acceleration response, and even the sensors themselves measure accelerations, why then are these 400+ sensors placed in a different location in houses and is velocity recorded instead of accelerations? What I know is that these measurements are based on a SBR document, that is not a seismic regulation in essence (SBR, 2017). This seems to be the origin of the dispute, since the mounting of sensors and the collection of data are in line with SBR, but apparently not in line with the earthquake engineering practice worldwide. This is an issue that needs to be discussed further in order for the people in Groningen to benefit from a very advanced sensor network in a more effective way, as is clearly mentioned also by NAM as referenced above.



Figure 5. Examples of the 400+ accelerometers installed on a steel bracket and above ground level (taken from Bommer et al, 2018)



Figure 6. Reproduction of the installation of accelerometers at ground level and at a higher level on a full-scale shake table model at LNEC, Portugal (taken from Bommer et al., 2018)

My research group is ready to share views on this matter, to see what improvements can be accommodated, and how the existing knowledge and equipment can be used better.

There are two things that are discussed the most since I arrived Groningen: sensors and damage claims. The whole monitoring section above is difficult to follow even for technical people, so I can imagine that the entire discussion creates only one thing in the minds of citizens: **confusion**.

5. Seismic codes, guidelines and NPR: not a good choice

The 1755 Lisbon Earthquake, Portugal, is estimated as one of the deadliest earthquakes in history. It was a Mw 8.5–9.0 magnitude earthquake in the Atlantic Ocean, at approximately 200km from the city. It destroyed Lisbon, and under the leadership of legendary mayor Marquês de Pombal, the recovery operations took place. In the reconstruction phase, prescriptive rules were issued for building certain kinds of buildings common in the area, later called Pombalino structures. This was the first known case where the structural design and construction was regulated by the state, to a technical detail level, in order to construct earthquake-resistant structures.

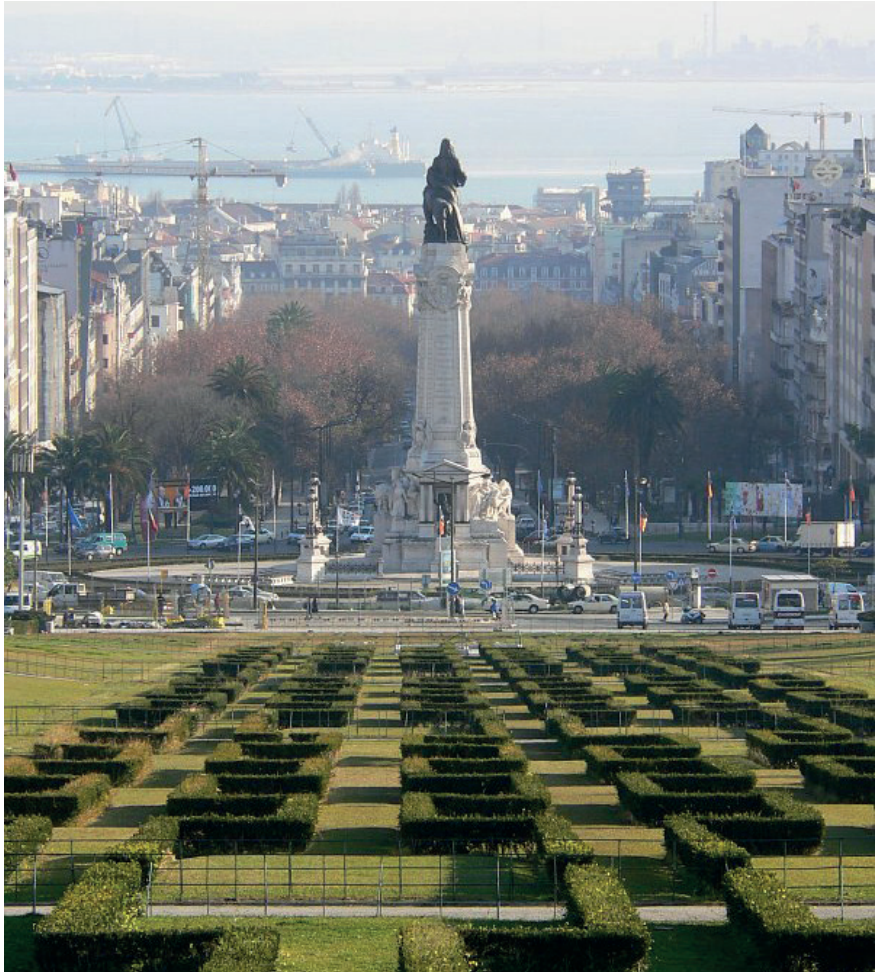


Figure 7. Marquês de Pombal Square in Lisbon, with his statue (credit: Wikipedia)

In the 20th century, following the 1908 Messina earthquake in Italy, the Royal Government of Italy established the Geological Committee and Engineering Committee in early 1909. The Engineering Committee intensively studied the lateral load resistance of buildings that survived the earthquake. They later recommended that a seismic ratio, which is the seismic acceleration divided by the gravity acceleration, equal to $1/12$ for the first floor and $1/8$ for the floors above should be used in seismic design of buildings. This is believed to be the first known quantitative recommendation of design seismic forces in the history of seismic codes.

The seismic codes and guidelines developed tremendously over the following decades. New concepts, such as elastic design spectrum, behaviour factor, ductility, and soil classes were added to these regulations one after the other. The journey which started with two simple numbers in the Italian Royal Decree in 1909 ended in complicated documents and appendices of hundreds of pages in our days.

The seismic codes in the world can be divided to three main categories: i) American-based codes, ii) European-codes, and iii) Japanese codes. Writing a comprehensive seismic code requires extensive and continuous research, thus many countries either use the international (mostly American) codes directly, or they translate and adapt them. American codes are mostly in guideline format and are updated quite frequently. European codes are called Eurocodes, numbered from 0 to 8, where Eurocode 8 is the seismic design code. Japanese codes are quite developed, complex, and mostly based on Japanese practice, and so are used by engineers in Japan mostly.

As a member of the European Union, The Netherlands applies Eurocodes from 0 to 7, deliberately excluding Eurocode 8. This is a rather confusing situation since the unified Eurocodes in Europe ensure fair competition in the construction business, so EU countries are not allowed to use only their own seismic code. Instead, each European country is forced, by EU laws, to practically allow to design and build by using Eurocodes 0 to 8. I am not aware of the juridical implications of this fact on the European and on national levels, however this forms a conflict case from a technical point of view. Eurocode 8 could be applied for the Groningen earthquake problem by issuing national annexes.

Because the internationally recognized codes and especially the European regulations, which are results of decades of quality work in earthquake engineering, are not followed, the history of NPR looks like a slalom in the long run. The major discussion a year ago was the time-consuming and super-complicated time history analysis that was forced by the previous NPR. After one year, this discussion has now been almost completely abandoned, and as a result of that slalom, some of the very much simplified methods like SLaMa are on the discussion table.

Based on my experience in Groningen, which now slightly exceeds a year, I personally find the development of NPR a non-productive and a non-healthy process as a whole. My impression is that deviations from the modern seismic codes, and from the Eurocodes especially, amplifies the slalom effect. A problem is created in each version of NPR and it is solved in the next version. Making a tremendous effort to maintain NPR as opposed to Eurocodes, to me, is **not a good choice**.

6. Solving the myths, correcting the fallacies

The myths and fallacies that have been created around the Groningen earthquake problem, for whatever reason, must be solved and corrected for a better Groningen, for rebuilding the trust. As a non-seismic country, the Netherlands might have not been ready to handle the problem when it first hit hard in 2012. But today, a lot has been learnt, knowledge has been collected, and experience has been obtained after many years and great effort. We are now closer to a brighter future than before, and we believe in my Research Group that we can play role in reaching that bright future.

We interact with people, with institutions, with companies and with students in the region. We live and work here. Hanze is well connected to the region, but also the other related institutions, EPI Kenniscentrum for example, help us to get connected to people and professionals even better. We take every chance to help the transition from the **augmented reality** to the reality itself. We do serious research, publish papers, deliver technical presentations that trigger international discussion to find out if the Groningen earthquakes are different, if these differences affect the structures, and what all these really mean to the people.

Earthquake-proof buildings are a **mission impossible**, but earthquake -resistant structures are very much possible. This is the name of our research group: earthquake resistant structures. We work together with other researchers, with the companies and with BuildinG to find out what more can be done to increase the resistance of the local construction to earthquakes, and how the regional historical heritage can be protected for future generations.

The damage claims and how the people are compensated are legal liability issues. It is very difficult to back this legal decision up with technical arguments as explained in this book, thus doing so is a **wrong start**. The people in the region are at least “disturbed” even if they do not have serious damage in their houses, and they should have been compensated unconditionally. There is however still need for a methodology to find out when “disturbance” turns into “considerable physical damage”. We propose a new design philosophy for this: Comfort Level Earthquake (CLE). The modern seismic design in the world is based on three earthquake levels: service level earthquake (SLE), design basis earthquake (DBE), and maximum considerable earthquake (MCE). The first one (SLE) refers to the level of no damage on the structural elements due to small frequent earthquakes. The second one (DBE) refers to repairable damage to structural elements due to rare but large magnitude earthquakes. The latter (MCE) refers to non-reparable structural damage but no collapse due to very rare and very large magnitude earthquakes. Our new design level, CLE, refers to the borderline between the disturbance and the considerable damage. The considerable damage means a level of damage that

people feel the need to repair or at least cover cosmetically. This level would depend on the building typology and vulnerabilities as well as social responses of the people to the earthquake damages. The level of such earthquakes should be close to the SLE level and probably slightly lower. We conduct research on this new proposal and will be able to provide more concrete ideas in the near future.

As mentioned earlier in the book, the monitoring activities create **confusion** for the non-technical people. The type of instruments is also a discussion that diverts the topic. In order to create a show-case of how we believe the monitoring should take place, we instrumented Fraylemaborg in Slochteren and started our own monitoring activities. There we use accelerometers together with a tiltmeter. We are trying to find more funds to increase our structural health monitoring activities in the region, especially for the historical buildings. We are also participating in open discussions, sharing ideas and knowledge to improve the monitoring activities. In the case of Groningen earthquakes, monitoring plays an extremely important role.

The particularities and urgency of the Groningen earthquake problem forced authorities to come up with a Groningen-specific seismic guideline: NPR. This idea that might have seemed suitable at the beginning of the journey, has now created many problems and disputes often jeopardizing the solution, proving that it was **not a good choice** after all. We strongly believe that the induced seismicity should become a European-level seismic design regulation and the Netherlands should take the lead in this endeavour. The successful application of Eurocodes (structural and seismic design codes of Europe) should be followed by the Netherlands as well. We will make a considerable effort to pursue this option.

References

- Bommer J, Dost B, Edwards B, Kruiver P P, Meijers P, Ntinalexis M, Rodriguez-Marek A, Ruigrok E, Spetzler J and Stafford P J (2017) “V4 Ground-Motion Model (GMM) for Response Spectral Accelerations, Peak Ground Velocity, and Significant Durations in the Groningen Field”, NAM Research Report.
- Bommer J, Edwards B, Kruiver P P, Rodriguez-Marek A, Stafford P J, Dost B, Ntinalexis M, Ruigrok E, and Spetzler J (2018) “V5 Ground-Motion Model (GMM) for the Groningen Field”, NAM Research Report.
- Dais D, Smyrou E, Bal I E, and Pama J (2018) “Monitoring, assessment and diagnosis of Fraeylemaborg in Groningen, Netherlands” in SAHC 2018: 11th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Cusco, Peru.
- Newmark N and Hall W J (1969) “Seismic design criteria for nuclear reactor facilities”, In Proceedings 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, volume 4, 37–50.
- SBR (2017) “Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken”, SBRCURnet, Delft, November 2017.



**Hanzehogeschool
Groningen**

University of Applied Sciences

Mythen en Misvattingen rond de aardbevings- problematiek in Groningen

Lectorale rede

I.E. (Ihsan) Bal, Phd

share your talent. **move** the world.

**Mythen en Misvattingen
rond de aardbevingsproblematiek
in Groningen**

Lectorale rede

I.E. (Ihsan) Bal, Phd



Nigel Priestley (credit: Tobolski Watkins Engineering)

Dit boek is opgedragen aan Prof. Nigel Priestley, schrijver van o.a. “Myths and Fallacies in Earthquake Engineering.” Zijn boek wordt gezien als een mijlpaal in de aardbevingstechniek en benoemt de problemen en misvattingen in de klassieke force-based design procedure die overal ter wereld gebruikt wordt. Prof. Priestley inspireerde veel jongeren in Nieuw-Zeeland, San Diego en op de ROSE School in Pavia, Italië. Ik had de eer een van zijn studenten te zijn en kreeg de kans om tijdens mijn opleiding met deze bescheiden maar briljante man over technische zaken te discussiëren.

Inhoud

Voorwoord	5
1. De Groningse aardbevingen zijn anders: een aangezette werkelijkheid	7
2. Aardbevingsbestendig bouwen: mission impossible	9
3. Schadecorrelatie van kleine en frequente aardbevingen: een valse start	12
4. Het monitoren van aardbevingen: opperste verwarring	14
5. Seismische codes, richtlijnen en de NPR: geen verstandige keus	21
6. De mythen oplossen, de misvattingen rechtzetten	24
Verwijzingen	26

We zijn snel in het leren:
dat wil zeggen, in het imiteren van wat anderen al
gedaan of bedacht hebben. Maar we zijn traag in
het begrijpen en het zien van diepere verbanden.

Frits Zernike

Colofon

Titel:	Myths and Fallacies in the Groningen Earthquake Problem
Auteur:	I.E. (Ihsan) Bal, Phd
Eindredactie:	Rixt Froentjes Vertaling E-N: Maaïke van der Rijst, Tekstadvies en -productie
Uitgever:	Kenniscentrum NoorderRuimte Hanzehogeschool Groningen, juni 2018
Layout:	Canon Business Services
Drukkerij:	Grafische Industrie De Marne
Fotografie omslag:	Holstein Restauratie Architectuur
ISBN:	978-90-826635-1-8

www.noorderruimte.nl

© 2018 Ihsan E. Bal



Behoudens uitzonderingen door de wet gesteld mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbende(n) op het auteursrecht, c.q. de uitgeefster van deze uitgave, door de rechthebbende(n) gemachtigd namens hen op te treden, niets uit deze uitgave worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of anderszins, wat ook van toepassing is op de gehele of gedeeltelijke bewerking.

Voorwoord

Toen ik in Groningen aankwam, was ik een beetje verbaasd over de mist. Niet de mist die 's ochtends over het prachtige landschap van Noord-Nederland hangt. Nee... de mist die de echte problematiek rond de aardbevingen in de regio versluiert en samengevat wordt in één zin: "Groningse aardbevingen zijn anders." Deze opmerking kreeg ik heel vaak te horen wanneer ik een vraag stelde die begon met "Maar waarom...?" Een opmerking die gold als het ultieme technische argument dat om de een of andere raadselachtige reden de hele aardbevingsdiscussie overschaduwde.

V: Waarom gebruiken we in aardbevingsbestendig bouwen Eurocode 8 niet in plaats van de NPR?

A. Omdat Groningse aardbeving anders zijn!

V: Waarom monitoren we onze gebouwen niet zoals de rest van de wereld dat doet?

A. Omdat Groningse aardbeving anders zijn!

V: Waarom staan er ook hele ongebruikelijke regels in de NPR, de Nederlandse seismische richtlijn?

A. Omdat Groningse aardbeving anders zijn!

V: Waarom is het gevaarniveau zo ontzettend hoog, hoger zelfs dan in de meeste Europese landen waar aardbevingen voorkomen?

A. Omdat Groningse aardbeving anders zijn!

en zo gaat het maar door...

Deze opmerking hoor je heel vaak, maar ik heb nog geen enkel onderzoek gezien die haar onderschrijft of zelfs maar ter discussie stelt. Het zou moeilijk te bewijzen zijn dat de Groningse aardbevingen anders zijn. In elk geval belemmert het een gezonde technische discussie wanneer de argumenten meestal teruggevoerd worden op een enkele bewering, onafhankelijk van de inhoud van de discussie. Daarom waren onze eerste activiteiten rond het bestuderen van de Groningse aardbevingen erop gericht om te zien of de Groningse aardbevingen echt anders zijn. Tot op de dag van vandaag hebben we nog geen enkel belangrijk verschil gevonden tussen de geïnduceerde aardbevingen in Groningen en natuurlijke aardbevingen in soortgelijke omstandigheden (kracht, omvang, diepte, bodem etc...) die echt een significant ander effect hebben op de gebouwen.

Sinds mijn komst naar Groningen sta ik er versteld van hoe anders het aardbevingsprobleem in dit gedeelte van de wereld wordt benaderd. Natuurlijk, er zijn culturele verschillen. Ik heb met aardbevingsingenieurs uit verschillende landen gewerkt, en ik weet dat ik verschillende meningen, benaderingen en definities kan verwachten. Maar in Groningen voelt het anders. Ik besepte al snel dat de Nederlandse ingenieurs een parallel traject hebben gecreëerd dat ik hieronder een “aangezette werkelijkheid” noem. Met een aangezette werkelijkheid bedoel ik een kijk op de wereld waarin bepaalde elementen aangezet en aangepast zijn. In ons voorbeeld verwijs ik naar de technieken die gebruikt worden voor het oplossen van het aardbevingsprobleem, maar op een aangezette en aangepaste manier. Deze aangezette werkelijkheid gaat schuil onder de mist die ik hierboven beschreef. Het is allemaal zo ingewikkeld gemaakt dat je vaak de neiging hebt de band terug te spoelen naar de warme zomerdagen in augustus 2012, net na de aardbeving in Huizinge, en opnieuw af te spelen naar vandaag, maar dan met het zetten van de juiste stappen. Dan zouden we vandaag in een ander Groningen wakker worden.

Ik kreeg de opdracht de tekst en de inaugurele rede zo eenvoudig mogelijk te houden, en het liefst niet te technisch te worden. En dus heb ik de meest voorkomende mythen en misvattingen die ik ben tegengekomen sinds ik in Groningen ben op een rijtje gezet. Misschien dat ik wat kritisch lijk, maar ik wil een andere kant van het verhaal belichten, zonder te herhalen wat al vaker gezegd is. Ik geloof dat dat de reden is waarom mijn onderzoeksgroep een helpende hand wil bieden om het probleem op te lossen door een andere kijk op de zaak te laten zien. Dit boek is daar een poging toe.

Het citaat aan het begin van dit boek “*We zijn snel in het leren: dat wil zeggen, in het imiteren van wat anderen al gedaan of bedacht hebben. Maar we zijn traag in het begrijpen en het zien van diepere verbanden.*” is van Frits Zernike, de Groningse Nobelprijswinnaar die zijn naam aan de campus waar ik werk heeft gegeven. Als we dit citaat op ons probleem toepassen, zou dat betekenen dat we moeten leren van aardbevingslanden door ze na te volgen, door de bestaande ultramoderne technische kennis te gebruiken en het dogma dat “*Groningse aardbevingen anders zijn*” los te laten, althans voorlopig. Dan kunnen we doorgaan naar de volgende stap: het grondiger onderzoeken van de Groningse aardbevingsproblematiek, zodat we die beter kunnen begrijpen en ook eventuele verschillen kunnen ontdekken.

1. Groningse aardbevingen zijn anders: een aangezette werkelijkheid

Geïnduceerde aardbevingen als gevolg van grootschalige winning van natuurlijke grondstoffen vormen een van de meest recente onderzoeksgebieden in aardbevingstechniek. Winningsvelden in Europa en de Verenigde Staten, zoals Groningen, Basel, Texas en Oklahoma, trekken op het moment veel onderzoeks aandacht, waarbij geïnduceerde aardbevingen het speerpunt zijn. De grote vraag die zich dan aandient is of de bestaande moderne aardbevingstechnieken kunnen worden toegepast op gebieden waar nu geïnduceerde aardbevingen voorkomen, maar waar voorheen geen enkele seismische activiteit was. Deze vraag beslaat een breed spectrum aan onderwerpen, van seismologische definities en meting van aardbevingen tot de respons van niet-aardbevingsbestendige gebouwen op de structurele inventaris tot aardbevingen die herhaaldelijk voorkomen en een relatief geringe kracht hebben. De discussie is zelfs terug te voeren op de triviale vraag of deze gebeurtenissen het predicaat “aardbeving” verdienen of dat het alleen maar “trillingen” zijn.

Het vergelijken van aardbevingen is op zijn minst moeilijk, als het al mogelijk is. Aardbevingen zijn complexe geofysische gebeurtenissen waar talloze parameters een rol spelen, waarvan de meeste nog niet eens bekend of beschreven zijn door onderzoekers. Het vergelijken van de seismische data over dezelfde aardbeving van twee metingstations die relatief dicht bij elkaar liggen is al niet eenvoudig. Het vergelijken van natuurlijke aardbevingen met geïnduceerde aardbevingen die voorkomen op locaties die weinig gemeen hebben wordt dan in de meeste gevallen zo mogelijk nog moeilijker.

Een van de grootste obstakels in deze vergelijking is de beschikbaarheid van data. Ten eerste zijn de seismische gegevens voor geïnduceerde aardbevingen afkomstig van een beperkt aantal gebieden, en ten tweede beslaan ze maar een korte observatieperiode, in veel gevallen minder dan tien jaar. Daarnaast moeten relatief lichte aardbevingen vergeleken worden met geïnduceerde aardbevingen, maar in gebieden waar veel aardbevingen voorkomen, worden die eerste vaak niet gemeld of de gegevens lang bewaard door de dataproviders.

In een recent onderzoekspaper van onderzoeksgroep (Bal et al., 2018) dat op de Europese Conferentie over Aardbevingstechniek gepresenteerd werd, wordt gekeken naar vergelijkbare parameters van geïnduceerde en natuurlijke aardbevingen en naar “verschillen” in de beperkte database die daarbij gebruikt is. Vanwege de problemen die in dat paper genoemd worden, is het niet mogelijk harde conclusies te trekken of natuurlijke en geïnduceerde aardbevingen verschillend of vergelijkbaar zijn.

De bestaande moderne technieken mogen misschien geen duidelijk onderscheid tussen geïnduceerde en natuurlijke aardbevingen aangeven, maar de meeste gevestigde regels en benaderingen in aardbevingstechniek kunnen ook toegepast worden op onderzoek naar geïnduceerde aardbevingen. In dit opzicht kunnen we stellen dat de meeste onderzoekers die zich bezighouden met geïnduceerde aardbevingen er al vanuit gaan dat er veel overeenkomsten tussen de twee types aardbevingen zijn.

De geïnduceerde aardbevingen in Groningen worden vaak vergeleken met natuurlijke aardbevingen, en al snel wordt de conclusie getrokken dat de “Groningse aardbevingen anders zijn.” Deze bewering is voornamelijk het gevolg van het vals vergelijken van grote aardbevingen en de gevolgen daarvan met de geïnduceerde aardbevingen in Groningen. In dit geval worden appels met peren vergeleken. Onze studie is een poging appels met appels te vergelijken, te beginnen met de vraag welke grootheden vergelijkbaar met elkaar zijn. Een studie met een beperkte database, die relatief simpele vergelijkingen maakt tussen sterke beweging en de structurele respons leidt tot de conclusie dat er geen duidelijke verschillen zijn tussen geïnduceerde aardbevingen en vergelijkbare natuurlijke aardbevingen, tenzij het tegendeel wordt bewezen.

Er zijn publicaties waarin geprobeerd wordt een antwoord te vinden op de vraag of geïnduceerde aardbevingen elders ter wereld verschillen van natuurlijke aardbevingen. Voor zover ik weet is er, afgezien van onze eerste poging in Bal et al. (2018) geen onderzoek dat nagaat of de Groningse aardbevingen echt anders zijn. Hoewel de bewering vaak als argument wordt aangevoerd, is hij niet wetenschappelijk onderzocht, en dus creëert hij alleen maar een voedingsbodem voor een **aangezette werkelijkheid**.

2. Aardbevingsbestendige gebouwen: mission impossible

Al meer dan een eeuw werken ingenieurs stelselmatig aan het ontwerpen van gebouwen die bestand zijn tegen aardbevingen. Afgezien van een paar gevallen die betrekking hebben op kerncentrales (Newmark & Hall, 1969) is het doel echter nooit geweest om gebouwen neer te zetten die volledig tegen aardbevingen bestand waren.

Als we het van een etymologisch standpunt bekijken, helpt de analogie met “waterdicht” ons beter te begrijpen wat aardbevingsbestendig eigenlijk kan inhouden. Waterdicht betekent letterlijk “geen water doorlatend” of, met andere woorden, “geen effecten ondervindend van waterpenetratie.” Aardbevingsbestendig zou dan betekenen dat gebouwen “geen effecten ondervinden van aardbevingen.” Is dat überhaupt mogelijk of haalbaar?

Het ontwerpen en bouwen van een aardbevingsbestendig gebouw is meer een kwestie van haalbaarheid en effectiviteit dan van technisch kunnen. Bij sommige gebouwen is een aardbevingsbestendige constructie misschien mogelijk, al is die afhankelijk van tot welk bestendighedeniveau het gebouwd is. Dit zou echter een onhaalbaar groot aantal structurele elementen (zoals pilaren, balken etc.) vergen, zodanig dat het gebruik van het gebouw zou beperken, om nog maar te zwijgen van de torenhoge bouwkosten. Dat is de reden waarom in aardbevingscodes de veiligheid van burgers tijdens grote aardbevingen voorop staat, en er bestaat bijna geen code die vereist dat een gewoon gebouw volledig aardbevingsbestendig is. In de huidige denktrant van aardbevingsbestendig bouwen geldt dat een gebouw bestand moet zijn tegen:

- frequente aardbevingen, waarbij ze weinig schade oplopen;
- sporadisch voorkomende aardbevingen, waarbij ze herstelbare schade aanrichten, en
- uiterst zeldzame aardbevingen, waarbij het gebouw niet instort.

“Frequente aardbevingen” zijn aardbevingen waarmee de gebouwen zeker en herhaaldelijk geconfronteerd zullen worden tijdens hun bestaan. Daar zijn ze dus op gebouwd. “Sporadisch voorkomende aardbevingen” zijn grote aardbevingen waarbij een grote kans bestaat dat de gebouwen ermee geconfronteerd zullen worden tijdens hun bestaan, en dus moet het ontwerp gebaseerd zijn op dit aardbevingsniveau. Daarom wordt een sporadisch voorkomende aardbeving in de aardbevingstechniek ook wel *design-aardbeving* genoemd: het aardbevingsniveau waarop het gebouw gebouwd is. “Uiterst zeldzame aardbevingen” worden tijdens de levensduur van een gebouw niet verwacht, en daarom zijn ze er niet op gebouwd. Voor het geval ze toch voorkomen, moet het gebouw de aardbeving echter kunnen doorstaan zonder in te storten en zonder dat er dodelijke slachtoffers vallen.

Het is misschien moeilijk voor de Groningers om dit te accepteren, maar wanneer we dit in het perspectief zien dat ik hierboven beschrijf, was het huis in Figuur 1 qua ontwerp geslaagd. Aangezien de aardbeving in Christchurch in februari 2011 ver boven het niveau was zoals dat in die tijd in de aardbevingsbestendige bouwcode was vastgelegd, was deze gebeurtenis een “uiterst zeldzame” voor dat gebied. Het huis in Figuur 1 deed precies wat het moest doen: ondanks dat het zwaar beschadigd was, stortte het niet in. In landen waar veel aardbevingen voorkomen, is het belangrijk voor aardbevingsdeskundigen dat mensen na een zware aardbeving zonder kleerscheuren uit een huis zoals in Figuur 1 komen. De kracht en het type aardbevingen, de oorzaken, effecten en verwachtingen zijn duidelijk, en begrijpelijk, anders in Groningen.



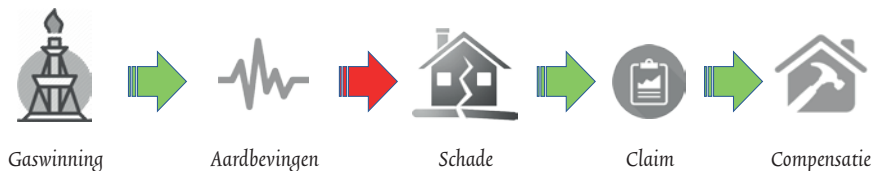
Figuur 1. Foto van een huis in Christchurch, Nieuw-Zeeland
(genomen door Ishan E. Bal na de aardbeving op 22 februari 2011 (M_w 6,2))

Het woord “aardbevingsbestendig” dekt niet helemaal de lading. Gezien de speciale omstandigheden van de aardbevingsproblematiek in Groningen (zoals uitgelegd in de volgende paragraaf) leidt dit ertoe dat mensen verschillende verwachtingen hebben over wat mogelijk en haalbaar is. Als we dit gedeelte van het boek binnen het perspectief van de schadeclaims zien, kunnen we concluderen dat er scheuren in de Groningse huizen blijven verschijnen zolang er aardbevingen zijn, in de meeste gevallen zelfs als de huizen versterkt worden. Het streven naar “geen scheuren” in de Groningse gebouwen is dan zinloos, met andere woorden, het is een **mission impossible**.

Het ontwerp van aardbevingsbestendig bouwen is gebaseerd op het redden van levens bij natuurlijke aardbevingen. Omdat we weten dat volledig aardbevingsbestendig bouwen technisch onmogelijk is, is het misschien tijd om een nieuwe term en een nieuwe filosofie te introduceren die beter bij de feiten en de verwachtingen van de regio past: Comfort Level Earthquake (CLE). Dit nieuwe ontwerpconcept wordt nader uitgelegd in het laatste hoofdstuk.

3. Schadecorrelatie van kleine en frequente aardbevingen: een valse start

De “gaswinning-aardbeving-schade-claim-compensatie”-cyclus in Groningen zoals geschetst in Figuur 2 vertoont een aantal hiaten. Mijn collega’s van het Kenniscentrum NoorderRuimte kunnen andere opvattingen over deze vicieuze cirkel uitleggen, vooral wat sociale impact betreft. Mijn punt is nogal technisch. Er kleven namelijk juridische aansprakelijkheidsaspecten aan, maar men verwacht dat het bewijs van de technische mensen komt. Het vereiste bewijs past echter niet bij het perspectief van de aardbevingsdeskundigen. De reden hiervoor is de ambivalente relatie met kleine, terugkerende aardbevingen en zichtbare scheuren in gebouwen. Een duidelijke relatie wordt verder belemmerd door de bodem en de bouwkundige eigenschappen van de panden in Groningen.

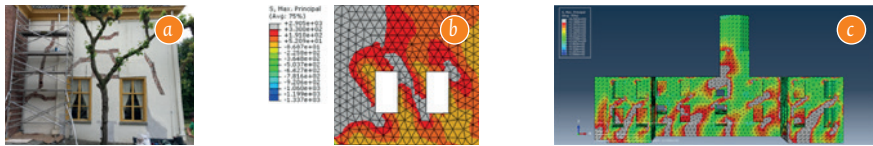


Figuur 2. De aardbevingscyclus in Groningen

Je zou kunnen beweren dat de meeste gebouwen in het aardbevingsgebied al beschadigd waren omdat de bodem zacht is, het grondwaterpeil schommelt en de gebouwen sowieso kwetsbaar zijn voor invloeden van buitenaf en de tand des tijds. Ik vrees dat dit geen verkeerde veronderstelling is. De keerzijde van de medaille is echter dat kleine en terugkerende aardbevingen ernstige schade aan gebouwen kunnen veroorzaken, niet vanwege het directe effect op de draagconstructie, maar door de interactie tussen de zachte bodem en het gebouw. De meeste gebouwen in het gebied zijn van metselwerk, een breekbaar materiaal dat zelfs een kleine beweging van de fundering niet kan opvangen. In dit geval kunnen terugkerende trillingen de bodem gemakkelijk verplaatsen, waardoor er verticale rek in het draagsysteem ontstaat, eventueel zelfs na de aardbeving. Dit veroorzaakt schade die teweeggebracht lijkt te worden door bodembeweging, maar zijn die scheuren nu het gevolg daarvan of van de aardbeving zelf? Zoals u ziet, is de ene of de andere oorzaak bewijzen erg complex en lastig, misschien zelfs wel zinloos gezien vanuit de hoeveelheid technisch onderzoek, tijd en geld die dat zou vergen.

Een goed voorbeeld van hoe moeilijk het is, is het onderzoek dat onze groep heeft uitgevoerd op de Fraeylemaborg in Slochteren (Dais et al., 2018). Het rijksmonument had ernstige schade ondervonden van recente aardbevingen en was twee keer hersteld. De bouwkundige computersimulaties die we op

dit pand loslieten verklaarden niet waarom deze schade was ontstaan. Na een veel gedetailleerder onderzoek waarin we veel meer gegevens verzamelden, de bouwkundige schade grondiger onderzochten en niet-destructieve triltesten op het gebouw deden, bedachten we een scenario (zie Figuur 3). Volgens dit scenario moet de zwaarst beschadigde noord-westvleugel draagvlak verloren hebben om zulke scheuren te krijgen. Het verlies aan draagvlak kan alleen veroorzaakt worden als het dragende metselwerk te zwak is en heeft bewogen, waardoor de bodem en de fundering in een vooral zijwaartse richting volgden. Er zijn tekenen rond het gebouw die dit scenario onderschrijven. In dit geval lijken de scheuren voor een technicus die de aardbevingsgeschiedenis van de Fraylemaborg niet kent misschien veroorzaakt door bodembeweging. Die bodembeweging hangt waarschijnlijk echter samen met de aardbevingen. Dit is bijkomende schade die ontzettend moeilijk te bewijzen is, en daarom blijft ons scenario ook na al het gedetailleerde werk dat we hebben verricht, niet meer dan dat: een scenario.



Figuur 3. Fraylemaborg in Slochteren,

- (a) Het daadwerkelijke scheurpatroon in de noord-westvleugel van het gebouw,
- (b) het effect op dezelfde muur na de computersimulatie volgens het seismische scenario,
- (c) het effect op het hele gebouw na dezelfde simulatie (de grijze contouren geven de gebieden aan waar waarschijnlijk scheuren zullen ontstaan)

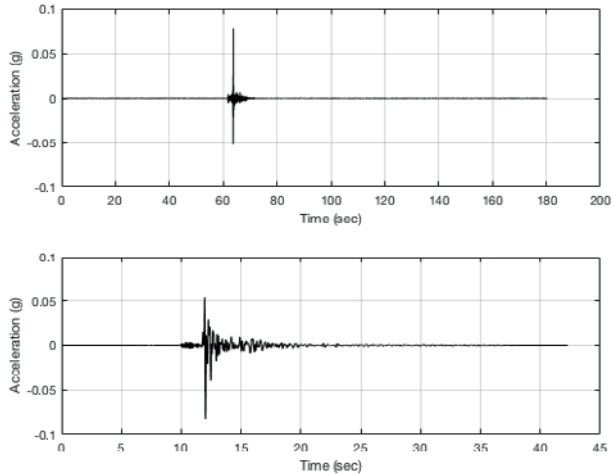
Kortom, ondanks mijn opleiding in aardbevingstechniek en bijna twintig jaar praktijkervaring ben ik tot nu toe niet in staat de zichtbare scheuren in Groningse huizen duidelijk wel of niet direct in verband te brengen met aardbevingen met een kracht tot M_w 3.64. Als de aardbevingen een grotere kracht hadden zouden de scheuren veel duidelijker zijn, en dan zou het gemakkelijker te bepalen zijn welke scheuren door de aardbeving veroorzaakt zijn. Nu we met minder krachtige aardbevingen te maken hebben, heb ik daar natuurlijk wel ideeën over, maar die noem ik liever “speculaties.” Er zit echter nogal een groot gat tussen een persoonlijke en nog subjectieve mening en technisch onderbouwde conclusies die kunnen dienen als basis voor het al dan niet toewijzen van financiële compensatie. Daarom geloof ik dat de mensen in het gebied een financiële compensatie moeten krijgen, ongeacht het aantal, de lengte, breedte, verdeling en oorzaak van de scheuren in hun huizen. Want wie wil er nou in een huis wonen waar geen scheuren in zitten als gevolg van een aardbeving, maar dat wel constant op zijn grondvesten staat te trillen? Daarom noem ik die hele “gaswinning-aardbeving-schade-claim-compensatie”-cyclus een **value start**. De mensen in het aardbevingsgebied moeten onvoorwaardelijk een compensatie ontvangen!

4. Het monitoren van aardbevingen: opperste verwarring

Het monitoren van aardbevingen is een belangrijk onderdeel van het vakgebied aardbevingstechniek. Dit komt omdat de beweging van de aarde bij een aardbeving complex is en niet in enkele getallen kon worden omschreven. Zo verschilt een aardbeving bijvoorbeeld beduidend van meteorologische observaties waarin vereenvoudigde waarden als temperatuur, luchtvochtigheid en regenkans voldoende zijn om het weer van een hele dag aan burgers duidelijk te maken. Een enkele aardbeving die maar tien seconden duurt kan daarentegen op meer dan vijftig verschillende manieren worden omschreven, waarvoor computerberekeningen, plots met aardbevingsparameters die verschillende keren per seconde veranderen en complexe statistische vergelijkingen nodig zijn. Dit wil niet zeggen dat aardbevingstechniek moeilijker is dan andere wetenschappelijke vakgebieden, maar wel dat het een van de moeilijkste vakgebieden is om aan burgers over te brengen. Onzekerheid is inherent aan aardbevingstechniek, iets waar mensen of besluitvormers die gewend zijn aan heldere, vaststaande conclusies misschien niet echt gecharmeerd van zijn.

Een 3D-aardbevingsmonitor registreert doorgaans 600 datalijnen per seconde. Een minuut seismische opnames heeft dan 36.000 datalijnen nodig, vol met positieve en negatieve cijfers die in milliseconden op- of aflopen. De beroemde PGA (peak ground acceleration, de maximum versnelling van de grond tijdens een aardbeving) die de meeste Groningers wel kennen, is bijvoorbeeld het absolute maximum van die 36.000 lijnen, die misschien als een piepklein piekje in een milliseconde voorgekomen zijn, of, in andere woorden, in een oogwenk. Het relateren van schadeclaims of het leven van mensen aan dat ene cijfer dat niet langer dan een oogwenk duurt is uiteraard onzinnig. Er zijn veel meer en ingewikkelder indicatoren nodig. Dit vergt op zijn beurt uitgebreide monitoring om vast te leggen wat er in luttele seconden op de aardkorst, en soms ook in de gebouwen, gebeurde.

Een mooi voorbeeld is de vergelijking van de registratie van de aardbeving in Zandweer van november 2014 (Middelstum 2) met die van de aardbeving in Huizinge van augustus 2012 (Middelstum 1). Beide registraties geven vergelijkbare PGA-waarden aan, maar veel indicatoren, zoals de spectraalwaarden en PGV (peak ground velocity, de maximumsnelheid waarmee de grond beweegt tijdens een aardbeving) verschillen beduidend. Het is bekend dat de aardbeving in Huizinge veel meer schade veroorzaakte dan die in Zandweer, ondanks dat ze een vergelijkbaar PGA hadden. Als we alleen de absolute maximum versnelling van de grond registreerden, zouden we een heel verkeerd beeld van deze twee aardbevingen krijgen.



Figuur 4. Vergelijking van de metingen van de aardbeving in Zandweer van november 2014 (Middelstum 2 (boven)) met die in Huizinge van augustus 2012 (Middelstum 1, onder) met vergelijkbare PGA-waarden

Nu we het belang van het monitoren van aardbevingen hebben benadrukt, komen we tot de brandende vraag: wat moeten we monitoren, en, wat belangrijker is, hoe doen we dat?

Aardbevingstechniek kent twee manieren om te monitoren: i) strong ground motion (SGM, sterke grondbeweging) registratie, en ii) structural health monitoring (SHM, constructiemonitoring). Het KNMI monitort de SGM-activiteit. Voor zover ik weet, is er maar een gebouw in de regio dat volgens de bekende maatstaven van SHM wordt gemonitord, en dat is de Fraeylemaborg in Slochteren. Dit wordt gedaan door middel van 5 versnellingsmeters, die geplaatst zijn door ons team, en 1 tiltmeter op de fundering, geplaatst door StabiAlert. Dit is op zichzelf al een goede combinatie van sensoren, maar om het gedrag van dit rijksmonument tijdens en na een aardbeving beter te begrijpen, kan het altijd beter.

De grond beweegt in Groningen ook wanneer er een aardbeving in Nieuw-Zeeland of de Verenigde Staten of ergens anders is. Daarom kunnen observatoria overal ter wereld een aardbeving waar ook ter wereld melden. Deze beweging is echter zeer zwak en kan kwantitatief alleen geregistreerd worden door seismometers, instrumenten die geschikt zijn voor het registreren van zwakke grondbewegingen. Seismometers hoeven zich niet in de buurt van een aardbevingsbron te bevinden. Als de recorder zich 50 km of dichterbij de aardbevingsbreuk bevindt, kunnen de grondbewegingen door mensen gevoeld worden en dus duidelijk geregistreerd worden door andere instrumenten dan seismometers, zoals versnellingsmeters.

Versnellingsmeters moeten zich wel dicht bij de aardbevingsbron bevinden. Daarom worden versnellingsregistraties dicht bij het aardbevingsgebied Strong Ground Motions-registraties genoemd. De versnellingsmeterstations die het KNMI in Groningen heeft geïnstalleerd zijn Strong Ground Motion-stations, die op een zelfde manier functioneren als de versnellingsmeters van andere instellingen in de wereld. Het KNMI heeft meer dan 50 versnellingsmeterstations, die elke aardbeving in het gebied registreren, en ze zijn zeer nuttig geweest om de effecten van aardbevingen in het gebied te begrijpen. Daarnaast geeft de seismische richtlijn NPR ook een acceleratieresponspectrum aan, een schaal die beschrijft hoe groot de versnelling is waar elk gebouw aan wordt blootgesteld tijdens een hypothetische aardbeving. Oké, tot zover gaat het goed... Nu kunnen we ons over de meer discutabele vragen rond het monitoren buigen.

Tiltmeters

Een van de heetste hangijzers in het gebied is het gebruik (of het niet gebruiken) van tiltmeters. Tiltmeters meten de hoekverdraaiing vanaf een bepaalde as. Het is een uiterst gevoelig meetinstrument dat in sommige gevallen zelfs aardbevingen op grote afstand kan waarnemen. Ze zijn ook gevoelig voor oppervlaktegolven, een probleem dat we in de aardbevingstechniek vaak negeren en waar we verderop in deze paragraaf op terug zullen komen. Ze kunnen ook gevoeliger voor sterke en zwakke bewegingen zijn dan versnellingsmeters, en in sommige gevallen laten ze pieken in de metingen zien waar versnellingsmeters geen enkele belangwekkende uitslag vertonen. Het praktische bezwaar van het gebruik van tiltmeters ligt echter in de interpretatie van de resultaten, niet in de gevoeligheid of nauwkeurigheid van dit instrument. De metingen van tiltmeters zijn vaak eerder kwalitatief dan kwantitatief, afhankelijk van waar ze geplaatst worden. Met andere woorden, een tiltmeter kan een beweging waarnemen, maar een bouwkundig ingenieur zou niet in staat zijn te begrijpen wat deze beweging voor het gebouw betekent.

Als de tiltmeter op de fundering wordt geplaatst, op de bodem vlak bij een draagmuur of direct op de draagmuur, op een dijk of op een hoog gedeelte (zoals een toren) van een gebouw, kan de meting van de tiltmeter heel nuttig zijn voor bouwkundig ingenieurs. Het moet echter gezegd dat een bouwkundig ingenieur meer interesse zal hebben in de resultaten direct voor en direct na de aardbeving dan voor de paar seconden dat de aardbeving daadwerkelijk plaatsvindt. Daardoor zijn tiltmeters Structural Health Monitoring-instrumenten die als aanvulling kunnen dienen op andere instrumenten om licht te werpen op voor-en-na-vergelijkingen van gevoelige onderdelen van gebouwen. Voor alle duidelijkheid: als een gebouw alleen wordt uitgerust met tiltmeters, zegt dat op zichzelf niet veel. Als ze gebruikt worden voor bouwkundig monitoren zijn tiltmeters een aanvulling op versnellingsmeters.

Het is ook de moeite waard hier de oppervlaktegolven en tiltmeters te noemen. Sommige lezers herinneren zich de AM-radio's van vroeger nog wel. Dit waren radio's met langere antennes die radiosignalen van verafgelegen radiostations konden opvangen. De AM-radiogolven hebben een kleine amplitude en een hele grote golflengte. Ze bevatten een grote hoeveelheid energie, en daardoor kunnen ze grote afstanden afleggen zonder signaalverlies. FM-radio's zijn voor de korte afstand, met een lagere energie-inhoud, en ze hebben kortere antennes. Wanneer er ergens een aardbeving plaatsvindt, verliezen de "FM"-aardbevingsgolven onderweg aan kracht, terwijl de "AM"-golven de hele wereld over kunnen gaan. Dit zijn de golven die tiltmeters kunnen waarnemen. Zulke golven worden in de aardbevingstechniek echter vaak genegeerd vanwege hun lage amplitude en lange duur. Deze duur beslaat vaak tussen de 2 – 3 seconden, een tijdspanne die alleen van belang is voor hele grote constructies, zoals een kilometerslange hangbrug of een wolkenkrabber van 50 verdiepingen. Sommige metingen van tiltmeters die ik in Groningen heb gezien zijn echter zo laag als 0,5 seconden. Als dit valide is, kan het wetenschappelijk gezien heel interessant zijn. Er zal verder onderzoek naar moeten worden gedaan.

Samenvattend:

- tiltmeters zijn geen alternatief voor versnellingsmeters, net als versnellingsmeters geen alternatief zijn voor tiltmeters; het zijn twee verschillende instrumenten
- tiltmeters kunnen cruciale informatie verschaffen over een gebouw, vooral direct na een aardbeving
- tiltmeters zijn geen op zichzelf staande bouwkundige monitorinstrumenten, maar in combinatie met andere sensoren kunnen ze erg nuttig zijn
- er is verder onderzoek nodig naar het nut van het gebruik van tiltmeters bij oppervlakkige aardbevingen en de waarneming van de eigenschappen van oppervlaktegolven

Snelheidsmonitoring in huizen en openbare gebouwen

In het gebied zijn in bijna 400 panden geavanceerde strong ground motion (SGM)-instrumenten geplaatst, al is de activiteit geen SGM. Dit zijn versnellingsmeters, maar ze worden gebruikt om snelheid te meten. Dit wordt gedaan om de originele data verder te verwerken en te integreren. Het is een van de meest fijnmazige netwerken ter wereld..

Ten eerste moeten we voor de niet-technisch onderlegde lezer het gebruik van versnelling en snelheid in aardbevingstechniek omschrijven. Versnelling is een heel nuttige term in aardbevingstechniek, omdat er een directe correlatie is met de kracht die een gebouw tijdens een aardbeving te verduren heeft. Wanneer je massa (massa kun je gemakkelijk berekenen aan de hand van het gewicht) van een gebouw vermenigvuldigt met versnelling, krijg je ongeveer de kracht die op het gebouw

wordt uitgeoefend. Als de horizontale versnellingen tijdens een aardbeving worden gemeten, is het mogelijk om de kracht die tijdens die aardbeving op een gebouw wordt uitgeoefend, in te schatten. Daarom gebruiken aardbevingstechnici overal ter wereld al meer dan een eeuw versnellingsmeters, en, wat het allerbelangrijkst is, het hele aardbevingsbestendige ontwerpconcept is gebaseerd op versnellingen. Daarnaast rekent de NPR, de seismische richtlijn in Nederland, net als alle andere seismische codes ter wereld, ook met krachten die op versnelling gebaseerd zijn.

Er zijn twee discussies gaande over deze sensoren. Ten eerste gaat het om de locatie van de sensor en manier waarop hij bevestigd is. Ten tweede heeft het gevolgen wanneer je snelheid gebruikt in plaats van versnelling. Het eerste onderwerp is al behandeld in rapporten van de NAM. Onderstaande tekst is afkomstig uit een openbaar rapport dat op de website van de NAM staat (Bommer et al., 2017):

Het netwerk bestaat nu uit 400 instrumenten en kan zo potentieel een waardevolle database vormen voor GMM's (Ground Motion Models). De meeste instrumenten zijn echter niet op de begane grond geplaatst, maar in beugels aan de muur. Daardoor kunnen ze onderhevig zijn aan structurele respons. Daarnaast heeft de drempel van 0,1 cm/s die de operator heeft ingesteld de beschikbaarheid van metingen tot nu toe ernstig beperkt. Er wordt nu aan gewerkt om vast te stellen in hoeverre de gemeten data de daadwerkelijke grondbewegingen weergeven, en ervoor te zorgen dat de PGV-drempel de output van metingen tijdens toekomstige aardbevingen niet beknót.

Het citaat hieronder komt ook uit een openbaar rapport op de website van de NAM, de volgende versie van het rapport hierboven (Bommer et al., 2018):

...tot op heden zijn deze metingen niet gebruikt in het afleidingsmodel omdat er bedenkingen bestaan over de installatie van accelerografen hoger dan de begane grond (Figuur 5 in dit rapport). Om de mate waarin de structurele respons van deze gebouwen de registratie misschien heeft beïnvloed te onderzoeken, en daarmee de mate waarin ze kunnen worden gebruikt als weergaves van de werkelijke grondbeweging, zijn er experimenten gedaan.

In het onderzoek van Bommer et al. (2018) werden triltafeltests uitgevoerd in het LNEC in Lissabon, waarbij zowel meetinstrumenten met beugels aan de muur werden bevestigd als correct geplaatste instrumenten op de fundering van het gebouw werden aangebracht (Figuur 6).

Als aardbevingstechniek al honderd jaar volledig gebaseerd is op het meten van versnelling op de grond (denk aan de term Strong Ground Motion), de NPR gebaseerd is op versnellingsrespons en zelfs de sensoren zelf versnelling meten, waarom zijn deze meer dan 400 sensoren dan op een andere plek in de huizen geplaatst en wordt de snelheid gemeten in plaats van de versnelling, zal de lezer dan vragen. Ik weet dat deze metingen gebaseerd zijn op een SBR-richtlijn, maar dat is



Figuur 5. Voorbeelden van de versnellingsmeters bevestigd in een stalen beugel boven de begane grond (uit: Bommer et al., 2018)



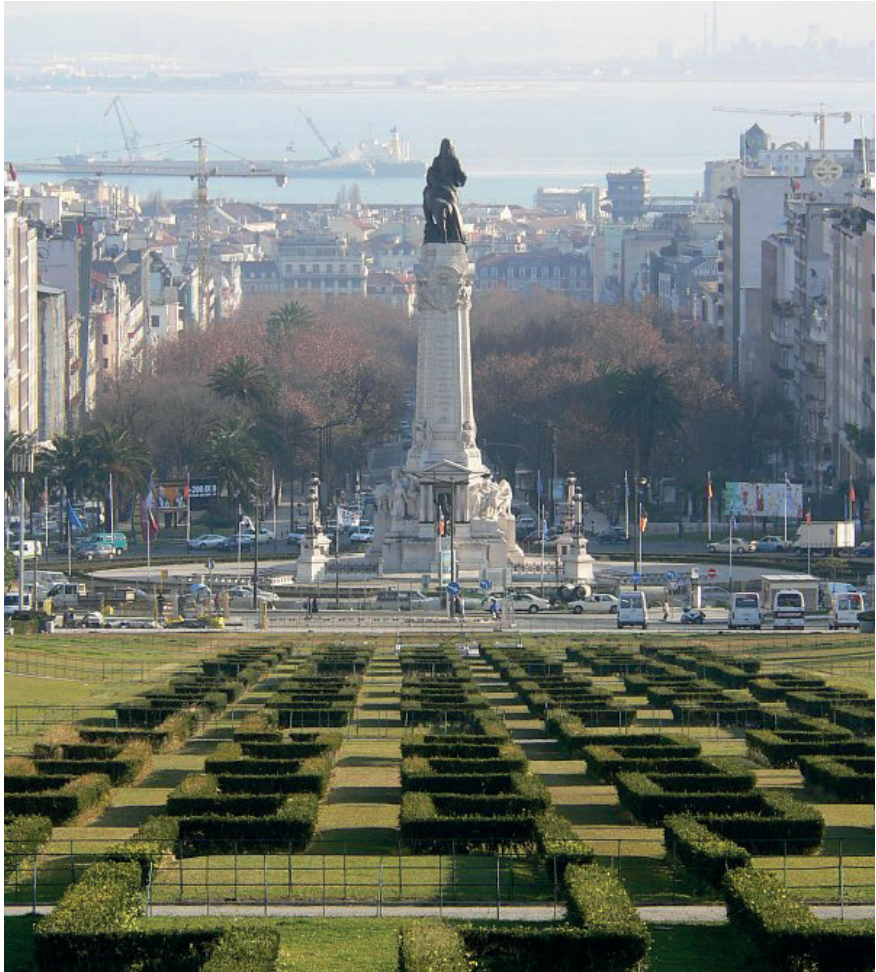
Figuur 6. Reproductie van versnellingsmeters op de begane grond en op een hoger niveau in een triltafelmodel in LNEC, Portugal (uit: Bommer et al., 2018)

eigenlijk geen seismische richtlijn (SBR, 2017). Dit lijkt de bron van het geschil te zijn, aangezien het plaatsen van de sensoren en de verzameling van de data gebeurd zijn volgens de richtlijn van de SBR, maar kennelijk niet volgens de wereldwijde practice in aardbevingstechniek. Over dit onderwerp moet nog verdere discussie plaatsvinden als de Groningers beter willen profiteren van een geavanceerd sensorennetwerk, zoals ookdoor de NAM hierboven duidelijk gezegd wordt. Mijn onderzoeksgroep is van harte bereid hier hun mening over te geven om te zien welke verbeteringen er mogelijk zijn en hoe de bestaande kennis en apparatuur beter toegepast kan worden.

Sinds mijn komst naar Groningen is over twee dingen het meest gepraat: sensoren en schadeclaims. Het verhaal over het monitoren hierboven is zelfs voor techneuten moeilijk te volgen, dus ik kan me voorstellen dat de hele discussie voor de burger maar een ding veroorzaakt: **opperste verwarring**.

5. Seismische codes, richtlijnen en NPR: geen verstandige keus

De aardbeving in Lissabon, Portugal, in 1755 wordt gezien als een van de dodelijkste aardbevingen ooit. Het was een aardbeving in de Atlantische Oceaan met een kracht van 8.5-9.0 op de momentmagnitudeschaal, op een afstand van ongeveer 200 km van de stad. Hij verwoestte Lissabon totaal, en de herstelwerkzaamheden vonden plaats onder leiding van de legendarische burgemeester Marquês de Pombal. Tijdens de wederopbouw werden er voorschriften uitgevaardigd om een bepaald type gebouwen neer te zetten in wat later de Pombaline-bouwstijl werd genoemd. Dit was de eerste keer dat bouwkundige ontwerpen en de uitvoering ervan tot in technisch detail door de staat voorgeschreven werden om ze aardbevingsbestendig te maken.



Figuur 7. Marquês de Pombal Square in Lisbon, with his statue (credit: Wikipedia)

In de twintigste eeuw, na de aardbeving in Messina, Italië, in 1908, richtte de Italiaanse regering begin 1909 het Geologisch Comité en het Bouwkundig Comité op. Het Bouwkundig Comité deed intensief onderzoek naar de zijdelingse belasting van de gebouwen die na de aardbeving overeind waren blijven staan. Later kwamen ze met de aanbeveling dat bij het ontwerpen van aardbevingsbestendige gebouwen de seismische verhouding – dat is de seismische versnelling gedeeld door de zwaartekrachtversnelling – voor de begane grond 1:12 moet zijn en voor de verdiepingen daarboven 1:8. Dit wordt gezien als de eerste kwantitatieve aanbeveling van *design* seismische krachten in de geschiedenis van seismische bouwvoorschriften. De seismische voorschriften en richtlijnen ontwikkelden zich in de decennia daarna enorm. Nieuwe concepten, zoals het elastisch ontwerpspectrum, gedragsfactor, buigzaamheid en bodemklassering, werden aan de voorschriften toegevoegd. De reis die begon met twee simpele getallen in het Italiaanse Koninklijk Decreet van 1909 groeide uit tot een stapel ingewikkelde documenten met bijlages van honderden pagina's.

De bestaande seismische codes kunnen worden onderverdeeld in drie hoofdcategorieën: i) Amerikaanse codes, ii) Europese codes en iii) Japanse codes. Het schrijven van een uitgebreide seismische code vergt veel en constant onderzoek, en dus nemen veel landen de internationale (vooral Amerikaanse) codes in hun geheel over, of ze vertalen ze en passen ze aan. De Amerikaanse codes bestaan meestal uit richtlijnen en worden vaak geüpdatet. Europese codes heten Eurocodes en zijn genummerd van 0 tot en met 8, waarbij Eurocode 8 de seismische ontwerpcode is. Japanse codes zijn ver uitgewerkt, complex en vooral gebaseerd op de Japanse praktijk. Daarom worden ze vooral door ingenieurs in Japan gebruikt.

Als lid van de Europese Unie gebruikt Nederland Eurocodes 0 tot en met 7. Eurocode 8 wordt met opzet niet gebruikt. Dit is nogal verwarrend, omdat het doel van de uniforme Eurocodes is een eerlijke concurrentie in de bouw te waarborgen. EU-landen mogen niet alleen hun eigen seismische codes gebruiken. In plaats daarvan is elk Europees land wettelijk verplicht de toepassing van Eurocodes 0 tot en met 8 toe te staan. Ik weet niet wat de juridische implicaties hiervan op Europees en nationaal niveau zijn, maar vanuit technisch oogpunt is dit tegenstrijdig. Eurocode 8 kan in de Groningse aardbevingsproblematiek worden toegepast door middel van een Nationale Bijlage.

Omdat de internationaal erkende codes en vooral de Europese regels, die het resultaat zijn van tientallen jaren kwaliteitswerk in aardbevingstechniek, niet worden nagevolgd, lijkt de geschiedenis van de NPR op lange termijn een soort slalom. De enorme discussie van een jaar geleden behelsde de tijdrovende en uiterst ingewikkelde analyse van de voorgeschiedenis die was opgelegd door de vorige NPR. Nu ligt die discussie zo goed als stil, en als gevolg van die slalom, liggen er

nu vereenvoudigde methodes en een aantal over-vereenvoudigde en plaatselijke methodes als SLaMa ter tafel.

Gebaseerd op mijn ervaring in Groningen, nu iets meer dan een jaar, vind ik de ontwikkeling van de NPR persoonlijk niet productief en eigenlijk een ongezond proces. Mijn indruk is dat het afwijken van moderne seismische codes en van de Eurocodes in het bijzonder het slalom-effect vergroten. In elke versie wordt een nieuw probleem gecreëerd dat in de volgende versie wordt opgelost. Waarom men zoveel moeite doet om de NPR in stand te houden in plaats van de Eurocodes te volgen is mijns inziens geen verstandige keus.

6. De mythen oplossen, de misvattingen rechtzetten

De mythen en misvattingen die, om welke reden dan ook, rond het aardbevingsprobleem in Groningen ontstaan zijn, moeten worden opgelost en rechtgezet voor een beter Groningen, voor het herwinnen van het vertrouwen. Als land waar normaal gesproken geen aardbevingen voorkomen, was Nederland er misschien niet klaar voor om het probleem het hoofd te bieden toen het in 2012 keihard toesloeg. Tegenwoordig hebben we echter veel geleerd, er is kennis vergaard en na een aantal jaren en grote inspanningen veel ervaring opgedaan. Er schijnt nu licht aan het eind van de tunnel, en mijn onderzoeksgroep gelooft dat wij er een rol in kunnen spelen uit die tunnel te geraken.

We hebben contact met mensen, instellingen, bedrijven en studenten in de regio. We wonen en werken hier. De Hanzehogeschool heeft goede contacten met de regio, maar ook met gerelateerde instellingen zoals bijvoorbeeld het EPI Kenniscentrum om ons te helpen de banden met de mensen en de professionals nog verder aan te halen. We grijpen elke gelegenheid aan om de **aangezette werkelijkheid** om te buigen naar de ‘echte’ werkelijkheid. We doen gedegen onderzoek, publiceren studies en geven technische presentaties die een internationale discussie in gang zetten om erachter te komen of de aardbevingen in Groningen echt anders zijn, of die verschillen effect hebben op de gebouwen en wat dat allemaal voor de mensen betekent.

Echt aardbevingsproof bouwen is een mission impossible, maar aardbevingsbestendig bouwen kan wel. Zo heet onze onderzoeksgroep ook: Aardbevingsbestendig en Kansrijk Groningen. We werken samen met andere onderzoekers, met bedrijven en met BuildinG om uit te zoeken wat er nog meer gedaan kan worden om de plaatselijke gebouwen een grotere weerstand tegen aardbevingen te geven en hoe we het regionale historisch erfgoed kunnen beschermen voor toekomstige generaties.

De schadeclaims en de manier waarop mensen gecompenseerd worden zijn een kwestie van wettelijke aansprakelijkheid. Het is heel moeilijk deze juridische beslissing te staven met technische argumenten zoals die in dit stuk worden uitgelegd, en dus is het een **valse start** om dat te doen. Ook al hebben mensen in de regio geen ernstige schade aan hun huis, ze ondervinden op zijn minst “hinder” en moeten onvoorwaardelijk gecompenseerd worden. Er moet echter nog steeds een methodologie ontwikkeld worden om erachter te komen wanneer “hinder” overgaat in “aanzienlijke fysieke schade.” Wij stellen hiervoor een nieuwe ontwerpfilosofie voor: Comfort Level Earthquake (CLE). De moderne aardbevingstechniek kent drie ontwerp-niveaus: service level earthquake (SLE), design basis earthquake (DBE) en maximum considerable earthquake (MCE). Bij de

eerste, SLE, is er geen schade aan de constructies als gevolg van lichte aardbevingen. Bij de tweede, DBE, is er sprake van herstelbare schade aan de constructies als gevolg van zeldzame maar zware aardbevingen. Bij de laatste, MCE, is er onherstelbare structurele schade als gevolg van uiterst zeldzame en zeer zware aardbevingen, maar het gebouw stort niet in. Ons nieuwe ontwerpniveau, CLE, verwijst naar de grens tussen hinder en aanzienlijke schade. Aanzienlijke schade houdt hier in dat mensen de behoefte voelen de schade te herstellen of in elk geval voor het oog willen opknappen. Dit niveau is afhankelijk van zowel het type gebouw en zijn kwetsbaarheden als de reactie van de mensen op de aardbevingsschade. Het niveau van zulke aardbevingen moet rond het SLE-niveau liggen, waarschijnlijk zelfs iets lager. Wij doen onderzoek naar dit nieuwe voorstel en zullen in de nabije toekomst met concrete ideeën komen.

Zoals al eerder gezegd veroorzaakt monitoren verwarring bij mensen die niet technisch onderlegd zijn. Het type instrumenten is ook een zaak die de discussie belemmert. Om een concreet voorbeeld te geven van hoe wij menen dat er gemonitord moet worden, hebben we meetinstrumenten op de Fraeylemaborg in Slochteren geplaatst en het gebouw zelf gemonitord. Hierbij hebben we versnellingsmeters in combinatie met een tiltmeter gebruikt. We proberen meer middelen te genereren om onze structurele health monitoring in de regio uit te breiden, vooral voor de historische gebouwen. We nemen ook deel aan open discussies, waar we ideeën en kennis uitwisselen om het monitoren te kunnen verbeteren. In het geval van de Groningse aardbevingen speelt monitoring een uiterst belangrijke rol.

De specifieke eigenschappen en de urgentie van het Groningse aardbevingsprobleem dwong de autoriteiten om een seismische richtlijn op te stellen die specifiek voor Groningen was: de NPR. Misschien dat dit idee aan het begin van de reis van toepassing was, maar nu heeft het heel veel problemen gecreëerd en staat veel discussie vaak een oplossing in de weg, wat bewijst dat het toch geen **verstandige keus** was. We zijn ervan overtuigd dat er ontwerpregelgeving op Europees niveau moet komen voor geïnduceerde aardbevingen en dat Nederland daarin het voortouw moet nemen. De succesvolle toepassing van Eurocodes (de Europese normen en richtlijnen voor constructieve veiligheid bij aardbevingen) moet ook in Nederland nagevolgd worden. Wij zullen er ons best voor doen deze optie na te streven.

Verwijzingen

- Bommer J, Dost B, Edwards B, Kruiver P P, Meijers P, Ntinalexis M, Rodriguez-Marek A, Ruigrok E, Spetzler J en Stafford P J (2017) “V4 Ground-Motion Model (GMM) for Response Spectral Accelerations, Peak Ground Velocity, and Significant Durations in the Groningen Field”, NAM Research Report.
- Bommer J, Edwards B, Kruiver P P, Rodriguez-Marek A, Stafford P J, Dost B, Ntinalexis M, Ruigrok E, en Spetzler J (2018) “V5 Ground-Motion Model (GMM) for the Groningen Field”, NAM Research Report.
- Dais D, Smyrou E, Bal I E, en Pama J (2018) “Monitoring, assessment and diagnosis of Fraeylemaborg in Groningen, Netherlands” in SAHC 2018: 11th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Cusco, Peru.
- Newmark N en Hall W J (1969) “Seismic design criteria for nuclear reactor facilities”, In Proceedings 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, volume 4, 37–50.
- SBR (2017) “Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken”, SBRCURnet, Delft, November 2017.

Myths and Fallacies in the Groningen Earthquake Problem



Ihsan Engin Bal is the Professor of the Research Group on Earthquake Resistant Structures. A civil engineer with MSc and PhD degrees in Earthquake Engineering, Ihsan worked as an engineer and also as a researcher in countries with high seismicity, such as Greece, Turkey, Italy and USA. In his work as practitioner, he was responsible for projects on design and strengthening of structures against seismic actions. Before coming to the Hanze, Ihsan has directed R&D projects in Turkey at Istanbul Technical University, focused on topics

such as the production and testing of seismic isolation systems, assessment and consolidation of historical masonry buildings and seismic monitoring of structures. He also served as consultant for historical buildings for the Turkish Prime Ministry Vakıflar, and Istanbul Metropolitan Municipality Scientific Committee for Protection of Historical Heritage. He coordinated seismic monitoring activities and consulted design in benchmark projects such as the Eurasia Road Tunnel and the Marmaray Project in Istanbul.

In his position at Hanze, Ihsan has served so far to the Dutch Ministry of Economic Affairs and Climate, National Coordinator Groningen as well as to the Province of Groningen as independent technical expert in the earthquake issues.