

# Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

## Hoofdstuk 5

### BASE-ISOLATION, OPTIES en TOEPASSING

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie



#### Abstract:

*Base-isolation* is bouwkundig de beste manier om horizontale aardbevingsbelastingen op een gebouw sterk te verminderen. Bij nieuwbouw eenvoudig toe te passen. Bij bestaande kwetsbare baksteenbouw zijn vooral lichtlopende systemen noodzakelijk die makkelijk in bestaande funderingen kunnen worden ingebouwd. Speciaal voor fragiele baksteen-monumenten is dit een optie. Dit document geeft verschillende ontwerpen en opties aan.

#### Kernwoorden o.a.:

Baksteen, *Base-isolation*, diafragma, duurzaam, fundering, geïnduceerd, kelder, hoofdstructuur, metselwerk, 'op staal,' preventie, rubber-PUR, seismisch versterken, veiliger maken, verbouwen, vloeren, verduurzamen, zetting.

Hoofdstuk 4 betreft de FUNDERINGEN in de meer algemene zin.



Door: Sjoerd Nienhuys  
Bouwkundig, seismisch ingenieur  
juli 2023

## Voorwoord.

Bij aardbevingen van PGAg 0,2 en hoger zullen heel veel gebouwen in Groningen of Nederland beschadigd worden en is het bijna niet mogelijk om het bestaande Nederlandse brosse metselwerk tegen scheuren te versterken. Dat is wel mogelijk met *Base-isolation*. Dit is de beste methode om baksteen en andere gebouwen te beschermen tegen de effecten van (zware) aardbevingen.

Toen eind 2014 het eerste ontwerp van de NPR9998 werd gepresenteerd, met een daarbij behorend dreigingskaartje met een PGAg van 0,42 zou op basis van die Mmax ongeveer de helft van alle 250.000 woningen (350.000 gebouwen) in de provincie Groningen instorten of in ieder geval zeer zwaar beschadigd worden, met tientallen, zo niet honderden doden vanwege die instortingen.

Om te voorkomen dat gebouwen instorten moeten ze volgens de Eurocode 8 en het bijbehorende kaartje seismisch versterkt worden. Echter, de bevolking begreep niet wat seismisch versterken inhield. Een gebouw dat een dergelijke zware maximale beving van PGAg 0,42 ondergaat is bij de juiste seismische versterking dan wel **zwaar gescheurd** of zal gedeeltelijk of geheel **total loss** zou zijn. Bovendien, schoorstenen en geveltoppen zouden dan sowieso van de gebouwen afvallen, omdat deze niet tot de primaire constructie onderdelen behoren.

Om overmatige gebouwschade te voorkomen kunnen ze op *Base-isolation* gezet worden. Dit hoofdstuk 5 geeft de principes en methodologie van *Base-isolation* weer en enkele voorstellen voor een Gronings *Base-isolation* systeem dat ingebouwd kan worden in bestaande baksteen bouw. Dit verbeterde en goedkopere systeem werd echter niet ontwikkeld.

*Figuren 5-1. Afbeelding op voorpagina en de gevel van het parlamentsgebouw.*

*Het historische parlamentsgebouw van Wellington New Zealand werden na de aardbeving in Christchurch van 22 februari 2011 met nog 40 andere gebouwen op *Base-isolation* gezet. Een ondergrondse tentoonstelling laat de techniek en werking zien.<sup>1</sup>*



Ofschoon er een beperkt aantal fragiele bakstenen monumenten in de provincie Groningen op *Base-isolation* zijn gezet, is het voor lage woonhuizen een erg dure operatie tenzij er een nieuw systeem wordt ontwikkeld zoals is voorgesteld in dit hoofdstuk.

<sup>1</sup> <https://wellington.govt.nz/your-council/projects/earthquake-strengthening-projects/town-hall-strengthening/about-the-project/base-isolation> en <https://www.tepapa.govt.nz/quake-braker>

## 5.0. Introductie

Ofschoon er in de provincie Groningen van 2006 tot 2018 aardbevingen voorkwamen met een PGAg van 0,085 (Huizinge 2012, Richter 3,6) tot 0,11 (Zeerijs 2018, Richter 3,4) komen er met de definitieve vermindering van de aardgasextractie na 2020 geen aardbevingen van dergelijke grootte meer voor, hoewel enkele kleine schokken van maximaal PGAg 0,05 mogelijk zijn<sup>2</sup>.

Toen de extreem hoge NPR9998:2015 projecties met PGAg 0,42 (en later 0,36) werd gepubliceerd, zou volgens die PGA-waarde ruim 50% van de 250.000 woningen in de provincie onveilig zijn in de zin dat ze gedeeltelijk of geheel zouden instorten. Met de verdere verlaging in het kaartje van de NPR tot PGAg < 0,10 is het theoretische (gedeeltelijk of geheel) instortingsrisico naar nul teruggebracht. De gebouwen die dan nog enig risico oplopen zijn slecht onderhouden gebouwen die wel een hoog risico hadden (sommigen zijn gestut), maar tussentijds nog niet seismisch of op een andere manier zijn versterkt.

Als de theoretische maximale bevingswaarde van de NPR kleiner is PGAg 0,05 (ongeveer gelijk aan stormbelasting) is er theoretisch geen instortingsgevaar meer en dus is seismische versterking volgens de NPR niet meer nodig<sup>3</sup>. Volgens de NPR zijn de gebouwen dan veilig, **want ze storten niet in**. Echter, met dergelijke bevingen zal zich wel aanzienlijke scheurschade aan gemetselde gebouwen voordoen en zal er economische en vervolgens emotionele schade bij de bevolking ontstaan.

De bevolking zit niet te wachten op meer scheuren of verergering van scheuren; die wil helemaal geen scheuren en ook geen waardedaling van hun woning. De laatste NPR-norm is voor hen geen waarborg voor schadevrij wonen, terwijl er bij de bevolking geen begrip bestaat voor het zogenaamde veiligheidsaspect van “net niet instorten”. De bevolking wil geen scheuren meer, zo eenvoudig is dat.

Tegelijkertijd is er de nationale behoefte om alle (6 miljoen) woningen in Nederland te verduurzamen met het oog op de beperking van de gasconsumptie en de vermindering van energieconsumptie. Deze met het oog op de voortdurende klimaatopwarming, veroorzaakt door de excessieve CO<sub>2</sub>-uitstoot voor woningverwarming en de consumptiemaatschappij. Dat betekent dat er in de provincie Groningen bij meer dan 200.000 woningen veel extra thermische isolatie toegepast moet worden om aan de nieuwe en toekomstige milieueisen te voldoen (BENG).

Het volgende kan gesteld worden:

- A. Het realiseren van muurherstel na een schaderapport zou voldoende gebouwversterking moeten inhouden, zodat er in de toekomst niet opnieuw scheuren optreden<sup>4</sup>.
- B. Het toepassen van betere thermische isolatie van de buitenschil van een gebouw is een bouwkundige ingreep waarbij het verstandig is om tegelijkertijd muurschade van zettingen en bevingen weg te werken en nieuwe scheuren in de toekomst te voorkomen. Het isoleren van woningen zou dus moeten samengaan mét scheurpreventie.
- C. Slechts met deze twee maatregelen samen (seismisch en thermisch) is er echt sprake van verduurzamen. Om ze los van elkaar uit te voeren is economisch een slechte oplossing.

<sup>2</sup> Deze bewering is in tegenspraak met de NPR9998:2020, die een verhoging heeft vanwege verschillende onzekerheidsfactoren. De Mmax is dan PGAg 0,15 (inclusief de grondfactor) over een periode van 475 jaar.

<sup>3</sup> Men gaat er van uit dat de huidige 2015 bouwnormen voldoende gebouwsterkte waarborgen. De maximale stormbelasting heeft ongeveer hetzelfde niveau heeft als de PGAg 0,05 belasting (bij vrijstaande woningen).

<sup>4</sup> In de praktijk is dit niet het geval. Muurherstel bestond meestal uit het dichtsmen van scheuren, die bij de eerstvolgende kleine beving weer tevoorschijn kwamen en opnieuw “reparatie” behoeften.

## 5.1. Fragiele gebouwen en monumenten

De Nederlandse baksteenbouw werd vóór 2015 nooit ontworpen op aardbevingen, hoewel het huidige Bouwbesluit constructief adequate bouw oplevert die kleine schokken ( $PGA_g < 0,05$ ) zonder schade kan doorstaan, met uitzondering van doorzon- en rijtjeswoningen in stapelbouw. Oudere gebouwen van vóór 1980 zijn zwakker, en de vooroorlogse woningbouw is nog fragieler. Deze categorie zal dus gemakkelijk scheurschade oplopen, zoals is gebleken bij ongeveer 200.000 gebouwen sinds 2006.

Wanneer men van al deze gebouwen ook duurzame gebouwen wil maken, die minstens nog enkele generaties of  $>>100$  jaar dienst blijven doen, is een combinatie van scheurpreventie en goede thermische isolatie van belang<sup>5</sup>. Voor scheurpreventie zullen betere funderingen nodig zijn, smalle raampenanten moeten versterkt worden, en de etagevloerdiafragma's versterkt en goed aan alle wanden verbonden. Dit betekent aanzienlijke interne of externe verbouwingen. Om gebouwen goed te isoleren moeten de buitenschil, het dak en de begane grondvloer buiten- of binnenzijdig geïsoleerd worden, hetgeen eveneens ingrijpende bouwkundige maatregelen zijn.

Ofschoon buitenzijdig isoleren en versterken voordelen heeft ten opzichte van binnenzijdig, mag bij monumenten vaak niets aan de buitenkant worden veranderd, terwijl bij sommige monumenten er ook aan de binnenzijde niets mag worden veranderd. Bij zowel buitenzijdig als binnenzijdig versterken is de maatvoering voldoende om daar dikke muurisolatie in aan te brengen, reden om dit tegelijkertijd in hetzelfde verbouw- of renovatieproces uit te voeren.

Bij de toepassing van de juiste vorm van *Base-isolation* is andere seismische versterking van een fragiel metselwerk gebouw niet meer nodig, en kan uitsluitend aandacht gegeven worden aan de verduurzaming van het gebouw in termen van thermische isolatie en vermindering van CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Om *Base-isolation* toe te passen moet een fundering 'op staal' vaak verbreed en versterkt worden. Ook moet een tweede fundering worden aangelegd die boven de *Base-isolation* komt, of de hele gebouwplint met het begane grond vloerdiafragma versterkt. Het is dus niet zo dat *Base-isolation* geen versterkingen behoeft of dat het goedkoop is. Hoe lager het gebouw is, hoe duurder *Base-isolation* is t.o.v. de gebouwwaarde.

*Figuren 5-2. Een aantal gebouwen dateren van vóór 1920 en zijn soms rijksmonumenten. De bestaande thermische isolatie van oude gebouwen is vaak slecht. Binnenzijdig versterken levert vaak kostenverhogende complicaties op vanwege de decoraties.*



<sup>5</sup> Voor het thema van dit document wordt niet gekeken naar de technische installaties die vaak nodig zijn bij een verduurzamingsproces en voor eigen energieopwekking. Elektrische leidingen, LTV, riolering en ventilatie met WTW vereisen eveneens veel binnenwerk.

## 5.2. Kosten afwegingen vóór maatregelen

*Base-isolation* is erg duur per m<sup>2</sup> grondoppervlakte, omdat de hele fundering dubbel moet worden uitgevoerd. De bestaande woning moet bij de huidige methoden in haar geheel opgetild worden om de *Base-isolation* eronder te krijgen. Met meerdere etages worden de kosten van *Base-isolation* per m<sup>2</sup> grondoppervlak lager. De kosten voor de thermische isolatie van de buitenschil volgens de minimum nieuwbouwnorm 2015 (inclusief glas en dak) per m<sup>2</sup> en de kosten van het verder verduurzamen tot NOM (Nul op de Meter) of BENG (Bijna Energie Neutraal Gebouw, 2021) zullen per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte ongeveer gelijk blijven.



*Figuur 5-3. Deze jaren '30 pastorie-woning in Garrelsweer<sup>6</sup> werd in 2017 voorzien van een betonvloer boven-fundering en 1 m opgetild (250 ton). Hierna werd een platform onder-fundering aangelegd en een Base-isolation op korte palen geïnstalleerd. Dit houdt nog geen thermische isolatie in, of opwaarderen naar NOM of BENG. Over de kosten werden geen mededelingen gedaan. Deze acties waren eigenlijk meer dure testcases om te kijken in hoeverre Base-isolation bij woningen kon worden toegepast. Praktisch gesproken was het niet noodzakelijk, gezien de werkelijke PGA.*

In de provincie Groningen werd sinds 2014 een aantal rijksmonumenten van *Base-isolation* voorzien, die aardbevingen volgens de toen geldende NPR9998:2015 aardbevingen met een PGAg 0,36 konden absorberen, waardoor er slechts weinig schade aan het gebouw zou ontstaan<sup>7</sup>. De operatie van het installeren van dit type *Base-isolation* kost een meervoud van de waarde van het gebouw.<sup>8</sup>

Met de blijvende en doorgaande verlaging van de aardbevingen en het aantal trillingen is seismisch versterken niet meer relevant, maar scheurpreventie nog wel, vooral voor monumenten en oude of zwakke gebouwen. Bovendien wordt thermisch isoleren en verduurzamen vanwege de klimaat opwarming steeds meer relevant. Bij een kostenanalyse van de te nemen maatregelen zou dus verduurzamen de prioriteit moeten hebben, maar de werkelijkheid is anders<sup>9</sup>. Om de verduurzaming te bewerkstelligen is een toegankelijk financieringssysteem zoals een speciaal bouwfonds nodig.

<sup>6</sup> Zie: <https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/praktijkvoorbeelden/overzicht-praktijkvoorbeelden/pastorie-opgetild>

De kosten zullen méér zijn dan de waarde van het gebouw, waarna het gebouw nauwelijks meer waard is.

<sup>7</sup> Afhankelijk van het systeem zal meer dan 80% van de aardbevingskrachten door het systeem geabsorbeerd worden, hetgeen ook betekent dat de resterende <20% toch nog door het gebouw moet worden weerstaan.

<sup>8</sup> Zie: [https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/praktijkvoorbeelden/overzicht-praktijkvoorbeelden/pastorie-opgetild#:~:text=Monumentaal%20erfgoed%20heeft%20in%20Groningen,monumentale\)%20gebouwen%20is%20een%20opgave.](https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/praktijkvoorbeelden/overzicht-praktijkvoorbeelden/pastorie-opgetild#:~:text=Monumentaal%20erfgoed%20heeft%20in%20Groningen,monumentale)%20gebouwen%20is%20een%20opgave.)

<sup>9</sup> Veel oude woningen in de provincie hebben energielabel G. Veel eigenaren zien er tegenop om deze gebouwen op te waarderen naar energielabel A+ of BENG, hetgeen makkelijk 75% van de gebouwwaarde kan betekenen. Zonder extra fondsen die dit mogelijk maken wordt er dan niet verduurzaamd.

*Figuur 5-4 Vrijstaande 120 m<sup>2</sup> bouwjaar 1905. Energielabel G. Woningwaarde ≈ € 100.000 zonder grond. Met steens muren, enkel glas en een niet-geïsoleerde vloer of zolder zal een dergelijke woning tussen de 40.000 en 50.000 euro kosten om te verduurzamen.*

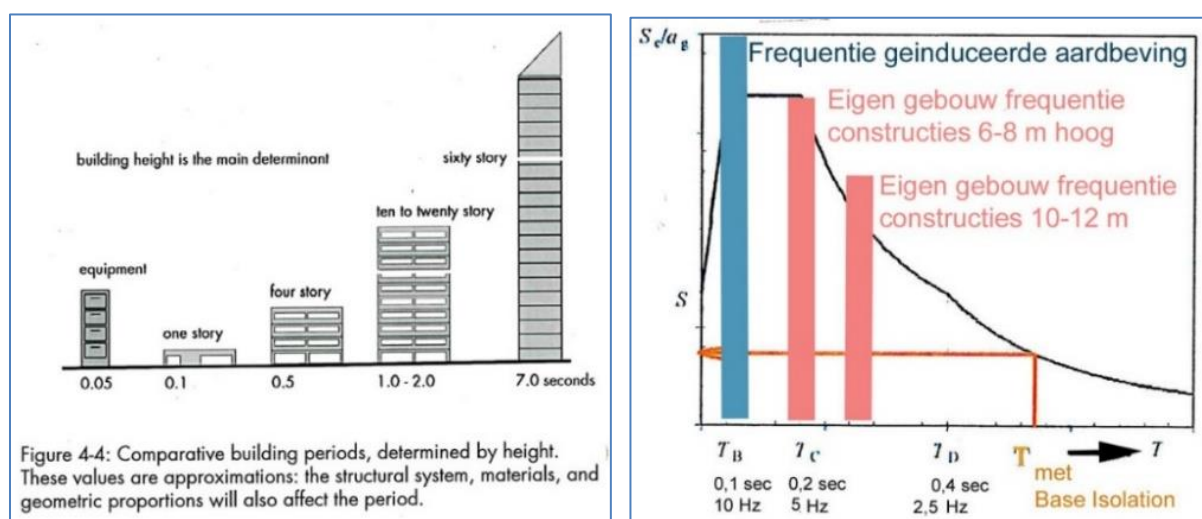


Om *Base-isolation* (dubbele fundering) toe te passen kost met een toepasselijk systeem uit Italië ten minste € 200.000. *Base-isolation* vereist dus een extra groot budget in vergelijking met licht versterken en wordt daarom alleen toegepast voor monumenten en volledig op kosten van de schadeveroorzaker. Bij een toekomstig hoge PGA is het daarom relevant om lokaal een goedkoper, effectiever systeem te ontwikkelen dat aangepast is voor de kleine korte geïnduceerde aardbevingen en lage lichte woningen en niet op lange en brede tektonische aardbevingen en grote, hoge zware gebouwen.

### 5.3. Maximale horizontale verplaatsing

Er bestaan verschillende methoden van *Base-isolation* die elk toepasbaar zijn op verschillende gebouwmassa's en op verschillende wijze de overdracht van krachten doen verminderen. De volgende aspecten zijn relevant voor de bepaling van het type *Base-isolation*.

- De trillingsfrequentie van de aardbevingen, in combinatie met de eigen frequentie van het gebouw. Er moet voorkomen worden dat er resonantie op kan treden wanneer de eigen frequentie van het gebouw gelijk is aan de trilling frequentie van de aardbeving.



*Figuren 5-5. De trillingsfrequentie van gebouwen wordt langer naarmate het gebouw hoger is. Bij flexibele gebouwen wordt de eigen trillingsfrequentie langer, bij brosse baksteen gebouwen korter. Bij lage gebouwen van een of twee etages is deze ≈ 0,1 tot maximaal 0,2 seconde hetgeen ook de frequentie is van Groningse geïnduceerde bevingen (ongunstig!!!). Een licht-lopend Base-isolation systeem dat al bij PGA<sub>g</sub> 0,03 werkt stopt deze horizontale trillingen.*

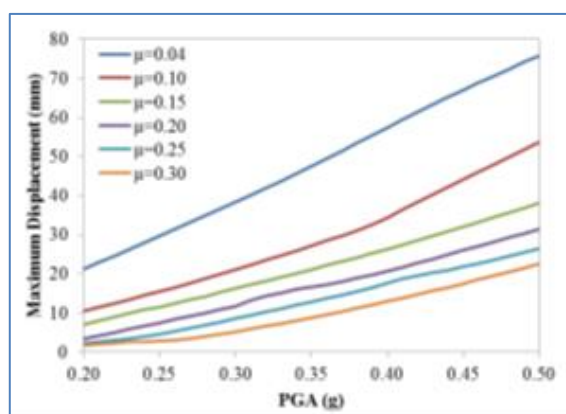
- b. De maximale horizontale grondbeweging. Deze is gerelateerd aan de maximaal optredende PGA. Een *Base-isolation* systeem moet een maximale horizontale uitslag toelaten die iets groter is dan de maximale horizontale verplaatsing bij de aardbeving. Het *Base-isolation* systeem moet een progressief remmende of dempende functie hebben, tot aan een volledige stop iets voorbij de maximale uitslag.

Uit vele metingen van tektonische aardbevingen blijkt dat de horizontale verplaatsing van gebouwen kan oplopen tot enkele **decimeters** op funderingsniveau. Uit de huidige metingen van de geïnduceerde aardbevingen in de provincie Groningen lijkt het dat de maximale horizontale verplaatsing van de funderingen < 10 mm kan worden bij een PGAg 0,1 bij de laagste glijweerstand. Als de maximale PGAg < 0,3 is, dan is die horizontale verplaatsing < **30 mm**. Uitgaande van de meest nadelige PGA zou de beweging in een *Base-isolation* systeem ongeveer 2 cm en maximaal 3 cm kunnen zijn.

Figuur 5-6. Gebouw ductiliteit  $\mu$ , afgezet tegen de horizontale verplaatsing.

Bij de grootste stijfheid  $\mu = 0,04$  (bovenste blauwe lijn) en PGAg 0,2 is de verplaatsing 20 mm en klimt bijna lineair met de PGA. Dit betekent in de andere richting dat bij PGAg < 0,1 de maximale verplaatsing = <10 mm.<sup>10</sup>

Dat betekent dat de maximale horizontale verplaatsing van een *Base-isolation* mechaniek voor Groningen ook erg klein is met ongeveer 2 cm.



- c. De waarde van de PGA en de uitslag is afhankelijk van de bovenste 30 m grondsoort onder het gebouw. Bij slappe gronden zal de maximale horizontale uitslag groter kunnen zijn dan bij vaste gronden, maar de PGAg kleiner. Bij paalfunderingen op een diepere zandlaag zal er daarom verschil zijn (kortere uitslag) met funderingen die 'op staal' zijn gebouwd.
- d. De sterkte van het metselwerk van het gebouw. Het *Base-isolation* systeem gaat pas werken als er een bepaalde basis acceleratie is. Bij lichte gebouwen zal er dan nog een gebouwbelasting blijven bestaan van ongeveer 10% tot 20% en wordt 90% tot 80% van de krachten geabsorbeerd. Uitgaande van scheurpreventie moet het metselwerk heel blijven bij de resterende krachten. De metselwerk constructie moet dan de start 10% tot 20% kunnen weerstaan. De zwakste plaatsen in het metselwerk moeten daarom bepaald worden. In sommige situaties zullen dan toch versterkingen aan dat zwakke metselwerk getroffen moeten worden om scheurvorming te voorkomen.

Het bovenstaande betekent dat vóór het realiseren van een *Base-isolation* systeem er een uitgebreide gebouwanalyse gemaakt moet worden om te bepalen wat de massa en frequentie van het gebouw is, waar de zwakke constructies in het gebouw zitten, en wat de configuratie van het systeem moet zijn. Bij het uitgraven van de fundering moeten de bewoners vaak meer dan een jaar elders worden ondergebracht. De verschillende kosten samen overstijgen ruim de gebouwwaarde (nog zonder het te isoleren of verduurzamen).

<sup>10</sup> Berekeningen uitgevoerd door Arup in 2012-2013 gaven bij een PGAg 0,36 (op basis van de toenmalige NPR) een horizontale verplaatsing van <35 mm aan. Het Italiaanse model *Base-isolation* dat onder het gemeentehuis van Loppersum werd aangelegd heeft nog 15 cm bewegingsruimte op basis van de 2015 PGAg 0,42. Die operatie heeft > €4 miljoen gekost en is meer dan de totale gebouwwaarde.



Figuren 5-7. Verschillende gebouwen kunnen niet van binnen seismisch worden versterkt.

Links: Het kop-gebouw moet worden losgekoppeld van het achterliggende geouw en de kelder moet voor een Base-isolation doorsneden worden of uitgebreid tot onder het hele gebouw.

Midden: Dit gebouw met sousterrain staat ingeklemd tussen andere gelijksoortige zwakke gebouwen. Om een gebouw wel op Base-isolation te zetten en de anderen niet is niet logisch.

Rechts: De scheve toren is extra zwaar en massief ten opzichte van het schip en heeft meer steunpunten nodig. Om spleten tussen toren en schip te voorkomen moet onder het hele gebouw eenzelfde systeem komen.



Figuren 5-8. Base-isolation inclusief kelder van de Borg Rusthoven (1686) in Wirdum.

Midden. De beneden raamopeningen werden versterkt vóór het uitgraven. Er werd eerst een nieuwe dragende betonvloer onder het hele gebouw gemaakt.

Rechtsboven. Door de betonvloer heen werd met 40 vijzels op drukpalen het gebouw 1 m opgetild. Een nieuw platform onder-fundering werd aangelegd. Na montage van Base-isolation kon het gebouw weer zakken. Twee jaar voorbereiding en 1,5 jaar bouwtijd. Dit waren interessante testcases over de toepassing onder oude gebouwen of monumenten.



#### 5.4. Technische Randvoorwaarden *Base-isolation*

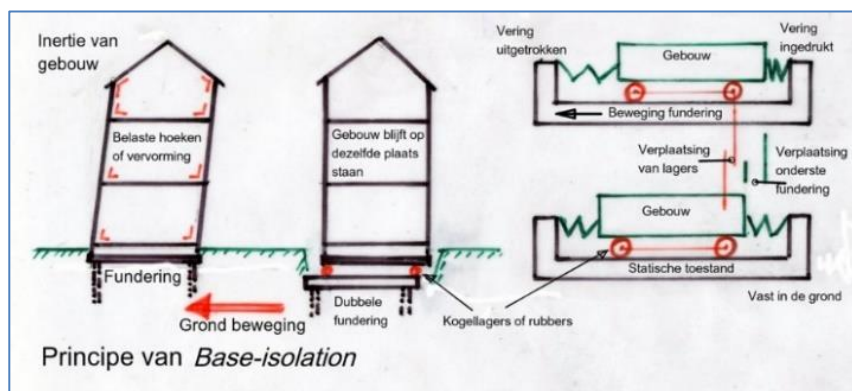
- A. Het *Base-isolation* systeem moet zodanig licht-beweegbaar zijn dat bij een versnellende horizontale grondbeweging van een aardbeving, het gebouw door haar inertie slechts heel weinig meebeweegt en daardoor niet belast wordt.<sup>11</sup> Hoe makkelijker en lichter het systeem beweegt, hoe kleiner de krachten op het gebouw worden.

<sup>11</sup> De zware stijve Italiaanse systemen met rubber en metaalplaten zijn ontworpen voor zware gebouwen en zijn ongeschikt voor lichte bakstenen woningen omdat ze dan nauwelijks een schok kunnen opvangen.



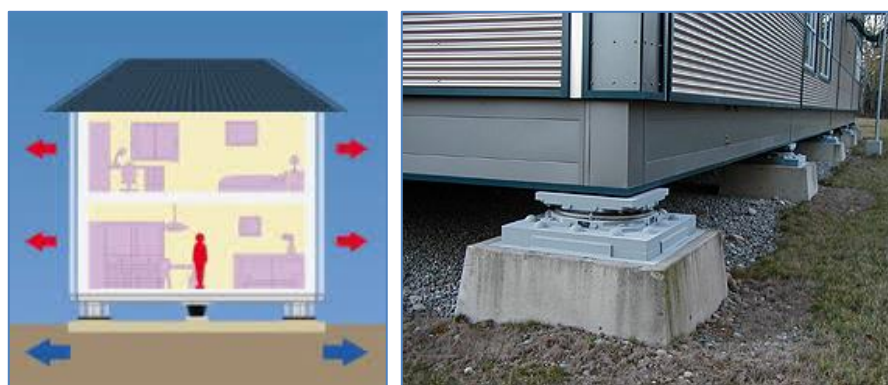
Het effect is slechts kleine aardbevingsbelastingen op de muren (10% tot 20%). De verticale aardbevingskrachten worden door de meeste *Base-isolation* systemen niet verminderd.

*Figuur 5-9. Bij een aardbeving ontstaan belastingen in twee horizontale richtingen. In het vlak van de muren en loodrecht op het vlak van de muren en kolommen. Bij base-isolation zijn deze belastingen sterk gereduceerd met wel 80% tot 90%.*



- B. Een *Base-isolation* moet centrerend (terugkerend) zijn, dat ervoor zorgt dat na de horizontale schok met verplaatsing van het gebouw, dat gebouw weer gecentreerd op haar fundering blijft staan. Een gebouw dat géén zelf-centrerend vermogen heeft, zal naast die fundering vallen. Het centrerend vermogen zit in het *Base-isolation* element of is apart van de *Base-isolation* geregeld door de onderste fundering en het gebouw met de bovenste fundering met een schokdemper te verbinden.

*Figuren 5-10. Kleine woning op base-isolation met rondom glij-elementen. Hier is centraal aan het frame een enkel rubberen element verbonden dat de horizontale bewegingen dempt en het gebouw weer centreert.*



Omdat er meestal kleine trillingen zijn na elke grotere aardbeving, zullen de kleine trillingen ervoor zorgen dat het gebouw met het veersysteem weer centreert. Bij gelijktijdige verticale trillingen verlaagt de horizontale glij- of rolweerstand.

- C. Het *Base-isolation* systeem moet in alle richtingen precies waterpas liggen, en mag niet beïnvloed raken door het eventueel kantelen van het gebouw. De onderste fundering mag daarom absoluut geen (plaatselijke) zakkingen ondergaan vanwege de verticale trillingen of andere oorzaken. Een fundering zal daarom bijna altijd eerst versterkt moeten worden, zodat deze niet kan zetten.
- D. De boven de *Base-isolation* interface staande gebouwen mogen niet meer dan een paar mm horizontaal bewegen bij zware storm, windkracht Beaufort 10  $\approx$  100 km/uur. Een erg licht lopende *Base-isolation* met rolmechanisme kan 'zeeziekte' van de bewoners in het gebouw te veroorzaken.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Dit is een potentieel probleem in Groningen want de aardbevingen of schokken komen niet meer uit boven de PGAg 0,05. De laatste schok, die als flink werd beschouwd (Loppersum 14 juli 2020, Richter 2,7 en PGAg 0,044) is al onder de limiet van de NPR9998:2020. De rol- of glij-start van een *Base-isolation* zou dan moeten beginnen op PGAg 0,02 en afremmen tot PGAg 0,1 bij een afstand van  $< 1$  cm.

Het advies is dat het gebouw niet gaat rollen of schuiven bij een horizontale windbelasting tot ongeveer  $PGAg\ 0,02$ .<sup>13</sup> Hoe hoger de remming op de horizontale beweging is, bijvoorbeeld door een rubberen *Base-isolation*, hoe groter de krachten op het gebouw. Hoe zwaarder het gebouw, hoe groter de frictie bij een glij of glij-pendule systeem.

*Figuur 5-11. Het rijksmonument de Maarlandhoeve te Uithuizen (1839). Dit gebouw werd als eerste Base-isolation project met perspalen opgekrikt. Daarna werd er op de Base-isolation en nieuwe platformfundering gezet, waarna de perspalen werden verwijderd. De plaatfundering garandeert een waterpas en geheel zetting-vrije basis.*



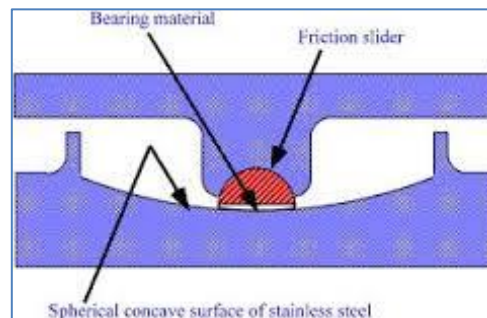
*Figuren 5-12. Schokdempers (viscose weerstand) tussen de onderste en de bovenste fundering. Deze horizontale schokdempers voorkomen dat stormwinden lichte of hoge gebouwen te veel doen trillen of bewegen. De sterkte van de schokdempers kan worden bijgesteld.*

- E. De belasting op elke unit moet ongeveer gelijk zijn.<sup>14</sup> Bij de meeste schuif en pendulum *Base-isolation* systemen is dit vooral belangrijk, want hier is de oplopende horizontale weerstand gebaseerd op het zijwaarts opdrukken van het glij-element of pendule binnen in de *Base-isolation* unit. Een gewoon pendulum systeem zal het gebouw dan iets optillen. In dat geval moet de belasting op elke *Base-isolation* unit eenheid gelijk zijn en de funderingen stijf om de eventuele drukverschillen te nivelleren.
- F. Bij fragiele gebouwen zoals oud metselwerk is het aanbevolen dat er geen opwaartse beweging in de *Base-isolation* units ontstaat tijdens de bevingen. Bij sommige *Base-isolation* systemen kan dit.

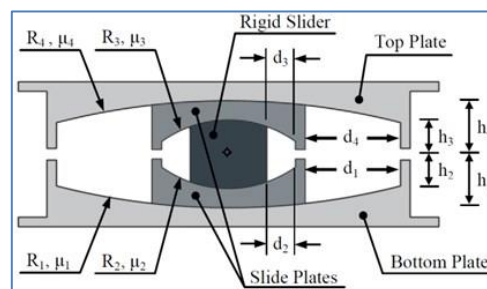
<sup>13</sup> Dit betekent dat het gebouw niet mag gaan scheuren bij een horizontale belasting van een  $PGAg\ 0,03$ . Voor nieuwbouw is dat geen enkel probleem; het ligt lager dan windbelasting. Voor erg oude bouw moeten er plaatselijk versterkingen worden aangebracht.

<sup>14</sup> Dit betekent dat bij een gebouw met verschillende massa's in de hoogte, de afstanden tussen de units onder het gebouw aangepast moeten worden zodat ze allemaal ongeveer dezelfde belasting hebben.

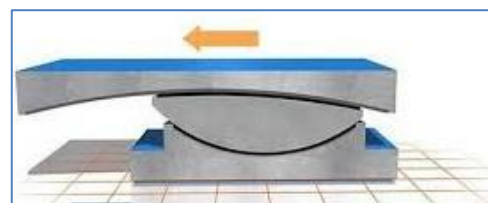
*Figuur 5-13. Bij horizontale beweging zal een pendulum glider omhoogschuiven. Hierdoor neemt de weerstand toe naarmate de helling in de kom steiler wordt. Het glij-element draait daarbij in de pendulum.*



*Figuur 5-14. Dubbele pendulum constructie. Bij de dubbele pendulum-slides hebben de twee sets glijplaten (buiten en binnen) verschillende krommingen waardoor de zijwaartse en verticale beweging kleiner is dan bij de bovenstaande figuur, maar de zijwaartse weerstand bij een verdere verplaatsing wel vergroot wordt door de grotere hoek van de binnenste pendulum.*



*Figuur 5-15. Maurer dubbel concave slider. Hier is er geen opwaartse beweging meer, maar verhoogt het binnen element wel de verhoogde zijwaartse weerstand. Voor animatie zie: Maurer dubbele pendulum <https://www.youtube.com/watch?v=bcbq1Bv19IE>*



*Figuur 5-16. Roller systeem zonder opwaartse beweging. Bij sommige rollersystemen is er geen opwaartse beweging, de oplopende zijwaartse weerstand moet dan op een andere manier worden gecreëerd, bijvoorbeeld door veren of rubbers. Deze veren moeten ervoor zorgen dat het gebouw na de schok weer centreert. Dit is het optimale systeem voor baksteen woningbouw.*



G. De maximale zijwaartse uitslag van het bovenliggende gebouw ten opzichte van de breedte van de Base-isolation mag niet groter dan  $1/3^{\text{de}}$  van het draagvlak van die Base-isolation. Er moet daarom een absolute begrenzing zijn binnen  $1/3^{\text{de}}$  van de breedte van de oplegging.



*Figuur 5-17. Gemeentehuis Loppersum 2014. Overheidsgebouwen moeten een hogere veiligheidsfactor hebben volgens de seismische code. Bij een van de eerste ervaringen met Base-isolation werd in 2014 het gemeentehuis van Loppersum aangepakt. Geïmporteerd Base-isolation systeem. Foto rechts: Dagblad vh Noorden. De kosten van deze operatie met uit Italië geïmporteerde Base-isolation units waren ongeveer 4 miljoen euro.*

Openbare en essentiële gebouwen (zoals een gemeentehuis) moeten een extra veiligheidsfactor hebben. De dikke kleilagen zouden bij langdurige zware tektonische aardbevingen een opslingereffect kunnen hebben (komt niet voor in Groningen). Op basis van de extreem hoge NPR9998:2015 werd toen een maximale horizontale uitslag (verplaatsing) van 15 cm bepaald. Het gebouw bleef tijdens de operatie in gebruik en het werk werd opgeleverd in december 2019.<sup>15</sup>

*Figuur 5-18. Bij de pastorie-woonhuis in Garrelsweer en de Maarlehoeve.*

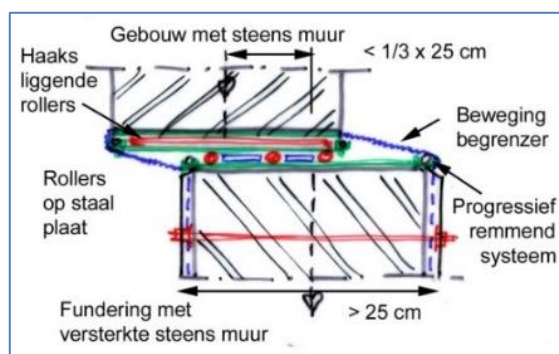
*Hier werd een veel kleiner Maurer systeem toegepast dat een veel kleinere horizontale uitslag heeft, en geen verticale verplaatsing. De maximale horizontale verplaatsing is hier minder dan  $\frac{1}{4}$  van de breedte van het inwendige dragende element.*



Wanneer er in een versterkte steens gemetselde funderingsmuur (24 cm breed) een *Base-isolation* ingebouwd kan worden, dan mag de horizontale verplaatsing van het bovenstaande gebouw niet groter zijn dan een-derde of  $24 \text{ cm}/3 = 8 \text{ cm}$ , anders komt de verticale gebouwbelasting naast de fundering en kan knik ontstaan<sup>16</sup>. De maximale zijwaartse verplaatsing kan  $1/5^{\text{de}}$  van de oplegbreedte zijn en zal bij voorkeur al optreden bij een  $\text{PGA}_g \approx 0,02$  eerst makkelijk en dan geremd.

*Figuur 5-19. Een verplaatsing van  $>1/3^{\text{de}}$  van de oplegbreedte is te groot.*

*Bij een te grote verplaatsing zal de zwaartelij van de bovenbouw aan de rand van de oplegging komen en een kanteling in de funderingsmuur veroorzaken. De maximale verplaatsing moet daarom  $< 1/4^{\text{de}}$  van het draagoppervlak zijn ( $< 6 \text{ cm}$  bij  $25 \text{ cm}$  breedte). Bij veel verplaatsing moet er dus een extra brede oplegging zijn. Bij  $\text{PGA}_g 0,15$  is de verplaatsing slechts 15 mm.*



- H. De horizontale beweging moet vanaf  $\text{PGA}_g 0,02$  worden afgeremd tot een stop aan de maximale horizontale afstand van het systeem. Dat wil zeggen dat de horizontale weerstand lineair of progressief tot de maximum uitslag moet oplopen tot een stop. Het gebouw mag dus niet met een harde schok tot stilstand komen bij het einde van horizontale verplaatsing.
- I. Direct boven de *Base-isolation* moet zich een versterkt en stijf vloerdiafragma bevinden, of een stijve balkenstructuur, die ervoor zorgt dat het bovenstaande gebouw als geheel en eenvormig beweegt en kan worden opgetild. Het vloerdiafragma voorkomt dat de onderkanten van de muren niet afzonderlijk loodrecht op het vlak van de muren kunnen bewegen.

<sup>15</sup> Het is niet duidelijk of bij de kleine bevingen tot  $\text{PGA}_g 0,05$  het toegepaste glijstelsysteem gaat werken.

<sup>16</sup> Omdat de maximale horizontale verplaatsing bij  $\text{PGA}_g 0,3$  ongeveer 3 cm is en bij  $\text{PGA}_g 0,1$  slechts 1 cm, is een rol- of glijbreedte van 3 cm ruim voldoende en valt binnen toelaatbare marge van een smalle oplegging.



Figuren 5-20. Aanleg van een platformfundering binnen in een gebouw.

Bij een villa in Loppersum werd eerst een volledige betonplaat onder het gebouw aangelegd en daarna het gebouwtje opgevijseld.

Bij de Maarlandhoeve te Usquert (Figuur 5-11 en beneden) werd een dragend stalen frame met ringbalken aangelegd. Dat werd daarna met perspallen omhoog gedrukt.

- J. Direct onder de Base-isolation moet een sterk en stijf en niet-verzakende fundering liggen. Omdat de meeste oude gebouwen die Base-isolation behoeven 'op staal' zijn gebouwd, is de aanleg van een platformfundering die ook 'op staal' onder het hele gebouw draagt een goede optie.

Figuren 5-21. Aanleg van een platformfundering en sterke balken fundering.

De Base-isolation kan ook op de kolommen worden aangebracht

Rechts: Platform fundering onder Maarlandhoeve.



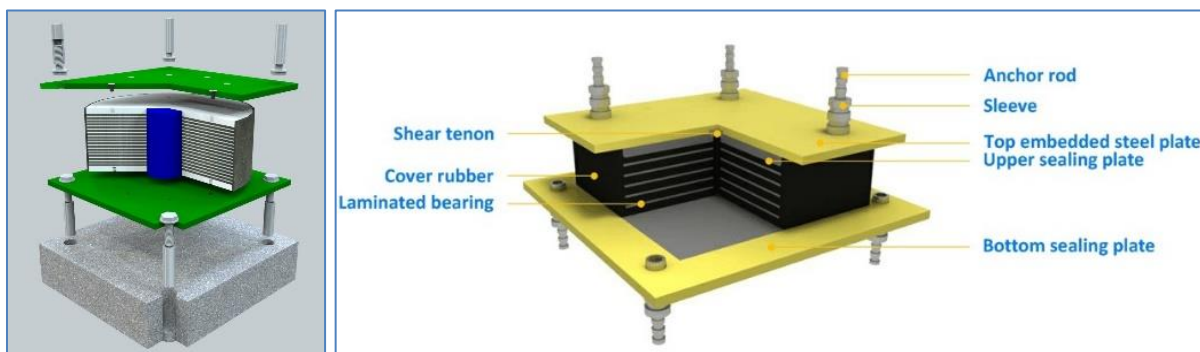
- K. De huidige Base-isolation systemen wordt slechts door grote, gekwalificeerde ingenieursbureaus, architecten en aannemers uitgerekend en aangebracht. Deze werken moeten dan volgens de laatste versie van het kaartje van de NPR9998 aangegeven maximale aardbeving worden ontworpen en uitgevoerd.<sup>17</sup> Scheurvoorkomend versterken is volgens die NPR niet verplicht. De NPR-richtlijn voorkomt slechts instorting. Echter, omdat deze NPR-belastingen tot 2020 nog altijd groter zijn dan de werkelijk optredende maximale PGAg-waarden, zal onder deze omstandigheden seismisch versterken of Base-isolation ook scheuren voorkomen.

De in Groningen toegepaste Base-isolation systemen komen allemaal uit het buitenland en zijn op zich kostbare mechanieken, ontworpen voor zware (meerdere etages) gebouwen, tot hele hoge/zware gebouwen. Bij de grootste gebouwen gaan ze pas werken bij grote aardbevingen. Base-isolering die werkt met een lage startbelasting ( $< PGAg 0,03$ ) en een kleine verplaatsing ( $< 2$  cm) zijn het meest aangewezen voor Groningen. Voor kleine (lichte) nieuwe gebouwen zijn kleine rubberen systemen geschikt op stijve stalen fundering frames.

<sup>17</sup> Werkvoorbereiding inclusief de betalingsovereenkomst en berekeningen zijn voor de grote gebouwen vaak meer dan een jaar gemoeid. De al uitgevoerde projecten zijn daarom op oude NPR-normen gebaseerd. Het laatste kaartje van de NPR liep tenminste een half jaar achter bij de werkelijkheid. Met een half jaar bouw voorbereiding en een jaar uitvoeringstijd, is er samen ten minste twee jaar verschil tussen de NPR-waarden.

Gezien de lage aardbevingsbelastingen is het economisch niet relevant om deze dure systemen onder een bestaand gebouwtje aan te brengen. Nieuwbouw kan zonder extra kosten voldoende sterk gerealiseerd worden voor een  $PGA_g < 0,05$ . Het aanbrengen van een *Base-isolation* onder nieuwbouw is daarom weinig relevant en heeft meer als doel om systemen en de uitvoering te testen.

*Figuur 5-22. Nieuwbouw op stalen frame. Na de Huizinge 2012 beving werden een paar noodklaslokalen op rubberen dempers (en metalen frames) geplaatst om aan de NPR9998:2015 waarde ( $PGA_g 0,42$ ) met verhoogde veiligheidseisen te voldoen. Om na 2020 nieuwbouwwoningen op *Base-isolation* te zetten is overbodig. Foto van nieuwbouwwoning eind 2016.*



*Figuren 5-23. LRB of Lead Rubber Bearing system.*

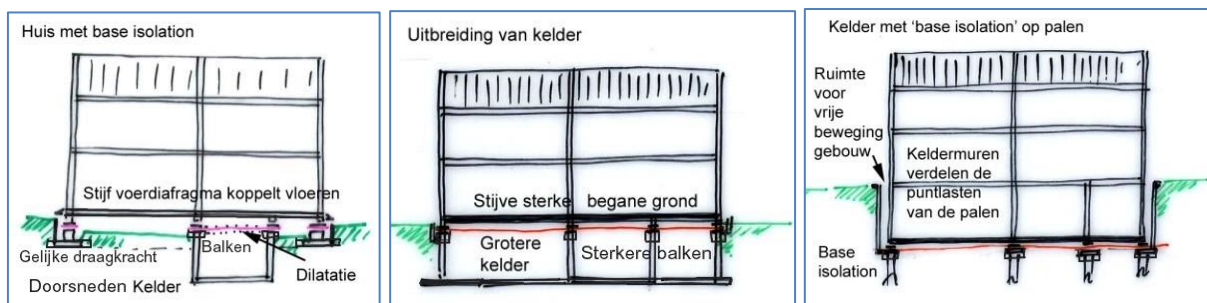
*Dit LRB-systeem heeft een vervormbare loden kern die de demping van de beweging geeft. HDR of High Damping Rubber heeft alleen een stapel metalen platen met rubber ertussen. Het rubber is het elastische element dat het gebouw weer terug doet keren naar de start positie*

- L. Het aanbrengen van een *Base-isolation* systeem onder een gebouw is precisiewerk en moet met zorg uitgevoerd worden. Vooral de glijsystemen moeten met  $1/10^{\text{de}}$  millimeter-nauwkeurigheid geplaatst worden en mogen absoluut geen zetting ondervinden. Bij verschillende druk gaan ze anders niet gelijktijdig bewegen, tenzij het bovenliggende diafragma heel sterk is en dat forceert.
- M. De *Base-isolation* constructie moet roestvrij en waterdicht zijn en blijven. Omdat deze onder het gebouw zit kan grondwater en regenwater zo hoog komen dat de mechanismes onder water komen te staan. Dit mag op de lange duur geen vermindering van de eigenschappen veroorzaken. De materialen van de *Base-isolation* units mogen niet worden aangetast door water, zure grond, zuur grondwater, insecten, schimmels of knaagdieren. Een oplossing is om het systeem zo hoog mogelijk, net onder de begane grond vloer aan te brengen. Een andere oplossing is om ze in het duurzame EPDM butylrubber in te pakken.

*Figuur 5-24. Rondom het gebouw moet voldoende beweegruimte zijn. Het gebouw moet in de twee horizontale richtingen kunnen bewegen te bewegen, zonder dat de grond een extra weerstand creëert. Foto Maarlandhoeve met platformfundering en hoge plint.*



N. Het gebouw moet in de twee horizontale richtingen vrij kunnen bewegen voor de maximale uitslag van de *Base-isolation* (<3 cm). Dit betekent dat de infrastructuur zoals riolering, elektra, gas, water, glasvezel riolering, telefoon, regenwaterafvoer en dergelijke flexibele aansluitingen moeten hebben. De kantplanken of andere constructies zoals afdekkingen moeten de vrije beweging van het gebouw toelaten. De afdekkingen van het *Base-isolation* systeem buiten rondom het gebouw, moeten voorkomen dat regenwater, bladeren en begroeiingen tussen het gebouw en de beweegzone kunnen komen. De afsluiting moet periodiek schoongemaakt kunnen worden. Deze afdekkingen moeten volledig weersbestendig zijn en voor de locatie voldoende mechanische sterkte hebben.



*Figuren 5-25. Drie andere opties voor Base-isolation met kelders:*

Links. Alleen de plaatselijke kelder doorsnijden. De draagcapaciteit onder de funderingen moet hetzelfde zijn als onder de kelder en moet dan vergroot worden.

Midden. De kelder vergroten en dan de kelder doorsnijden; hierbij moeten de keldermuren versterkt worden.

Rechts. Base-isolation onder de hele kelder, waarbij de paalkoppen horizontaal met balken moeten zijn verbonden om onafhankelijke horizontale beweging te voorkomen.

*Figuren 5-26. Flexibele waterleiding of CV-leidingen.*

*De gele gasleiding moet langer zijn om de noodzakelijke beweging toe te laten.*

*Onder: Fernco flexibele koppeling vervaardigd uit een PVC-elastomeer, die in positie wordt gehouden door een RVS-klembanden. PVC Elastomeer heeft een zeer sterke trek- en scheursterkte, is enorm flexibel en niet onderhevig aan veroudering ("verrubberen").*



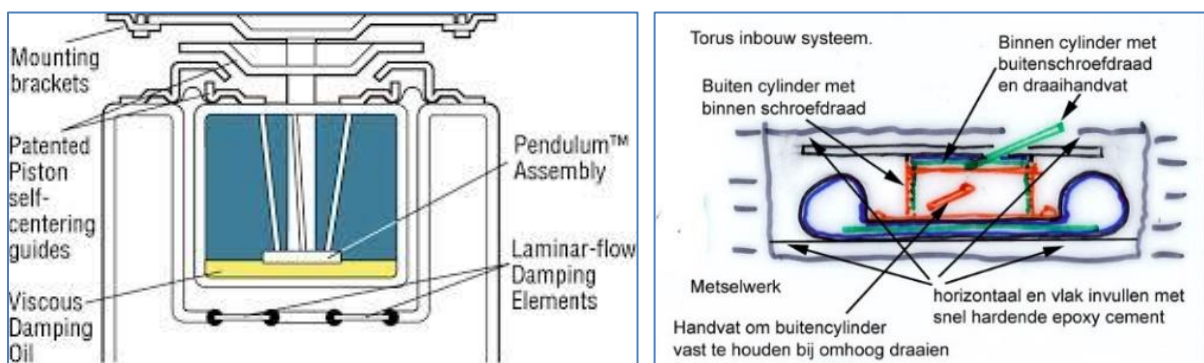
## 5.5. Overige Base-isolation systemen

Behalve de vier systemen die onder paragraaf F zijn genoemd en de twee systemen van Figuren 5-23 zijn er nog een groot aantal systemen op de markt die aangeven dat *Base-isolation* op veel verschillende manieren kan worden gecreëerd.



Figuren 5-27. Nog meer Base-isolation systemen.

Van links naar rechts: Spring-rubber diablo, hoog veersysteem, enkele kogel in kom, strutpatent.

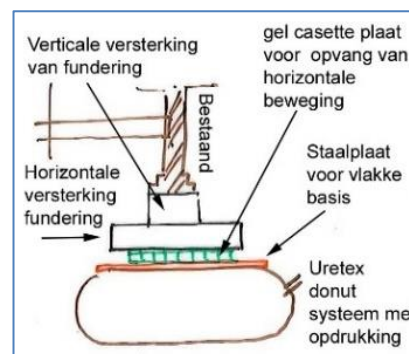


Figuren 5-28. Nog meer systemen.

Links. Piston-pendulum, bestaat ook met hangende platen.

Rechtsboven. Torus buffer, een rubber ring (autoband) gevuld met vloeistof door Hendrik Lenten uit Friesland (patent).

Rechts. Donut systeem toegepast onder enkele nieuwbouwprojecten in Groningen van Pieter de Bruin. In deze schets moet de balkenfundering een sterk netwerk vormen.



Figuren 5-29. Springveren en damwand.

Links: springsysteem. Midden. Japans springsysteem ook met

bovenliggende rubber kern. Rechtsboven. Diepe dubbele damwand om

een terp eiland. Rechts. Klein systeem van De Ruwbouw Groep voor lichte gebouwen in testopstelling (verticaal iets samendrukbaar), geschikt voor staalbouw.





*Figuur 5-30. Veel Base-isolation systemen zijn eenvoudig aan te brengen.*

*Onder nieuwe gebouwen vereisen ze bij weinig steunpunten zware balkconstructies van beton of staal.*

*Units om de 3 m met zware balken.*

*Het rode systeempje (Figuur boven) wordt om de 60 cm toegepast en kan voor versterkte kalkzandsteen binnenmuren worden toegepast.*



Voor nieuwbouw is het aanbrengen van een *Base-isolation* systeem vrij eenvoudig, maar zal voor sommige systemen een zware balkenstructuur boven de onder-fundering vereisen. Dit zijn verhogingen in de bouwkosten. Hoe lager de woning, hoe meer deze extra bouwkosten op de begroting drukken. Bij een lage aardbevingsbelasting is *Base-isolation* voor nieuwbouw niet nodig. Het probleem in Groningen is dat een eventuele *Base-isolation* onder bestaande bakstenen gebouwen moet worden toegepast die van zichzelf al zwakke funderingen hebben.

## 5.6. *Base-isolation* voor bestaande bouw in Groningen

Tot op heden werden in de provincie Groningen uit Italië geïmporteerde *Base-isolation* systemen toegepast, die ontworpen zijn voor tektonische bevingen. Hiervan is het Maurer dubbele pendulum systeem (Figuur 5-15) de gunstigste oplossing is, omdat deze geen opwaartse beweging heeft<sup>18</sup>. Hieronder volgen een aantal voorwaarden waar een lokaal geproduceerd Gronings *Base-isolation* systeem moet voldoen en suggesties voor het ontwerp.

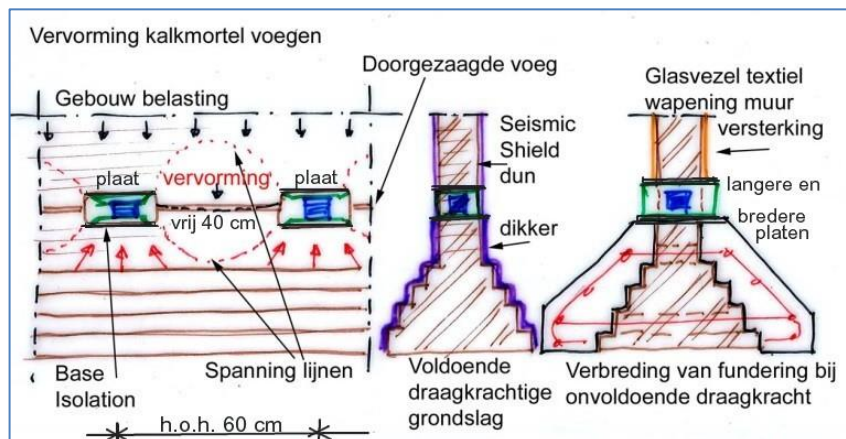
Op de eerste plaats moet elk systeem aan de in paragraaf 5.4 punten A tot en met N (Technische Randvoorwaarden) vermelde voorwaarden voldoen. De volgende voorwaarden zijn belangrijk om de kosten bij bakstenen gebouwen laag te houden:

- O. Bij muren van baksteen zal de onderlinge vrije afstand tussen de dragende platen van de *Base-isolation* eenheden beperkt zijn, zodat er geen grote puntlasten in de gemetselde muren optreden. De vrije overspanning tussen de draagplaten bij een gebouw (maximum twee etages plus zolder) zou bij baksteen of kalkzandsteen (< 60 cm, 3 strekken) of bij kalkmortel metselwerk van oude gebouwen (< 40 cm 2 strekken) moeten zijn. Door de onder- en bovenliggende oplegplaten van het systeem breed te houden, kan de afstand tussen de systeempjes groter gehouden worden. Dit betekent een afweging tussen metselwerk versterken (met lintvoegwapening), de draagplaat breedte en het aantal *Base-isolation* eenheden bij elke variatie. Bij minder gaten boren zullen de kosten lager worden, maar fundering versterking zal de kosten verhogen. Bij een serie productie van een eenvoudig systeem kunnen de kosten van het systeempje laag blijven. Aan de hand van de praktijk moet bepaald worden wat het beste evenwicht is tussen materiaal en arbeidskosten.

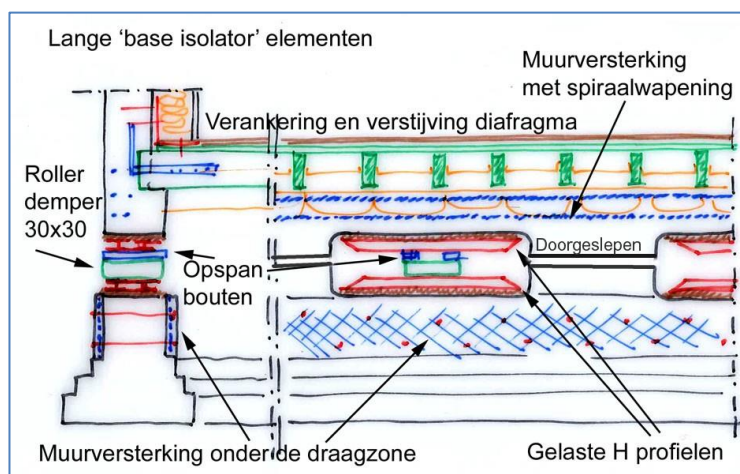
Bij een draagplaatlengte van 40 cm, wordt bij kalkmortel metselwerk dan de hart-op-hart afstand tussen de systeempjes  $40 + 40 = 80$  cm. In een gevelbreedte van 4m zijn dat dan 6 systeempjes (inclusief de hoeken). Onder een gebouw met  $40\text{m}^1$  fundering zouden er dan ongeveer 50 systeempjes nodig zijn.

<sup>18</sup> Sinds 2012 werd > €100 miljoen aan onderzoeken besteed, maar niet aan de mogelijkheid om lokaal een geschikt *Base-isolation* te ontwikkelen dat makkelijk onder de bestaande baksteen bouw kon worden toegepast. De design competitie omvatte slechts technische ontwerpen voor boven het funderingsniveau.

**Figuur 5-31. Vrije overspanning bepalen.** Afhankelijk van het soort metselwerk, de gebouwbelasting en de mogelijke versterking van het metselwerk, moet de maximale vrije overspanning van het metselwerk bepaald worden.



**Figuur 5-32. Verbreden van draagplaten.** Door het metselwerk te versterken en/of de draagplaten te verbreden kan de h.o.h. afstand tussen de Base-isolation eenheden groter worden, zodat het totale aantal units onder het gebouw minder wordt. Dat houdt dan ook een kleiner aantal units in. De keuze hangt af van de verschillende operationele kosten.



De karakteristieke minimumwaarde voor metselwerk  $f_{m,min} = 5,0 \text{ N/mm}^2$  voor gemiddeld cementmortel metselwerk (NPR 9998:2015). Kalkmortel metselwerk is  $f_{m,min} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ .

De karakteristieke druksterkte van cementmortel metselwerk  $f_k = 6,2 \text{ N/mm}^2$ .

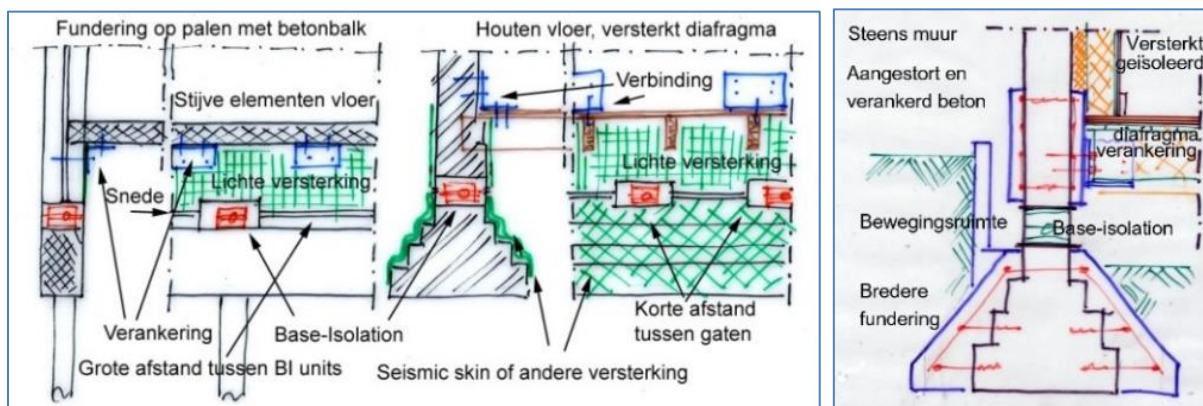
Bij het maken van de openingen voor de installatie van de *Base-isolation* units mag de resulterende drukkracht in de overgebleven pieren niet hoger zijn dan deze waarde. Na het installeren van de *Base-isolation* units, en het doorzagen van de muur tussen de *Base-isolation*, mag de druk in het metselwerk direct onder en boven de units ook niet hoger zijn dan deze  $f_k = 6,2 \text{ N/mm}^2$ , of de veel lagere waarde voor kalkmortel metselwerk  $f_k = 2,5 \text{ N/mm}^2$ .

P. De funderingen 'op staal' moeten in bijna alle situaties verbreed en versterkt worden. Zij mogen geen zettingen meer ondergaan met een *Base-isolation*. Tegelijkertijd kan de muurzone boven de *Base-isolation* versterkt worden.

Q.

Verskillende methoden bestaan:

- Het in-frezen en verlijmen van spiraalwapening in verschillende voegen aan de binnenkant en buitenkant van de muur.
- Het toepassen van Seismic Skin™ of Eagle Skin™ glasfiber epoxy, binnen en buiten, of het beplakken met een strook Glasfiber of Carbonfiber met epoxylijm. De muur moet hiervoor goed schoongemaakt worden om goede hechting te garanderen.
- Het met chemische ankers bevestigen van een U-profiel aan het metselwerk.
- Het aanstorten van een verticale mantel van gewapend beton, met ankers in/door de muur.



Figuren 5-33. Glasvezel of carbon wapening.

Bij een goede draagsterkte van de fundering kan deze aan beide zijden worden versterkt door SeismicSkin™ of Carbon-/glasfiber dat met een epoxy op de schone muur wordt geplakt.

Rechts. Een gewapende betonstrook aan weerszijden van fundering en steens muur. De keuze van versterken zal ook afhangen van de bereikbaarheid en de eenvoud van werken. Direct boven de Base-isolation zal het begane grondvloer diafragma goed aan alle muren bevestigd moeten worden. Het vervangen van de hele begane grondvloer door een sterke en geïsoleerde vloer is vaak een van de opties.

De hierboven geschetste voorwaarden zijn de ingrediënten voor een nieuw ontwerp voor een **Base-isolation** systeem dat in Groningen geproduceerd kan worden, zonder afhankelijk te zijn van dure geïmporteerde systemen die praktisch gesproken veel te breed zijn voor de mogelijke horizontale verplaatsingen en belastingen die bij de Groningse geïnduceerde bevingen voorkomen.

Er zijn twee onderdelen voor een klein Gronings *Base-isolation* systeem nodig:

- (1) het rol- of glijmechaniek (licht-lopemd, klein, centrerd, waterdicht) en
- (2) het inbouw mechaniek (eenvoudig, klein gewicht, opspanbaar).

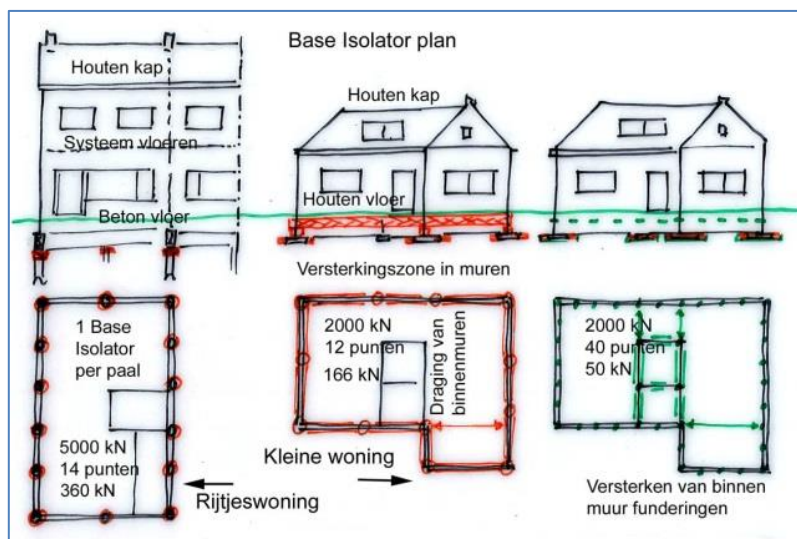
Beide componenten moeten goedkoop lokaal te fabriceren zijn door metaalbedrijven.

R. De *Base-isolation* units moeten zowel voor lage als hogere verticale belastingen kunnen werken, waarbij de horizontale weerstand (centreekracht) voor verschillende situaties aangepast kan worden voor verschillende belastingmodellen. Bij weinig units onder een gebouw zal de verticale belasting per unit hoog zijn, terwijl voor veel kleine units onder een gebouw de unitbelasting laag zal zijn en ook de horizontale veerkracht.

Figuur 5-34. Verschillende belasting opties.

Onder een rijtjeswoning met betonvloeren kan de verticale belasting per Base-isolation ongeveer 400 kN/unit zijn. Onder een lage woning met houten vloeren is dit  $\approx 200$  kN/unit.

Bij kalkmortel metselwerk en kleinere afstanden, kan de verticale belasting slechts 50 kN/unit zijn. Een standaard unit zou tot 500 kN moeten kunnen dragen, terwijl de horizontale weerstand vier versies bij waarden van 50 kN, 100 kN, 200 kN en 500 kN kan hebben.



- S. Wanneer het kalkmortel metselwerk erg zwak is (bij woningen van vóór 1900) zal vóór het maken van de gaten de muurdelen onder en boven de locatie van de Base-isolation **eerst het metselwerk tweezijdig goed versterkt moeten worden, inclusief het verbreden van de fundering.**

Het plaatsen van de *Base-isolation* units kan samengaan met het maken van een platform fundering. Door de gaten in een platformfundering hoger te maken kunnen direct daar, op de uitstekende nokken die in de muur gaan, de *Base-isolation* units geplaatst worden. Direct boven de *Base-isolation* units moet dan het sterke vloerdiafragma komen. De onderkanten van de muren moeten stijf bij elkaar gehouden worden.



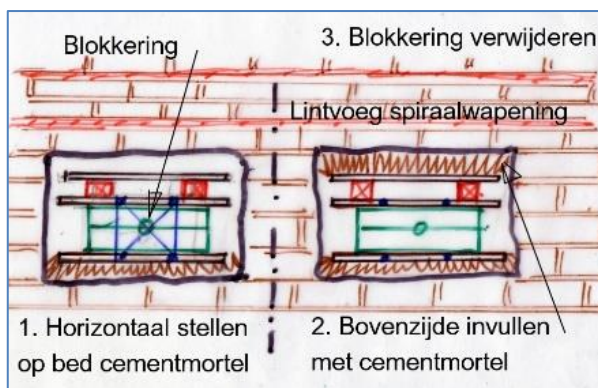
Figuren 5-35. Toepassing op platform fundering.

Wanneer de muur tussen de Base-isolation units wordt doorgezaagd moeten de muurdelen boven en tussen de Base-isolation units de breedte overspannen en niet vervormbaar zijn. De kwaliteit van het metselwerk, de afstand tussen de units en de versterking van de muur met het diafragma zijn dan bepalend.

- T. De samengestelde onderdelen van de *Base-isolation* units, moeten per stuk lichter zijn dan 10 kg, zodat ze makkelijk met handkracht in één keer in de funderingen geplaatst kunnen worden, zonder de noodzaak van speciale til- en hijsapparatuur.

Figuur 5-36. De inbouwunit wordt eerst precies horizontaal gesteld. Fase 1-3.

De units worden op een mortelbedje gesteld terwijl de horizontale beweging tijdelijk geblokkeerd is. De 2<sup>de</sup> dag wordt de bovenkant met mortel goed uitgevuld met krimprijke mortel. Na verharding van de mortel wordt de blokkering verwijderd en de unit op volle spanning gebracht met wigbouten. Nadat alle units zijn opgespannen wordt de baksteen muur doorgeslepen.

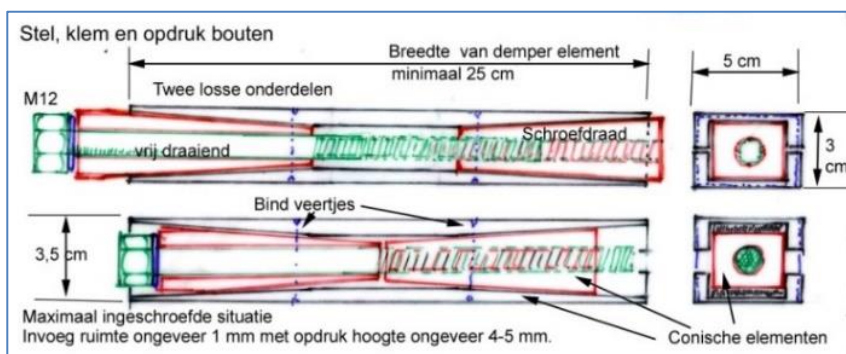


- U. Wanneer na het plaatsen van de *Base-isolation* unit de stelmortel goed verhard is (minimaal een week) kan de unit op spanning gebracht worden. Met een schroefmechanisme wordt het metselwerk omhoog gedrukt totdat het tussen de openingen gaat scheuren.

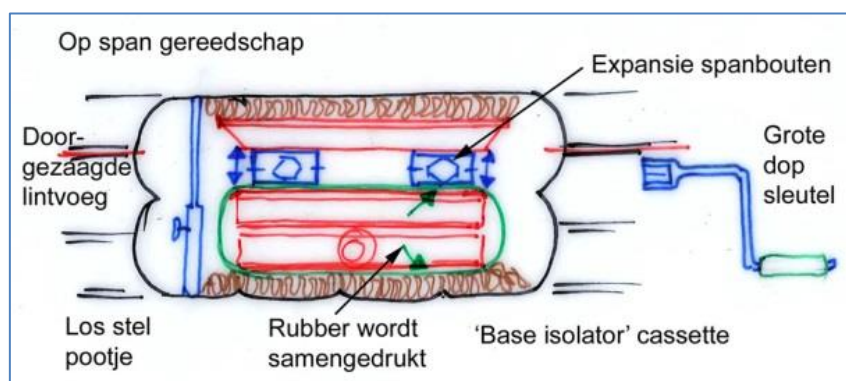
Voordat men begint aan het opspannen van de *Base-isolation* cassette in de opening, kan men een uitschuif stelvoetje verticaal in de opening plaatsen. Wanneer men de wiggen van de spanbouten aandraait (naar elkaar toe trekt), begint het systeem de baksteen muur boven de *Base-isolation* te dragen. Wanneer de bovenliggende muur volledig draagt en iets hoger wordt getild door het verder aandraaien van de spanbouten, zal het stelvoetje vrijvallen. Hierna kan de lintvoeg tussen de openingen met de *Base-isolation* worden doorgeslepen (3-5 mm Corund slijpschijf) zodat het gebouw geheel vrij en alleen op de *Base-isolation* staat.

Figuren 5-37. Spanbouten mechaniek.

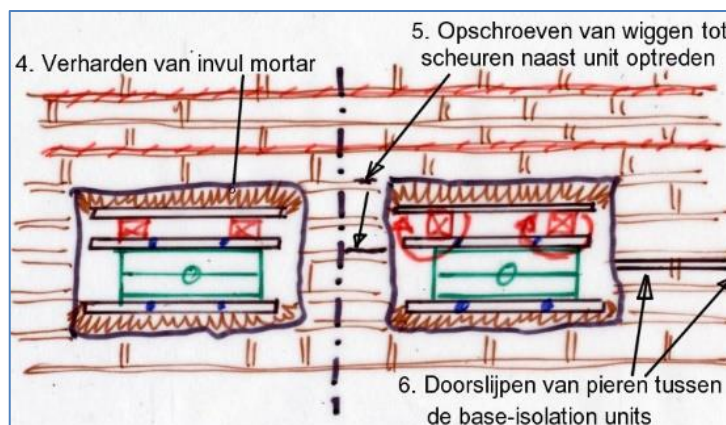
Door de bouten aan te draaien worden ze op spanning gebracht, net totdat het metselwerk van de penanten tussen de units gaat scheuren. Daarna kunnen deze penanten volledig worden doorgeslepen (3-5 mm slijpschijf dikte).



Met een powertool kunnen de bouten op de juiste spanning worden gezet.



Figuur 5-38. Inbouw unit. Stappen 4-6. Omdat bij versterking van de muren en een begane grond vloerdiafragma geen dubbele fundering nodig is kost dit 10% - 15% van de geïmporteerde systemen.

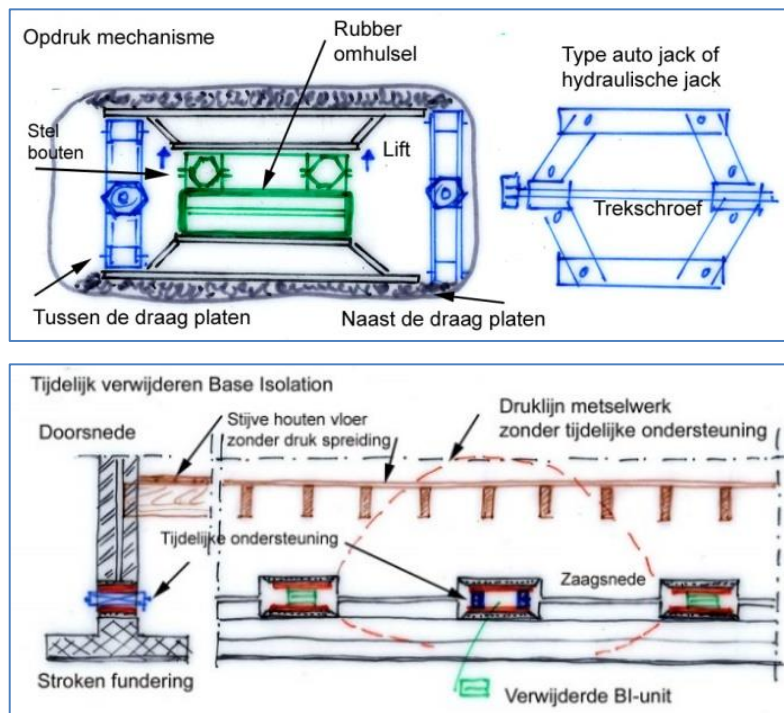


- V. De dimensionering van de onder- en bovenliggende verdeelplaten en de klembouten hangt af van de totale kracht die nodig is om het metselwerk 0,1 tot 0,2 mm op te tillen. Bij bredere of grotere *Base-isolation* eenheden zullen de platen breder/langer zijn en misschien 3 bouten hebben.
- W. In theorie is het mogelijk om dit model *Base-isolation* units na een verloop van een aantal jaren weer te verwijderen, bijvoorbeeld voor onderhoud of vervanging of permanente verwijdering. Dit kan door eerst de open gezaagde lintvoeg strak in te vullen en dan de bouten boven de *base-isolation* units weer terug te draaien, waardoor de druk op de units verdwijnt, waardoor deze uit de opening gehaald kunnen worden, en de opening dichtgemetseld.

**Van dit ontwerp met zowel het rolmechanisme als het opschroef mechanisme werd een werkend model gemaakt.**

Lokale metaalbewerkingsbedrijven in Groningen konden dit model produceren, maar van een test serie om het in 2014-2015 toe te passen in een testwoningen is het niet gekomen.

Figuren 5-29. Tijdelijke ondersteuning met auto jack of hydraulische vijzel.  
Er kan een tijdelijke metselwerk ondersteuning worden gemaakt door een vijzel (jack) naast het element in de opening te plaatsen. Door de stelbouten terug te draaien komen de units dan los. De stelbouten zitten aan de bovenzijde vast aan de ondersteuningsplaten.

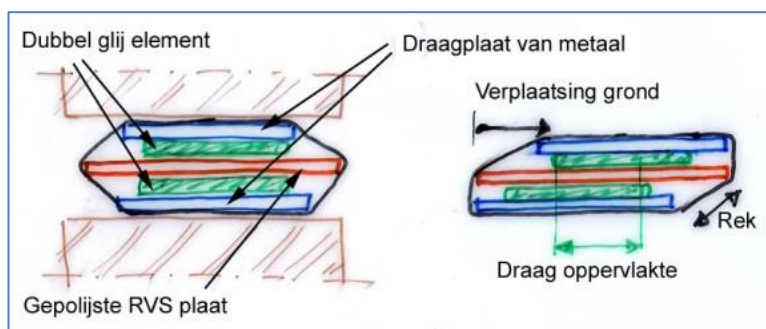


Bij het beoordelen van de mogelijkheid om een dergelijk systeem toe te passen, moet er voldoende werkruimte zijn. Wanneer de oude houten vloeren uit de woning worden verwijderd om daarna vervangen te worden door een prefab elementen vloer met LTV -loerverwarming is dit het geval. De nieuwe vloer moet een stijf diafragma aan de muren worden.

Wanneer de *Base-isolation* units na verloop van een flink aantal jaren een onderhoudsbeurt nodig zouden moeten hebben, zal de inbouwconstructie zodanig moeten zijn dat onderhoud op eenvoudige wijze mogelijk is, en niet opnieuw de gehele fundering uitgegraven hoeft te worden<sup>19</sup>.

X. De *base-isolation* units moeten minimaal een 30-jarige technische levensduur hebben voor de mechanische onderdelen, het glij-element en het elastische rubber<sup>20</sup>.

Figuur 5-30. Elastisch rubberen omsluiting.  
Een waterdicht en rekbaar rubber omhulsel (EPDM) moet minstens 30 jaar goed blijven werken. Het Teflon binnen glijwerk moet goed blijven. De gladheid van de roestvrij stalen platen moet gegarandeerd zijn.<sup>21</sup>



Door slechts één enkel eenvoudig roller- of glij-ontwerp te maken dat lokaal geproduceerd kan worden en voor verschillende belastingen en gebouwen toegepast kan worden, zijn de fabricagekosten laag.

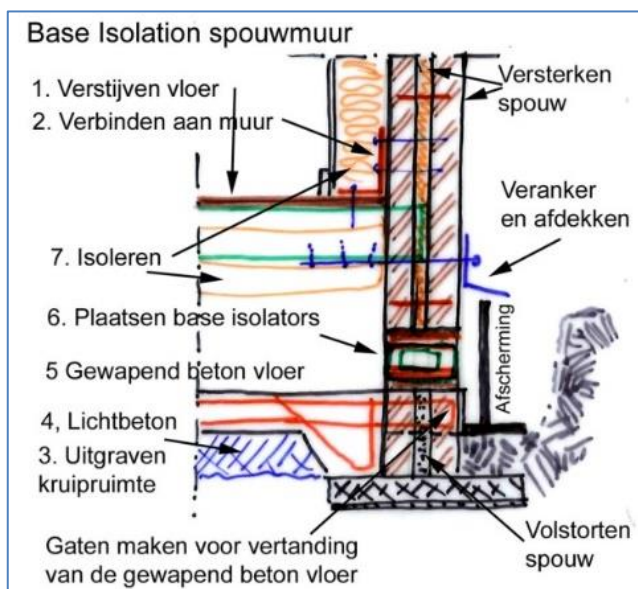
<sup>19</sup> Bij het aflopen van de gas exploitatie zullen er na 2030 geen voelbare bevingen meer voorkomen en zijn de toegepaste *Base-isolation* elementen in feite niet meer nodig.

<sup>20</sup> Zie: [http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_1492.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_1492.pdf) Replacement of Old Rubber Bearings of the first Base Isolators in the World. The expected lifetime is 40 years, related to the durability of the rubber.

<sup>21</sup> Wanneer de totale duur van de gasexploitatie niet meer dan 30 jaar zal zijn, moet het mogelijk zijn om *Base-isolation* units te maken die deze gehele periode geen onderhoud nodig hebben. Ontwerp vereiste.

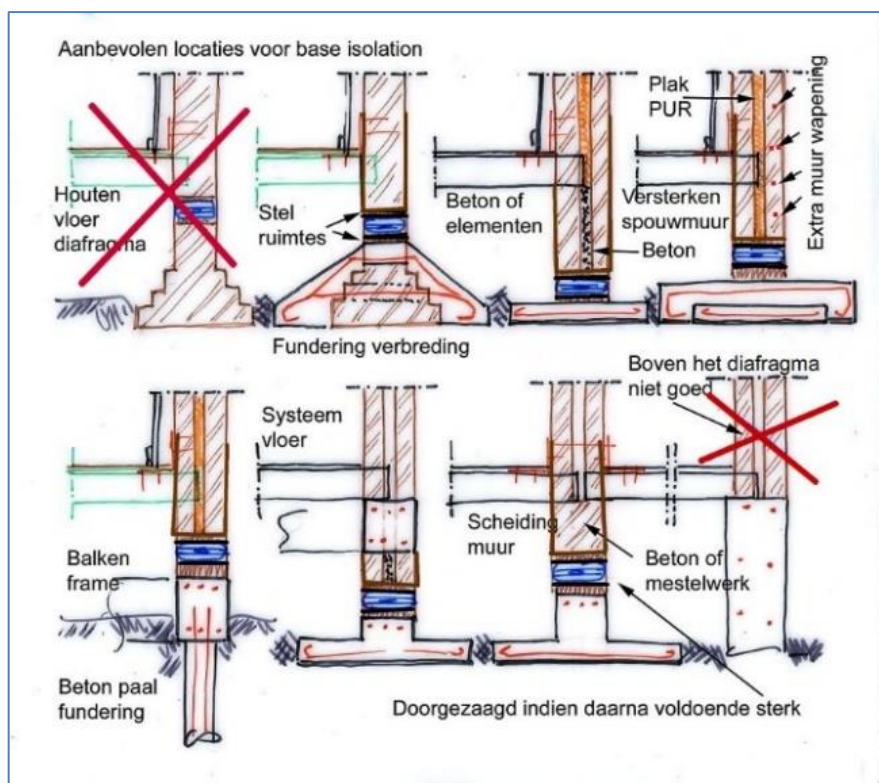
De meeste woningen met fragiel metselwerk zijn slechts één of twee etages hoog, eventuele met een zolder, waarvoor slechts één enkel type *Base-isolation* geschikt kan zijn. Voor grote kopgebouwen van oude boerderijen die dikke muren hebben, kan een maatje groter gemaakt worden. Voor elk type woning (vorm en massa) kan eenmalig een berekening gemaakt worden, waarna al diezelfde woningtypes (dus per typologie) op dezelfde seriematige en productieve manier van *Base-isolation* kunnen worden voorzien.

*Figuur 5-31. Opvolgende stappen voor de toepassing van een Base-isolation systeem. Voorbeeld van een spouwmuur, waarbij het begane grond vloerdiafragma dicht boven fundering zit. In deze optie is de gehele fundering verbreedt door de toepassing van een platformfundering. Direct boven de Base-isolation units moeten de twee bladen van de spouwmuur intensief met elkaar verbonden worden. De dragende plaat op de Base-isolation unit functioneert ook als spouwmuur verbinding.*



*Figuur 5-32. Verschillende opties een Base-isolation unit.*

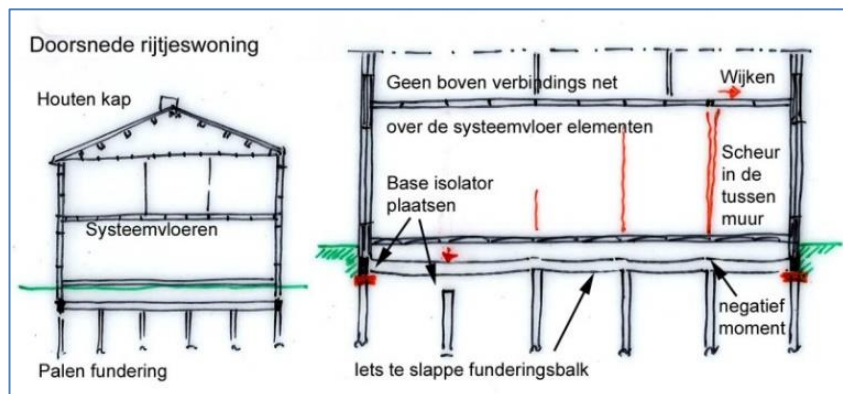
*Onderste schets rechts. Boven het vloerdiafragma kan het niet worden toegepast omdat de muren onvoldoende sterk zijn.*



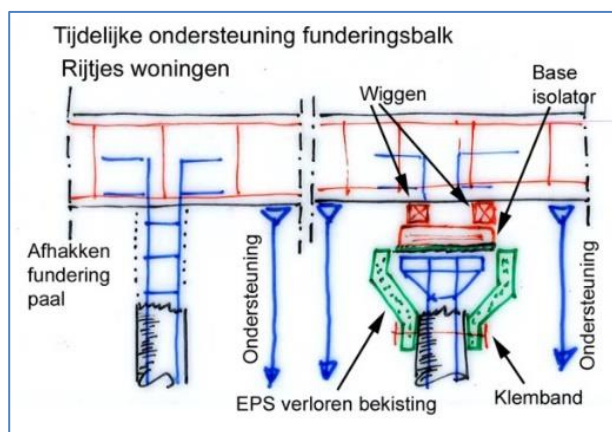
Wanneer bij een rijtjeswoning met zwakke funderingsbalken een *Base-isolation* tussen de paalkop en de funderingsbalk wordt geplaatst, moet deze balk tijdelijk goed ondersteund worden. Wanneer een rijtjeswoning betonnen systeemvloeren heeft, waar geen verbindend krimpnet overheen ligt, kan bij een verhoogde puntbelasting (door een aardbeving) de balk doorbuigen en de draagmuur doen scheuren en daardoor de etagevloer gaan wijken.

*Figuur 5-33. Verticale scheuren.*

*Bij een verhoogde punt of paalbelasting en slappe balken, kunnen verticale scheuren in de draagmuren ontstaan en de etage vloer gaan wijken wanneer deze uit niet-gekoppelde prefab elementen of een diafragma bestaat.*



Bij het inbouwen van een *Base-isolation* op een paalkop, moet de funderingsbalk zettingsvrij ondersteund worden en de bovenkant van de paal onder de funderingsbalk worden afgehakt. Om de afgehakte paalkop en de aangepaste wapening wordt een verloren bekisting gebonden van hoge dichtheid EPS. Hierin wordt beton gestort, zodat een vlakke basis wordt verkregen voor het precies horizontaal plaatsen van de *Base-isolation* unit. Pas wanneer het beton van de paalkop en de epoxy mortel onder de *Base-isolation* zijn uitgehard, kunnen de schroefwiggen op spanning worden gesteld.



*Figuren 5-35. Schets voor de installatie van een paalkop Base-isolation. De vrij gegraven paalfundering is toegankelijk voor het aanpassen van de paalkoppen wanneer de fundering tijdelijk ondersteund wordt.*

Voor een mogelijk ontwerp van een klein, licht-lopend Gronings *Base-isolation* systeem komen de volgende opties in beeld:

- I. Een glij-schuif systeem met Teflon glijders, waarschijnlijk het goedkoopste. Het probleem hierbij kan zijn dat de schuifweerstand te groot zal zijn en het gebouw bij een PGAg schok van  $> 0,03$  niet gaat schuiven. Wanneer het gebouw pas met PGAg  $> 0,6$  gaat schuiven dan zal de gebouw belasting toch weer ongeveer hetzelfde zijn als de geleden aardbevingen en de hele *Base-isolation* overbodig tenzij er hele zware aardbevingen worden verwacht.
- II. Een rolsysteem met staaf rollers in twee orthogonale richtingen. Het voordeel van de rollende staven is dat de materialen weinig kosten en overal te vinden zijn.
- III. Een rolsysteem met een laag kogelrollers. Kogellagers met een hoge druksterkte zijn alom beschikbaar, maar de plaat waarop ze rollen moet ook een erg hoge druksterkte hebben.

Alle drie met een start van het rol/glijstelsysteem bij een PGAg van 0,02.

Alle drie met een maximale uitslag van 3-4 cm en progressieve of lineaire remming tot PGAg 0,1.



## 5.7. De voor- en nadelen van de Teflon glijder

De Teflon<sup>22</sup> *Base-isolation* is een glij- of schuifstelsel. De werking hangt af van vijf aspecten:

- De mate van gladheid van het dragende oppervlak en de blijvende gladheid;
- Het soort materiaal van de schuiver;
- Het eventuele smeermiddel;
- De druk op de schuiver en daarmee de eerste glijweerstand;
- Het veer- en centreermechanisme;

In Groningen is er na 2020 meestal slechts sprake van een enkele schok met kleine natrillingen, afhankelijk van de grondsoort en het gebouw<sup>23</sup>. Bij die eerste aardschok mag de schuiver niet blijven plakken op het draagoppervlak. Hoe kleiner de belasting op de *Base-isolation* is, hoe kleiner de schuifweerstand zal moeten zijn.

- In vergelijking met een rollersysteem zal een glij- of schuiversysteem wel initieel een iets hogere horizontale start-weerstand hebben. Dit is een voordeel, omdat het gebouw niet mag gaan bewegen bij sterke wind of een  $PGA_g < 0,02$  om ongemak voor de bewoners te voorkomen.
- De productiekosten van een Teflon schuifstelsel zal waarschijnlijk lager uitvallen dan een roller systeem omdat de materialen een Teflon systeem goedkoper zijn en minder materiaal vragen, terwijl de techniek van het maken ook eenvoudig is.<sup>24</sup>
- De draagkracht van de Teflon systeem kan zeer hoog zijn, waar bij een hoge belasting de schuifweerstand ook hoog zal zijn. De afstanden tussen de draagpunten kan echter bij metselwerk niet te groot zijn, waardoor de belasting laag blijft en de schuifweerstand klein.<sup>25</sup>
- Met grote onderlinge afstanden in de fundering, zullen de onder en boven draagplaten sterker en daardoor dikker moeten worden. Ook zal metselwerkversterking in meerdere lintvoegen nodig zijn. Een bredere opening stelt eisen aan het omringende metselwerk. Hier moet dus een balans gevonden worden tussen de kosten van het aantal units en hun installatie enerzijds, en de kosten van het versterken van het metselwerk anderzijds.

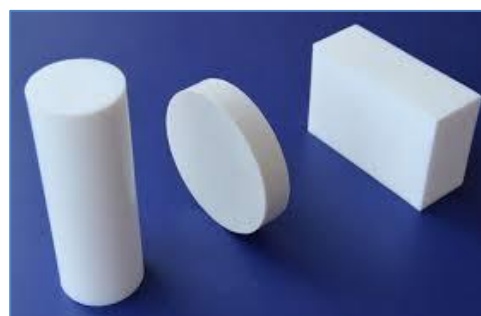
Figuur 5-36. Teflon producten van DuPont.

Smeltpunt: 326,8 °C.

Formule:  $(C_2F_4)_n$ .

Dichtheid: 2,20 g/cm<sup>3</sup>.

Druksterkte 25 N/mm<sup>2</sup>



<sup>22</sup> Wikipedia: Teflon is de merknaam van polytetrafluorethyleen (PTFE), een chemische verbinding die in 1938 ontdekt is door Roy Plunkett in het Jackson Laboratorium van de firma DuPont in de Amerikaanse staat New Jersey. IUPAC-naam: poly(1,1,2,2-tetrafluoroethylene).

<sup>23</sup> Alleen bij de aardbeving van 16 augustus 2012 te Huizinge was er duidelijk sprake van twee schokken die vlak na elkaar plaats vonden, waardoor de aardbeving langer duurde. Dit kwam daarna niet meer voor.

<sup>24</sup> In een gebouw met een oppervlak van 80 m<sup>2</sup> zijn al gauw 20-40 *Base-isolation* units nodig.

<sup>25</sup> In een research activiteit van het RUG, waarbij een schuifstelsel onder de hele muurlengte werd getest moest de  $PGA_g$  worden opgevoerd tot 0,3 voordat er beweging in het systeem kwam. Dat is 3X zo zwaar als de zwaarste aardbevingen die zich in Groningen hebben voorgedaan.

Alternatieven zijn 'High Density Polyethylene' (HDPE) wat een beetje vettig aanvoelt en een soortgelijke druk kan weerstaan als Teflon<sup>26</sup>. Nylon (polyamide), kan een zeer hoge druk weerstaan tot  $80 \text{ N/mm}^2$ , hetgeen het ook zeer geschikt maakt als glijder. Bij het gebruik van Thermo-elastische kunststoffen zoals HDPE of Polypropyleen (PP) mag de maximale toelaatbare druk niet overschreden worden want dan zal blijvende vervorming optreden. De maximale druk van HDPE is  $32 \text{ N/mm}^2$ . Het iets hardere PP kan ook gebruikt worden. Hard Polyvinylchloride (PVC) kan ook een grotere druk weerstaan ( $80 \text{ N/mm}^2$ ) maar heeft mindere glijeigenschappen dan HDPE. Van de thermo-elastische kunststoffen loopt de toelaatbare druksterkte sterk terug bij temperatuurverhogingen, echter in de fundering zal de temperatuur onder de  $20^\circ \text{ C}$  blijven. Teflon kan versterkt worden met glasvezels waardoor het slijtage beter kan weerstaan, terwijl Nylon versterkt kan worden met Kevlar.

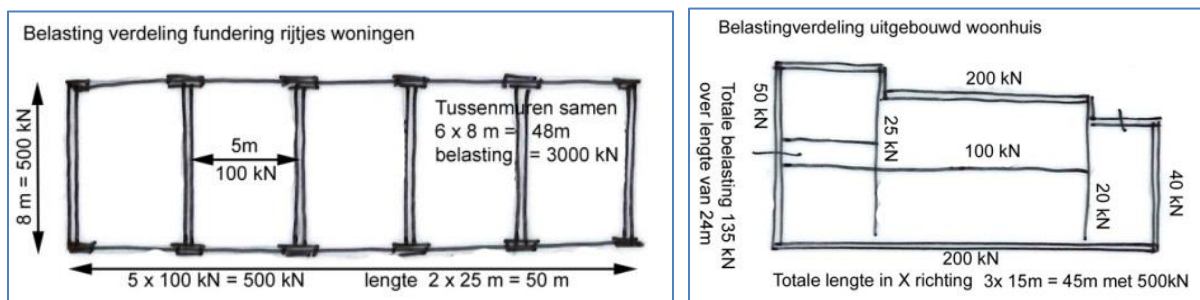
*Figuur 5-37. Testen zijn uitgevoerd met gepolijst marmer. Marmer<sup>27</sup> heeft een wrijvingscoëfficiënt van  $\mu$  0,05 tot 0,2 onder een druk van 1,6 to 3,8  $\text{N/mm}^2$  of Mpa.*



Een rijtjeswoning met betonbalk/vloeren (massa  $\approx 5000 \text{ kN}$ ) kan een verticale belasting op de tussen- of scheidingsmuur hebben van  $4000 \text{ kN}$ . Bij een  $8 \text{ m}$  lange fundering is dit  $500 \text{ kN/m}^1$ .

Met 1 *Base-isolation* per meter is de belasting  $500 \text{ kN} = 500,000 \text{ N}$ . Bij een toelaatbare druk van  $< 20 \text{ N/mm}^2$  zou een glij-element van  $25,000 \text{ mm}^2$  voldoende zijn ( $160 \times 160 \text{ mm} = 25,600 \text{ mm}^2$ ).

Dit element kan  $\approx 3 \text{ cm}$  aan weerszijden uitschuiven bij een constructie breedte van  $24 \text{ cm}$ . Meer glijders op kortere afstand en een lagere belasting zijn een optie.



*Figuren 5-38. Afmetingen en belastingen van rijtje en woonhuis.*

*Een balans moet per typologie woning gevonden worden tussen het aantal, de productie kosten en de kosten van het aanbrengen van het systeem.*

Voor een woning met houten vloeren is totale massa bijvoorbeeld  $1000 \text{ kN}$ , met een maximale belasting per gevel van ongeveer  $20 \text{ kN/m}^1$ . Met 1 *Base-isolation* per  $0,5 \text{ meter}$  is de belasting  $10 \text{ kN} = 10.000 \text{ N}$ . Bij een toelaatbare druk op de kunststof glijder van slechts  $10 \text{ N/mm}^2$  zou een glij-element van  $1000 \text{ mm}^2$  voldoende zijn ( $40 \times 40 \text{ mm} = 1600 \text{ mm}^2$ ). Minder glijders met een langere onderlinge afstand zijn een optie.

<sup>26</sup> De sterkste HDPE is PE 80 en 100 gas is conform de NEN-EN 1555/Gastec QA-merk geel dat in buisvorm een gasdruk kan weerstaan van 25 Bar. Zie <http://www.concept.utwente.nl/exams/Samenvatting%20dictaat.pdf> en [http://www.onkenhout.nl/media/useruploads/files/nl/productinfo/draad\\_en\\_kabel/kunststofeigenschappen.pdf](http://www.onkenhout.nl/media/useruploads/files/nl/productinfo/draad_en_kabel/kunststofeigenschappen.pdf)

<sup>27</sup> Zie document: [http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14\\_09-02-0017.PDF](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14_09-02-0017.PDF)

De twee berekeningen geven aan dat er voor de verschillende woningtypes een lage-druk en een hoge-druk Teflon *Base-isolator* voor de provincie Groningse gemaakt kan worden.

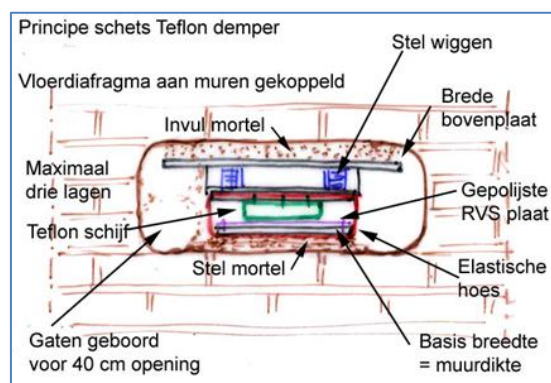
### 5.8. Detaillering van de voorgestelde Teflon *Base-isolation*

Dunne Teflon/Nylon schijf ( $\approx 2$  cm dik) van maximaal  $\varnothing 15$  cm of een vierkant, die op een gepolijste roestvrij stalen plaat schuift/glijdt. Twee stalen draagplaten zorgen voor de overdracht van de krachten op de gemetselde constructie. Een versterkte steens muur is minimaal 24 cm, een versterkte spouwmuur is minimaal 27 cm. Op de bovenste cassetteplaat en onder de boven draagplaat bevindt zich het verstelbare wig mechanisme, Figuur 5-30.

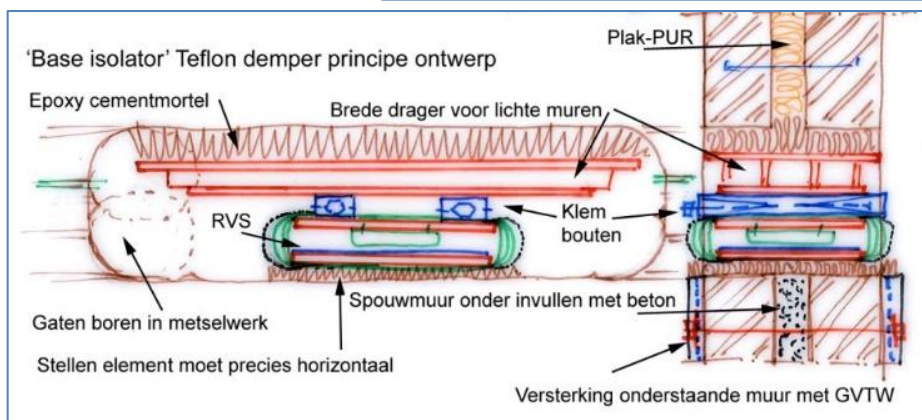
De gepolijste plaat is in de hoeken op de onderste drager plaat geschroefd. De twee metalen platen zijn langs de randen afgerond zodat het strak omsluitende rubber (EPDM, Butyl of Latex) niet beschadigd wordt bij een zijwaartse elastische vervorming.

De randen van de rubberen envelop zijn aan elkaar geplakt (ge vulkaniseerd) zodat de twee haaks op elkaar liggende rubbers een gesloten doos vormen. De dikte en sterkte van de rubbers moet bepaald worden volgens de gewenste rekweerstand. Als alternatief kunnen aparte schokabsorberende verbindingen tussen de twee funderingen gemaakt worden. Dit *Base-isolation* systeem kan met een enkele of dubbele glijder worden gemaakt.

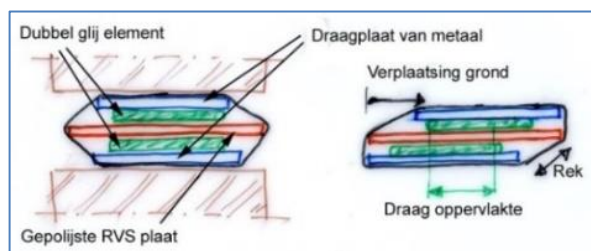
*Figuur 5-39. Het Base-isolation systeem bestaat uit de twee componenten: de glijder en het inbouwelement. De breedte kan worden aangepast door het inbouwelement en de onderliggende dragende plaat breder te maken. Het geheel kan in drie lagen metselwerk worden uitgevoerd.*



*Figuur 5-40. Spouwmuur constructie. Hier zullen de spouwbladen op en onder de drager met elkaar verbonden zijn. Het is ook mogelijk om de spouwbladen te verbinden met ingeboorde spiraalwapening.*

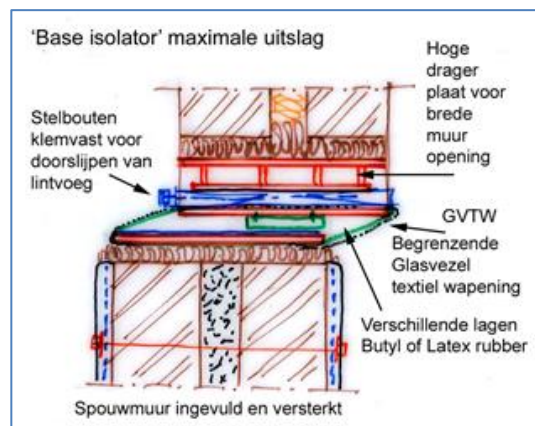


*Figuur 5-41. Dubbele teflon glijders zijn duurder. Optie met twee teflon platen is moeilijker te maken, daardoor duurder en daarom een minder logisch ontwerp dan de enkele glijder.*

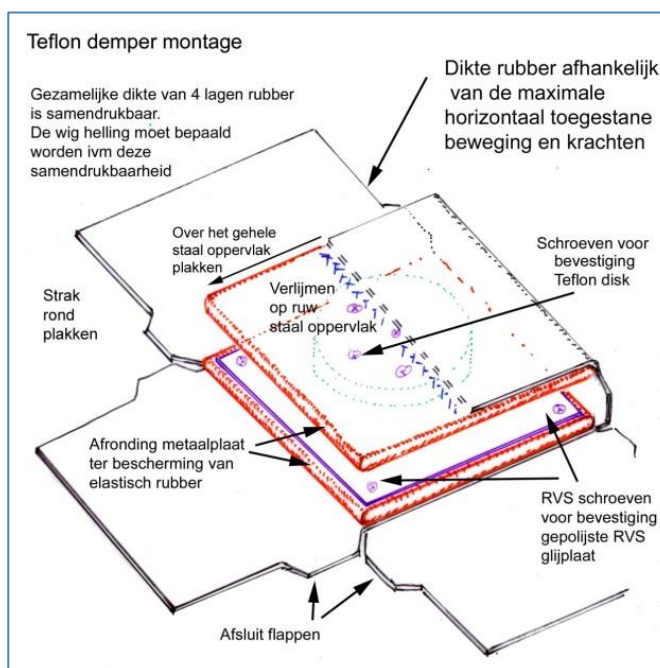


*Figuur 5-43. Maximale horizontale uitslag.  
De brede stroken elastisch rubber geven in de twee loodrecht op elkaar staande horizontale richtingen de oplopende trekweerstand van de bovenste plaat ten opzichte van de onderste plaat.*

*Inbouw van Base-isolation unit.  
Maximale uitslag inde fundering  
< 3 cm bij PGAg 0,3*



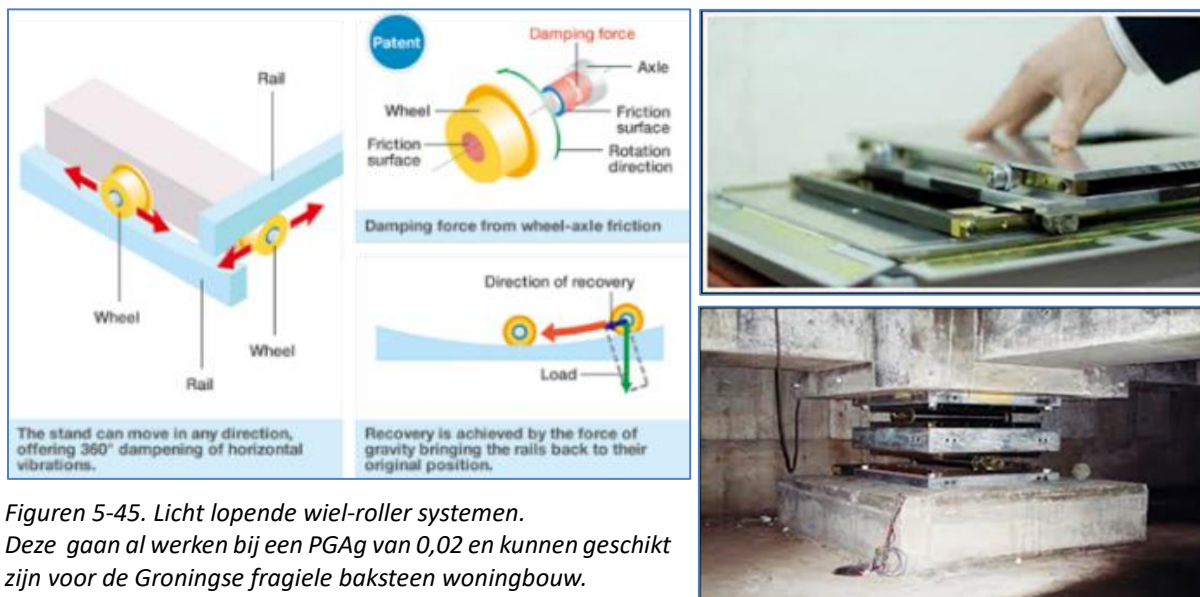
*Figuur 5-44. Opbouw van het EPDM elastisch omhulsel.  
Vanwege een mogelijk hoge grondwaterstand zal het beweegbare pakket waterdicht moeten zijn.*



## 5.9. Detaillering van het voorgestelde naaldrollersysteem

Een naaldroller *Base-isolation* heeft naast de eerdergenoemde algemene criteria het volgende:

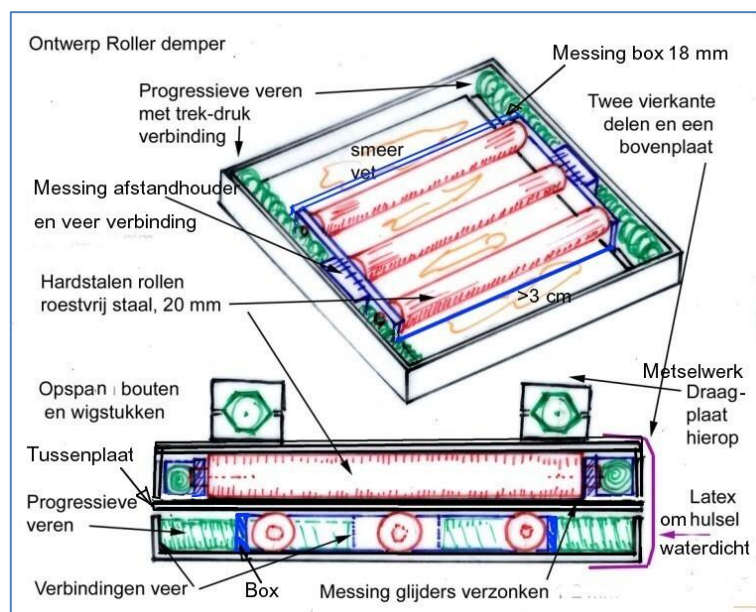
- Hoe harder en gladder het oppervlak van het draagvlak en de rollers zijn, hoe kleiner de rolweerstand. De keuze van de materiaalsoorten en de afwerking is belangrijk.
- Naaldrollers zijn in twee loodrecht op elkaar staande richtingen aangebracht met een plaat ertussen. De constructie hiervan is daarom ingewikkelder dan het enkele glij-mechanisme.
- De draagkracht van een rollersysteem kan heel groot zijn. Het contactoppervlak van de lange lijnen is redelijk groot. Bij kogellagers is dat kleiner.
- De dragende platen van de naaldroller *Base-isolation* mogen niet doorbuigen door de belasting. Bij doorbuiging moeten ze een helling oprollen waardoor de weerstand vergroot.
- Hoe hoger de belasting, hoe groter de rolweerstand zal zijn, maar dit is minder significant dan bij een glij-mechanisme. De weerstand kan met veren worden gemaakt of door het rubberen omhulsel worden verkregen.
- De naaldrollers moeten bij de geleidingen aan de zijkant blijvend gesmeerd zijn.
- Er zijn in elk van de twee lagen drie naaldrollers nodig, die haaks op elkaar bewegen.
- Ronde staven voor naaldrollers zijn in de markt verkrijgbaar en het systeem is daarom eenvoudig te fabriceren door lokale metaalbedrijven.



Figuren 5-45. Licht lopende wiel-roller systemen. Deze gaan al werken bij een PGAg van 0,02 en kunnen geschikt zijn voor de Groningse fragiele baksteen woningbouw.

Links. Systeem van twee keer drie wielrollers, elk op een holle basisplaat. Door de kromming zal het systeem weer naar het centrum terugkeren. Dit is moeilijker te maken dan naaldrollers op vlakke plaat.

Figuur 5-46. Drie naaldrollers in een messing houder. Deze zijn met trek-druk veren aan het om-frame zijn bevestigd. De twee sets rollers staan haaks op elkaar. De doosafmeting kan ongeveer 24 cm x 24 cm zijn (steens uur). Dikte 4 cm.



Het hier aangegeven naaldrollersysteem kan door elk metaalbewerkingbedrijf worden gemaakt. De sterkte van de veren kan bepaald worden naar aanleiding van de gebouwmassa. Een standaard systeem kan verschillende belastingen hebben door de afstanden tussen de inbouw elementen aan te passen aan de belasting van het gebouw.

Figuur 5-47. Aan elkaar gebouwde woningen. Deze moeten allebei op eenzelfde systeem gezet worden of goed gescheiden.



## 5.10. Kogelroller Base-isolation

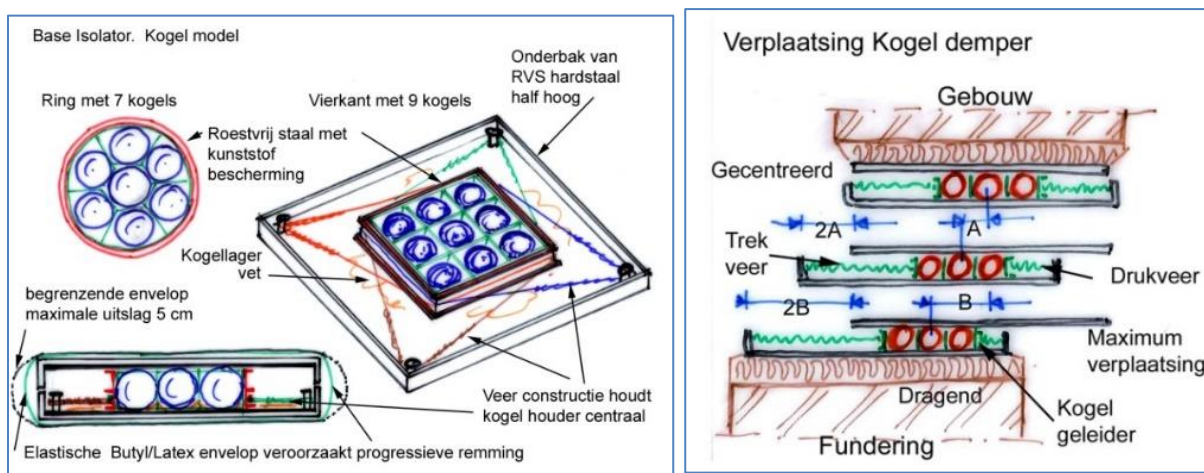
Het ontwerp van een kogelroller base-isolator heeft de volgende overwegingen:

- De rolweerstand van de kogels hangt af van de hardheid en gladheid van het oppervlak van het draagvlak en van de kogels. De keuze van de metaalsoorten en de afwerking/polijsten zijn hier belangrijker dan bij een roller. Kogels voor kogellagers zijn in veel maten verkrijgbaar. Bij een hogere hardheid en gladder polijsten van de plaat zijn de productiekosten hoger.
- Hoe groter de kogels hoe minder de weerstand. Een enkele kogel is mogelijk, maar met meer kogels kan met een mindere hardheid volstaan worden. De opties zijn 4 (in vierkant), 7 (zeshoek met 1 centrumkogel) of 9 kogels (3 x 3).
- Met meer dan een kogel moeten er schotjes van kunststof (HDPE, Teflon of Nylon) tussen de kogels zitten, of een geleidende kap hebben, zodat ze niet tegen elkaar aan rollen.<sup>28</sup>
- De horizontale afstand waarop de eerste elastische remming aanvangt, hetzij door ingebouwde of externe veren, hetzij door een rubber omhulsel, moet per gebouwtype bepaald worden. Als alternatief kan er een standaard ontwerp gemaakt worden en de inbouwafstand in het gebouw gevarieerd worden naar gelang de gebouwbelasting.
- Kogelrollersystemen zijn eenvoudig te fabriceren door lokale metaalbedrijven.

Figuren 5-48. Verschillende modellen van kogelroller-systemen.



Overeenkomstig met het glij *base-isolation* systeem is slechts een enkele laag kogel(s) nodig om in beide orthogonale richtingen de beweging toe te laten. Door de kogels in een kunststof houder te plaatsen en deze met veren aan de rand van de container te verbinden zal het systeem centreren. De sterkte van de veren is dan afhankelijk van de gebouwbelasting.



Figuren 5-49. Schets van een mogelijk kogel Base-isolation systeem. Vanwege het eenvoudige ontwerp kan dit lokaal gemaakt kan worden.

Vooral het inbouwmechanisme, dat in verschillende afmetingen (breedtes) kan worden gefabriceerd is een interessante optie voor oude baksteen metselwerk gebouwen zoals fragile monumenten.

<sup>28</sup> In sommige ontwerpen heeft elke kogel haar eigen lager: [http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13\\_439.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_439.pdf)

### 5.11. Toepassing bij Groningse woningbouw

De versterkte gebouwfundering met begane grond vloerdiafragma moet op de *Base-isolation* komen te staan en die zelf op een stabiele onderliggende fundering ligt. Deze onderliggende fundering kan bestaan uit een volledige plaatfundering of een balkenfundering (op palen).

De combinatie van de bovenstaande maatregelen en de keuze van een geïmporteerd (tektonisch met grote uitslag) systeem voor grote gebouwen is erg kostbaar voor kleine gebouwen en vergeleken met de gemiddelde waarde van dergelijke gebouwen. Het is economisch zelden relevant om deze maatregelen te ondernemen, omdat de extra kosten > 100% meer zijn dan de toekomstige waarde van de woning. Hier meestal gaat over kleine woningen van het type rentenierswoning van één etage of anderhalve etage, soms over grotere.



*Figuren 5-50: Voorbeelden van in kalkmortel gemetselde kleine woningen.*

*Woningen met slechts één of anderhalve etage, waarbij het maken van een platformfundering al ongeveer evenveel kost als de waarde van het gebouw.*

*De additionele kosten van een tweede fundering én een geïmporteerd Base-isolation zullen de totale kosten van het gebouw mét Base-isolation, de gebouwwaarde zwaar overstijgen.*

*Als er een goedkope methode van Base-isolation ontwikkeld kan worden, zal het voor meerdere karakteristieke gebouwen mogelijk zijn dit toe te passen en economisch relevant zijn.*



Van gebouwen met een in **cementmortel gemetselde fundering op staal** geldt eigenlijk hetzelfde, maar in dit geval zou de verbetering van de draagkracht van de funderingen vergroot kunnen worden met het eveneens voorgestelde Vulpaletten systeem. Het voorkomen van elke vorm van ongelijke zetting is een basisvoorwaarde voor het goed functioneren van het *Base-isolation* systeem.



*Figuren 5-51. Voorbeelden van met cementmortel gemetselde woningtypen.*

*In de provincie Groningen zijn veel woningen met steens muren die in cementmortel zijn opgetrokken. Het trasraam heeft vaak een hardere baksteen en mortel. De nettowaarde van de woningen zonder de grond is meestal niet erg hoog. Een dubbele fundering aanbrengen is erg kostbaar.*

Gebouwen met **gewapend betonnen balkenfundering en L plaat verbreding op staal** die volledig onder alle muren doorloopt en aan elkaar gekoppeld is, kunnen een inbouw *Base-isolation* systeem krijgen volgens een van de voorgestelde systemen. Al deze opties worden meer rendabel met een goedkoop lokaal geproduceerd systeem.

Figuren 5-52.  
Moderne historische villa met goede metselwerk kwaliteit. Dit gebouw kreeg een tweede betonnen fundering. Bij een PGAg 0,1 was er echter nauwelijks iets aan de hand.<sup>29</sup>



Echter, wanneer er geen grotere bevingen meer komen dan PGAg 0,05, zoals de projectie voor 2021 en later is, is het seismisch versterken niet erg relevant. Aan de andere kant, als er wordt besloten dat het restant gas (ongeveer 1/4<sup>de</sup>) alsnog uit het Groningse gasveld gehaald moet worden, dan kunnen er weer lichte bevingen verwacht worden van rond die de sterkte van PGAg < 0,07 wanneer men dat heel gespreid én geleidelijk doet. In dat geval is een *Base-isolation* systeem wel geschikt voor een aantal monumenten en een flink aantal karakteristieke panden.



Figuren 5-53. In de provincie Groningen zijn een groot aantal monumenten. Ook zijn er een zeer groot aantal karakteristieke panden die allen een fragiele constructie hebben. Een 1000-tal gebouwen met elk 25 *Base-isolation* eenheden betekent al een productie van 25.000 stuks.

Voor de toepassing van *Base-isolation* onder duizend of meer gebouwen is het nuttig om lokaal een goedkoper *Base-isolation* systeem te ontwikkelen dat makkelijk in oudere metselwerk gebouwen kan worden toegepast.

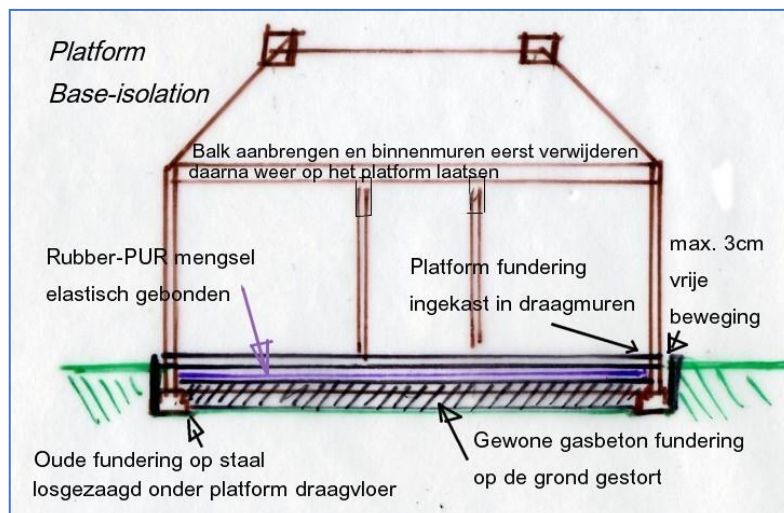
## 5.12. Verdere ontwikkelingen met rubber-PUR

Niet uitgewerkt **Elastische Rubber-PUR platform *Base-isolation***. Er bestaat de optie om een platform *Base-isolation* systeem te maken door laag elastische PUR te produceren die gevuld is met rubber snippers (gesnipperde autobanden) en die als tussenlaag in die platformfundering aan te brengen.

<sup>29</sup> Het plaatsen van dit soort van (als monument aangewezen) gebouwen op een geïmporteerd *Base-isolation* systeem is met een maximale PGAg < 0,1 niet nodig, en kan gezien worden als een testcase om de techniek van het in haar geheel optillen van een klein gebouw goed te ontwikkelen en te begroten.



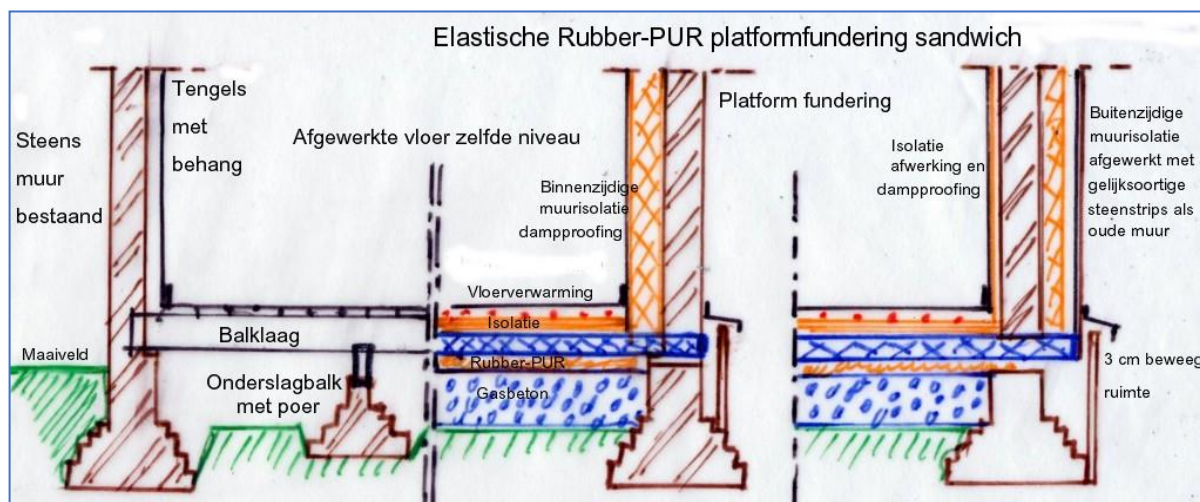
Figuur 5-54. Sandwich Base-isolation met Rubber-PUR. De super-elastische PUR<sup>30</sup> houdt de rubber snippers bij elkaar. Het systeem wordt aangebracht zonder dat het gebouw eerst opgetild hoeft te worden en de gaten in de muren worden van buitenaf of van binnenuit aangebracht. Een dergelijk systeem is eenvoudig aan te brengen.



Onder een kleine woning met 100 m<sup>2</sup> (vloeroppervlak) kan een schuimbeton fundering worden aangelegd (30 cm dik), daarop een laag elastische Rubber-PUR (10 cm dik?) en daarop een gewapend betonnen vloerplaat (12 cm dik) die in de draagmuren rondom het gebouw is ingekast. Dat laatste is een standaardoplossing voor woningen met een zwakke fundering. Na verharding van de bovenste betonplaat wordt de bakstenen muur onder de plaat doorgezaagd. Door de plaatfundering draagt dan het hele gebouw op de hele beton en schuimbetonplaat en blijft de gronddruk erg laag.

Een laag gebouw weegt misschien 50.000 kg. Met een oppervlakte van 100 m<sup>2</sup> is dat 500 kg/m<sup>2</sup> of 5 kg/dm<sup>2</sup>. De Rubber-PUR moet onder die belasting dan goed elastisch blijven. Het elastische rubber-PUR wordt dan wat samengeperst onder de gebouw belasting, maar mag niet haar horizontale elasticiteit verliezen. Het is een kwestie van de juiste samenstelling van het mengsel te vinden.

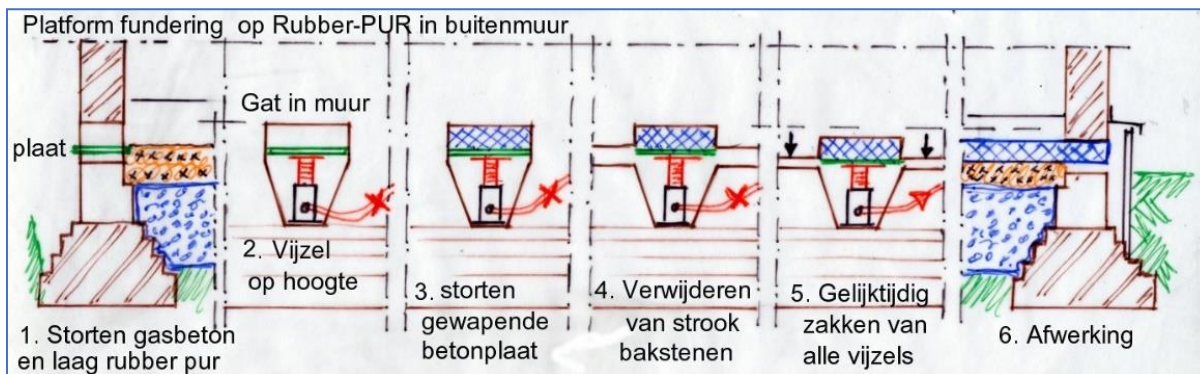
De reeds uitgevoerde platformfunderingen in de testwoningen hebben als effect dat de grondtrilling volledig op het gebouw worden overgebracht en dat het gebouw dan meer kan scheuren krijgen dan wanneer het al een gescheurde fundering heeft. Een gescheurde fundering heeft namelijk enige schokabsorberende werking.



Figuur 5-55. De Rubber-PUR wordt iets samengedrukt door de gebouw-belasting en moet een horizontale beweging van 1 tot 2 cm toelaten. Dit kan met eenvoudige testen bepaald worden.

<sup>30</sup> Door de mengverhoudingen aan te passen heeft Pluimers een super elastische PUR-soort gemaakt. Door een CO<sub>2</sub>-neutraal drijfgas te gebruiken of Icynene-PUR is het product minder milieubelastend.

De rubber-PUR zal zonder grote indrukking de gestorte betonvloer kunnen dragen. De gewapende betonvloer moet echter tijdelijk ondersteund worden bij het doorzaken van de muur. Na het doorzakken van de muur kan het hele gebouw dan op de rubber-PUR afgezakkt worden. De volgende schetsen geven schematisch aan hoe de betonvloer op het vijzelsysteem en de rubber-PUR gestort wordt, verhard, de muur doorgezaagd en daarna afgezakkt.

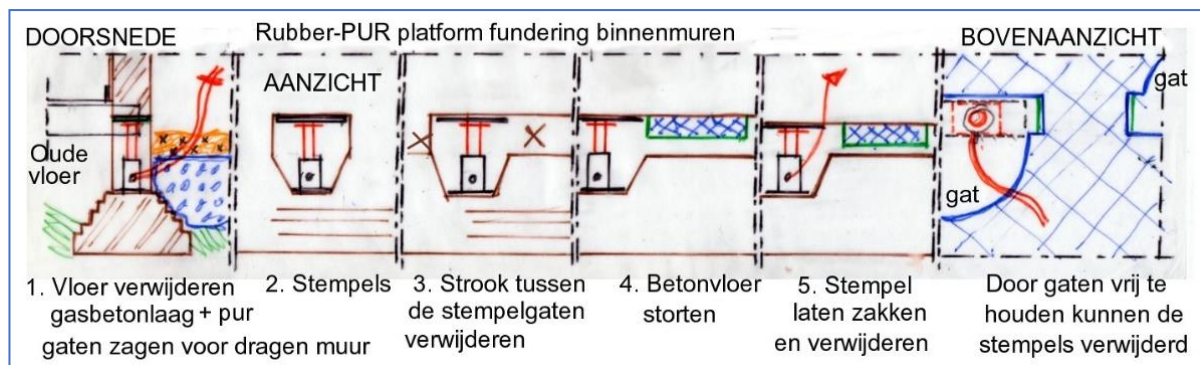


Figuur 5-56. Stappenplan voor het storten en naar beneden vijzelen.

Na het verharden van de betonvloer wordt de muur tussen de vijzels doorsgeslepen, waarna de vijzels kunnen zakken totdat de vloerplaat volledig op de rubber-PUR draagt. De vijzels worden steeds opnieuw gebruikt.

De vijzels staan onder de betonvloer. Deze moet dus eerst verhard zijn voordat de buitenmuren erop dragen. Daarna wordt de buitenmuur van buitenaf tussen de vijzels doorsneden en een paar cm verticaal afgezakkt, totdat de betonvloer op de Rubber-PUR draagt.

Bij dragende binnenmuren dragen de vijzels die muren, en moeten ter plaatse van de vijzels openingen in de vloer gehouden worden om deze later te kunnen verwijderen. Ook moeten hier eerst de muren worden doorgezaagd, terwijl deze op de vijzels staat voordat het beton gestort wordt.



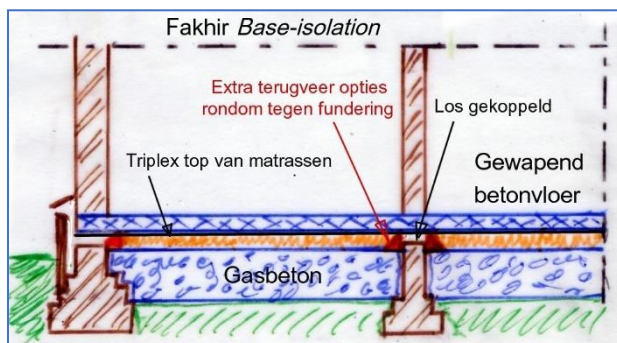
Figuur 5-57. Procedure voor dragende binnenmuren.

Langs de binnenmuren moeten openingen gehouden worden om de vijzels na het afzakken van de vloer weer onder de betonvloer uit te halen.

#### Fakhir sandwich Base-isolation variant.

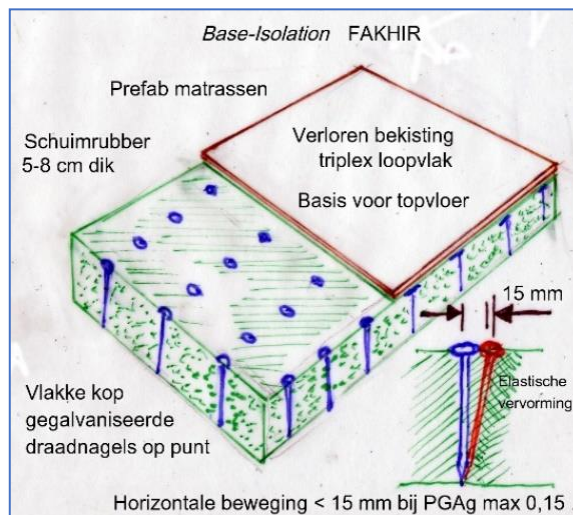
Het mogelijk dat op de duur het gewicht van het gebouw de rubber<sup>31</sup>-PUR laag toch gaat indrukken, waardoor het wat van de elasticiteit kan verliezen. Dit indrukken kan voorkomen worden door het rubber-PUR op een spijker/staafjes mat te storten. Rondom tegen de fundering kan ook een elastische rubberen laag gemaakt (om het centreren te bevorderen). Doordat de staafjes in de rubberen-PUR matras zitten, zullen deze door de het rubber bij een trilling rechtop gedrukt worden.

<sup>31</sup> Rubber pulp kan geproduceerd worden van oude autobanden (ook gebruikt als toevoeging bij kunstgras).



Figuren 5-58. Fakhir Base-isolation.

De staafjes zorgen dat de matras niet ingedrukt wordt. Het rubber in de matras en langs de zijkant zorgt ervoor dat de staafjes steeds rechtop komen. De hoek verdraaiing van de staafjes moet gering zijn.



Het systeem heeft de volgende aspecten:

- De toplaag van het schuimbeton moet goed vlak zijn. De staafjes zullen iets in het onderliggende schuimbeton drukken waardoor de verloren bekisting vlak komt te liggen.
- De maximale horizontale beweging aan de top van de staafjes mag niet meer dan 10 booggraden zijn, waarbij de zijwaartse druk van het schuimrubber toeneemt en gedurende de trilling het staafje weer rechtop houdt.
- De hoogte van het staafje kan worden aangepast naar gelang de maximale horizontale uitslag van de beving. In Groningen is dat bij  $PGAg < 0,1$  ongeveer  $< 1$  cm.
- Ter verbetering van het centreervermogen van de matras kan langs alle zijkanten tegen de fundering een extra rubber laag (veren) worden aangebracht die elastische tegendruk geeft.
- Op de triplexplaat (verloren bekisting) kan de gewapend betonnen vloer worden gestort.
- Bij binnenmuren is tijdelijke ondersteuning nodig, die na het storten verwijderd wordt.
- Per gebouw moet een massaberekening gemaakt worden. Bij hogere gebouwbelasting kunnen meer of dikkere staafjes per  $m^2$  worden toegepast.
- Bij de toepassing van Icynene dampopen PUR is er minder milieubelasting.

Omdat voor het bovenstaande systeem geen mechanische glij- of rol-units noodzakelijk zijn en de elastische rubber-PUR op eenvoudige wijze is aan te brengen (en thermisch isoleert). Ook is een dergelijk systeem gunstig voor oude 'op staal' gebouwde woningen vanwege de doorlopende platformfundering.

\*\*\*\*\*