

Optimalisatie van een miniaturopstelling voor hybride testen

Robin Rutten

Master IW Bouwkunde

Probleemstelling

Seismische belasting

Seismische belasting vormt een van de meest kritieke uitdagingen in de bouwkunde. Het **begrijpen van de structurele reacties** op seismische activiteit is van essentieel belang voor het **waarborgen van de veiligheid**. Binnen dit kader heeft hybride simulatietechniek aanzienlijke vooruitgang geboekt [2].

Hybride testmethode

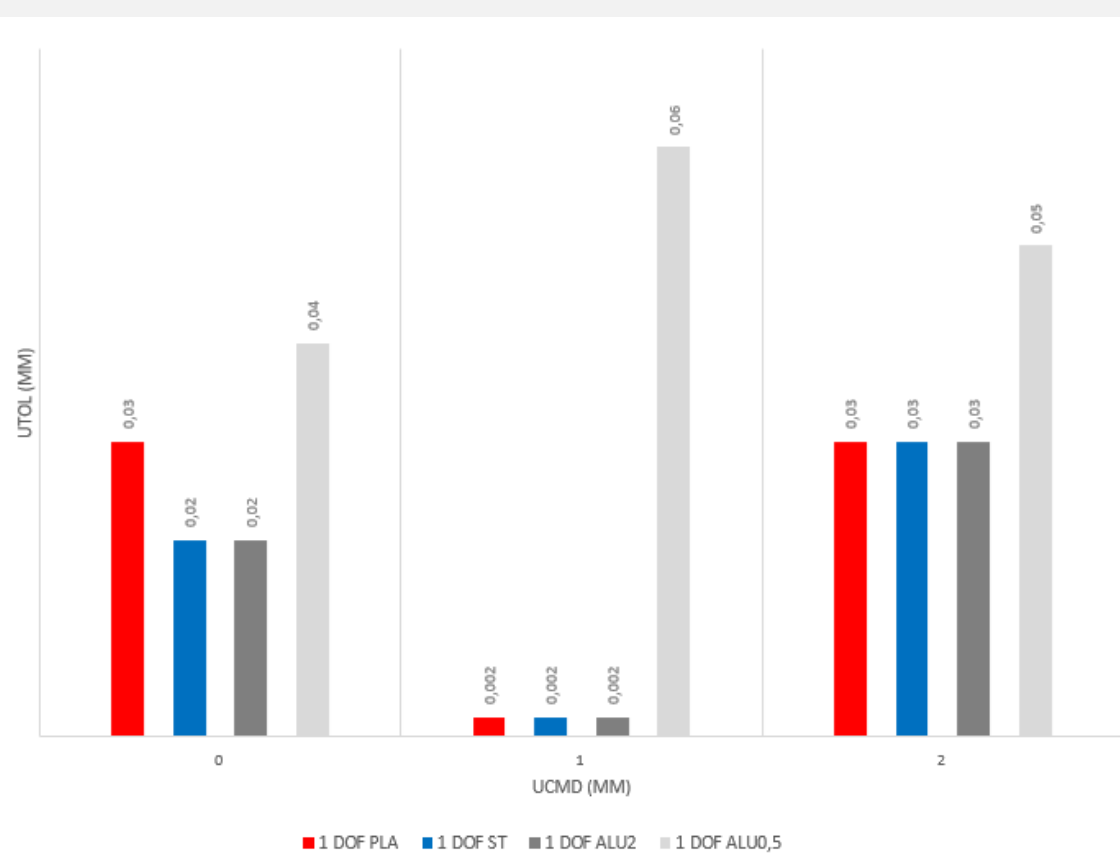
Hybride testen **combineren een fysiek model met een numeriek model**, waarbij de verplaatsingen berekend door het numerieke model worden toegepast op het fysieke model. Dit maakt het mogelijk om krachten te meten en ze opnieuw te gebruiken als input voor de berekening van de volgende tijdstap in het numerieke model [3].

Een **kleinschalige opstelling** biedt de mogelijkheid om vertrouwd te raken met hybride testen zonder onnodige verspilling van middelen, waardoor het mogelijk is om **algoritmen te verbeteren** en ideeën te testen [4].



Figuur 1: RTL nieuws (7/02/2024)
Flats storten in als kaartenhuis: weinig gebouwen aardbevingsbestendig [1]

Resultaten & Conclusie



Figuur 9: Tolerantie

Proefstuk	$K_{gem} (N/mm)$
1 DOF PLA	3,5
1 DOF ST	4,0
1 DOF ALU-2	2,1
1 DOF ALU-0,5	0,15

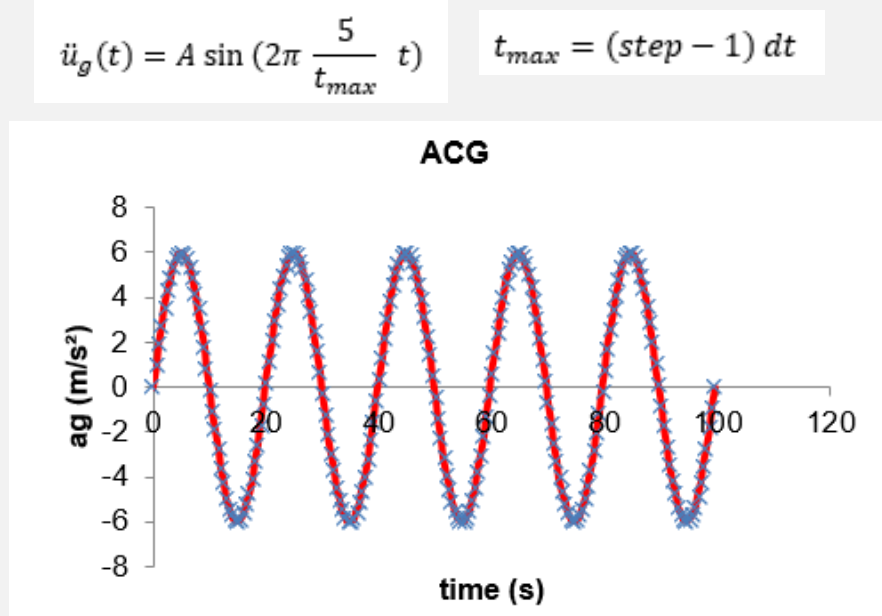
Figuur 10: Gemeten stijfheden

Bij het opleggen van een verplaatsing (Ucmd) is het belangrijk om een **geschikte tolerantie (Utoi)** te kiezen om een **stabiel systeem** te verkrijgen.

Voor elk proefstuk worden daarom drie verschillende verplaatsingen toegepast om de kleinste tolerantie te bepalen waarbij het systeem stabiel blijft.

Opmerkelijk is dat **lagere stijfheid** van het proefstuk een **hogere tolerantie vereist**. Proefstukken met **vergelijkbare stijfheid** vertonen dezelfde stabiliteit volgens de tolerantie, wat suggereert dat de **tolerantie afhankelijk is van de actuator**.

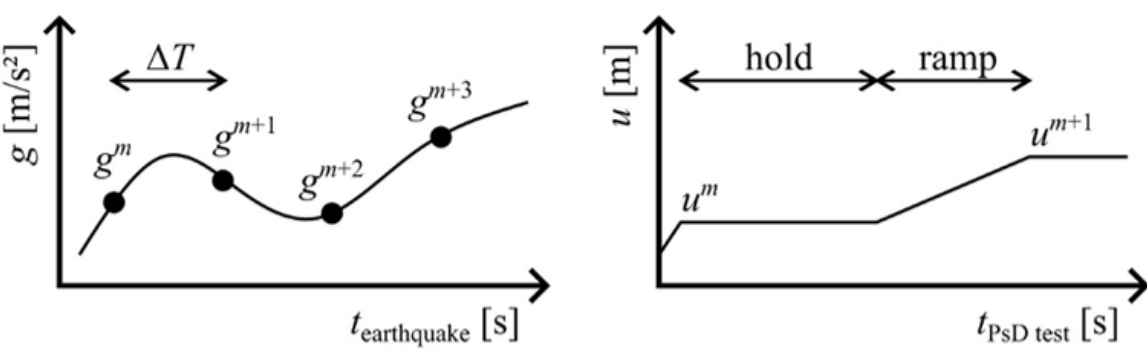
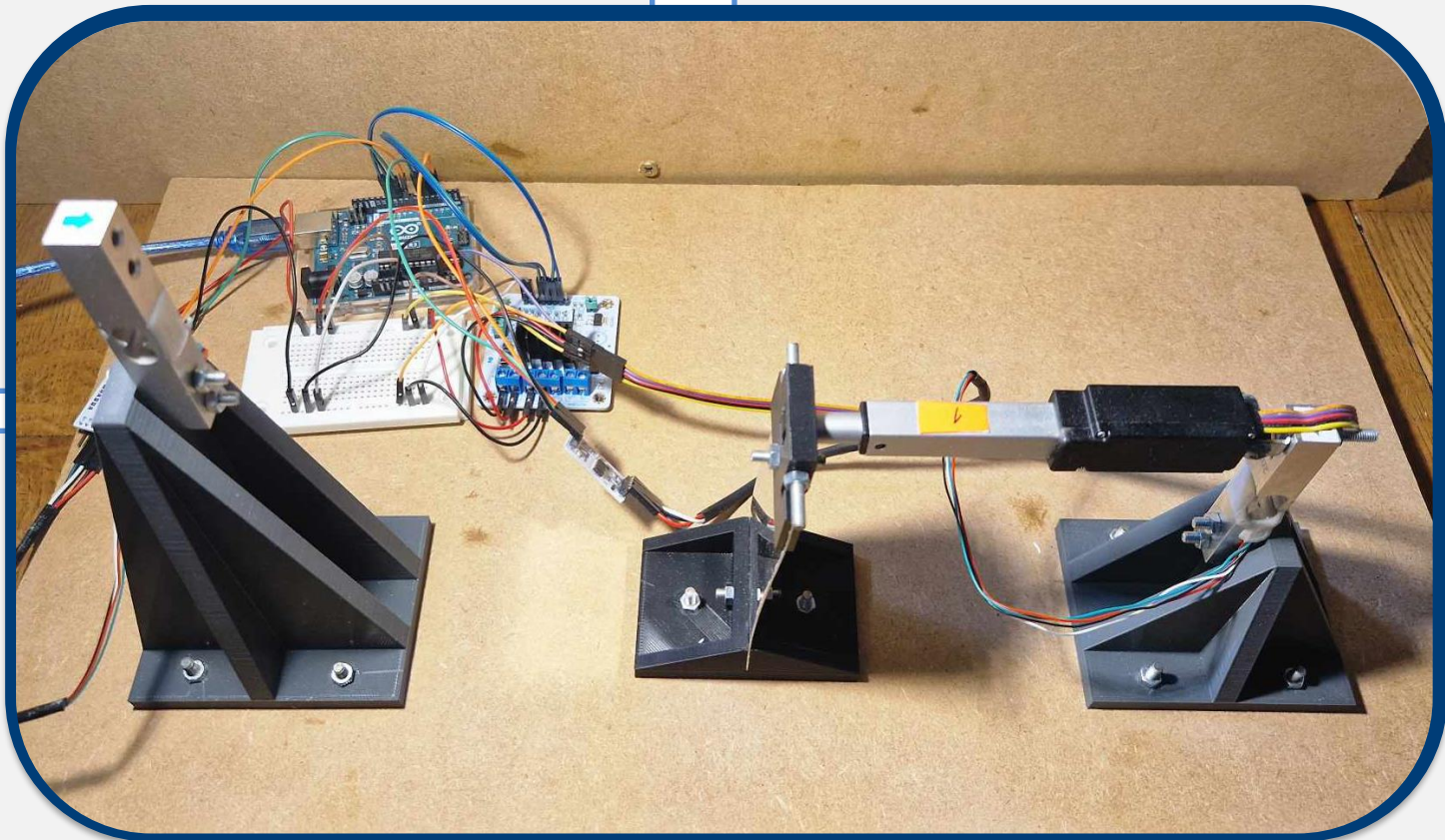
Voor elke simulatie wordt een **sinusfunctie** gebruikt om **vijf periodes** van seismische belastingen na te bootsen. Het aantal **simulatiestappen (step)** en **tijdstappen (dt)** wordt vervolgens gevarieerd.



Figuur 11: Belasting functie

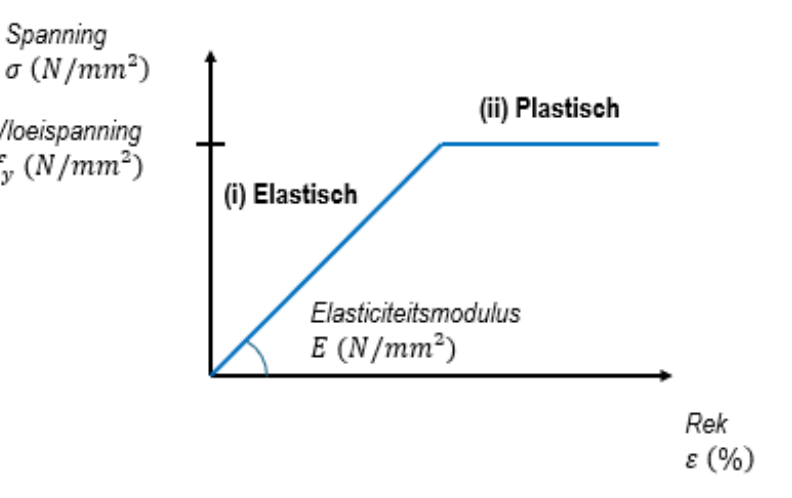
Methoden

Pseudo Dynamic Testing (PsD) is een hybride testmethode waarbij **variërende krachten** langzaam worden toegepast op een **structureel model** [3]. Dit wordt **gesimuleerd door** horizontale krachten uit te voeren op een **proefstuk m.b.v. een actuator**.



Figuur 3: PsD-testmethode [3]

- PsD loop (op $m\Delta T$)**
- 1) bereken F^m
 - 2) meet R^m
 - 3) bereken $\ddot{u}^m$ en $\dot{u}^m$
 - 4) bereken u^{m+1}
 - 5) stuur u^{m+1} naar actuatoren
 - 6) beweeg structuur naar u^{m+1}
 - 7) Wacht tot u^{m+1} is bereikt

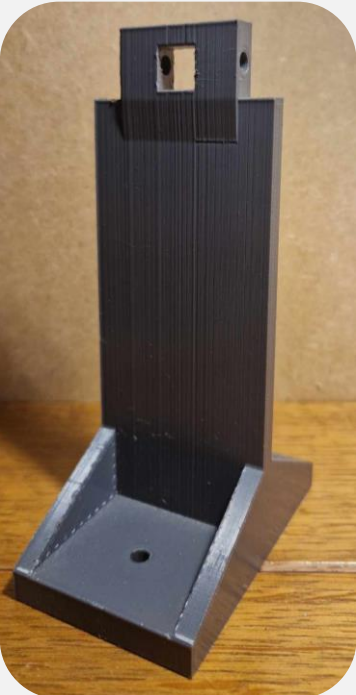


Figuur 4: Spanning-rekdiagram

De PsD-methode onderzoekt de **niet-lineaire reactie** van structuren tijdens aardbevingen door gebruik te maken van een **fysiek proefstuk** in plaats van analytische modellen om de stijfheidsniet-lineariteit te modelleren [3]. Dit biedt een manier om **niet-lineaire numerieke modellen te kalibreren**.

Niet-lineariteit treedt op wanneer materiaal plastisch vervormt en niet langer elastisch is. Dit wordt bepaald door de **dimensies en materiaaleigenschappen** van het proefstuk [5].

Op basis van dit principe zijn **vier verschillende proefstukken** gedimensioneerd. Dit omvat een volledig **ge-3D-print proefstuk in PLA**, een **proefstuk in staal** en **twee proefstukken in aluminium met twee verschillende doorsneden**.



Figuur 5: PLA



Figuur 6: Staal

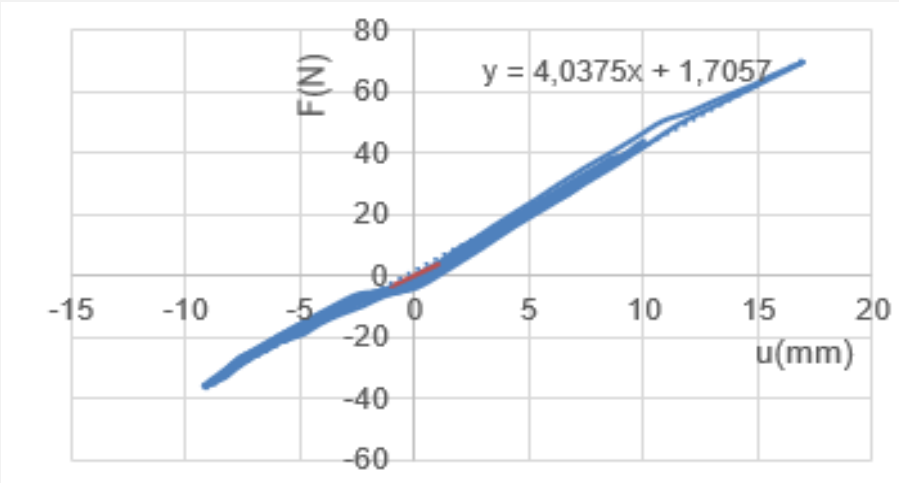


Figuur 7: ALU-2

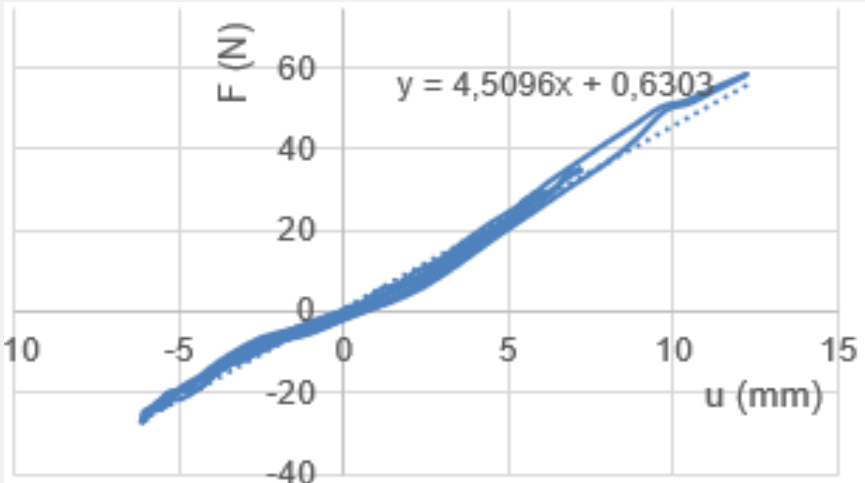


Figuur 8: ALU-0,5

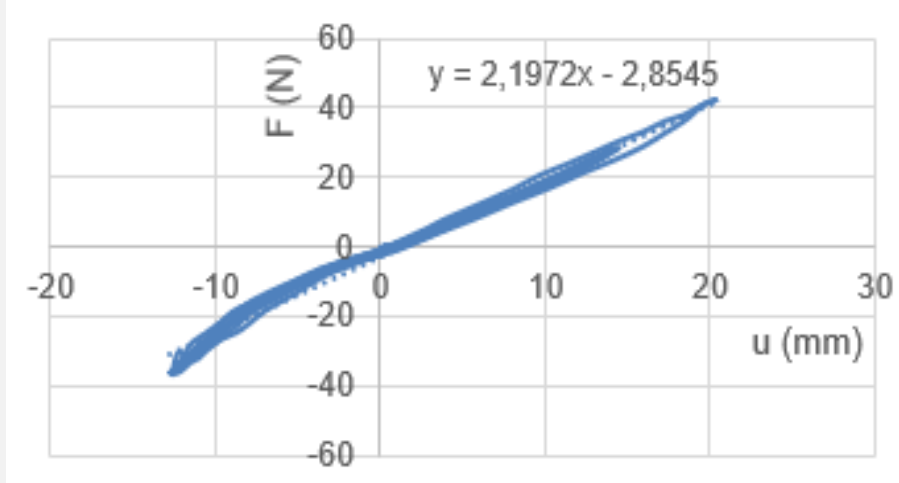
Op basis van de 4 proefstukken is ervoor geopteerd niet-lineair gedrag te verkrijgen in de hybride simulaties. Voor de proefstukken **PLA, ST en ALU-2** is de **actuator te beperkt** om de nodige kracht uit te voeren en vervolgens linear blijven. Voor het proefstuk **ALU-0.5** is wel **niet-lineair gedrag vastgesteld**.



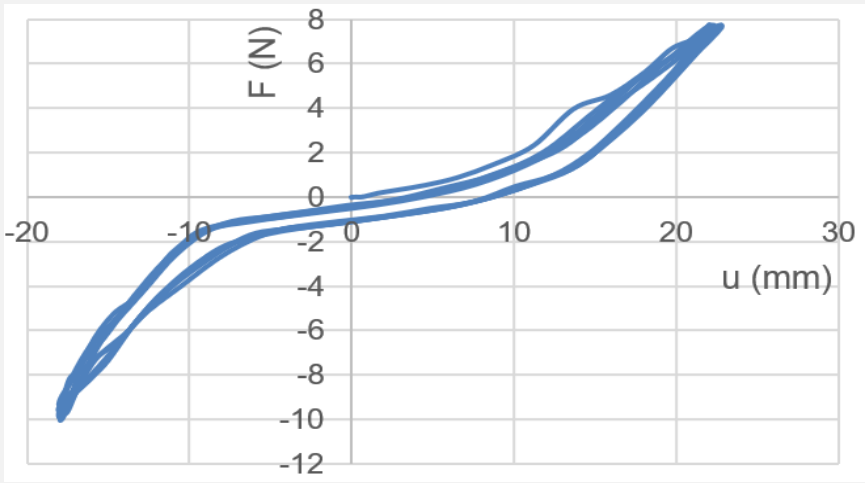
Figuur 12: Hybride PLA



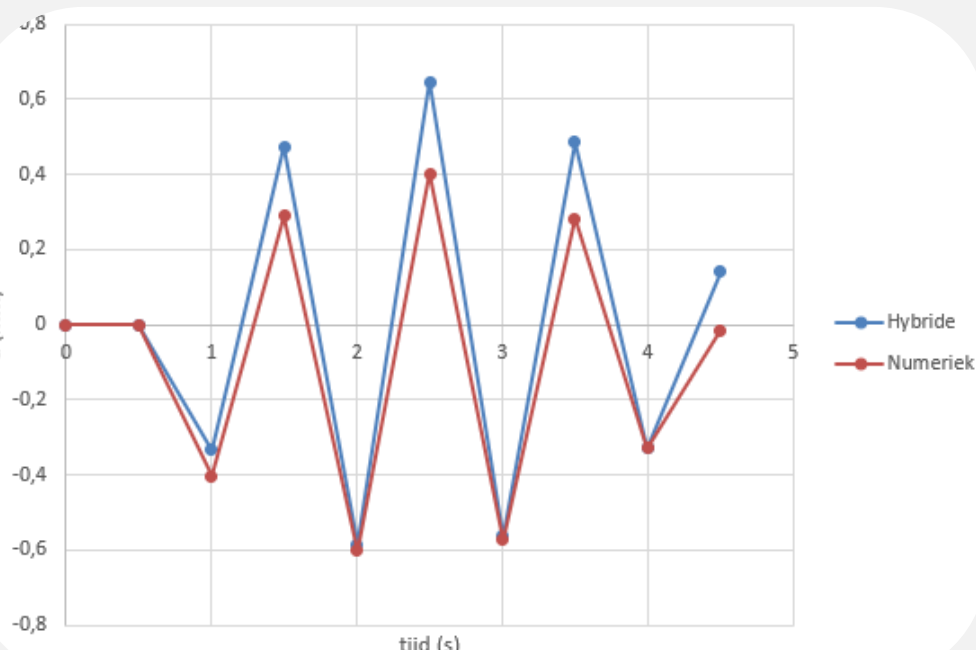
Figuur 13: Hybride ST



Figuur 14: Hybride ALU-2



Figuur 15: Hybride ALU-0,5



Figuur 16: Vergelijk numeriek (niet-lineair) en hybride

De **meetgegevens van ALU-0,5** zijn gebruikt voor **numerieke berekeningen** om **overeenkomsten met hybride** simulatieresultaten vast te stellen.

Vergelijkbare trends resulteren in een goede benadering van het algoritme.