

## Montage en demontage van ongebakken leemstenen: verkenning van het circulaire potentieel van aardemetselwerk

Gielen Siebe

Spooren Frederic

master IIW Bouwkunde

master IIW Bouwkunde

### Introductie

De bouwsector wordt actueel geconfronteerd met een ecologische crisis. Om deze crisis aan te pakken, dringt de noodzaak om over te schakelen naar circulaire bouwmaterialen en -methodes.

Deze masterthesis onderzoekt de **demontagecapaciteit** van ongebakken leemsteenmetselwerk (figuur 1) dat onder andere zijn toepassing kan vinden in niet-dragende binnenmuren. Verder hebben leemmortels volgens [1] de eigenschap om opnieuw plastisch te worden door bevochtiging, wat een gunstig effect heeft op de demontagecapaciteit van het metselwerk. Daarom wordt ook de invloed van water op het demontageproces onderzocht.



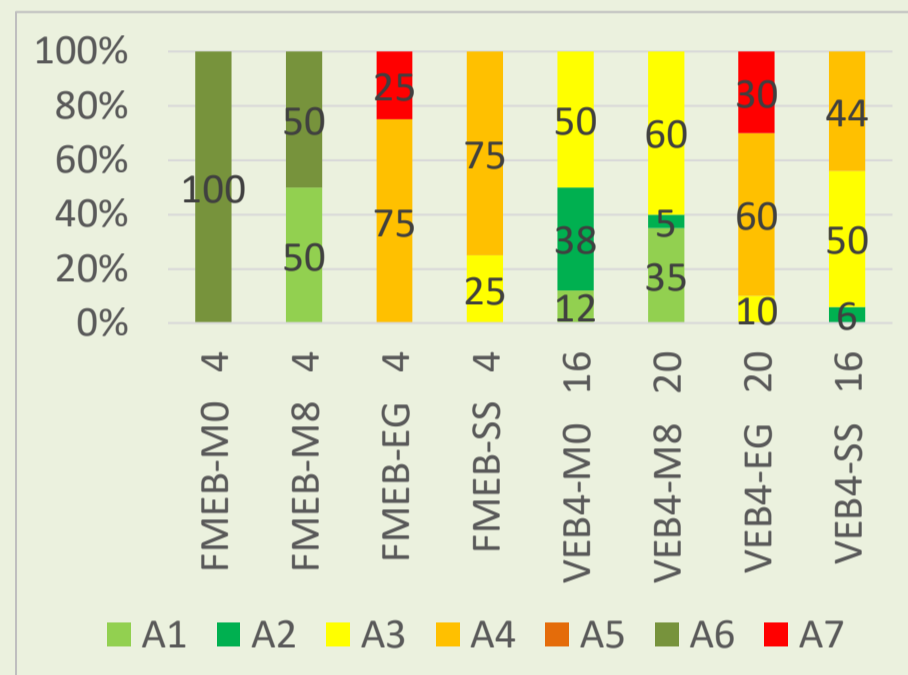
Figuur 1: Leemsteenmetselwerk [2]

### Faalmodi

Het **recuperatiepotentieel** in functie van de faalmodi is in figuur 9 weergegeven. Afhankelijk van de faalwijze en het aantal mortelvrije stenen is een faalmodus gewenst, matig of ongewenst.

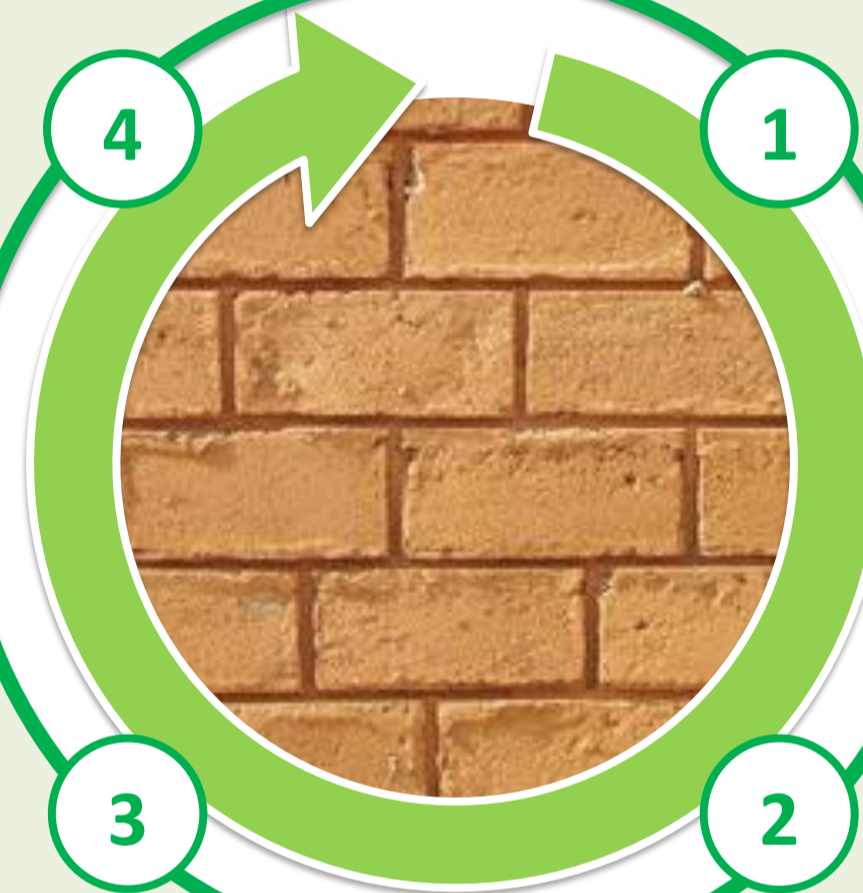
gewenst	1 steen mortelvrij	faling in mortelsteenvlak	A1 A2 A6
matig	0 stenen mortelvrij	faling in mortelvlak	A3 A4
ongewenst	1 steen kapot	faling in steen	A5 A7

Figuur 9: Recuperatiepotentieel op basis van faalmodi



Figuur 10: Analyse faalmodi

Uit figuur 10 volgt dat voor zowel de FMEB's als de VEB's de mortels **M0 en M8** de **meest gewenste faalmodi** geven bij demontage. Bij de SS mortel komt de faalmodus A4 aanzienlijk meer voor, wat betekent dat dit type mortel minder gewenst is op vlak van faalmodi dan de mortels M0 en M8. De EG mortel scoort veruit het slechtst vermits het aandeel schadegevallen (A7) het grootst is.



### Materialen en Methode

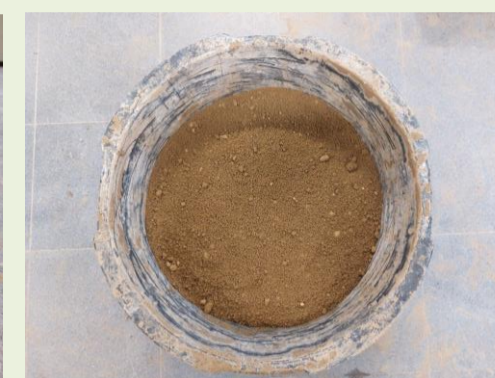
In dit onderzoek worden twee soorten leemstenen gebruikt: **vibro-gecompacteerde leemstenen (VEB4)** en **frogged handvormstenen (FMEB)**, beiden zichtbaar in respectievelijk figuur 2 en 3. Daarnaast wordt gemetseld met vier verschillende mortels. Ten eerste wordt gebruik gemaakt van een **ongestabiliseerde leemmortel (M0)**, zichtbaar in figuur 4. Verder wordt deze leemmortel in gestabiliseerde vorm gebruikt door het toevoegen van **cement (M8) of sodiumsilicaat (SS)**. Ten slotte wordt ook een **leemlijmmortel (EG)** gebruikt om proefstukken te vervaardigen.



Figuur 2: Vibro-gecompacteerde leemsteen



Figuur 3: Frogged handvormleemsteen



Figuur 4: Ongestabiliseerde leemmortel



Figuur 5: Gemetselde coupletten

Vervolgens worden met de leemstenen- en mortels proefstukken gemaakt in de vorm van **coupletten**, zoals weergegeven in figuur 5. Op deze coupletten wordt ook een **voordruk** aangebracht. De combinatie van deze proefstukken wordt weergegeven in tabel 1. De vier mortels zijn hierin gecombineerd met de vibro-compactie leemstenen en de frogged handvormleemstenen.

Verder wordt ook de **invloed van water** op de montage en demontage van de proefstukken onderzocht. Daarom varieert in een steen-mortelcombinatie de onderdompelingstijd van de stenen bij montage en de onderdompelingstijd van de coupletten bij demontage. Per specifieke steen-mortelcombinatie worden vervolgens vier proefstukken vervaardigd.

Tabel 1: Combinatiematrix

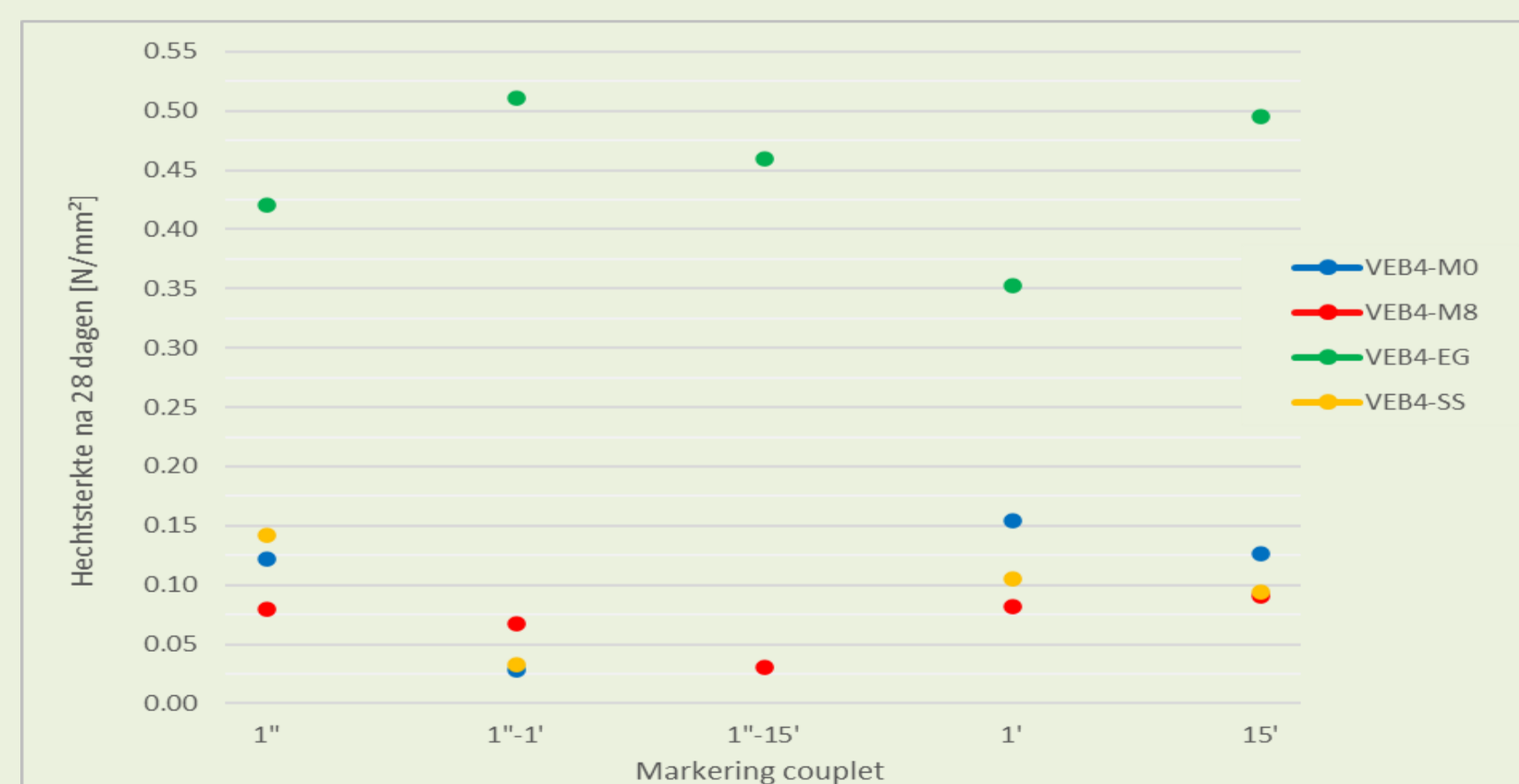
	FMEB	VEB4
M0	FMEB-M0 totaal: 4	VEB4-M0 totaal: 16
M8	FMEB-M8 totaal: 4	VEB4-M8 totaal: 20
SS	FMEB-SS totaal: 4	VEB4-SS totaal: 16
EG	FMEB-EG totaal: 4	VEB4-EG totaal: 20

Op drie proefstukken wordt de **bond wrench test** uitgevoerd om de hechtsterkte te bepalen. Hierna wordt ook de kuisbaarheid van de leemstenen kwalitatief beoordeeld. Ten slotte wordt het vierde couplet gedemonteerd aan de hand van een manuele demontage.

### Hechtsterkte

Uit de resultaten van de combinaties met de FMEB's blijkt dat de hechtsterkte van de coupletten met mortels M0 en M8 quasi gelijk is, respectievelijk 0,0134 N/mm<sup>2</sup> en 0,0129 N/mm<sup>2</sup>. Daarnaast bedraagt de hechtsterkte van de combinatie met sodiumsilicaat-gestabiliseerde leemmortel 0,0708 N/mm<sup>2</sup> en blijken de coupletten met leemlijmmortel het sterkst te zijn, met een gemiddelde hechtsterkte van 0,1116 N/mm<sup>2</sup>.

Uit de hechtsterkte van de VEB's na 28 dagen (figuur 8) volgt dat bij M0, M8 en SS dezelfde trend verschijnt bij de serie die 1" is ondergedompeld: hoe langer de **onderdompeling bij demontage**, hoe lager de hechtsterkte. Verder stijgt de hechtsterkte bij de mortels M8 en EG wanneer de coupletten bij montage langer ondergedompeld worden. Bij de mortels M0 en SS is het omgekeerde verband zichtbaar. Daarnaast wordt besloten dat de combinatie **VEB4-EG** veruit de **hoogste hechtsterkte** bereikt in alle gevallen. Ten slotte is bij de onderdompelingen bij montage (1' en 15') zichtbaar dat buiten de leemlijmmortel de mortel M0 het best hecht, gevolgd door respectievelijk SS en M8.



Figuur 8: Hechtsterkte na 28 dagen (VEB's)

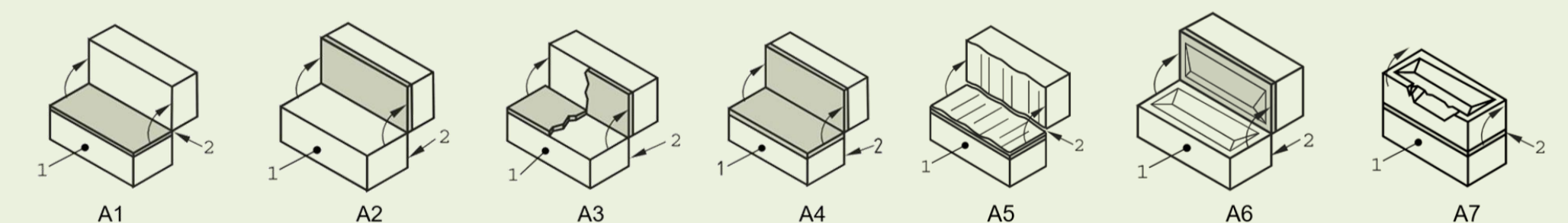
### Bond wrench test

Tijdens de bond wrench test, zichtbaar in figuur 6, wordt door middel van een klem en een gewicht (emmer zand) een moment uitgeoefend op het proefstuk waardoor het faalt. Na falen van het proefstuk wordt de emmer gewogen en de hechtsterkte bepaald.



Figuur 6: Opstelling bond wrench test

Na het uitvoeren van de testen kunnen **zeven faalmodi** onderscheiden worden zoals zichtbaar in figuur 7. Op basis van deze faalmodi kan het faalgedrag van metselwerk gekwalificeerd en geëvalueerd worden. Hoe eenvoudiger de mortel los komt bij zo min mogelijk schade, hoe hoger de **demontagecapaciteit**.



Figuur 7: Faalmodi na uitvoeren van bond wrench test [3]

### Conclusie

Het **hoogste recuperatiepotentieel** wordt verkregen bij de leemstenen gecombineerd met ongestabiliseerde en cement-gestabiliseerde leemmortel. Zo wordt bij de combinaties **FMEB-M0** en **FMEB-M8** de laagste hechtsterkte en de meest gewenste faalmodi bekomen. Verder daalt de hechtsterkte bij de combinatie **VEB4-M0** wanneer water toegevoegd wordt bij demontage en vertoont ook deze combinatie de meest gewenste faalmodi van de VEB's. Daarnaast wordt in het kader van het recuperatiepotentieel de leemlijmmortel afgeraden. Zo vertoont deze mortel bij zowel de VEB's als de FMEB's de hoogste hechtsterkte en de minst gewenste faalmodi, waardoor enerzijds het demontageproces zeer arbeidsintensief is en anderzijds een hoog risico op beschadigde stenen ontstaat. Bij deze combinatie wordt daarom afbraak en recyclage aangeraden.