

Elektroosmotisk transport af vand i mursten

Lisbeth M. Ottosen (limo@dtu.dk) & Naser Eslami (DTU Sustain)

Elektroosmose er transport af væske i porøse materialer, som opnås ved at påtrykke et elektrisk jævnstrømsfelt. Hvorvidt elektroosmose kan anvendes som teknik til at tørre fugtigt murværk har været omdiskuteret i årtier. Dette arbejde fokuserer på at svare på det grundlæggende spørgsmål om, hvorvidt EO kan opnås i mursten, og om elektroosmose er stærkere end kapillarkræfter, som forårsager at væske suges ind i murstenen.

Aktualitet

Fugt er et af de væsentligste problemer, der påvirker både nye og historiske murværksbygninger i Europa og resten af verden. Fugten er, sammen med andre faktorer, ansvarlig for uheldsmæssige termisk-hygrometriske indeklimaforhold, lav termisk isoleringsevne i ydervægge samt en reduktion af murværkets mekaniske ydeevne. Derudover er fugt involveret i alle de væsentligste nedbrydningsmekanismer, der påvirker murværket, idet tilstedeværelsen af fugt i porerne i kombination med andre faktorer kan føre til biologiske angreb, fremme fysiske skader forårsaget af saltkrystallisation, kemiske angreb, frostskaader m.m., hvilket i sidste ende kan medføre materialetab og endda konstruktive problemer.

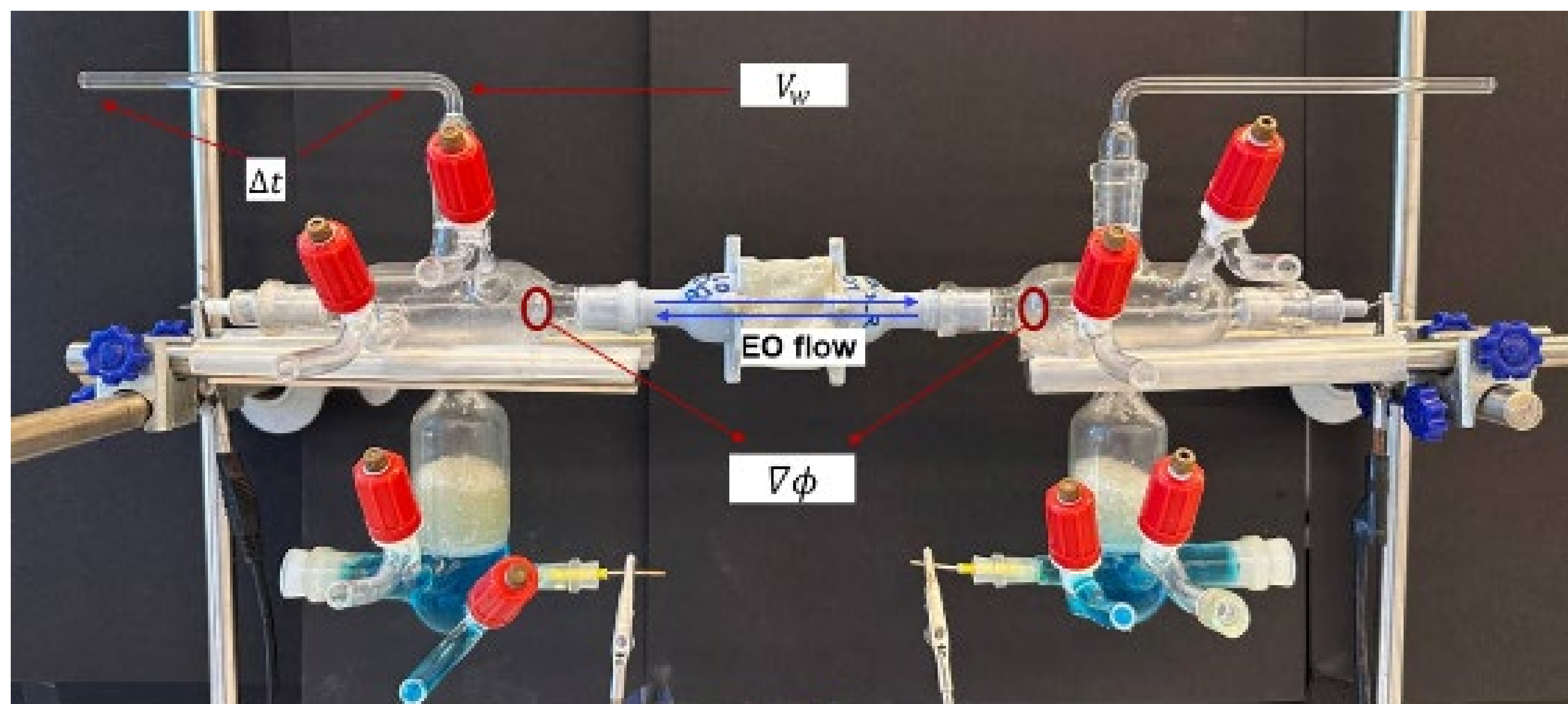
Fugt i murværk kan have forskellige årsager. Opstigende grundfugt og oversvømmelser er to yderpunkter. Der er ingen nemme og allround metoder til at tørre fugtigt murværk. Det afhænger bl.a. af fugtkilden og selve bygningen.

Blandt metoder til fjernelse af fugt fra murværk har de, som udbydes baseret på elektroosmose (EO), igennem mange år været omdiskuterede.

PhD projektet udført af Naser Eslami på DTU Sustain "Electroosmosis in Masonry" [1] havde til formål at svare på, (a) om EO kan opnås i typiske danske murstenstyper og (b) om EO væsketransport ud af murstenen kan være kraftigere end kapillarkræfter som trækker væsken ind, når der er vand til stede ved stenens overflade.

Bevis for elektroosmose

Eksperimenter blev udført i en unik celle, som er udviklet på DTU (Figur 2). Cellen er designet således at murstensprøven kun påvirkes af det elektriske felt. Der er ingen tryk, temperatur eller kemiske gradienter. Cellen har to kapillarrør, hvori væsken kun bevæger sig i, når der er EO. De er placeret således at EO får væsken til at løbe ind i det ene og ud af det andet. Beviset for EO er, at væskeflowet vendes, når det elektriske felt vendes og at flowhastigheden er den samme i begge retninger.



Figur 1. Fugtigt murværk – et problem uden nem løsning

Fænomenet elektroosmose (EO)

EO er den elektrisk drevne bevægelse af væske gennem et porøst materiale. Fænomenet har været kendt siden videnskabsmanden Reuss observerede det eksperimentelt i 1807.

EO er et såkaldt koblet flow som adskiller sig fra de mere kendte direkte flow (f.eks. væske flow under en hydraulisk gradient (Darcys lov) og varme flow i en temperaturgradient (Fouriers Lov)). EO er et flow af væske i en elektrisk gradient, dvs. i en gradient, som ikke har den direkte sammenhæng med det opnåede flow.

Fænomenet hænger sammen med at overfladerne af materialet er ladet og at denne ladning neutraliseres af ioner i væsken i det såkaldte elektriske dobbeltlag.

Figur 2. Laboratoriecelle til måling af elektroosmotiske koefficienter i murstensprøver

Projektdetaljer

PhD projektet "Electroosmosis in Masonry" blev udført ved Sektionen for Byggematerialer og Holdbarhed på DTU Sustain. Det blev finansieret af Grundejernes Investeringsfond og Realdania. Projektperioden løb fra 2020 til 2023.

PhD afhandlingen kan downloades her: [PhD thesis Naser Eslami EO.pdf](#)

Elektroosmotisk transport af vand i mursten



Figur 3: Murstenene, som blev anvendt til EO forsøg

Elektroosmose i forskellige mursten

Fire danske murstenstyper blev valgt til det eksperimentelle arbejde (Figur 3). De blev valgt så de repræsenterer de traditionelle gule og røde mursten fra ca. 1850 til 1940 samt en ny mursten.

Murstenene havde, som forventet, forskellige karakteristika, men EO transport af vand blev opnået i dem alle.

Dette vigtige resultat blev opnået med den EO celle (Figur 2). En kvantificering af EO med baggrund i en fænomenologiske tilgang viste at hastigheden af det elektroosmotiske flow afhang af det påtrykte elektriske felt (jo højere jo hurtigere EO væsketransport). Det blev også fundet, at EO i murstenene varierede, og at denne variation ikke kan tilskrives en enkelt materialeparameter. Porøsiteten og porestørrelsesfordelingen, zeta-potentialet (et udtryk for ladningen af de indre overflader) samt saltindholdet i porevæsken har betydning.

Elektroosmose og kapillarsugning

I forsøgene til måling af EO koefficienter i cellen på Figur 2 var murstenene vandmættede. For at undersøge, om det var muligt at opnå en udtørrende effekt med EO. Til at svare på det blev der udført eksperimenter i en anden type laboratoriecelle (Figur 4).

I denne celle er der våd poultice (en blanding af kaolint, kalk og vand) mellem elektroderne og murstenen. Teknisk var formålet med poulticen at opnå god elektrisk kontakt fra elektrode til mursten og at neutralisere pH ændringerne fra pH ændringer fra elektrodeprocesserne.

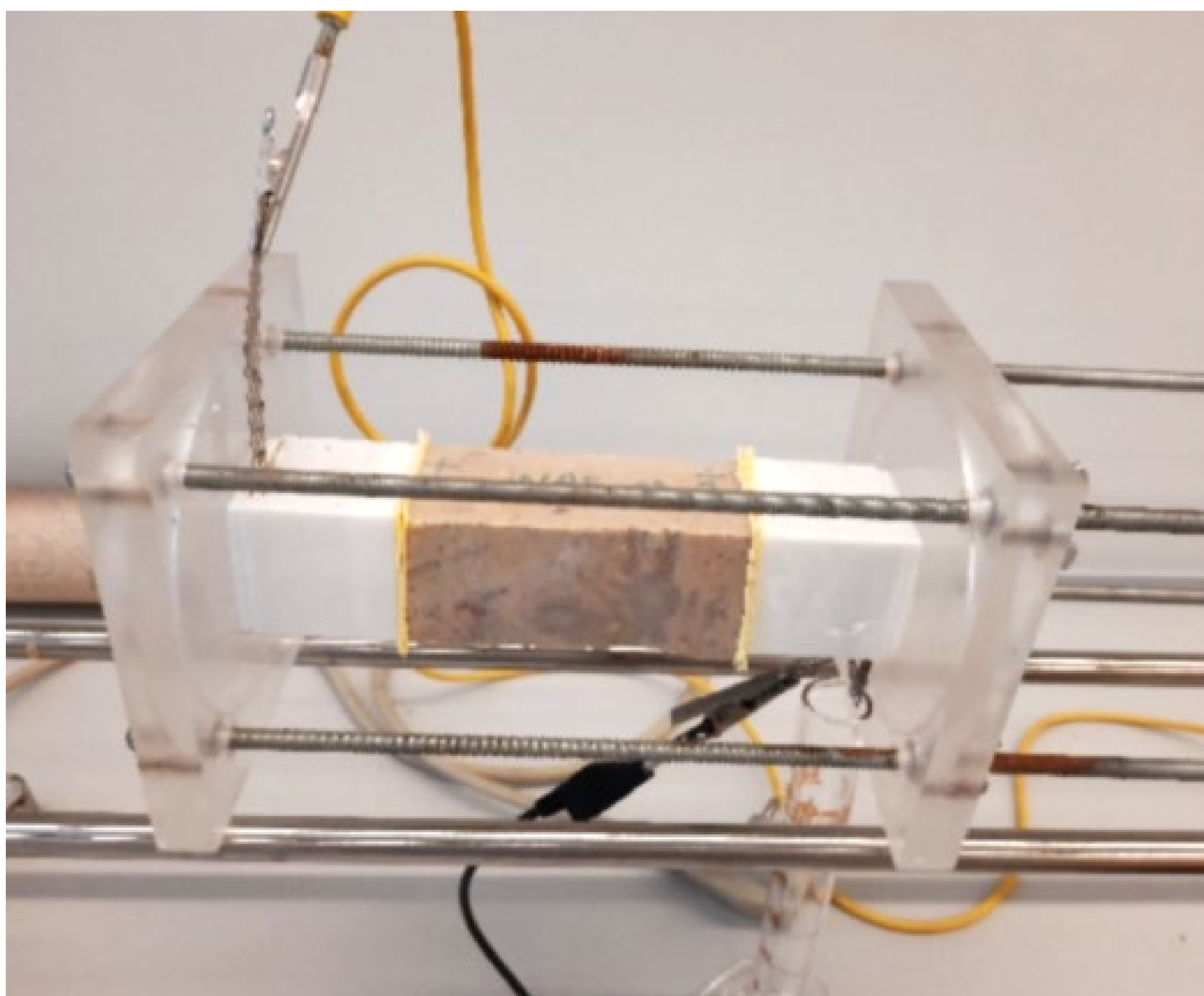
Forsøgene gav dog også det interessante resultat, at det ikke var muligt at udtørre murstenene i denne opstilling. Det elektroosmotiske flow kunne ikke overvinde kapillarsugning, som forårsagede at væske blev suget ind i murstenen fra den våde poultice.

Dette blev vist, efter at der var blevet udviklet en poultice, hvori der ikke var nogen EO væsketransport. Ved at anvende denne poultice i forskellige eksperimenter i cellen på figur 4, med mursten som ikke var vandmættede blev det fundet, at vandindholdet i murstenen steg til vandmættet, og at EO ikke kunne forårsage afvanding i denne opstilling.

Det var således andre og stærkere kræfter – kapillarkræfter - som sugede vand fra den anvendte poultice ind i murstenen, således at vandindholdet i murstenene steg. Afvanding blev således på ingen måde eftervist i denne opstilling.

EO i praksis

De udførte laboratorieeksperimenter viste, at der skal tages forbehold for fugtens kilde, hvis man skal vurdere om EO baserede metoder kunne være en mulighed til affugtning af et specifikt murværk. Vand kan flyttes i mursten ved at påtrykke et elektrisk elektriske felt (med EO), men hvis der er tale om opstigende grundfugt, hvor fugten suges ind i murstenen med kapillarkræfter, så er EO baserede metoder ikke egnede. Kapillarkræfterne er stærkest. Derimod kan EO være interessant til at drive fugten ud af murværk, ved enkeltstående events som oversvømmelser. Der skal udvikles en ny type elektrodeenheder, som giver god elektrisk kontakt mellem elektrode og murværk uden at der tilføres væske. Styrken ved EO er at den direkte påvirker vandet inde i murstenene til flow mod overfladen, hvorfra udtørringen skal ske med kendt teknik som affugtere i rummet.



Figur 4: Laboratoriecelle med EO og kapillarsugning