

CHALMERS

**STIFTELSEN CHALMERS
INDUSTRIOTEKNIK**

Issued by, telephone

Fredrik Blomgren
031-772 4034

To

**Ulf Nilsson, Dag Nilsson
Duo Handels & Förvaltning AB**

Date

090210

Page

1 (16)

Document ID

Classification

INTERN

Verifiering av DUOK2000, fas 1: teoretisk modellering

Fredrik Blomgren

Stiftelsen Chalmers Industriteknik

Chalmers Teknikpark

SE-412 88 Göteborg

1	Introduktion.....	3
2	Grundläggande teori.....	3
2.1	Betongstruktur och sammansättning	3
2.2	Grundläggande kemi för betong.....	4
2.2.1	Syra-basjämvikter, allmänt.....	4
2.2.2	Betongpartiklars syra-basegenskaper	4
2.3	Vatten som dipol	5
2.4	Kapillära krafter.....	6
3	Processer vid kapillärer i betong.....	6
3.1	Interaktion mellan vatten och betongpartiklar	7
3.2	Spontan bildning av elektrisk potential	8
4	Funktionen för DUO K2000	10
4.1	Beräkningar och rimlighetsbedömningar	12
4.1.1	Penetrationsdjup i betong	12
4.1.2	Energibalans	12
4.1.3	Inträngning i kapillär	13
4.1.4	Biologisk riskexponering.....	14
5	Diskussion	14
6	Referenser.....	16

1 Introduktion

Fukt i byggnadskonstruktioner, såsom betongplatta på mark, grundmurar, källare eller övriga betongkonstruktioner (betongbroar), kan vara ett stort problem. I huskällare med tillhörande grundmur kan fukt vara direkt hälsoskadligt på grund av tillväxande mögel vilket kan orsaka allergier och allmänt obehag för människor. Problemen återfinns frekvent i betong- och murkonstruktioner oavsett om det är äldre bebyggelse i form av gamla kyrkor, kulturbyggnader eller om det rör sig om nya modernt formade bropelare / brobaneplattor.

Duo Handels & Förvaltning AB marknadsför och är försäljare för utrustningen **DUO K 2000**. Utrustningen, som är producerad i EU, kan torka byggnadskonstruktioner genom att driva ut fukt med hjälp av ett elektriskt fält.

Duo Handels & Förvaltning AB har beställt en analys av detta problem från Stiftelsen Chalmers Industriteknik för att klargöra om det är teoretiskt möjligt att **DUO K2000** fungerar på sagda sätt och i så fall hur den fungerar. Denna rapport är en sammanställning av resultaten i detta arbete. Denna rapport är en teoretiskt undersökning gjord för att se om **DUO K2000** kan fungera enligt välkänd kemi och fysik. Stiftelsen Chalmers Industriteknik har inte enligt god vetenskaplig sed gjort några vetenskapliga försök eller experiment i syfte att bekräfta påståenden och teorier i denna rapport. Stiftelsen Chalmers Industriteknik kan därför inte svara för funktion hos **DUO K2000**.

2 Grundläggande teori

I denna sektion förklaras den underliggande teorin bakom modellen för interaktion mellan vatten och betong samt transport av vatten och joner i betong. Sektionen är uppbyggd så att fenomenen, vilka är ganska komplexa och ingalunda triviala, bryts ner i småbitar där varje del förklaras separat först. Dessa delproblem sätts sedan ihop i nästa sektion där vi bygger en hållbar modell för vätsketransport i betong. Målet är att från ett mikroskopiskt perspektiv på atomär/molekylär nivå bygga en modell som förklarar vad som händer på makroskopisk nivå.

2.1 *Betongstruktur och sammansättning*

Betong har en extremt komplicerad kemisk sammansättning, vilket gör att denna inte är exakt känd. Dessutom varierar sammansättning mellan kvaliteter och förmodligen märken. I princip kan man säga att betong består av aggregat (sand, grus etc.) som binds samman med hjälp av cementpasta (cement plus vatten). Den kemiska sammansättningen hos

cementpastan varierar också mellan kvalitet men vissa kemiska grupper är gemensamma. Speciellt vanliga grupper är så kallade CSH-grupper, vilket står för kalcium-silikathydrat.

Betong är ett poröst material, vilket betyder att det finns inga fysiska hinder för vatten att flöda genom betong. Detta flöde går genom porer i materialet kallade kapillärer.

2.2 Grundläggande kemi för betong

2.2.1 Syra-basjämvikter, allmänt

Syror och baser är viktiga kemiska föreningar i många sammanhang. I naturen hittar vi till exempel ättiksyra som ger vinäger dess sura smak och saltsyra är en viktig del av matsmältningen.

Enligt en viss definition kan syror och baser beskrivas som varandras motsatser med avseende på hur de behandlar protoner (H^+)¹. Definitionen av en syra är ett ämne som spontant lämnar ifrån sig en proton och definitionen av en bas är ett ämne som spontant tar upp en proton. Detta skrivs med kemiska formler enligt:



I (1) och (2) ovan representeras syran och basen av A respektive B. Dubbelpilen i (1) och (2) indikerar att reaktionen kan gå åt båda håll och att en jämvikt ställer in sig i reaktionsförloppen. För starka syror och baser säger man att jämvikterna i (1) och (2) är ”förskjutna åt höger”, vilket betyder att reaktionen åt höger är mest förekommande. För svaga syror och baser är jämvikterna mindre förskjutna åt höger.

2.2.2 Betongpartiklars syra-basegenskaper

Som nämnts ovan består cementpastan till stor del av partiklar av kalcium-silikathydrat. Dessa innehåller kiselhydroxid-grupper, Si-OH. Dvs, hydroxid-grupper (OH) bundna till kisel (Si). OH-grupperna består av syre (O) och väte (H). Si-OH är en syra och reagerar med till exempel vatten (H_2O) enligt [1,2]



¹ En proton är en partikel i kärnan av atomer och är av positiv laddning. Denna partikel kan erhållas genom borttagande av en elektron från väte (H), varför kemister ofta betecknar en proton i syra-basjämvikter med H^+ .

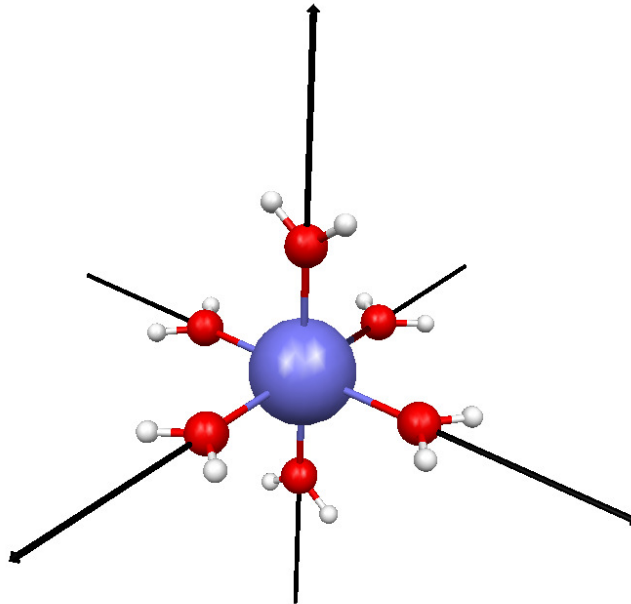
Enligt (3) kommer alltså en betongpartikel att ge ifrån sig protoner vid kontakt med vatten. Vi kan tänka oss att vi sänkte ner en sådan partikel i ett glas. Detta medför att ytan av denna partikel blir negativt laddad på grund av (3). Omgivningen (dvs vattnet) runt om partikeln blir positivt laddad. På grund av krav på elektroneutralitet, motsvaras den totala negativa laddningen på ytan av betongpartikeln av en exakt lika stor positiv laddning i det omgivande vattnet. Krav på elektroneutralitet finns i alla sammanhang där en nettoladdning inte tillförts systemet. Om man tar på en betongklump i vatten upplevs ingen elektrisk stöt, vilket betyder att systemet som helhet är elektroneutralt. Dock kan laddningar vara förskjutna inom systemet, vilket är fallet ovan med betongpartikeln i vattnet.

2.3 Vatten som dipol

Vatten (H_2O) är en molekyl bestående av en syreatom (O) bundet till två väteatomer (H). Kemister brukar tala om olika atomers elektronegativitet, vilket betyder att olika atomer har olika förmåga att dra till sig eller släppa ifrån sig elektroner². En analogi är hur syror och baser har olika förmåga att dra till sig och släppa ifrån sig protoner, vilket förklarades i sektion 2.2.1. Syre är mer elektronegativt än väte vilket betyder syre har större förmåga att dra till sig elektroner än väte. Detta får som konsekvens att i vattenmolekylen drar syreatomen till sig elektronerna från väteatomerna vilket leder till att de elektriska laddningarna i molekylen är förskjutna. Vattenmolekylen har alltså två elektriska poler; Syreatomen är negativ pol och väteatomerna är positiv pol. Man säger att syre- och väteatomerna är negativt respektive positivt polariserade. Molekyler som visar denna interna fördelning av laddningar kallas dipoler. Observera att vattenmolekylen som helhet är neutral.

På grund av dess dipolkaraktär attraherar vatten laddade partiklar såsom joner. Positiva joner attraheras av den negativt polariserade syreatomen och negativa joner attraheras av de positivt polariserade väteatomerna. Detta åskådliggörs i figur 1 där sex vattenmolekyler omger en kalcium-jon som är av laddning $2+$ (Ca^{2+}). Vattenmolekylerna orienterar sig, på grund av attraktion, runt kalcium-jonen med de negativt polariserade syreatomerna vända mot denna. På grund av repulsion är de positivt polariserade väteatomerna vända från den positivt laddade kalcium-jonen. Denna konfiguration ger lägst energi.

² En elektron är en partikel i atomer och är av negativ laddning. Denna negativa laddning balanserar ut den positiva laddningen hos protoner.



Figur 1: Ca^{2+} (ljusblå) omgiven av sex vattenmolekyler. Notera att syreatomerna (röda) i vattenmolekylerna är vända mot Ca^{2+} och att väteatomerna (vita) är vända från Ca^{2+} .

2.4 Kapillära krafter

Det är välkänt att när ett smalt glaströr sticks ner i ett vattenglas, stiger ytan inuti glaströret ovanför vattenytan i glaset. Detta fenomen kallas kapillärkraft. Det är en konsekvens av en kompromiss mellan attraktionskrafter mellan glasytan och vattnet (så kallade adhesiva krafter) samt ytspänning och gravitation. De adhesiva krafterna, bland annat elektrostatiske krafter, mellan rörets insida och vattnet gör att energin sänks om så mycket som möjligt av rörets insida täcks. Detta får till följd av att vattnet stiger inuti röret. Dock kommer en gräns då dessa adhesiva krafter balanseras av ytspänning och gravitation så att stighöjden inte blir oändlig. Vidare beror stighöjden på kapillärens diameter.

3 Processer vid kapillärer i betong

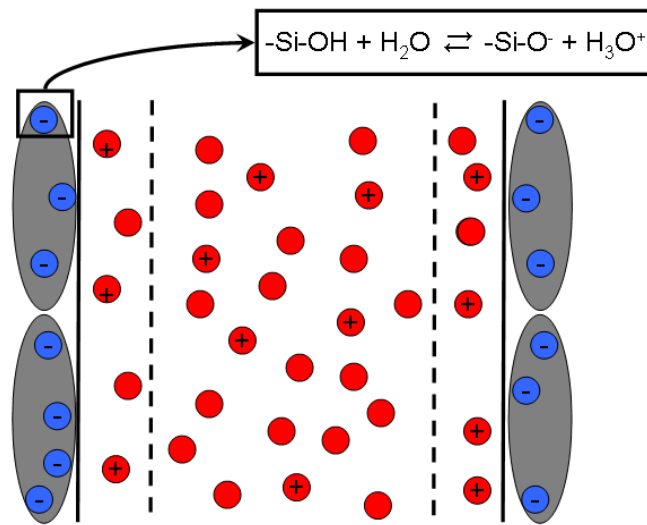
I denna sektion konstrueras utifrån teorin i sektion 2, en modell för interaktion mellan vatten och betongpartiklar i kapillärer. Med kapillärer menas i denna rapport "sugrörsliknande" håligheter i betongen av olika diameter; alltfrån Ångström ($1 \cdot 10^{-10}$ m) till mer makroskopiska

storleker, till exempel centimeter. De olika teoridelarna, var för sig förklarade i avsnitten i sektion 2, sätts ihop till en modell.

3.1 Interaktion mellan vatten och betongpartiklar

I denna sektion utarbetas en teori för hur vattenmolekyler och betongpartiklar interagerar. Vattnet kan tänkas tillföras utifrån eller komma från tillfället då konstruktionen gjöts.

Vi kan tänka oss ett hypotetiskt fall där en torr betongklump tillförts destillerat, rent vatten. Det vill säga, vätskan innehåller inga joner eller andra föreningar, förutom vatten. Vätskan kan till exempel tillföras genom kondensation och/eller kapillär stigning. Situationen som uppstår förklaras med hjälp av figur 2:



Figur 2: Schematisk skiss över en betongkapillär nedsänkt i vatten. Grå ovaler representerar kristaller av kalcium-silikathydrat på ytan av kapillären. Ytgränsen går vid solid svart vertikal linje. Utanför ytan bildas ett lager av positiva joner (röda bollar med plustecken) för att balansera negativa joner på ytan (blå bollar med minustecken). Vatten representeras av röda bollar.

När vattnet (röda bollar) träffar silikathydratgrupperna vid ytan av kapillären, släpper dessa en proton till vattnet enligt reaktionen i rutan i figur 2. Då bildas negativt laddade grupper (Si-O^- , blå bollar med minustecken) vid ytan och hydroniumjoner (H_3O^+ , röda bollar med plustecken). Den inre ytan i kapillären blir alltså negativt laddad. Precis utanför ytan bildas ett lager av positiva joner på grund av attraktion till dessa negativa laddningar, i bilden markerat som området mellan helstreckade och streckade linjer. Detta lager kallas ibland för det orörliga lagret eller Stern-lagret. Jonerna innanför Stern-lagret sitter ganska hårt bundna till ytan varför dessa anses orörliga. Kraften med vilken de positiva jonerna attraheras till den

negativa ytan avtar som funktion av avstånd från ytan. Detta medför att de joner som sitter längst ifrån ytan i Stern-lagret sitter löst bundna och är någorlunda fria att diffundera ut i bulken. Detta i sin tur medför att ute i bulken, det vill säga utanför Stern-lagret, finns vatten och positiva joner som är rörliga. På grund av kravet på elektroneutralitet finns det exakt lika många positiva laddningar som negativa i hela systemet. Dock finns ett överskott av positiva joner ute i vätskebulken.

Grundvatten eller regnvatten är aldrig så rent som vattnet i tankeexperimentet ovan. I grundvatten finns till exempel olika joner och mineralsalter lösta i vattnet. Även betongen i sig självt innehåller mineraler såsom kalciumhydroxid (CaOH_2), vilket gör att vattnet är basiskt. Detta gör dock ingen skillnad i tankeexperimentet och figur 2 ovan med avseende på laddningsfördelning: *På grund av interaktion mellan vatten och silikathydratgrupper bildas ett överskott av positiva laddningar i vätskan jämfört med ytan av kapillären där det finns ett överskott av negativa laddningar.* Närvaro av till exempel CaOH_2 ändrar inte detta faktum då laddningarna av sådana i vatten lösta joner tar ut varandra. För att förenkla och påvisa principen för hur denna skillnad i laddning mellan vätskebulken och kapillärväggarna uppstår har vi helt enkelt exkluderat sådana mineraler. Det finns även experimentella bevis för denna fördelning av laddningar [1]. Detta är en väldigt viktig slutsats för att förstå transport av vatten i betong vilket vi ska återkomma till senare.

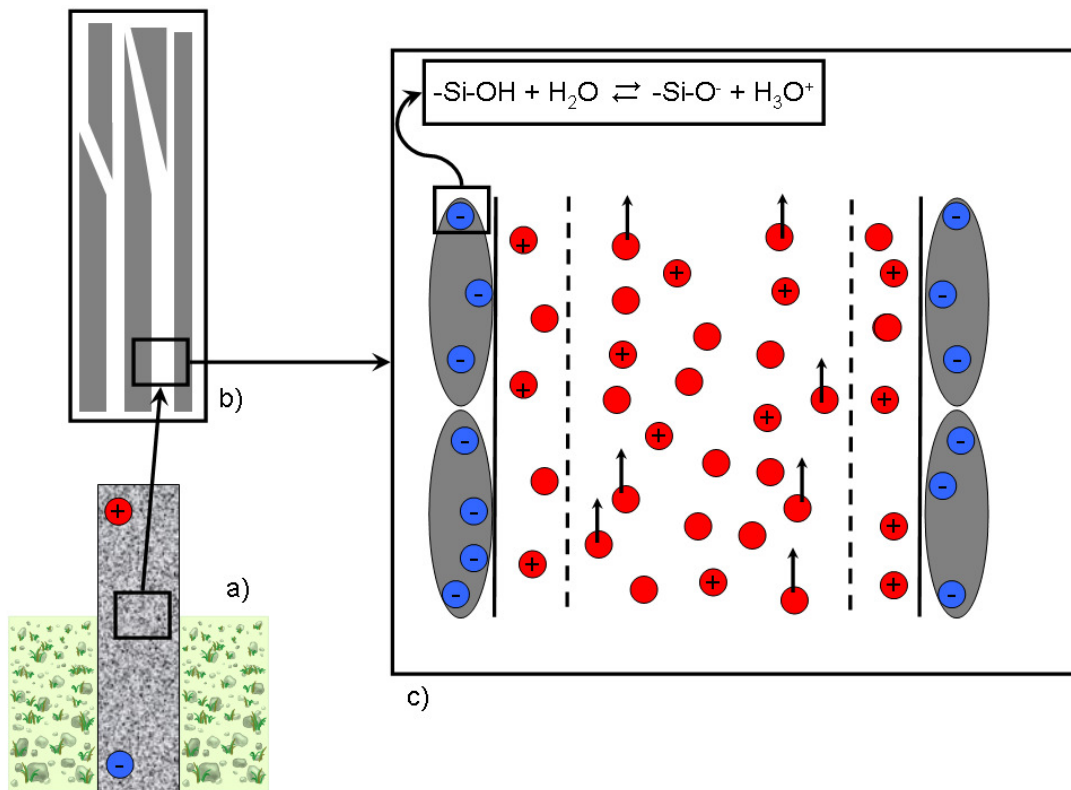
Mekanismen ovan främjar stigning av vatten genom kapillära krafter. På grund av att ytan på kapillären blir negativt laddad ökar attraktionen, de adhesiva krafterna, mellan vatten och kapillärytan. Vatten stiger alltså upp och orsakar mer laddningar på ytan vilket får mer vatten att stiga. Slutligen nås en höjd som är en kompromiss mellan adhesiva krafter och ytspänning/gravitation.

3.2 Spontan bildning av elektrisk potential

Vissa experimentella bevis finns för att då en fuktgradient föreligger över en betongkonstruktion, bildas även en koncentrationsgradient med högre koncentration av positiva joner i den torra änden jämfört med den våta änden [3,4]. Detta medför att för en betongkonstruktion nedstucken i marken, bildas en elektrisk potential bildas med positiv laddning i den torra änden (toppen) och negativ laddning i den våta änden (botten). I denna sektion utarbetas en teori för hur detta skulle kunna ske med hjälp av teorin i sektion 2 samt

slutsatser i sektion 3.1. Stiftelsen Chalmers Industriteknik har inte gjort experiment som visar att det faktiskt bildas en potential.

Figur 3 a) visar ett murverk nedstucket i marken. Enligt teorin framtagen i denna rapport bildas en elektrisk potential över muren med pluspol i toppen och minuspol i botten. Svaret på frågan varför detta sker erhålls genom att lägga ihop alla delar som ovan förklarats. I kapillärerna (figur 3 b)) sker kemiska reaktioner mellan vattnet och kapillärväggarna (figur 3 c) och figur 2). I figur 3 c) används samma färgkoder som figur 2 och vattnets transport uppåt representeras av pilar. Som nämnts i sektion 3.1 får detta konsekvensen att *ett överskott av positiva joner bildas i vätskan samtidigt som ett överskott av negativa joner bildas på kapillärytan*. Vattenmolekyler orienterar sig runt dessa positiva joner enligt sektion 2.3 och figur 1. När vatten tar sig uppåt genom kapillärkraft transporteras joner med. Eftersom det finns fler positiva än negativa joner i vätskan erhålls därför ett överskott av positiva joner i toppen av murverket. Toppen av murverket blir då pluspol. I botten av murverket, vilken blir minuspol, erhålls ett överskott av negativa laddningar.



Figur 3: En schematisk över transporten av vatten och joner samt dess inverkan på den elektriska potentialen i murverket. Toppen på murverket blir pluspol och botten minuspol. Se text.

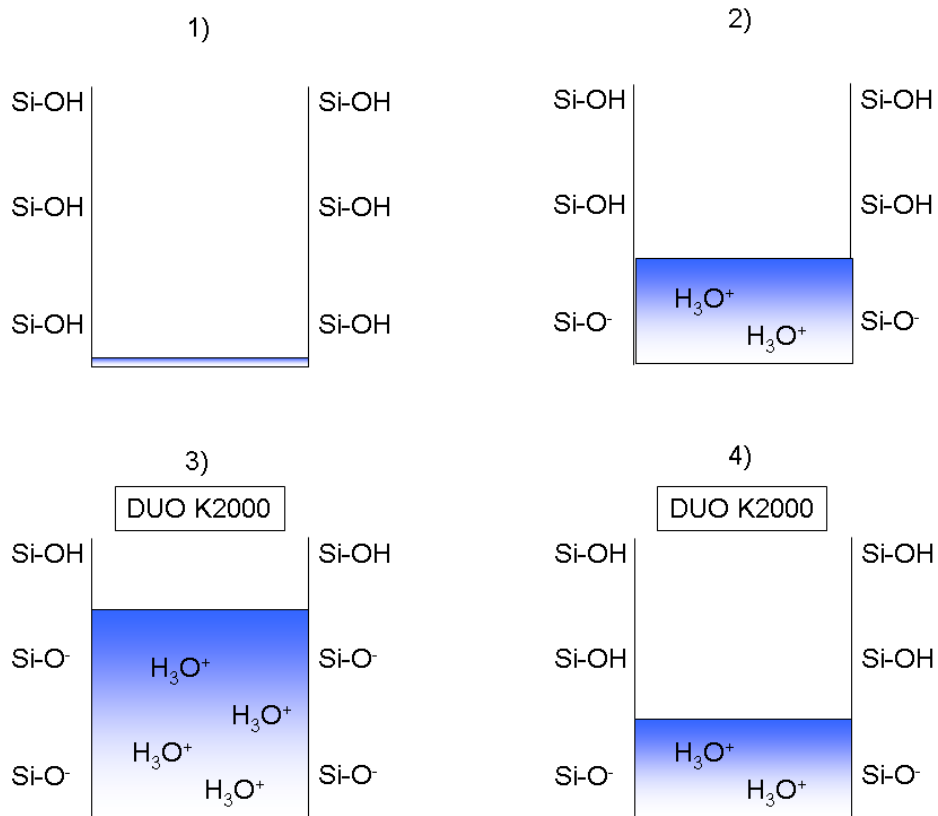
4 Funktionen för DUO K2000

Slutsatsen i sektion 3.1 var att det finns ett överskott av positiva laddningar i bulken av kapillären jämfört med ytan av kapillären. Denna slutsats gör att funktionen hos **DUO K2000** är rimlig. Genom att emittera ett positivt elektriskt fält borde det vara möjligt att repellera de positiva jonerna i bulken. Dessa river då med sig vattenmolekyler då vattenmolekyler och joner är attraherade enligt sektion 2.3.

Potentialskillnaden i murverket enligt figur 3 a) gör att murverket kan liknas vid en elektrisk kondensator med plusladdningar högst upp och minusladdningar längst ner. Om ett positivt fält induceras i murverkets överdel får detta teoretiskt effekten att de positivt laddade jonerna i toppen repelleras och börjar vandra neråt. Av samma skäl som vattnet transporterades uppåt på grund av kapillära krafter, kan då vattnet transporteras neråt istället och muren torkar.

Funktionen för **DUO K2000** bör dock inte vara begränsad till torkning av murverk nedstuckna i marken där en elektrisk potential bildats över murverket genom att vatten transporterats på grund av kapillära krafter. Det bör vara möjligt att även torka konstruktioner där ingen koncentrationsgradient av joner och elektrisk potential bildats som i figur 3. **DUO K2000** bör fungera i de fall då betong blivit tillräckligt fuktig så att insidan av kapillärerna är våta. Vatten kan till exempel ha tillförts vid det tillfälle då konstruktionen gjöts eller genom luftens fuktighet. Detta bör inte spela någon roll. Det viktiga är att kapillärerna måste vara så pass våta att ett det finns ett överskott av positiva joner i bulken jämfört med ytan av kapillärerna.

Hela processen som innebär vätning av kapillärer (genom kondensation och/eller kapillär absorption) och torkning med ett elektriskt fält kan sammanfattas av figur 4.



Figur 4: Olika steg i hela processen som innebär värning och torkning av kapillärer.

- 1) Kapillären börjar vätas, vattenytan (ljusblå) är i botten av kapillären.
- 2) När vattenytan stiger genom kapillära krafter inställer sig en syra-basjämvikt enligt ekvation (3), sektion 2.2.2. Ytan på kapillären blir negativt laddad och vattenbulken blir positivt laddad på grund av ett överskott av positiva joner.
- 3) Vattenytan stiger ytterligare och mer positiva joner bildas i vätskan. **DUO K2000** sätts på och emitterar ett positivt elektriskt fält.
- 4) Det positiva fältet repellerar de positiva jonerna och tvingar dessa nedåt. Denna jonvandring river med sig vatten på grund av attraktion mellan joner och vatten (se sektion 2.3). När vattenytan sjunker, drivs reaktionen i ekvation (3), sektion 2.2.2 ”åt vänster”, dvs. silikathydroxidgrupperna i betongen återställs till ursprungsformen Si-OH.

Man känner till att det går att torka betong med elektriska fält sedan tidigare, dock verkar det i vissa fall som att man inte litar på att det fungerar. En teknisk rapport skriven av Pedro Gandra vid Restaurator AB [5] nämner torkning av murverk med hjälp av elektroosmos. I fallet som diskuteras i rapporten monteras en positiv elektrod in i murverket och en negativ

elektrod sätts ner i marken. När en spänning appliceras erhålls en vandring av joner från murverk till jord och murverket torkas. Författaren anser dock metoden opålitlig på grund av att processen innefattar komplicerad fysik och kemi. Forskare och ingenjörer vid U.S. Army Engineer Research and Development Center har utvecklat en metod [6] där murverk torkas med denna teknik. Andra exempel på metoder att använda tekniken finns patenterade [7].

DUO K2000 påstås fungera på ett snarlikt sätt. Att montera in en elektrod i murverket undviks då **DUO K2000** istället emitterar ett elektriskt fält.

4.1 Beräkningar och rimlighetsbedömningar

I sektion 3 utvecklades en modell som visar på att principen för funktionen hos **DUO K2000** är rimlig. Dock kvarstår att kontrollera det emitterade fältet kan åstadkomma något i ett murverk eller betongkonstruktion. Detta åstadkoms i denna sektion med hjälp av överslagsberäkningar.

4.1.1 Penetrationsdjup i betong

Penetrationsdjupet för ett elektriskt fält i ett material, δ , är ett mått på hur långt ett elektriskt fält tränger in i materialet och beräknas genom formeln:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi\mu_r\mu_0\sigma f}} \quad (4)$$

μ_r är den magnetiska permeabiliteten i betong, μ_0 är den magnetiska permeabiliteten i vakuum, σ är den elektriska konduktiviteten och f är frekvensen på fältet. Betong är inget magnetiskt material varför μ_r kan sättas till 1. Sandrolini *et al* [8] har bestämt materialkonstanter för betong och bland annat bestämt σ . Från [8] ansätts $\sigma=1\cdot 10^{-3} \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$. **DUO K2000** sänder ut ett fält med frekvens i kHz-området [9] varför värdet på f sattes till $1\cdot 10^3$ Hz. En beräkning ger då vid handen att penetrationsdjupet är cirka 500 m.

4.1.2 Energibalans

En potentialskillnad i en byggnadskonstruktion enligt sektion 3.2 innebär upplagrad energi. För att motverka denna potentialskillnad, krävs minst lika mycket energi som finns upplagrad. För att beräkna den upplagrade energin kan konstruktionen ses som en kondensator. Formeln för upplagrad energi i en kondensator är:

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (5)$$

I ekvation (5) representerar C kondensatorns kapacitans och V är potentialskillnaden mätt i Volt. Kapacitansen beräknas enligt:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (6)$$

I ekvation (6) är ϵ_0 och ϵ_r permittiviteten i vakuum respektive relativa permittiviteten för betong. Enligt [7] ansätts $\epsilon_r=10$ As/Vm. A och d är arean av plattorna i kondensatorn respektive längden mellan dem. Antag ett betongblock av dimension $10 \cdot 10 \cdot 10$ meter (volymen blir då 1000 m^3). Antag vidare en potential av 1 Volt. Mycket större potentialer skulle förmodligen ge spontana urladdningar, vilket inte observeras. Den beräknade upplagrade energin blir med ekvation (5) och (6), $E = 4.4 \cdot 10^{-10}$ Joule, vilket är ett mycket litet tal. **DUO K2000** förbrukar enligt tillverkaren cirka 5 Watt [9] ($1 \text{ Watt}=1 \text{ Joule/s}$). Antag att förlusterna i apparaten är 90 %, då emitteras 0.5 Watt. Detta ger att rent energetiskt behöver **DUO K2000** bara köras i cirka $1 \cdot 10^{-9}$ sekunder för att leverera. Om istället en potential på 100 volt ansätts erhålls att $E = 4.4 \cdot 10^{-6}$ Joule. Detta ger att apparaten bara behöver köras i cirka $1 \cdot 10^{-5}$ sekunder för att leverera den nödvändiga mängden energi. Slutsatsen av ovanstående resonemang blir att med denna förenklade överslagsberäkning finns inga energetiska hinder för att apparaten ska fungera.

4.1.3 Inträngning i kapillär

För att avgöra om ett fält ska kunna tränga sig in genom Stern-lagret och påverka jonerna (se figur 2) måste den så kallade Debye-längden beräknas enligt:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r k_B T}{2F^2 C}} \quad (7)$$

Debye-längden definieras som den längd ett elektriskt fält tränger in i ett medium skärmat av ett lager enligt figur 2. I ekvation (7) representerar k_B Boltzmanns konstant, T är temperaturen, F är Faradays konstant och C är koncentrationen av joner i lagret. Med en koncentration av 0.5 mol/dm^3 , vilket inte är orimligt enligt referens 10, erhålls resultatet $\lambda_D=1.5 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. Detta är av samma storleksordning som vi kan anta att lagret är av ($1 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ är molekylär storleksordning) vilket betyder att fältet inte tränger in speciellt långt.

Det finns ytterligare en aspekt på fältets inträngningsförmåga i kapillären, vilket är frekvensberoendet. Svängningsfrekvensen hos Nernst-lagret (dvs med vilken frekvens jonerna rör sig) kan beräknas enligt

$$f_{lager} = \sqrt{\frac{C \cdot e^2}{m \epsilon_r \epsilon_0}} \quad (8)$$

I ekvation (8) representerar e elementarladdningen. Med koncentrationen 0.5 mol/dm^3 erhålls en frekvens i området $1.1 \cdot 10^{12}$. Enligt Kaltenegger GmbH är frekvensen på fältet i kHz-området, dvs $1.0 \cdot 10^3 \text{ Hz}$, vilket betyder att jonerna i Nernst-lagret svänger snabbare än fältet och har gott om tid att orientera sig i fältet. Skärmningen mot vätskebulken blir då effektivare och fältet tränger in sämre.

4.1.4 Biologisk riskexponering

Biologiska gränsvärden enligt SSI FS 2002:3 ger att den elektriska fältstyrkan ska understiga 87 V/m . En beräkning med värdet 18 V likström ger att på ett avstånd större än 20 cm från apparaten understigs detta värde.

Enligt SSI FS 2002:3 ska också den magnetiska flödestätheten understiga $6.25 \mu\text{T}$. Antag att kretsen är en cirkulär loop med area $A=2\text{dm}^2$. Antag vidare att produkten mellan antal varv (N) och ström (I) är 1 A . Då blir det minimalt tillåtna avståndet 8.6 cm för en kontinuerlig vistelse. Sambandet mellan magnetisk flödestäthet och fältstyrka är ett linjärt samband för biologisk vävnad och ger att på ett avstånd över 8.6 cm överskrids inte heller detta gränsvärde på magnetisk fältstyrka.

5 Diskussion

Med anledning av en beställning från Duo Handels & Förvaltning AB har Stiftelsen Chalmers Industriteknik utfört en teoretisk utvärdering av apparaten **DUO K2000**, vilken enligt påstående ska kunna torka byggnadskonstruktioner med ett elektriskt fält.

Slutsatsen i denna rapport blir att principen för att torka byggnadskonstruktioner med elektriska fält inte är orimlig då mekanismen är helt i enlighet med välkänd fysik och kemi.

En hållbar teoretisk modell har utvecklats för hur joner fördelas i kapillärer samt hur en elektrisk potential spontant kan bildas i byggnadskonstruktioner på grund av transport av vatten och joner. Denna modell är framtagen med hjälp av välkänd fysik och kemi. Utifrån ett mikroskopiskt perspektiv på atomär/molekylär nivå har en mekanism tagits fram som på ett logiskt sätt i det makroskopiska perspektivet ger effekten av en elektrisk potential i byggnadskonstruktioner. Vidare visar denna modell att **DUO K2000** kan påverka fukt i betong på ett fördelaktigt sätt genom att driva ut denna fukt.

Överslagsberäkningar har utförts för hur elektriska fält breder ut sig i betong och växelverkar med partiklar. Materialkonstanter har tagits från publicerad litteratur. I vissa fall har parametrar uppskattats. Detta har dock gjorts på ett försiktigt sätt. Det är viktigt i detta sammanhang att poängtera att beräkningarna i sektion 4 inte är exakta utan är just överslagsberäkningar. För mer exakta resultat krävs mycket mer arbete än vad som ryms inom ramen för detta projekt.

Som nämnts tidigare tar Stiftelsen Chalmers Industriteknik endast ansvar för innehållet i denna rapport. Den teoretiska modellen har inte verifierats med experiment enligt god vetenskaplig sed varför Stiftelsen Chalmers Industriteknik inte tar ansvar för om **DUO K2000** fungerar i verkligheten. För att kunna styrka funktionen för **DUO K2000** måste följande steg vidtagas:

- Apparaten måste testas för att ta reda på egenskaper såsom fältstyrka, frekvens etc. hos det emitterade fältet. Vidare måste utredas om och hur apparaten åstadkommer ett över tiden mer positivt än negativt fält vilket är en absolut nödvändighet. I detta sammanhang kan nämnas att personal på Stiftelsen Chalmers Industriteknik försökte mäta det emitterade fältet från **DUO K2000** men kunde inte detektera något. Det enda som märktes var att det bakomliggande fältet i rummet stördes när apparaten sattes på.
- Experiment måste utföras för att testa teorin i denna rapport. Den experimentella uppställningen måste vara sådan att fukthalt i betong mäts på ett betongblock där apparaten får verka och på ett betongblock utan apparat. I övrigt måste de yttre betingelserna för de två betongblocken vara exakt desamma. I detta sammanhang vore det intressant att också jämföra hur apparaten verkar på ett betongblock nedsänkt i vatten och jämföra med ett betongblock som väts genom luftfuktighet.

6 Referenser

- [1] Chatterji, S.; Kawamura, M. *Cem. Conc. Res.* **1992**, 22, 774-782
- [2] Labbez, C.; Jönsson, B.; Pochard, I.; Nonat, A.; Cabane, B. *J. Phys. Chem. B* **2006**, 110, 9219-9230
- [3] Gray, D. H. *Nature*, **1969**, 223, 371-374
- [4] Xu, Z.; Hooton, R. D. *Cem. Conc. Res.* **1993**, 23, 951-961
- [5] Gandra, P. "Uppstigande markfukt", teknisk rapport. Rapporten kan hämtas genom länk: <http://it.civil.aau.dk/it/milvus/serfin/rapporter/fuktpm.pdf>
- [6] Hock, V.; Morefield, S.; McInerney, M.; Marshall, O.; Marsh, C.; Cooper, S.; Malone, P.; Weiss, C. Jr. *Materials Performance*, **2005**, 44, 42-47
- [7] Kristiansen, H. Patentnummer WO9816698
- [8] Sandrolini, L.; Reggiani, U.; Ogunsole, A. *J. Phys. D: Appl. Phys.* **2007**, 40, 5366-5372
- [9] Kommunikation per e-post mellan Stiftelsen Chalmers Industriteknik och Duo Handels & Förvaltning AB