ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra stavebních hmot

Ing. Lukáš Balík

Využití elektroosmózy k dodatečnému vysušování zdiva

The electroosmotic application for dewatering of walls

Disertační práce k získání akademického titulu Ph.D.

Školitel: **Doc. Ing. Luboš Svoboda, CSc.**

Doktorský studijní program: **STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ**
Studijní obor: **FYZIKÁLNÍ A MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ**

Praha, listopad 2004

Poděkování:

Děkuji upřímně všem, kteří mi svou podporou, radou i konkrétní pomocí pomáhali při zpracování předkládané práce. Zejména děkuji svému školiteli Doc. Ing. Lubošovi Svobodovi, CSc. za profesionální a trpělivé vedení, za množství cenných rad a připomínek a morální podporu. Nemohu opomenout pomoc Ing. Otomara Špalka CSc. při zpracování odborných experimentálních dat a paní Věry Machové za asistenci a pomoc v laboratoři při provádění experimentů.
Děkuji své ženě Daniele za pevnou oporu, za zázemí, které mi umožnilo dílo zpracovat a za oddané a nezištné převzetí rodinných povinností.

Předkládaná práce byla zpracována s podporou grantů CTU300100511, CTU0300411 a CTU0416631

Obsah

1. Úvod 7

2. Teoretická část 8

2.1 PŘÍČINY VLHNUTÍ ZDIVA STAVEBNÍCH OBJEKTŮ 9
2.1.1 Srážková voda 9
2.1.2 Podzemní voda 9
2.1.3 Voda obsažená ve vzduchu 10
2.1.4 destrukční jevy provázející vlhkost zdiva 11
2.1.5 Vodorozpustné soli 11
2.1.6 Korozní činnost solí 13
2.1.7 Některé Vlivy působící na transport vody stavebním materiálem 16
2.1.8 Pohyb kapalin porézním prostředím stavebních materiálů 23
2.1.9 Transport vody zdivem ostatními mechanismy 26
2.2 ELEKTROFYZIKÁLNÍ METODY 28
2.2.1 Kompenzační metoda 28
2.2.2 Pasivní elektroosmóza 29
2.2.3 Galvanoosmoza 30
2.2.4 Aktivní elektroosmóza 32
2.3 PŘEHLED NĚKTERÝCH SYSTÉMŮ, KTERÉ VYUŽÍVAJÍ AEO K ODVLHČOVÁNÍ ZDIVA 34
2.4 ELEKTROKINETICKÝ TRANSPORT 42
2.4.1 Elektrokinetické jevy 43
2.4.2 Elektrochemie – elektrodové jevy 44
2.4.3 Definice potenciálů 44
2.4.4 Elektrická dvojvrstva 48
2.4.5 Elektroosmóza 53
2.4.6 Elektrolýza 59
2.4.7 Elektroforéza 63

3. Formulace problému a přístup k řešení 67

3.1 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE 67

4. Experimentální část 68

4.1 ÚVAHA ZALOŽENÁ NA MATEMATICKÉM MODELU 68
4.2 VÝBĚR KOMPONENT A MATERIÁLŮ 73
4.2.1 Snímací aparatura 73
4.2.2 Kartuše 73
4.2.3 Multiplikační interface 74
4.2.4 Funkce PC 75
4.2.5. Program pro PC 75
4.2.6 Vodiče 77
4.2.7 Elektrody 77
4.3 UPŘESNĚNÍ METODIKY 78
4.3.1 Popis komunikace zařízení na měření elektroosmózy s PC 78
4.3.2 Ovládání programu 78
4.3.3 Struktura naměřených dat 80
4.3.4 Definice a vložení okrajových podmínek 80
4.4 ZKOUŠENÉ MATERIÁLY 81
4.5 POSUZOVANÉ PARAMETRY 83
4.6 TECHNOLOGICKÝ POSTUP 84

4.6.1 Fáze přípravná ... *84*
4.6.2 Fáze působení elektrického pole ... *85*
4.6.3 Fáze bezprostředního vyhodnocení po skončení experimentu ... *85*
4.6.4 Fáze ukládání do porovnávacích tabulek ... *86*
4.6.5 Fáze vyhodnocování experimentu ... *86*
4.6.6 Početní metody odvozených charakteristik ... *89*
4.7 VÝSLEDKY A DISKUZE ... 91
4.7.1 Průběh proudů při elektroosmóze ... *91*
4.7.2 Vyhodnocení účinnosti elektroosmózy z gradientu koncentrace vody ... *94*
4.7.3 Vyhodnocení homogenity nasákavosti vzorků stavebních materiálů ... *103*
4.7.4 Vyhodnocení změřených gradientů vlhkosti a transportu vody ... *104*
4.7.5 Vyhodnocení zeta – potenciálu u vybraných vzorků stavebních materiálů ... *119*
4.7.6 Vyhodnocení výparu a přesunu roztoku v rámci měření ... *123*

5. Závěr ... 124

6. Použité zdroje ... 127

Publikační činnost autora ... 130

7. Abstract ... 132

8. Přílohy ... 134

1. ÚVOD

Jedním ze závažných problémů, který jsme často nuceni při rekonstrukcích historických objektů řešit, je otázka dodatečného odvlhčení a odsolení zdiva. Před započetím technického řešení odvlhčení, by každý projektant měl zvážit faktory, které specifikují přístup k sanaci. Mezi tyto faktory patří:

1) současný technický a funkční stav objektu;
2) požadavky budoucího využití;
3) požadavky udržení historických aspektů;
4) finanční možnosti investora.

Vhodným podkladem pro řešení je provedení technicko – historického průzkumu objektu a jeho okolí. Tento průzkum by nám měl ozřejmit stavební záměr objektu a jeho technické řešení. Důležitým aspektem je odpověď na otázku, jaké bylo původní řešení izolace objektu, jak plnilo svůj účel a zda nedošlo v průběhu času k jeho nepochopení a porušení. Nejvýznamnějšími ovlivňujícími faktory řešení jsou však změna podmínek působení okolí na objekt a změna jeho funkčního využití.

Současný směr vývoje nových odvlhčovacích technologií je určován těmito kritérii:

- účinnost metody;
- požadavky na ochranu historických a technických hodnot konstrukcí;
- omezení destrukčnosti;
- maximální životnost opatření.

Je možné konstatovat, že žádná ze současných metod nesplňuje všechna tato kritéria, tak aby byly požadavky rovnoměrně a zároveň uspokojivě naplněny. Jednotlivé metody se však liší svou možností vývoje a bádání. Orientace současného výzkumu nových odvlhčovacích technologií klade důraz na metody co nejméně destruktivní. Jednou z možných cest řešení tohoto problému je použití elektrického pole, které může, za určitých podmínek, vytvořit sílu, která přesunuje vlhkost anodicko-katodickým směrem. Mezi hlavní výhody tohoto řešení je možná nedestrukčnost (anoda je instalována pod omítku) a katoda mimo konstrukci do země. Nevýhodou je závislost účinnosti systému na velkém množství určujících faktorů (materiál zdiva, množství a velikost pórů, koncentrace solí v elektrolytu, přítomnost dutin a kavern, ale i typ podloží, úroveň hladiny podzemní vody, její pohyb, teplota prostředí, velikost stejnosměrného napětí aj.).

Z těchto důvodů bylo na Katedře stavebních hmot fakulty Stavební v Praze přistoupeno k výzkumu elektroosmotických jevů ve stavebních materiálech.

2. TEORETICKÁ ČÁST

Působení vody na zdivo se snažíme omezit pomocí izolací, které v podstatě představují mechanickou překážku pronikání vody do zdiva. Tam, kde izolace nebyla součástí stavby, nebo tam, kde již dožila, se provádějí další opatření, které označujeme jako sanace vlhkého zdiva.

Sanační opatření pro dodatečná odvlhčení staveb lze rozdělit z hlediska jejich působení na:

a) opatření radikální;
b) opatření měnící prostředí působící na konstrukce;
c) opatření doplňující;

Opatření radikální lze definovat jako sanační zásah, při kterém dojde ke změně fyzikálně – chemických procesů v konstrukci vlivem přímého působení uvnitř konstrukce.

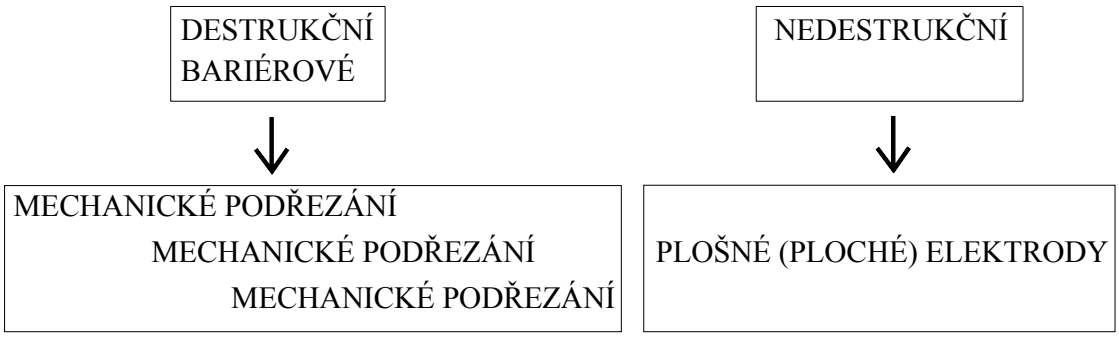
Opatření měnící prostředí působící na konstrukce nezasahují do fyzikálně – chemických procesů v konstrukcích primárně, nýbrž mění pouze vlastnosti prostředí, ve kterém se sanované konstrukce nachází.

Opatření doplňující jsou taková, která lze doporučit jako vhodné doplnění některého ze sanačních opatření, avšak nelze počítat s jejich samostatným odvlhčovacím účinkem. Jedná se především o aplikaci sanačních omítek a další povrchové úpravy.

Pro radikální opatření je charakteristický nutný větší či menší mechanický zásah do sanované konstrukce.

Bariérové metody sanace jako jsou podřezávání či vytvoření husté sítě infuzních vrtů představují, z dnešního hlediska, nešetrný zásah do konstrukce a jsou někdy označovány jako metody destrukční. Destrukční charakter má rovněž technika elektrokinetického vysoušení, pokud se při její realizaci používá prutových elektrod procházejících celým profilem konstrukce. Oproti tomu metody využívající elektrokinetických jevů pracující s plošnými nebo v mělkých drážkách uloženými elektrodami jsou ke konstrukci poměrně šetrnější a označují se tudíž jako nedestrukční.

RADIKÁLNÍ METODY SANACE VLHKÉHO ZDIVA



Když jsou nedestrukční elektrofyzikální metody používány již řadu let lze zaznamenat, že jsou někdy velmi úspěšné a jindy selhávají. V souvislosti s tím je pociťován nedostatek objektivních údajů o pohybu vody v reálném prostředí stavebních materiálů vystavených působení definovaného elektrického pole. Zamýšlená disertační práce si klade za cíl poznání některých těchto zákonitostí a jeho zavedení do praxe. Práce vyjde ze skutečností uvedených v této studii.

2.1 PŘÍČINY VLHNUTÍ ZDIVA STAVEBNÍCH OBJEKTŮ

Jedním z faktorů, které působí na stavební konstrukce a ovlivňují do jisté míry jejich funkci, je voda. Jev, který charakterizuje pronikání vody do stavebních konstrukcí, se nazývá vlhnutí. Příčin vlhnutí zdiva je mnoho, protože voda se dostává do stavební konstrukce ve skupenství kapalném i plynném, a to mnoha různými cestami. Přítomnost nadbytečné vody a její pohyb způsobují změnu fyzikálních a mechanických vlastností stavebního materiálu. Změny, ke kterým ve zdivu dochází, jsou způsobeny nejen přítomností čisté vody, ale také působením látek a organismů, kterým voda posloužila jako nosič. Než dojdeme k popisu pohybu vody ve stěně samotné, je potřeba popsat, z jakých zdrojů se do stěny dostává. Jedním z možných přístupů, je rozdělení vody na srážkovou, podzemní a obsaženou ve vzduchu (relativní vlhkost). Tyto zdroje se navzájem ovlivňují a jsou na sobě závislé.

2.1.1 SRÁŽKOVÁ VODA

Tato voda působí na objekt přímo a nepřímo. Přímé působení se projevuje jako kapky, které využívají trhlinek ve zdivu či v omítce a pronikají dovnitř nebo stékají volně po konstrukcích (např. komínových těles, větracích průduchů atd.) a dostávají se do míst, kde nejsou žádoucí. Pokud jsou kapky hnané větrem, dochází k tlakovému působení na povrchy konstrukcí (k jejich postupnému rozrušování) či k zavádění vody do míst, kam by se jiným působením nedostaly. Množství vody, které konstrukce pojme, závisí na nasákavosti stavebního materiálu a na stupni rozrušení.

Nepřímé působení se projevuje jako voda odstřikující od ostatních stavebních konstrukcí (parapetů, chodníčků atd.) a od terénu. Působení takové vody je obdobné jako v předchozím případě. Do této skupiny patří také voda, která uniká z vadných nebo nesprávně provedených instalací (žlaby, svody, parapety atd.)

2.1.2 PODZEMNÍ VODA

Konstrukce je vystavena tlakové vodě v případě, kdy je hladina podzemní vody nad úrovní základové spáry nebo je-li v podzemí tzv. otevřená voda v důsledku vadných instalací či nedořešeného odvodu dešťové vody pronikající do půdy.

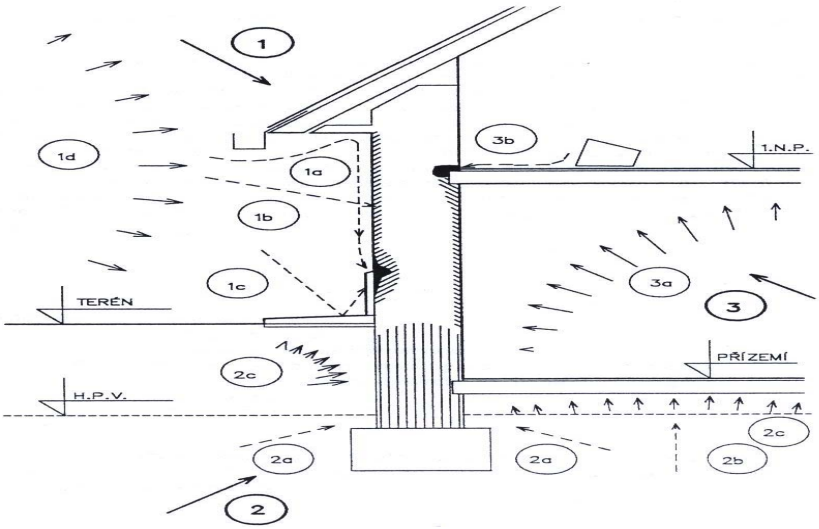
Pokud je hladina pozemní vody na nižší úrovni než je základová spára, dostává se voda k podzemní části konstrukce formou kapilárního vzlínání či formou difúze (záleží na druhu zeminy, tedy na velikosti pórů). Při difúzi se uplatňuje plynné skupenství vody, při transportu většími póry. Vodní pára pak na základovém zdivu kondenzuje a dostane se opět do skupenství kapalného. Následuje transport materiálem konstrukce tak, jak je popsáno v následující kapitole.

2.1.3 VODA OBSAŽENÁ VE VZDUCHU

Množství vodní páry obsažené ve venkovním vzduchu je závislé především na počasí. Maximální množství vodní páry, které může být ve vzduchu obsažené je významně ovlivněno teplotou vzduchu. Jestliže v důsledku poklesu teploty dojede k překročení určité hodnoty (tzv. rosného bodu), vodní pára kondenzuje. Z hlediska vlhnutí konstrukcí je zřejmé, že v letním období dochází ke kondenzaci vodní páry na povrchu konstrukcí, jehož teplota je nižší než zmiňovaná hodnota rosného bodu. V interiérech je množství vzdušné vlhkosti také významně ovlivněno provozem (tzn. počtem osob, způsobem vytápění, přípravou pokrmů aj.). Voda může kondenzovat i na stavebních prvcích, které jsou vedeny v konstrukci stěny (rozvody studené vody větrací potrubí atd.).

Stěny jsou schopny přijímat vodu obsaženou ve vzduchu také prostřednictvím hygroskopicity stavebního materiálu (tj. prostřednictvím solí obsažených ve zdivu, které mají hygroskopické vlastnosti) a prostřednictvím bioorganismů (houby, plísně atd.).

Na následujícím obrázku jsou tyto vlivy znázorněny:



Obr. 2.1 Rozdělení typů vlhkostí působících na objekt (1- srážková vlhkost, 2 – zemní vlhkost, 3- vlhkost v interiéru)

2.1.4 DESTRUKČNÍ JEVY PROVÁZEJÍCÍ VLHKOST ZDIVA

Tyto jevy mohou být fyzikálního, chemického a biologického charakteru. Podstatou rušivých fyzikálních procesů jsou objemové změny stavebního materiálu a s nimi související vznik napětí dostačující pro porušení struktury a soudržnosti stavební hmoty. Dochází k nim v důsledku teplotních a vlhkostních změn, krystalizačních a hydratačních tlaků při krystalizaci solí (viz. výše). V důsledku tepelného záření dochází ke změnám objemů jednotlivých materiálů, které jsou závislé na koeficientu tepelné roztažnosti daného elementu. I u téhož materiálu může dojít k rozdílné objemové změně podle krystalografické orientace a to rovněž způsobuje vznik nežádoucích napětí. Na chemické korozi se nepřímo podílí vítr. Chemickou korozi podmiňují zejména škodliviny v ovzduší, které napadají některé složky materiálu, jednak rozpustné sole difundující se spodní vodou a dále spolupůsobení některých mikroorganismů. Přítomnost chemických látek (rozpustných solí aj.) má pro porušování materiálu důležitý význam jak z hlediska jejich chemického, tak i fyzikálněchemického působení. Agresívní rozpustné sole se vyskytují i v hornině, humusu půdy a vodě. Biologická koroze úzce souvisí s vlhkostí proto, že organismy vyvolávající biodegradaci potřebují ke svému životu vodu. Vlhkostní korozi pak způsobují růstové tlaky těchto organismů a chemické působení jejich metabolizmů.

2.1.5 VODOROZPUSTNÉ SOLI

Voda, která proniká do porézní struktury stavebních materiálů není čistá, obsahuje větší či menší množství rozpustných solí. Původ těchto solí je v materiálu samém (rozpouštění některé ze složek, produkty korozních procesů), v půdě (hlavně sírany), z posypových solí pocházejí převážně chloridy, někdy dusičnany, (tam, kde se v zimě pro odstraňování sněhu a ledu používá močovina). Zdrojem dusičnanů jsou velice často i organické zbytky, proto jsou velké obsahy těchto solí ve zdech stájí, v blízkosti odpadů a záchodů, ale např. i na hřbitovech. V současné době bývají zdrojem dusičnanů i průmyslová hnojiva v zemědělských objektech. Chloridy jsou ve velkém množství ve skladištích nasoleného masa atd.

Jako důsledek působení živých organismů - bakterií, hub i vyšších rostlin- je možno na povrchu i ve struktuře stavebních materiálů vedle dusičnanů nalézt i některé další soli - hlavně soli organických kyselin. Soli mohou pocházet i z nevhodných zásahů při čištění, konzervování, nebo rekonstrukčních pracích. Velmi nebezpečné je z tohoto hlediska používání silných anorganických kyselin např. při čištění fasád nebo kamene.

Kritická množství solí v konstrukci se velmi liší podle typu materiálu, charakteru soli, přítomnosti vlhkosti atd. Obecná stanovení mezních množství obsahů daných solí v konstrukci si

donedávna jednotlivé firmy určovaly sami ve svých interních kritériích (příkladem jsou následující tabulky 2.1., 2.2.). V současné době platí předpisy normy ČSN 73 0610 (tab. 2.3.).

SALINITA ZDIVA (v %hm.)

Tab.2.1 Vnitřní kriteria fy. Baumit

DRUH SOLÍ	ZATÍŽENÍ SOLEMI				
	Negativní = 0	Slabé = 1	Střední = 2	Silné = 3	vztaženo na
Nitráty	< 0,02 % < 0,03 %	0,02 - 0,12 % 0,03 - 019 %	0,012 - 0,5 % 0,19 - 0,8 %	>0,5 % >0,8 %	NO_3 $Ca(NO_3)_2$
Sulfáty	0 - 0,2 % 0 - 0,8 %	0,2 - 0,8 % 0,28 - 1,13 %	0,8 - 1,6 % 1,13 - 2,26 %	>1,6 % 2,26 %	SO_4 $CaSO_4$
Chloridy	0 - 0,05 % 0 - 0,08 %	0 - 0,05 - 0,3 % 0 - 0,08 - 0,47%	0,3 - 0,8 % 0,47 - 1,24 %	>0,8 % >1,24 %	Cl $CaCl_2$

Tab. 2.2 Vnitřní kriteria fy. Bayosan

Sůl	zátěž solemi			
	negativní	slabé	střední	silné
Nitráty	< 0,02 <0,03 <10 mg/l	0,02 - 0,1 % 0,03 - 0,13 % 10 - 50 mg/l	0,1 - 0,5 % 0,13 - 0,66 % 50 - 250 mg/l	> 0,5 % > 0,66 % > 250 mg/l
Sulfáty	0,8 % < 1,2 % < 10 mg/l	0,8 - 1,6 % 1,2 - 2,4 % 400 - 800 mg/l	1,6 - 2,4 % 2,4 - 3,6 % 400 - 800 mg/l	> 2,4 % > 3,6 % > 1200 mg/l
Chloridy	0 - 0,05 % 0 - 0,08 % 25 mg 1 kapka	0,05 - 0,3 % 0,08 - 0,47 % 25 - 150 mg 1 - 6 kapek	0,3 - 0,8 % 0,47 - 400 mg 175 - 400 mg 7 - 16 kapek	> 0,8 % > 1,25 % > 400 mg > 16 kapek

Tab. 2.3 Kriteria ČSN 73 0610

Stupeň zasolení zdiva	Obsah solí v mg vzorku a v procentech hmotnosti					
	Chloridy		Dusičnany		Sírany	
	mg/g	% hmotn.	mg/g	% hmotn.	mg/g	% hmotn.
Nízký	do 0,75	do 0,075	do 1	do 0,1	do 5	do 0,5
Zvýšený	0,75-2,0	0,075-0,20	1,0-2,5	0,1-0,25	5,0-20	0,5-2,0
Vysoký	2,0-5,0	0,20-0,50	2,5-5,0	0,25-0,50	20-50	2,0-5,0
Velmi Vysoký	více než 5,0	více než 0,5	více než 5,0	Více než 0,5	více než 50	více než 5,0

Z četných rozborů stavebních materiálů vystavených působení okolí je dokázáno, že obsahují chloridy a dusičnany v množství do 0,3 % hmotnosti. Zjištěný obsah solí závisí na způsobu odběr vzorku, na tom, zda se jedná o povrchovou vrstvu (kde obvykle bývá obsah solí vyšší) nebo o hmotu materiálu v hloubce pod povrchem.

Rozpustnost jednotlivých solí ve vodě se značně liší. Hodnoty rozpustnosti některých běžných solí při teplotě 18 ^{0}C jsou uvedeny v tabulce 2.4.

Vysoká rozpustnost některých solí je i příčinou jejich velké pohyblivosti. Ve formě roztoků mohou být transportovány z míst s vyšším obsahem do partií, kde je jejich koncentrace nižší, např. ze starého zdiva do zdiva nového, jsou-li ve vzájemném kontaktu. Rychlost transportu je dána hlavně množstvím vody v pórech.

Tab. 2.4 Rozpustnost běžných sol í [7]

	Rozpustnost (g soli v 1 litru)	
Sůl	vápenatá	hořečnatá
Uhličitan CO_3^{2-}	0,013	0,094
Síran SO_4^{2-}	2,02	362,0
Siřičitan SO_3^{2-}	0,043	12,5
Dusičnan NO^{-3}	121,0	701,0
Chlorid Cl^-	745,0	545,0

2.1.6 KOROZNÍ ČINNOST SOLÍ

Při odpařování vody z roztoku se koncentrace solí zvyšuje. Pokud přesáhne hodnotu rozpustnosti při dané teplotě, začnou se vylučovat krystalky příslušné soli. Některé soli krystalizují v bezvodém stavu, jiné obsahují tzv. krystalickou vodu. Do první skupiny patří např. chloridy sodný nebo draselný, do druhé sírany vápenatý, hořečnatý a sodný, dusičnany hořečnatý a vápenatý atd. Některé soli jsou schopny přijímat z okolí nebo naopak předávat do okolí vodu ve formě vodní páry, jsou hydroskopické (chlorid vápenatý, dusičnan draselný, síran sodný atd.). Při tom může docházet ke změně jejich krystalické struktury, aniž by přecházely do roztoku. Jak krystalizační tak hydratační změny jsou doprovázeny změnou objemů a tedy krystalizačními resp. hydratačními tlaky. Tyto síly

jsou hlavním důvodem destruktivního působení vodorozpustných solí na porézní materiály. Dochází-li k uvedeným pochodům v pórech materiálu, působí zmíněné tlaky na stěny pórů ve snaze je oddálit od sebe a tím materiál destruují. Někteří autoři uvádějí, že krystalizační tlaky mohou dosahovat ve nepříznivých případech hodnot stovek až tisíců hektopascalů (řádově 10^4 až 10^5 Pa). Je zřejmé, že těmto tlakům nemůže trvale žádný materiál odolávat. Následující tabulky ukazují nejčastější reakce roztoků solí, ke kterým dochází ve stavebních materiálech a následné zvětšení objemu podle A. I. Minase a Webera.

Tab. 2.5 Nárůst objemu krystalů solí

Původní látka	Reagující látka	Výsledná látka	Zvětšení objemu (%)
$Ca(OH)_2$	CO_2	$CaCO_3$	6
$Ca(OH)_2$	$SO_2 + H_2O$	$CaSO_4 . 2 H_2O$	130
$Ca(OH)_2$	$HCl + H_2O$	$CaCl_2 . 6 H_2O$	305
$MgSO_4 . H_2O$	H_2O	$MgSO_4 . 6 H_2O$	145
$MgSO_4 . 6 H_2O$	H_2O	$MgSO_4 . 7 H_2O$	11
$CaCl_2 . 2 H_2O$	H_2O	$CaCl_2 . 4 H_2O$	35
$CaCl_2 . 4 H_2O$	H_2O	$CaCl_2 . 6 H_2O$	24
$NaCl$	H_2O	$NaCl . 2 H_2O$	130
$Na_2CO_3 . H_2O$	H_2O	$Na_2CO_3 . 10 H_2O$	148
Na_2SO_4	H_2O	$Na_2SO_4 . 10 H_2O$	311

Tab. 2.6 Krystalické tlaky v MPa

Vznikající látka	Tlak (MPa)
$CaSO_4 . 1/2 H_2O$	132
$CaSO_4 . 2 H_2O$	111
$MgSO_4 . 7H_2O$	41
$MgSO_4 . 6H_2O$	49
$MgSO_4 . H_2O$	107
$NaSO_4 . 10 H_2O$	27
$NaSO_4$	115
$NaCl$	219
$Na_2CO_3 . H_2O$	110
$Na_2CO_3 . 7 H_2O$	36
$Na_2CO_3 . 10 H_2O$	30

K nejškodlivějším solím, které mohou způsobit škodlivé rozrušování zdiva (podle předchozí tabulky) patří:

a) sírany

$MgSO_4 . 7H_2O$ - síran hořečnatý, tzv. hořká sůl, která vzniká působením vzdušného oxidu siřičitého na sloučeniny obsahující Mg ve zdivu

$Ca\ SO_4\ .\ 2\ H_2O$ - síran vápenatý, vzniká působením oxidu siřičitého ve vzduchu a reakcí s vápenatými sloučeninami

$Na_2\ SO_4\ .\ 10\ H_2O$ - síran sodný, Glauberova sůl, vzniká často u cihel, když se použije paliva obsahujícího síru a suroviny obsahující alkálie

$3CaO\ .\ Al_2\ O_3\ .\ 3Ca\ SO_4\ .\ 32H_2O$ - ettringit, tzv. Candlovova sůl, působí rozpínání u betonu a vzniká vlivem působení síranu na trikalcium aluminát.

b) dusičnany

$Ca\ (NO_3)_2\ .\ 4H_2O$ - dusičnan vápenatý, obvykle vzniká při působení rozkladných organických látek, které obsahují dusík za přístupu vzduchu s látkami ve zdivu obsahujícími Ca

$Mg\ (NO_3)_2\ .\ 6H_2O$ - dusičnan hořečnatý, obdobně jako u dusičnanu vápenatého vzniká tam, kde jsou sloučeniny Mg

c) chloridy

$CaCl_2\ .\ 6H_2O$ - chlorid vápenatý vzniká z předávkování mrazuvzdorné přísady nebo působením jiných chloridů na vápenaté sloučeniny

NaCl, KCl - chlorid sodný a chlorid draselný se dostávají do zdiva z půdy

d) uhličitany

$CaCO_3$ - uhličitan vápenatý , vápenec, vzniká rozkladem roztoků $Ca\ (HCO_3)_2$ vzniklých působením vody, která obsahuje oxid uhličitý ze vzduchu na staviva obsahující $Ca\ (OH)_2$

$Na_2\ CO_3\ .\ 10H_2O$ - uhličitan sodný, soda, vzniká působením oxidu uhličitého ze vzduchu a z vody na některé sloučeniny

$K_2\ CO_3$ - uhličitan draselný, potaš, vzniká obdobně jako soda, tj. působením na draselné sloučeniny.

Destrukčně působí ve zdivu také vody při teplotách pod bodem mrazu. Uvádí se, že tlak zmrzlé vody v dutinách a kapilárách dosahuje až 200 MPa.

Hygroskopické soli navíc způsobují zavlhání stavebních konstrukcí sorpcí vzdušné vlhkosti, které se vizuálně projevuje hlavně vznikem tmavých, vlhkých skvrn na fasádě. Vlhké konstrukce, jak je známo, mají rovněž podstatně horší termoizolační vlastnosti než konstrukce suché.

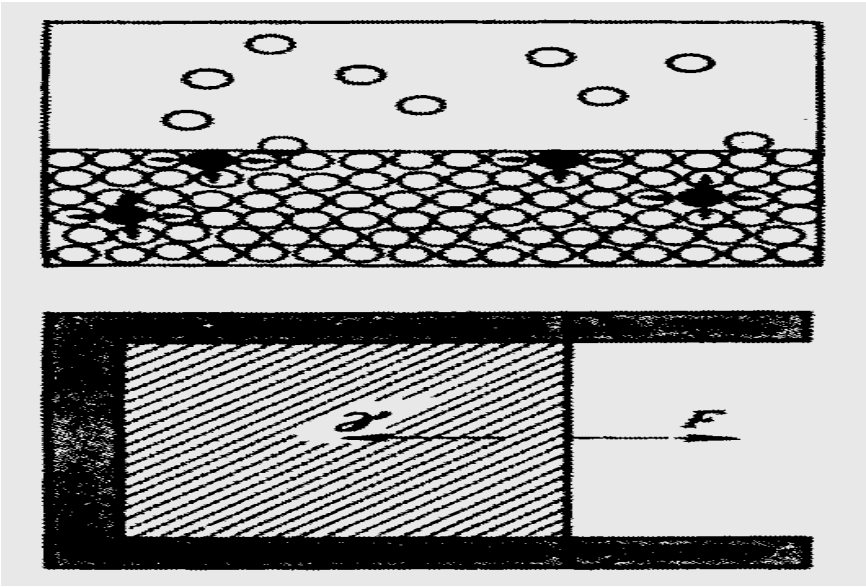
U reálných staveb bývají největšímu nebezpečí korozního působení vodorozpustných solí vystaveny soklové partie. Soli jsou téměř pravidelným problémem sklepních prostorů historických staveb. Konkrétně např. gotická sklepení domů, která dnes bývají často rekonstruována na společenské, restaurační či podobné prostory představují velký problém. Konstrukci zdiva zpravidla

chybí izolace proti okolní vlhkosti, původní kámen bývá již částečně narušen korozí a při zvýšení teploty v prostorách během rekonstrukce a hlavně při provozu pracují stěny jako knot. Zemní vlhkost, přinášející množství soli proniká z půdy do konstrukce zdiva a odtud k povrchu, kde se voda odpařuje. Již před tím narušený kámen potom velice snadno podléhá destrukci vlivem krystalizačních tlaků přítomných solí.

2.1.7 NĚKTERÉ VLIVY PŮSOBÍCÍ NA TRANSPORT VODY STAVEBNÍM MATERIÁLEM

2.1.7.1 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ

Soustava znázorněná na obr. 2.2 představuje kapalinu, která je ve styku se svou párou. Chceme-li zvětšit plochu mezifázového rozhraní, musíme převést odpovídající počet molekul z vnitřku kapaliny na její povrch, což znamená, že musíme vykonat určitou práci proti kohezním silám působícím v kapalině. Z toho plyne, že kapalina v mezifází má vyšší molární volnou energii (myslí se tím obecně Helmhotzova energie A nebo Gibbsova energie G podle toho, zda jde o děj izochoricko - izotermický, nebo izobaricko - izotermický) než táž kapalina ve fázi objemové.



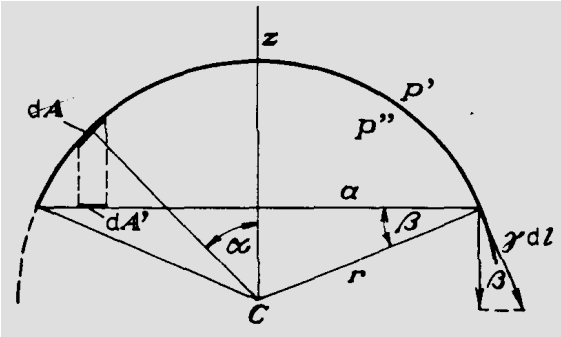
Obr. 2.2 Mezifáze kapalina - pára. Ke zvětšení povrchu, s nímž je spojeno převedení odpovídajícího počtu molekul z vnitřku kapaliny na její povrch, je třeba soustavě dodat práci (viz schéma v dolní části obrázku)

V roce 1805 ukázal Thomas Young, že mechanické vlastnosti povrchu kapaliny je možno přirovnat k vlastnostem jakési hypotetické blány napnuté přes povrch kapaliny. Pro tuto blánu je charakteristické silové působení, které lze vystihnout povrchovým napětím, což je síla vztažená na

jednotku délky. Povrchové napětí γ působí v rovině povrchu a vždy takovým směrem, že klade odpor všem snahám zvětšit plochu povrchu. Jednotkou povrchového napětí v soustavě SI je $N.m^{-1}$. Ve skutečnosti rozhraní oddělující dvě fáze, α a β, je oblastí nějaké konečné tloušťky, v níž se uskutečňuje postupný přechod od vlastností fáze α k vlastnostem fáze β. Po stránce mechanických vlastností je však možno takovou mezifázovou oblast nahradit myšlenkovým modelem napjaté blány infinitezimální tloušťky, jež představuje jakousi náhradní dělící plochu mezi oběma oblastmi, nazývanou plocha působení napětí. Je možno rigorózně dokázat, že vlastnosti povrchové vrstvy plně postačují k jednoznačnému určení a) plochy působení napětí a b) hodnoty povrchového napětí působícího v této ploše.

2.1.7.2 YOUNGOVA - LAPLACEOVA ROVNICE

Myšlenka povrchového napětí byla jednou s těch velkých zjednodušujících představ, které otvírají cesty k dalšímu vývoji příslušné vědecké disciplíny. S pomocí tohoto pojmu se totiž Youngovi a později nezávisle na něm i Laplaceovi podařilo explicitně odvodit podmínku mechanické rovnováhy pro obecný zakřivený povrch mezi dvěma fázemi. Na obr. 2.3 je znázorněn kulový povrch s poloměrem křivosti r.



Obr. 2.3 Odvození Youngovy - Laplaceovy rovnice

Zvolíme-li si určitý element povrchu dA a určíme-li sílu na něj působící, tak dostaneme tlak (p" - p´) (tj. sílu na jednotku plochy), který působí kolmo na tento element dA , takže síla která na něj působí je rovna (p" - p´) dA. Složka této síly ve směru osy z je (p" - p´) dA cos α = (p" - p´) dA´. Sečtením těchto silových přízpěvků pro všechny plošné elementy celého kulového vrchlíku pak dostaneme pro z–ovou složku celkové síly, působící na kulový vrchlík, výraz (p" - p´) πa^3. Tato síla se snaží zvětšit povrch kapaliny proti působení povrchového napětí. Povrchové napětí přitom působí na každý element obvodu základny vrchlíku dl silou γ dl a složka této síly ve směru osy z je - γ cos β dl. Celková síla F, působící ve směru osy z v důsledku povrchového napětí je rovna -γ cos β $3\pi a$, takže pokud platí cos β = a/r platí pro ni také F = $-3\pi\gamma a^3/r$. Protože daná soustava je

souměrná podle osy z, musí výslednice všech sil působících kolmo k této ose být rovna nule. Podmínkou rovnováhy je tudíž požadavek, aby se také složky sil působících ve směru osy z navzájem rušily, tzn. aby platilo

$$(p'' - p')\pi a^3 - 3\pi\gamma a^3/r = 0 \qquad (2.1.7.2.1)$$

Odtud přímo plyne Youngova – Laplaceova rovnice pro kulový povrch :

$$p'' - p' = 3\gamma/r \qquad (2.1.7.2.2)$$

Tato rovnice ukazuje, že v důsledku existence povrchového napětí v kulovém povrchu o poloměru křivosti r se mezi tekutinami udržuje mechanická rovnováha jen tehdy, když tlaky p“ a p´nejsou stejné. V případě rovinného povrchu se ovšem poloměr křivosti stává nekonečně velkým a podmínka rovnováhy nabývá jednoduchého tvaru p“ = p´. Obecný je možno v libovolném bodě charakterizovat dvěma poloměry křivosti r_1 a r_3; v tomto případě přechází Youngova-Laplaceova rovnice na tvar

$$p'' - p' = 3\,\gamma\,(\,1/r1 + 1/r3\,) \qquad (2.1.7.2.3)$$

Použití rovnice (2.1.7.2.3) je možno ukázat na příkladu kapičky rtuti o poloměru $r = 10^{-4}$ m. Jde-li o rozhraní rtuť-vzduch, je při 393 K povrchové napětí $\gamma = 476 \,.\, 10^{-3}$ $N.m^{-1}$, takže podle uvedené rovnice vychází

$$p'' - p' = 3.476 \,.\, 10^{-3} / 10^{-4} = 9{,}53 \,.\, 10^3 \text{ Pa} = 9{,}53 \text{ kPa}$$

2.1.7.3 POVRCHOVÁ NAPĚTÍ ROZTOKŮ

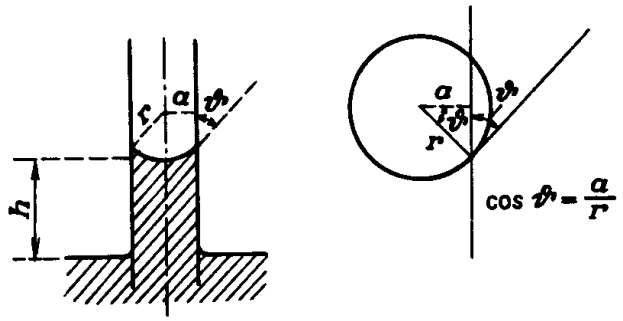
Vliv rozpuštěných látek na povrchové napětí rozpouštědla závisí na jejich struktuře. Zjistilo se, že povrchové napětí vody lze výrazně snížit přidáním některých látek, které se vyznačují tím, ze obsahují jak polární hydrofilní skupinu, tak nepolární hydrofobní skupinu. Hydrofilní skupina, např. –COOH u mastných kyselin, způsobuje, že pokud není nepolární zbytek molekuly příliš velký, je látka docela dobře rozpustná. Příkladem těchto látek mohou být mastné kyseliny. Hydrofobní uhlovodíkové řetězce mastných kyselin však jsou uvnitř vodného roztoku ve stavu vysoké volné energie, a je proto třeba jen velmi malé práce k tomu, aby se dostaly z vnitřku roztoku na povrch.

Povrchové vrstvy roztoku touto rozpuštěnou látkou obohaceny (rozpuštěná látka je na fázovém rozhraní pozitivně adsorbována).

Naproti tomu ionty vznikající při rozpouštění anorganických solí, většinou způsobují, že povrchové napětí vodných roztoků je ve srovnání s hodnotou pro čistou vodu poněkud vyšší, i když tato zvýšení jsou méně výrazná než snížení vyvolaná mastnými kyselinami a podobnými sloučeninami. Příčinou tohoto pozorovaného vzrůstu povrchového napětí je to, že rozpuštěné ionty působí přitažlivými silami typu ion-dipól na molekuly vody v povrchu a snaží se je tak vtáhnout dovnitř roztoku. Na vytvoření nového povrchu je proto v souvislosti s překonáváním těchto přitažlivých elektrostatických sil nutno vynaložit jistou práci navíc. Z toho vyplývá, že v takových roztocích jsou povrchové vrstvy na rozpuštěnou látku chudší (rozpuštěná látka je na fázovém rozhraní adsorbována negativně).

2.1.7.4 KAPILARITA

Vzestup či pokles hladiny kapalin v kapilárních trubicích a využití tohoto jevu k měření povrchového napětí je možno podrobit kvantitativnímu zpracování na základě Youngovy – Laplaceovy rovnice (2.1.7.2.2). To, zda kapalina ve skleněné kapiláře stoupá, jak je tomu např. u vody, nebo zda v ní klesá, jako např. rtuť, závisí na tom, jak velké jsou kohezní síly působící mezi molekulami v kapalině samé v poměru k adhezním silám působícím mezi kapalinou a stěnami kapiláry. Tyto síly určují úhel smáčení (čili kontaktní úhel) ϑ, který svírá povrch kapaliny se stěnami trubice (obr. 2.4). Je-li tento úhel menší než 90°, říká se, že kapalina povrch tuhé látky smáčí.



Obr. 2.4 Vzestup v kapiláře, k němuž dochází u kapaliny smáčející stěny trubice

V tomto případě se tvoří konkávní meniskus. Kontaktní úhel větší než 90° znamená naopak, že kapalina povrch látky tuhé nesmáčí a že se v trubici vytvoří meniskus konvexní. Jak je vidět na obr. 2.5, vede vznik konkávního menisku k vzestupu kapaliny v kapiláře čili k tzv. kapilární elevaci.

Jakmile se totiž vytvoří konkávní meniskus, je tlak p´ pod zakřiveným povrchem nižší než tlak p´´ nad ním, přičemž však tento tlak p´´ je stejný jako tlak na obou stranách rovinného povrchu. Kapalina proto v trubici vystoupí do takové výše, při které hydrostatický tlak převyšujícího sloupce kapaliny právě vyrovná tlakový rozdíl p´´ - p´ a obnoví tak hydrostatickou rovnováhu. Sloupec kapaliny pak může přímo sloužit jako manometr, na němž je možno odečíst rozdíl tlaků panujících na obou stranách zakřiveného menisku.

Pro trubici kruhového průřezu (obr. 2.4), jejíž vnitřní poloměr a je tak malý, že povrch menisku je možno pokládat za část kulové plochy o poloměru r, platí $\cos \vartheta = a / r$. Dosazením do rovnice (2.1.7.2.2) pro tlakový rozdíl výraz $\Delta p = (2\gamma \,.\, \cos \vartheta) / a$. Vystoupila-li kapalina o hustotě ρ do výše h a je-li ρ_0 hustota plynu nad kapalinou, je uvedený tlakový rozdíl Δp kompenzován hydrostatickým tlakem sloupce kapaliny, jenž je dán výrazem $h \,.\, (\rho - \rho_0) \,.\, g$, kde g je tíhové zrychlení. Platí tedy podmínka $(2 \,.\, \gamma \,.\, \cos \vartheta) / a = h \,.\, (\rho - \rho_0) \,.\, g$, z níž plyne:

$$\gamma = 1 / 2 \,.\, h \,.\, (\rho - \rho_0) \,.\, g \,.\, a / \cos \vartheta \qquad (2.1.7.4.1)$$

Do rovnice (2.1.7.4.1) by ovšem měla být zahrnuta korekce na hydrostatický tlak té kapaliny, která je ještě nad úrovní nejnižšího bodu menisku (tj. nad tou úrovní, ke které se měří výška sloupce h). V první aproximaci lze meniskus pokládat za polokouli o poloměru a, která má objem $3 / 3 \,.\, \pi \,.\, a^3$; objem zmíněné kapaliny je $\pi \,.\, a^3 - 3 / 3 \,.\, \pi \,.\, a^3 = 1 / 3 \,.\, \pi \,.\, a^3$, takže vztah (2.1.7.4.1) lze napsat v korigovaném tvaru:

$$\gamma = (a \,.\, (\rho - \rho_0) \,.\, g / 3 \,.\, \cos \vartheta) \,.\, (h + a / 3) \qquad (2.1.7.4.2)$$

U kapilár většího vnitřního průměru, kde již aproximace založená na představě kulového povrchu menisku přestává vyhovovat, se pracuje s vypočtenými korekčními faktory, které se uvádějí v grafické nebo tabelární formě. Pokud se provedou všechny nezbytné korekce, je metoda kapilární elevace pravděpodobně nejpřesnější metodou pro měření povrchového napětí; poskytuje hodnoty přesné na 0,03%.

Abychom si mohli učinit obraz o tom v jakém rozmezí se pohybují hodnoty povrchového napětí, jsou v následujících tabulkách uvedeny některé vybrané údaje. Mimořádně vysoké hodnoty povrchového napětí mají ty kapaliny, v nichž působí veliké kohezní síly. Dosud ne zcela zvládnutým problémem je přímý výpočet povrchového napětí na základě teorie mezimolekulových sil. Teoretickým výpočtům jsou nejpřístupnější povrchová napětí zkapalněných vzácných plynů.

Tab. 2.7. a Povrchová napětí čistých látek při 393 K

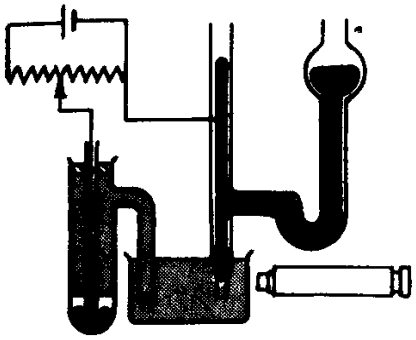
Látka	γ/mN m^{-1}	Látka	γ/mN m^{-1}
Isopentan	13,73	Ethyljodid	39,9
Tetrakarbonylnikl	14,6	Benzen	38,86
Diethylether	17,10	Tetrachlormetan	36,66
Hexan	18,43	Dijodmetan	50,76
Ethanthiol	31,83	Sirouhlík	33,33
Ethylbromid	34,16	Voda	73,75

Tab. 2.7. b Povrchové napětí kapalných kovů a roztavených solí

Látka	T/K	γ/mN m^{-1}	Látka	T/K	γ/mN m^{-1}
Ag	1343	800	AgCl	735	136
Au	1343	1000	NaF	1383	360
Cu	1403	1100	NaCl	1373	98
Hg	373	470	NaBr	1373	88

2.1.7.4 ELEKTROKAPILARITA

Přítomnost jistého výsledného elektrického náboje na povrchu snižuje povrchové napětí, protože odpuzování nábojů téhož znaménka zmenšuje práci potřebnou ke zvětšení povrchu. Kvantitativní měření tohoto jevu je možné provést pomocí kapilárního elektrometru (obr 2.5).



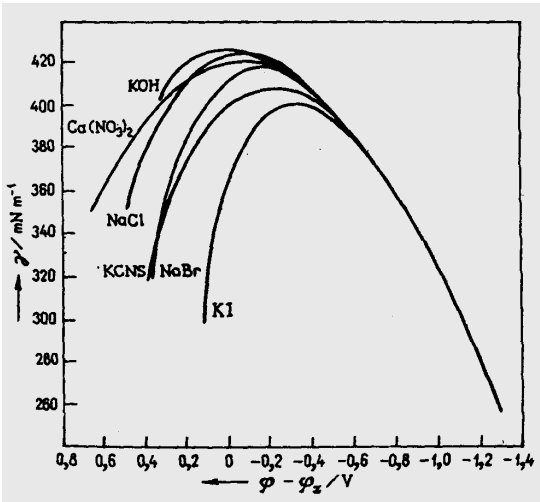
Obr. 2.5 Lippmannův přístroj pro pozorování elektrokapilárního jevu. Dalekohled s malým zvětšením je zaostřen na meniskus rtuti v kapilární elektrodě [8].

Toto zařízení je vlastně elektrochemický článek, jehož jednu elektrodu tvoří rtuť v kapiláře a druhou je nepolarizovatelná referenční elektroda (např. kalomelová). Vnější zdroj stejnosměrného napětí umožňuje vložit mezi rtuťovou kapilární elektrodu a rtuťový přívod kalomelové elektrody nastavitelné elektrické napětí.

O rtuťové elektrodě, jež je ve styku s roztokem nereaktivní soli, lze předpokládat, že se chová jako ideálně polarizovatelná elektroda. Mezi rtutí a roztokem nedochází ovšem k žádnému přenosu elektronů nebo iontů a tak jediným účinkem vloženého potenciálového rozdílu $\Delta\varphi$ je změna hustoty náboje Q/A na povrchu rtuti.

Změna hodnoty Q/A je však provázena odpovídající změnou povrchového napětí rtuti, což způsobuje, že se hodnota menisku (sledovaná pomocí dalekohledu s malým zvětšením) v kapiláře posune.

Změna povrchového napětí γ se přitom zjišťuje ze zvýšení resp. snížení hladiny rtuti v rezervoáru, kterého je třeba k tomu, aby se meniskus rtuti v kapiláře vrátil do své původní polohy. Získá se tak křivka závislosti γ - $\Delta\varphi$, která se označuje jako elektrokapilární křivka. Několik příkladů takových křivek ukazuje obr. 2.6.



Obr.2.6 Elektrokapilární křivky pro rtuť ve styku s různými elektrolyty při 18 °C. Potenciály jsou vztaženy k hodnotě φ_z, což je potenciál, při němž je nulový náboj na povrchu rtuti jsoucí ve styku s elektrolytem, který nejeví specifickou adsorpci iontů (např. fluoridu sodného) [8].

Ideálně nepolarizovaná elektroda a ideálně polarizovatelná elektroda představují mezní případy, které je možno exaktně zpracovat na základě termodynamiky. David Graham [8] a jiní podali ve svých pracích exaktní termodynamické odvození vlastností elektrické dvojvrstvy na ideálně polarizovatelných elektrodách. Jednou ze základních rovnic je rovnice Lippmannova :

$$\left(\frac{\partial\gamma}{\partial\varphi}\right)_{T,p,\mu} = -\frac{Q}{A} \qquad (2.1.7.4.1)$$

Podle tohoto vztahu udává směrnice tečny elektrokapilární křivky povrchovou hustotu náboje na elektrodě. Odvození rovnice (2.1.7.4.1) jež je založeno na Gibbsově rovnici [8] str. 495, lze nalézt v citované práci Grahamově. I bez tohoto odvození lze pochopit význam tohoto vztahu, když jej přepíšeme jako podmínku rovnováhy ustavené při konstantách T, p a složení :

$$A \,.\, d\gamma + Q \,.\, d\varphi = 0 \qquad (2.1.7.4.2)$$

Z této rovnice vyplývá, že změna Gibbsovy energie vyvolaná změnou γ právě vyvažuje změnu, kterou se v Gibbsově energii projeví změna elektrického potenciálu náboje Q na povrchu.

Z rovnice je přímo vidět, že maximum na elektrokapilární křivce odpovídá nulové povrchové povrchové hustotě náboje. Pro řadu elektrolytů má potenciál odpovídající nulovému náboji na povrchu rtuti hodnotu asi 0,5 V (vztaženo k normální kalomelové elektrodě); pro některé elektrolyty se však tento potenciál od uvedené hodnoty značně odchyluje. V takových případech může jít o vliv specifické adsorpce iontů na povrchu rtuti. Při většině takovýchto výzkumů bylo používáno rtuťových elektrod, neboť jsou homogenní, čisté a prosté pnutí. Základní teorie je totiž stejně dobře aplikovatelná na jiné elektrody i na povrchy membrán; pouze experimentální stránka věci je obtížnější.

Kapacita dvojvrstvy je definována výrazem

$$C = \frac{1}{A} \,.\, \left(\frac{\partial Q}{\partial \varphi}\right)_{T,p,\mu} = -\left(\frac{\partial^3 \gamma}{\partial \varphi^3}\right)_{T,p,\mu} \qquad (2.1.7.4.2)$$

K získání experimentálních dat o dvojvrstvách se často užívá měření kapacity pomocí můstku na střídavý proud.

2.1.8 POHYB KAPALIN PORÉZNÍM PROSTŘEDÍM STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Jak již bylo uvedeno ve vzorci (2.1.7.4.1), pro výšku vzlinutí roztoku h v kapiláře kruhového poloměru tak malého, že povrch menisku lze pokládat za část kulové plochy platí:

$$h = \frac{\gamma \,.\, 3 \cos \vartheta}{a \,.\, (\rho - \rho_0) \,.\, g} - \frac{a}{3} \qquad (2.1.8.1)$$

kde : a ... je poloměr kapiláry

ρ … je hustota kapaliny

ρ_0 … je hustota plynu nad kapalinou

γ … povrchové napětí (rovno parciální derivaci Gibbsovy energie podle plochy povrchu za konstantních T a p (mN / m))

ν … úhel smáčení

g … tíhové zrychlení

U kapilár většího vnitřního průměru, kde již aproximace založená na představě kulového povrchu menisku přestává vyhovovat, se pracuje s vypočtenými korekčními faktory, které se uvádějí v grafické nebo tabelární formě.

Pro rychlost vzlínání (v) platí vztah :

$$v = \frac{r \cdot \gamma \cdot \cos \vartheta}{4 \cdot \eta \cdot h} \text{ (cm / s)} \qquad (2.1.8.2)$$

kde: r … poloměr kapiláry

η… viskosita kapaliny

Čas t, který potřebuje voda k dosažení výšky h, se vypočítá podle vzorce :

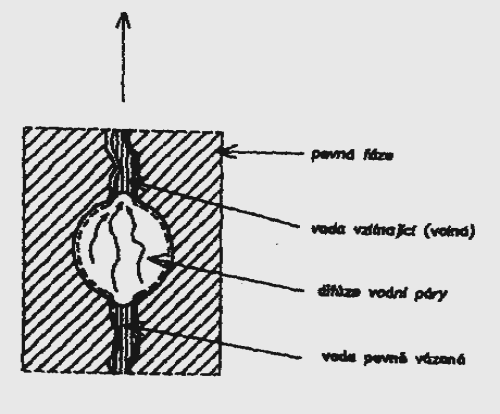
$$t = -\frac{3 \cdot \eta \cdot h^3}{r \cdot \gamma \cdot \cos \vartheta} \qquad (2.1.8.3)$$

K vybraným průměrům kapilár podává přehled o hodnotách h, v, t následující tabulka, která platí pro destilovanou vodu o teplotě 30 ^{0}C a kruhové průběžné kapiláry.

Tab. 2.8 Přehled hodnot výšky vzlinutí, rychlost vzlínání a času

Poloměr kapiláry	1mm	0,1 mm	0,01mm	0,001mm	0,0001mm
h – maximální výška vzlinutí	1,49cm	14,9cm	1,49m	14,9m	149m
v-rychlost vzlínání pro h = 1 cm	173cm / s	17,3 cm / s	1,73 cm / s	0,173 cm / s	0,0173cm / s
t – čas pro h = 1cm	0,003	0,03	0,3	3	30

Pohyb vody v pórech zdiva probíhá dvěma způsoby a to 1) vzlínání a 3) difúzí. Voda, která stoupá úzkou kapilárou, nepronikne přes pór velkého průměru, neboť kapilární zdvih je menší než výška kapiláry. Transport vlhkosti se však nezastaví. Voda se na konci kapiláry odpaří a difunduje k protější stěně, kde pára opět kondenzuje a v tekutém stavu vzlíná kapilárami k dalšímu póru. Mimo vody volné vzlíná po stěnách kapilár a pórů vrstvička pevně vázané vody v tloušťce několika molekul. I ta se pohybuje pozvolna po stěnách kapilár proti směru zemské gravitace.



Obr.2.7 Schématické znázornění detailu prostupu vlhkosti kapilárami a dutinami zdiva

Ve zdivu se většinou vyskytuje vodní roztok solných iontů. Solné ionty způsobují nárůst povrchového napětí vodných roztoků ve srovnání s hodnotou pro čistou vodu. Příčinou tohoto pozorovaného vzrůstu povrchového napětí je to, že rozpuštěné ionty působí přitažlivými silami typu ion - dipól na molekuly vody v povrchu a snaží se je tak vtáhnout dovnitř roztoku. Na vytvoření nového povrchu je proto v souvislosti s překonáváním těchto přitažlivých elektrostatických sil nutno vynaložit jistou práci navíc. Z toho vyplývá, že v takových roztocích jsou povrchové vrstvy na rozpuštěnou látku chudší - látka je na fázovém rozhraní adsorbována negativně. Povrchové napětí vody se pohybuje kol. 74 mN / m. Hodnoty povrchového napětí pro vodné roztoky solí jsou vyšší řádově o desítky až stovky mN / m.

Lze tedy odvodit, že pro výšku sloupce (VS) vodního roztoku, který vzlíná do zdiva soustavou kapilár platí :

1) VS je úměrná povrchovému napětí daného roztoku a cos úhlu smáčení.
3) VS je nepřímo úměrná poloměru kapiláry a rozdílu hustot kapaliny a plynu nad kapalinou. Vzlínající voda proniká do větší výšky v užších pórech než v pórech širších. Proto např. opuka snadněji nasakuje vodu než většina pískovců.
3) VS při vyšších koncentracích solí roste.
4) VS je úměrná rozdílu tlaků nad a pod meniskem

5) Rychlost vzlínání vody je nepřímo úměrná viskositě roztoku a tedy roste s rostoucí teplotou

Následující tabulka udává rozmezí poloměrů většiny pórů a nasákavost vodou vybraných materiálů. Nasákavost vodou je zde udána za dobu 48h .

Tab. 2.9 Poloměry pórů vybraných kamenů

Materiál	rozmezí pórů (10^{-6} m)	nasákavost (%)
Pískovec Podhorní Ujezd u Hořic	3,8 -57,0	8,1
Pískovec Mšeno	3,0 - 50,0	10,1
Pískovec Božanov	3,0 - 55,0	13,6
Opuka Přední Kopanina	0,003 - 1,8	13,1
Um. kámen pojený cementem (1: 4)	18,0 - 360,0	16,3
Um. kámen pojený epoxidem (8% poj.)	8,0 - 55,0	9,8
Cihla pálená	0,003 - 3,0	14,8

2.1.9 TRANSPORT VODY ZDIVEM OSTATNÍMI MECHANISMY

Bylo zjištěno, že tvar, polarita a spád elektrických polí ve vlhkém zdivu úzce souvisí se směrem, rychlostí a s množstvím vlhkosti pohybující se zdivem a s jejím chemickým složením. Elektrická pole vznikají ve zdivu v důsledku proudění vody kapilárními silami póry zdiva, tedy jako potenciál proudění. Vznik elektrického pole je tedy nezbytným průvodním jevem pohybu vody zdivem.

Elektrická pole vznikají i z jiných příčin. Veškeré kovové části, které jsou zabudovány v zavlhlém zdivu a korodují, jsou zdrojem elektrických galvanických článků, které ovlivňují pohyb vody. Tato napětí dosahují hodnot až 1000 mV. Spolupůsobí též chemické vlivy. Elektrická pole se mohou vytvářet ve zdivu v důsledku rozdílné pohyblivosti iontů rozpuštěných solí ve vzlínající vodě. Ty se koncentrují při hranici odpařování. Kationty a anionty nejsou však stejně pohyblivé. Z toho důvodu nacházíme u zavlhlého zdiva zpravidla kladný pól v zóně odpařování a záporný pól u paty zdiva.

K dalším chemickým vlivům patří skutečnost, že veškeré stavební hmoty s rozdílnou hodnotou pH dodávají elektrická napětí. Tato napětí (U) se podle Nernsta určí ze vztahu:

$$U = 0{,}058\ pH \qquad (2.1.9.1)$$

Protože mezi starým zdivem s pH = 7 a opraveným místem zdiva betonem s pH 13 je diference 6 pH jednotek, vytváří se zde rozdíl potenciálu asi 350 mV.

S pohybem vlhkosti a vody se setkáváme ve zdivu i v příčném směru. Ze strany zdi o teplotě vyšší, než je teplota strany protější, popř od místa s větším částečným tlakem vodní páry ve vzduchu dochází k difúzi vodní páry k místu s menším tlakem. K difúzi dochází jen v kapilárách a pórech vyplněných vzduchem a v těch kapilárách a pórech, které nejsou zcela vyplněny vodou.

Druhá síla, která působí v tomto směru , je termoosmóza. Ta převádí vodu ve směru k místům s vyšší teplotou, tj. působí v opačném směru než difúze. Přitom kapiláry a póry zdiva musí být zcela vyplněny vodou.

Obecně lze konstatovat, že difúze působí převážně v kapilárách a pórech větších průměrů, a naopak termoosmóza v kapilárách nejužších.

2.2 ELEKTROFYZIKÁLNÍ METODY

Mezi elektrofyzikální metody které využívají kinetických jevů k dodatečnému vysušení zdiva patří:

1) kompenzační metoda
2) metoda založená na principu pasivní elektroosmózy
3) metoda založená na využití galvanoosmotických jevů
4) metoda založená na principu aktivní elektroosmózy

Všechny tyto metody využívají k odvlhčení zdiva fyzikálního jevu tzv. elektroosmózy. Jedná se o transport molekul vody vázaných na kationty, který je zapříčiněn vloženým elektrickým polem. Po vytvoření elektrického pole ve zdivu dojde k pohybu iontů směrem k opačně nabitým elektrodám a tudíž i k přesunu vody. Ke vzniku elektrického pole dojde po sepnutí okruhu, který se skládá ze zdroje elektrického proudu, dvou typů elektrod (katody a anody) a existence elektrolytu (vodného roztoku v pórech zdiva). Spolu s vodou dochází také k transportu solí ve vodě rozpuštěných.

Jednotlivé metody se liší způsobem vložení elektrického pole a typem vytvoření kladného a záporného pólu elektrolytické soustavy. Konstantou pro všechny metody zůstává elektrolyt (elektrovodivá kapalina) ve zdivu.

2.2.1 KOMPENZAČNÍ METODA

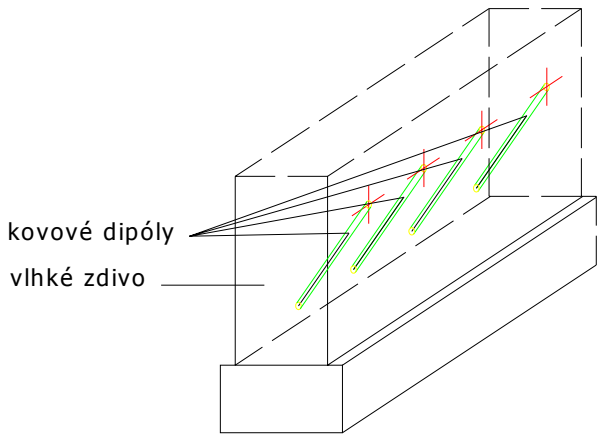
Autoři této metody tvrdí, že elektrické pole ve zdivu patří mezi tři hlavní síly, které dopravují vodu z podzákladí do zdiva (osmotický tlak, ascendentní voda a elektrické pole). Vytvoření zóny ve zdivu bez elektrického pole stačí podle jejich názoru k účinnému potlačení zavlhčení.
Metoda vychází z předpokladu, že v odpařovací zóně zdiva dochází k oddělení elektrického náboje. Tento náboj pak tvoří jeden (záporný) pól elektrického pole, který se prostírá vertikálně v zavlhlém zdivu. Opačný pól tohoto elektrického pole je v podzákladové části stavebního objektu. Ke snížení (kompenzaci) vnitřního potenciálového rozdílu mají sloužit do zdiva vložené vodiče, nejčastěji v podobě ocelových tyčí.

Ocelové tyče vložené do zdiva začnou působit jako elektrický dipól a vyřadí značný úsek zdiva od elektrických siločar. Výsledkem je zrušení elektrických nábojů vyvolaných transportem vody, tj. toho elektrického náboje, který měl určující podíl na zavlhčení zdiva (obr.2.9, obr 2.10).

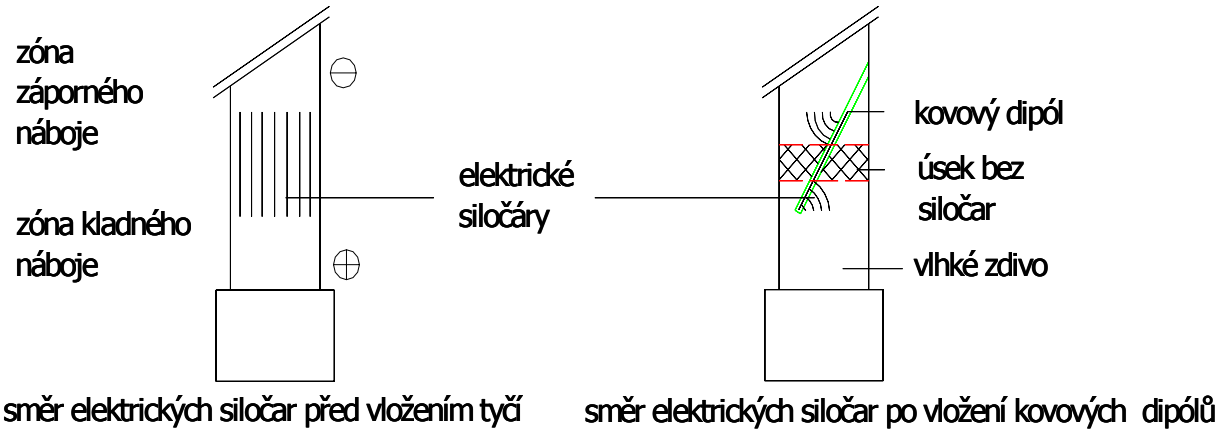
Praktická aplikace této sanační metody známé pod označením LADIKOM nečiní žádné velké potíže (jak uvádí prospektový materiál). V rámci průzkumných prací na vlhkém stavebním objektu je třeba proměřit elektrická pole ve vlhkém zdivu. Pak se podle příslušných výpočtů určí

potřebný průměr, délka a poloha kovových dipólů ve zdi. Do zdiva větší tloušťky se vyvrtají otvory šikmo shora dolů pod určitým úhlem. Jde-li o zdivo menší tloušťky, není nutno vrtat otvory a vyfrézují se pouze drážky. Do těchto dipólů či drážek se vloží dipóly a otvory se uzavřou maltou.

Tímto způsobem se údajně zmenší přísun vody do zdiva natolik, že se začne přirozeným pochodem zdivo vysušovat.



Obr. 2.8 Ladikom – rozmístění dipólů



Obr. 2.9 Ladikom – kompenzační účinek dipólů

2.2.2 PASIVNÍ ELEKTROOSMÓZA

Elektroosmotická instalace se skládá z elektrod zabudovaných do vlhkého zdiva (tzv. clona) a z většího počtu zemních elektrod. Elektrody ve zdivu a v zemi jsou ze stejného materiálu a navzájem jsou vodivě spojeny nakrátko. V zahraničí se obvykle používala měď, a to drát o průměru 2 až 2,8 mm nebo pásek 10 . 1 mm. U nás převládala betonářská ocel o průměru 8 až 10mm nebo materiál FeZn. Jelikož elektrody jsou ze stejného materiálu nemůže vzniknout galvanický článek. Napětí, které vzniká mezi elektrodami ve zdivu a v zemi je způsobeno rozdílem koncentrace

vodíkových iontů mezi těmito elektrodami. Malta ve které jsou zabudovány elektrody ve zdivu, má alkalickou reakci v oblasti pH 11. Staré zavlhlé zdivo dává reakci kolem pH 4 - 5. Zemní elektrody jsou instalovány v zemině s obvyklou neutrální reakcí kolem pH = 6. Elektrické napětí dávané tímto článkem je malé (0,2 až výjimečně 0,5 V) a není stálé. Postupným stárnutím (karbonizací) nové malty klesá její pH a tím i napětí článku. Instalace má omezenou působnost (1 max. 3 roky). Vlivem malého napětí je citlivá na cizí indukovaná napětí, která často změní polaritu na elektrodách a zařízení pak funguje jako elektroosmotické čerpadlo vody do zdiva. S ohledem na uvedené nevýhody se tato metoda užívá výjimečně

2.2.3 GALVANOOSMOZA

Liší se od pasivní elektroosmózy tím, že elektrody zabudované do zavlhlého zdiva jsou vyrobeny z rozdílných elektrovodivých materiálů. Tyto dva materiály a vlhkost ve zdivu (elektrolyt) vytvářejí elektrický zdroj napětí, který vyvolá elektroosmotický transport vody. Intenzita elektrického proudu je velmi malá, elektrody podléhají korozi, což omezuje životnost těchto instalací.

Elektroosmotická instalace je tvořena dvěma soustavami elektrod z kovů o rozdílných standardních potenciálech. Systém doplňuje voda s rozpuštěnými solemi v porézním prostředí mezi nimi (elektrolyt). Elektrody zabudované v zavlhlém zdivu jsou např. ze železa. Soustava zemních elektrod bývá nejčastěji z hliníku. Tyto dva různé kovy spojené elektrolytem vytváří elektrický zdroj napětí, který vlivem elektroosmotického jevu způsobuje vysoušení zdiva. Nevýhodou této metody je omezená životnost. Zemní elektroda vlivem elektrolytického rozpouštění koroduje. Přes tyto nevýhody je tato metoda používána. . Následující tabulka popisuje potenciály kationtových elektrod prvního druhu při 25°C.

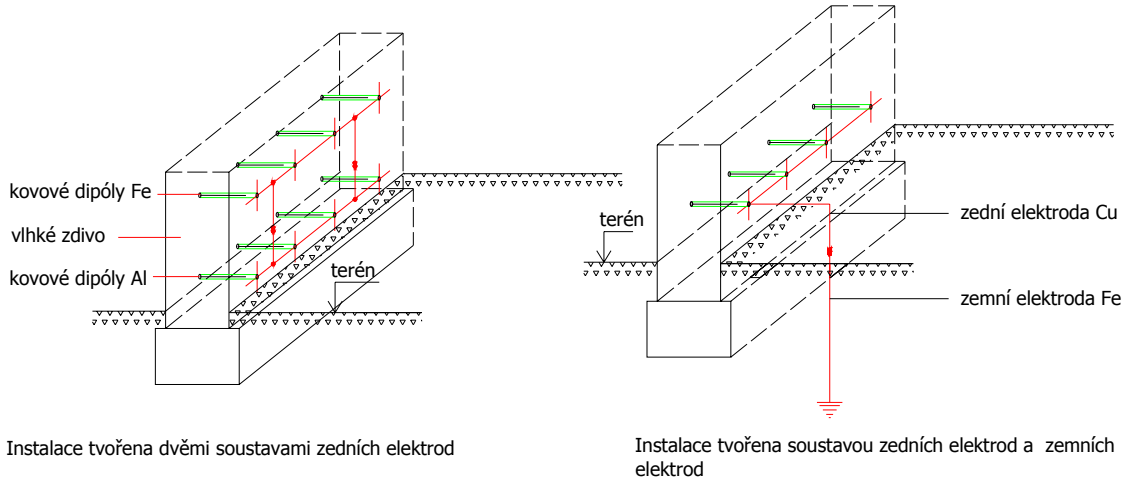
Tab.2.10 Potenciály kationtových elektrod prvního druhu při 25°C

Elektroda	Reakce na elektrodě	$_r\varepsilon^o$ (V)
$Au\|Au^{3+}$	$Au = Au^{3+} + 3e$	1,45
$Ag\|Ag^{+}$	$Ag = Ag^{+} + e$	0,799
$Hg\|Hg^{2+}$	$2Hg = Hg^{2+}_2 + 2e$	0,792
$Cu\|Cu^{+}$	$Cu = Cu^{+} + e$	0,521
$Cu\|Cu^{2+}$	$Cu = Cu^{2+} + 2e$	0,337
$Pt(H_2)\|H^{+}$	$H_2 = 2H^{+} + 2e$	0,000
$Fe\|Fe^{3+}$	$Fe = Fe^{3+} + 3e$	-0,036
$Pb\|Pb^{2+}$	$Pb = Pb^{2+} + 2e$	-0,126
$Sn\|Sn^{2+}$	$Sn = Sn^{2+} + 2e$	-0,140

$In\|In^{+}$	$In = In^{+} + e$	-0,19
$Ni\|Ni^{2+}$	$Ni = Ni^{2+} + 2e$	-0,23
$Co\|Co^{2+}$	$Co = Co^{2+} + 2e$	-0,28
$Tl\|Tl^{+}$	$Tl = Tl^{+} + e$	-0,336
$In\|In^{3+}$	$In = In^{3+} + 3e$	-0,33
$Cd\|Cd^{2+}$	$Cd = Cd^{2+} + 2e$	-0402
$Fe\|Fe^{2+}$	$Fe = Fe^{2+} + 2e$	-0,440
$Zn\|Zn^{2+}$	$Zn = Zn^{2+} + 2e$	-0,763
$Al\|Al^{3+}$	$Al = Al^{3+} + 3e$	-1,66
$Be\|Be^{2+}$	$Be = Be^{2+} + 2e$	-1,85
$Mg\|Mg^{2+}$	$Mg = Mg^{2+} + 2e$	-2,37
$Na\|Na^{+}$	$Na = Na^{+} + e$	-2,713
$Ca\|Ca^{2+}$	$Ca = Ca^{2+} + 2e$	-2,87
$Sr\|Sr^{2+}$	$Sr = Sr^{2+} + 2e$	-2,89
$Ba\|Ba^{2+}$	$Ba = Ba^{2+} + 2e$	-2,90
$K\|K^{+}$	$K = K^{+} + e$	-2,925
$Rb\|Rb^{+}$	$Rb = Rb^{+} + e$	-2,93
$Li\|Li^{+}$	$Li = Li^{+} +3e$	-3,03

Příkladem je “Engelsdorfská“ metoda používaná především na území bývalého NDR. Pro uložení elektrod se provedou dvě řady vrtů nad sebou. Horní elektrody jsou z ocelového drátu spodní z drátu hliníkového. Spojují se mezi sebou izolovaným vodičem. Mezi oběmi řadami elektrod vzniká rozdíl elektrického napětí kolem 1,2 V, který vytváří na poměrně krátkou vzdálenost dosti velký elektrický spád (gradient). Aluminium v tomto spojení však podléhá korozi, zejména tam, kde jsou ve zdivu přítomny agresivní chloridy. Tato metoda je technologicky nenáročná avšak pracná, vzhledem k nutnosti vrtání dvou řad otvorů do zdiva.

Jako další příklad může být uvedena metoda ERNST – TRABER, která spočívá na uložení měděné elektrody do zdiva a uzemňovací hliníkové elektrody (nebo také železné). Vznikne tak elektrický článek, jehož kladný pól tvoří elektroda ve zdi (clona) a záporný pól tvoří zemní elektroda (uzemnění). Sečteme - li algebraicky potenciály kovů Fe Cu, lze dosáhnout potenciálního rozdílu 0,96 V.



Obr. 2.10 Galvanoosmóza – principiální schéma ve dvou variantách (FeAe a CuFe)

2.2.4 AKTIVNÍ ELEKTROOSMÓZA

Nedostatky předešlých dvou osmotických metod odstraňuje aktivní elektroosmóza. Napětí je do okruhu pouštěno z veřejné sítě přes usměrňovač a počítač registrující skutečnou dobu funkce. Takto aktivně vkládané elektrické pole dává název aktivní elektroosmóza (AEO). Napětí je voleno v nižších mezích (do 6V) a systém má podstatně delší životnost než předchozí metody. Elektrické pole ve zdivu je vytvořeno takovým spádem, který nemohou narušit elektrická indukovaná napětí v okolí stavebního objektu.

Dlouhodobou funkčnost instalací AEO podmiňuje však kvalita použitých prvků zařízení a materiálů. Sledovaným faktorem je elektrochemická odolnost elektrod, zejména anoda, na které může docházet k oxidaci a následnému "anodickému rozpouštění". Proces anodické rozpustnosti se řídí prvním Faradayovým zákonem:

$$m = Ee \cdot I \cdot t \quad (kg) \qquad (2.2.4.1)$$

kde m…vyloučené množství látky (kg)

I ... intenzita elektrického proudu (A)

t ... čas (rok)

Ee ... elektrochemický ekvivalent ($kgA^{-1}\ rok^{-1}$)

Pro porovnání odolnosti jednotlivých materiálů se stávají intenzita a čas konstantami v daném vzorci a zajímá nás tudíž Elektrochemický ekvivalent (Ee). Toto jsou hodnoty Ee (kg / A . rok) některých vybraných materiálů :

Tab. 2.11 Elektrochemické ekvivalenty některých vybraných materiálů [5]

Materiál	Elektrochemický ekvivalent Ee (kg/A.rok)
Měď (Cu)	2.10^{1}
Ocel (Fe)	1.10^{1}
Uhlík (C)	1.10^{0}
Ferosilicium (FeSi)	2.10^{-1}
Platinovaný titan (Ti - Pt)	1.10^{-5}
Titan s povlakem oxidů a vzácných kovů	$4 .10^{-7}$

Pro volbu materiálu anod jsou důležité především tři aspekty a) technická účinnost b) cenová dostupnost c) technologická zpracovatelnost. Poslední dva materiály jsou drahé, ferosilicium je nesnadno zpracovatelné.

Je možné tedy konstatovat, že elektrochemická odolnost zední kladné elektrody určuje životnost, i dobu, po kterou bude zařízení uspokojivě fungovat. Funkce zařízení je závislá na elektrických odporových poměrech v okruhu napáječ - zední elektroda- zdivo - zemní elektroda - zemina - napáječ. K největším změnám dochází tedy na anodě, která se elektrochemicky rozpouští a její elektrický přechodový odpor se roste v čase.

Firmy jež pracují AEO metodami, používají téměř výhradně v různých modifikacích jako anodový materiál uhlík. Je to např. pásová elektroda z umělé hmoty s obsahem uhlíku. Paralelně s touto elektrodou probíhají napájecí vodiče z mědi, z niklu, titanplatiny, které nejsou v přímém kontaktu s vlhkým zdivem. Elektrovodivý obal z umělé hmoty nebo pryže brání přístupu elektrolytu k materiálu – metalickému jádru tohoto vodiče.

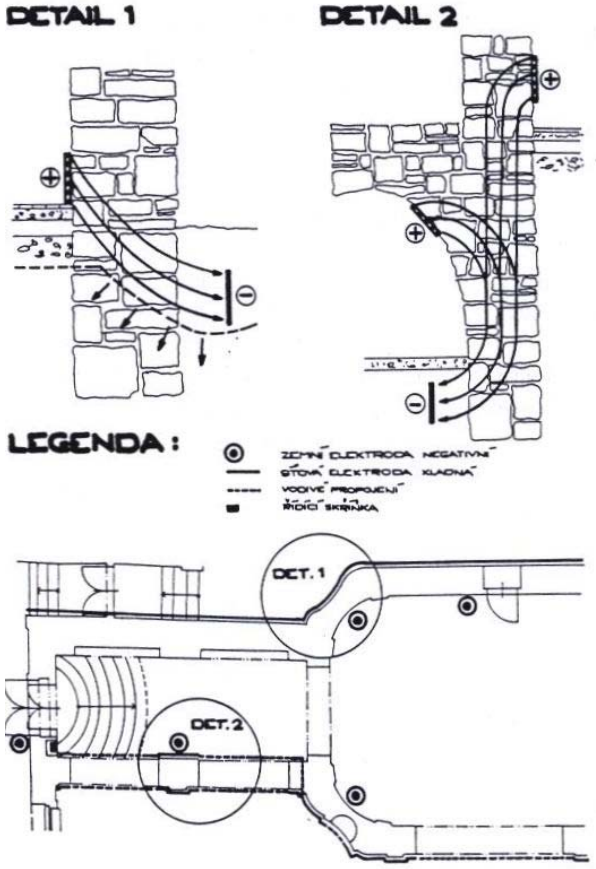
U některých metod se elektrody různé polarity pravidelně střídají nebo jsou uloženy zhruba v jedné rovině na protilehlých stranách zdiva. V jiných případech se používá klasické uspořádání elektrod.

2.3 PŘEHLED NĚKTERÝCH SYSTÉMŮ, KTERÉ VYUŽÍVAJÍ AEO K ODVLHČOVÁNÍ ZDIVA

Metoda ELKINET- je rakouský odvlhčovací systém, který byl poprvé instalován v roce 1976 H. Oppitzem . Firma jenž vlastní patentová práva se jmenuje ELTAC Noger & Daum KG a v současné době sídlí v rakouském Innsbrucku.

Systém vychází z předpokladu, že mezi stavebními materiály existují elektrochemické napěťové příp. potenciálové diference mezi výše a níže položenými úseky. Při sanačních opatřeních chce fy. tento jev zohlednit a provádí tedy odpovídající ochranu proti zesílenému sacímu potenciálu. Tyto potenciálové rozdíly fy. zaznamenala i u cihelného zdiva různého druhu a rozdílného stáří. Dalším předpokladem systému je možnost vrácení vzlínající vody těmi samými cestami kterými přišla prostřednictvím obrácení polarity.

.



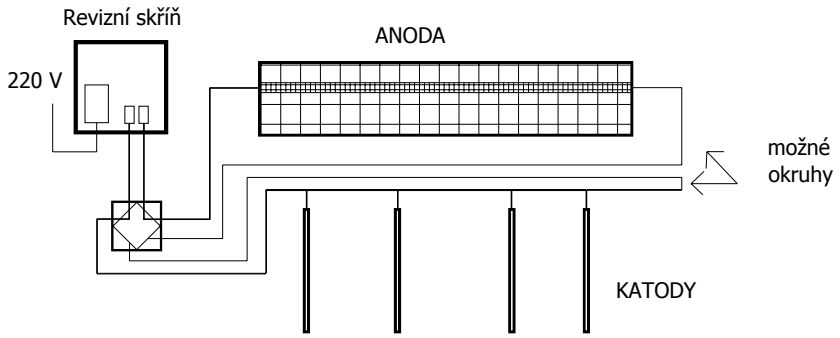
Obr. 2.11 ELKINET – elektroosmotické řešení [1]

Důležitou složkou k vyvinutí plastových elektrod se stal uhlík a to díky svému velice malému elektrochemickému potenciálnímu rozdílu vůči zdivu. Velký důraz kladou tvůrci systému na použití mimálně širokoplochých elektrod (narozdíl od dříve používaných elektrod ve formě kabelu) s velikou plochou přechodu proudu a s tím spojenou nepatrnou koncentrací proudu na

plošnou jednotku, což podle fy. minimalizuje příp. zcela vylučuje nežádoucí elektrolytické efekty a elektrochemické reakce a zvyšuje účinnost pro elektoosmotickou působnost.

Kladná elektroda se umisťuje ve výši tzv. horizontu vlhkosti a záporná naopak v půdní oblasti (zemina), přednostně v podobě tyčí. Obě trasy elektrod se napojí na příslušný pól (+ a -) sekundární strany ovládacího přístroje pomocí speciálních spojovacích vedení a tak budou napájeny na nízké napětí nastaveným napětím / proudem. Ovládací přístroje jsou obvykle vyrobeny ve zcela zapouzdřeném provedení pro vlhké prostředí a primární stranou se připojují na síť 220 / 240 V. Ve všech případech jsou tyto přístroje konstruovány tak, aby se ani v případě havárie nemohlo dostat na elektrody vysoké napětí. Přístroje jsou dále vybaveny indikací proudu (většinou digitálně), aby umožnily současné optické sledování pokroku procesu vysýchání zdi na klesající hodnotě miliampérů. Důležité je trvalé připojení ovládacího přístroje na napájecí síť, přičemž se navzdory trvalému provozu pohybuje spotřeba proudu těchto zařízení v nízké, takřka zanedbatelné oblasti.
Tvůrci systému tvrdí, že ELKINET při odpovídajícím uspořádání elektrod může zajistit nejen horizontální zábranu proti kapilárně vystupující vlhkosti u zdiva jakéhokoliv druhu a tloušťky, ale může vytvořit s relativně malými vícenáklady a za předpokladu, že neexistuje žádný sekundární problém vlhkosti, také vertikální blokádu proti kapilární vodě.
V záležitosti solí a jejich přítomnosti ve zdivu, tvůrci vycházejí z předpokladu, že v průřezu stěny je cca 80 % obsahu solí v omítce a v prvních centimetrech zdiva a malty. Dojde - li tedy ke stržení omítky, k pečlivému vyškrábání spár a zábrana se založí obvyklými metodami co nejhlouběji, zbavíme se většiny solí. Zpravidla se část solí krystalicky vyloučí v odpařovací zóně. ELKINET je založen na principu elektroosmózy, tudíž hlavním vysušovacím účinkem je transport vody i se solemi vnitřním kapilárním systémem směrem dolů a k vypařování dochází jen ve velmi malém měřítku, tudíž i usazování solí je minimalizováno v porovnání s ostatními elektrolytickými metodami.

Anoda má tvar 250mm široké síťky z vodivého plastu, která se vkládá pod omítku. Výška a umístění je stanoveno předem provedeným projektem. Elektrický proud je přiváděn do síťky prostřednictvím kontaktního kabelu.Katoda má podobu tyčí, které se umisťují do země k patě stěny v předepsaných vzdálenostech a které jsou navzájem vodivě propojeny.Proud v celém okruhu je kontrolován tzv. řídící skříňkou a jeho velikost je viditelná v celé funkční době na svítícím displeji. Skříňka taktéž kontroluje čas průchodu proudu. Schematicky je okruh a silové působení pole znázorněno na následujících obrázcích. Síťová elektroda se sestává z pletiva ze skleněných vláken 250mm vysokého a potaženého elektricky vodivým lakem. Přechodová plocha je tedy 2290 cm^2 / bm sítě. Díky pružnosti síťky je zajištěna vysoká přilnavost k povrchu.



Obr. 2.12 Schéma zapojení systému Elkinet®

Kontaktní vodič: Jako rozvodné vedení slouží svazek vodičů (kontaktní vodič), který přivádí napájecí proud k síti elektrod. Plášť kontaktního vodiče je rovněž z vodivého materiálu, který vylučuje přímý kontakt kovových žil se zdivem.

Zemní elektroda je tyč z elektricky vodivého, grafitem plněného plastu a je s ostatními katodami propojena zalitým připojovacím kabelem (dvojitý plášť). Vysoká vodivost je zajištěna až do 500 Ohmů / m.

Velikost 1 : 28 mm ∅ - 635 mm délky

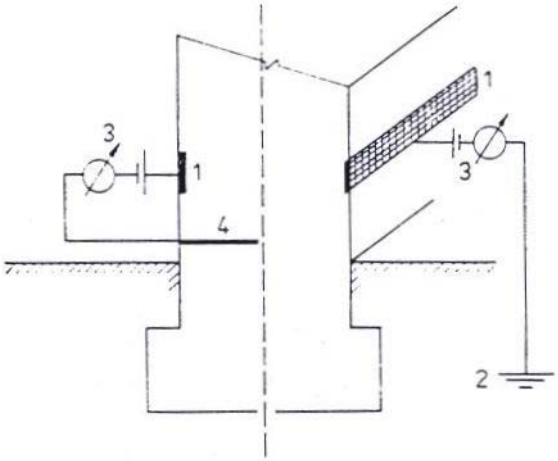
Velikost 2 : 16 mm ∅ - 550 mm délky

Tyto elektrody jsou založeny do zeminy s použitím vodivé hmoty ke zvětšení plochy přechodu proudu. Materiály síťové a tyčové elektrody jsou si vzájemně přizpůsobeny tak, aby nevznikala nežádoucí elektrolytická napěťová pole. Podle dobrozdání jsou elektrody ELKINET při použití v osmotickém systému vysoušení zdiva ELKINET s provozním napětím maxim. 6 V odolné proti korozi a tím je zajištěna dlouhodobá životnost.

Síťový přístroj NGF 3 je zařízení připojené na síť s transformátorem 14 VA, primární napětí: 220 V/ 50Hz - jištění 315 mA. Sekundární napětí : max. 6V (jeho efektivní hodnota je 2,8 V), speciálně modulovaný (depolarizovaný) střídavý proud, jištění 1,6 A. Digitální indikace: miliampérmetr, třímístný. Nutný je samostatně jištěný vlastní obvod. Silnoproudý i slaboproudý obvod jsou v ovládacím přístroji elektricky odděleny bezpečnostním transformátorem. Zabudovaný počítač doby provozu kontroluje skutečně absolvované provozní doby. Takto je možné prokázat výpadky, vzniklé úmyslným odpojením, výpadky sítě nebo jiné poruchy.

METODA PU 10 vyvinutá v podniku OSP Opava. Charakteristickými znaky metody je použití progresívní varianty aktivní elektroosmózy pro potlačení vzlínající vody ve zdivu, sanační

omítky pro zamezení tvorby kondenzované vody a dalších technických prostředků vzhledem k potlačení zdrojů vlhkosti zdiva. Na obr. 2.14 je schématicky vykreslen princip metody.



Obr. 2.13 Metoda PU 10 (aktivní elektrooosmóza – principiální schéma dvou jednoduchých variant); 1-pásová elektroda ve zdivu, 2-jediná zemní elektroda, 3-napáječ R_{AEO}, 4-Fe tyčová elektroda nebo smyčky z kabelu EOSKA [5]

Elektroda ve zdivu - kontakt se zdivem zajišťuje pásová elektroda. Její podstata záleží ve vytvoření pásu z elektrovodivé hmoty, např. grafitové barvy, nanesené na povrch zdiva. Pás je spojen s paralelním napájecím a propojovacím vodičem, nejčastěji kabelem EOSKA. Pásová elektroda je velmi odolná proti korozi a anodickému rozpadu. Ve srovnání s klasickými materiály používanými pro zhotovení elektroosmotických clon ve zdivu (železo, měď, aluminium), jsou její technické vlastnosti mnohonásobně příznivější. Kladem pásové elektrody je její velká styčná plocha se zdivem a tedy minimalizace přechodového odporu mezi elektrodou a stavební konstrukcí.

U zdiva malé tloušťky se osazuje pásová elektroda v jednoduchém provedení. Pro zdivo tlusté 60 cm a více systém nabízí řadu variant s hlavními a pomocnými elektrodami, s vertikálními nebo příčnými poli apod. Uprostřed pásové elektrody je uložen kabel EOSKA, napájecí a propojovací vodič z měděného drátu, obaleného elektrovodivou pryží. Elektrovodivost pryže zajišťuje obsah grafitu a sazí. Alternativně se pro sanační účely používá ferrosilikum, které vykazuje ve srovnání s uhlíkem asi pětinásobně větší elektrochemickou odolnost (viz. kapitola "elektrochemická odolnost materiálů elektroosmotických clon".

Jediná zemní elektroda - systém PU pracuje s jedinou zemní elektrodou umístěnou na vhodné místo, které se určí měřením či odhadem. Toto místo by mělo zajistit co možná nejjednodušší přechod el. napětí.

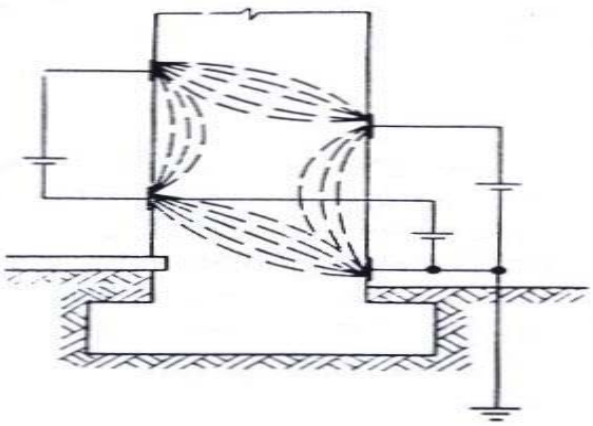
Napáječ R_{AEG} - slouží k napájení systému el. proudem. Používá se stejnosměrného napětí od 0,9 V do několika voltů. Je možné použít napáječ v jednoduchém provedení nebo napáječ elektronicky

řízený. Napájecí zdroj má malé rozměry, výkon potřebný pro napájení instalace je jen několik wattů, a proto je roční spotřeba elektrické energie hospodářsky zanedbatelná.

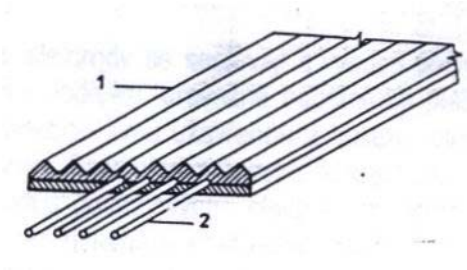
V praxi se systém doplňuje o technické prostředky proti vodě kondenzované - systém PU 10 používá sanační omítky, speciální úpravu soklového zdiva na venkovní straně objektu a difúzní lišty.

Dalším doplněním jsou technické prostředky proti vodě působící hydrostatickým tlakem - systém používá vodotěsnou maltovinu a různé úpravy terénu, tvorba chodníčků atd.

METODA FEO - B (Folien - Elektro - Osmose) [5]. Napájecí zdroje mají dva indikační přístroje, tj. voltmetr a miliampérmetr, elektronickou regulaci a jsou chráněny proti přepětí, zpětnému proudu a výpadku napětí. Vlastní elektrodou je prefabrikovaný pás, který je vyroben z polytetrafluorethylenu (PTFE), plněného elektrovodivými, korozně odolnými a elektrochemicky rezistentními materiály. Jako elektrovodivá přísada se do PTFE přidává uhlík. Jako výhoda elektrody se uvádí její velká styčná plocha se zdivem, která je dána šířkou elektrody a zvlněným tvarem její kontaktní strany. Elektroda se upevní na zdivo maltou s obsahem grafitu. Uprostřed elektrody je několik niklových drátů, které zajišťují propojení na kovové přívody k napáječi a k dalším částem instalace. Příklad uspořádání instalace se čtyřmi fóliovými elektrodami a zemničem je na obr. 2.14.



Obr. 2.14 – Metoda FEO – B; 1- elektrovodivá vrstva PTFE, 2- niklové propojovací vodiče [5]



Obr. 2.15 – Metoda FEO – B. Zapojení čtyř elektrod při vysušování zdiva větší tloušťky [5]

Nejníže umístěná elektroda je na venkovní straně. Je připojena na minus póly napáječů a propojena se zemní elektrodou. Tím získá elektroda minus zároveň elektrický potenciál podzemních vod a ve zdivu se údajně vytvoří homogenní elektrické pole, které zesílí účinnost metody.

METODA MORARU je dílem rumunského výzkumného ústavu INCERK v Bukurešti. Metoda pracuje na principu aktivní elektroosmózy. Elektrody mají tvar trubic, které jsou vyrobeny z elektrovodivého betonu, tj. betonu obohaceného grafitem. Navíc se do betonu přidávají depolarizační látky za účelem zvětšení funkční spolehlivosti elektrod. Elektrody se vpravují do zdiva z jedné strany nebo střídavě z obou stran. Při tomto uspořádání dochází v porézním prostředí k nerovnováze hydraulického režimu, která je termodynamického původu. Kolem kladné elektrody se vytváří podtlakový stav, kolem záporné elektrody přetlakový stav. Anodový podtlak vyvolává nasávání vody z okolního prostředí, a tím se podle této teorie zdivo vysouší. Vysoušení se podle potřeby urychluje tím, že se do elektrodových trubic vhání po určitou dobu horký vzduch.

METODA SKOTT – SMITH vyvinutá v Anglii. V nejjednodušší formě jsou drážky pro instalaci elektrod umístěny ve vnějším a vnitřním líci zdiva, přičemž vnitřní drážka je situována výše než drážka vnější. Tím je zajištěno souhlasné působení elektroosmotckých sil se silami gravitačními. Elektrochemicky odolná, kladná uhlíková elektroda je uložena do vnitřní výše položené drážky. Záporná měděná elektroda je uložena ve venkovní níže položené drážce. Tato záporná elektroda je propojena s měděnými tyčovými zemniči, které jsou umístěny kolem obvodového zdiva sanovaného stavebního objektu. Elektrody v drážkách se zaomítnou elektrovodivou maltou. Napáječ aktivní elektroosmózy zároveň slouží jako kontrolní a měřící skříň. Zabudované elektrické měřidlo indikuje trvale protékající elektrický proud.

METODA AET byla vyvinuta v Německu jako dvoufázová sanační metoda. V jejím názvu písmeno "A" vyjadřuje aktivní metodu, "E"(Entsalzunk) odsolení, "T" (Trocknung) znamená vysušení. V první fázi se vlhké zdivo odsoluje a zdivo se předsouší na asi 3 %. Tento proces trvá v závislosti na tloušťce a vlhkosti zdiva 12 až 20 týdnů. Ve druhé fázi pracuje zařízení jako aktivní elektroosmóza, tj. jako trvalá zábrana proti vzlínající (kapilární) vodě. Soli v určité koncentraci mají negativní vliv na tzv. potenciál zeta, který podmiňuje účinnost aktivní elektroosmózy. Z toho důvodu se u této metody funkce solí ve zdivu v první fázi eliminuje. Tím se zajistí pro druhou fázi velká účinnost elektroosmózy a také dlouhá životnost zední elektrody (anody).
U této metody se jako anodový materiál uplatňuje železo a hydroxid vápníku, přičemž dochází k těmto reakcím:

$$Fe - 3e \longrightarrow Fe^{+++}$$
$$Fe^{+++} + 3\,Cl^{-} \longrightarrow Fe\,Cl_3$$
$$Ca^{++} + 2Cl^{-} \longrightarrow Ca\,Cl_2$$

Při speciální konstrukci kladných elektrod a při dostatečně vysokém anodovém napětí se u elektrod hromadí rozpuštěné soli, které pak z prostoru anody vytékají a vyplavují se ze zdiva. Vzdálenost odsolovacích elektrod mezi sebou je 40 až 50 cm. Hloubka zabudovaných elektrod je 20 cm. Metodu lze uplatnit u zdiva, jehož stavební hmota má kapilární charakter. Metodu AET nelze uplatnit u betonových stavebních konstrukcí s armovacími železy a u staveb s hrázděným zdivem.

METODA KERASAN byla vyvinuta v Rakousku. Mohli bychom ji zařadit mezi tzv. dvoufázové systémy, které řeší zvlášť otázky odvlhčení a odsolení zdiva. Firma vyvinula nový druh tzv. dvouvrstvých elektrod KERASAN a patentovala je. Tyto elektrody se sestávají s vysoce vodivého vodiče (postříbřeného měděného lanka), který je obklopen elektricky vodivým, převážně nepolárním pláštěm z plastu. Tento plast neztrácí při probíhajících elektrochemických reakcích svou uzavřenou a hustou strukturu a chrání tak měděný vodič před

elektrochemickými a chemickými vlivy. První plastová vrstva je kryta druhou, převážně polární plastovou vrstvou, která je taková, že ztrácí v důsledku povrchových elektrochemických pochodů svoji uzavřenou strukturu a zvětšuje tak trochu svůj objem. Tím získaná porosita této vnější vrstvy zvětšuje účinnou plochu elektrody a zvýhodňuje tak zesílený elektrochemický rozklad na elektrodě. Elektroda byla zkoušena na Technické univerzitě ve Štýrském Hradci, přičemž bylo zjištěno celkové proudové zatížení 2002 mAh / cm^2, které zaručila. Toto proudové zatížení přenesené

elektrodou je pro fy. KERASAN rozhodující ukazatel pro výkon elektrody. Podle prospektu fy. tvar elektrody nemá vliv na fungování elektroosmotického zařízení. Počáteční hodnota proudu má podle fy. býti 5 až 10 mA / metr elektrody (to závisí na tloušťce zdiva, stupni provlhnutí,zdiva, stupni zasolení zdiva a na druhu zdiva). Dobré zkušenosti má fy. s hodnotou 4 až 10 mA / metr elektrody.

Co se týče elektrolýzy , prospekty mluví o tom, že fy. nepozoruje vliv vyššího napětí na rozrušování zdiva. (propagační materiál mluví o ztrátě pevnosti a o vyplavování), ale přiznává vliv přítomnosti solí (krystalizační a hydratační tlak). KERASAN pracuje se stejnosměrným proudem a napětím 5 - 20 V.

Kladení kladné elektrody (+) je prováděno do drážky vyfrézované do zdiva zednickou frézkou a to do hloubky 3 cm. Aby se zaručil potřebný přechod elektrického proudu z elektrody do zdiva, uloží se elektroda KERASAN do vyfrézované drážky pomocí zvláštní elektrodové malty a tou samou maltou se také zaomítá. Tím je elektroda také chráněna před mechanickým poškozením. Slabými místy na anodě jsou tzv. kontaktní místa, to jsou ta, kde dochází k přerušení elektrody v důsledku různých odbočení při přemostění otvorů dveří , oken a jiných. Nepropustnost je zajištěna technologickým postupem při napojování přerušení.

Kladení záporné elektrody (-) je prováděno např. pod podlahu v oblasti základů přímo na zem a zakryje se zeminou nebo jemným pískem, aniž se tím ovlivní normální provedení podlahy. Druhou možností je vytvoření záporné elektrody ve tvaru tyče. K tomuto účelu se v průniku stěny a podlahy vyvrtají šikmo směrem dolů směřující otvory do zdiva, jejichž rozteč je asi 80 cm až 1 metr a hloubka přibližně 50 cm. Tyčové elektrody se zalijí zvláštní maltou KERASAN a spojí spolu modrým dvouplášťovým kabelem. Tento se zaomítá nebo zakryje rohovou lištou.

Řízení systému vysušování zdiva se provádí ovládacím přístrojem NG 24/TE. Pro instalaci přístroje je zapotřebí přípojky 220 V. Ovládací přístroj NG 24/TE zásobuje elektrody stejnosměrným proudem, přičemž mohou být zapojeny dva proudové okruhy. Podle potřeby se nastaví počáteční hodnota elektrického proudu přecházejícího z elektrody do zdiva (5 až 10 mA/m). Maximální napětí (asi 5 až 20 V) se nastaví podle potřeby a je závislé na požadovaném průtoku elektrického proudu. Digitální displej na ovládacím přístroji udává, kolik elektrického proudu protéká každým proudovým obvodem.

Spotřeba proudu elektroosmózního zařízení KERASAN činí v prvním roce provozu cca 25 až 100 kWh na 100 běžných metrů zdiva a snižuje se nakonec až na 5 až 20 % počáteční hodnoty.

Záležitost odsolení zdiva fy. řeší na základě znalosti principu elektroforézy. Základem odsolovacího systému KERASAN je ovládací přístroj NG 24 / TE. Napájí elektrody stejnosměrným elektrickým proudem a slouží ke sladění intensity proudu a napětí s potřebami zdiva.

Elektroda KERASAN je válcovitá a má průměr přibližně 34 mm. Sestává se z elektricky vodivého plastového jádra, které je obklopeno polopropustnou membránou. Zdivo rozrušující anionty vnikají do do této (sůl shromažďující) kladné elektrody. Speciální membrána umožňuje přístup dovnitř nikoli však zpět ven. Vnikající soli jsou shromážděny mezi membránou a plastovým jádrem, jsou tam vázány a chemicky neutralizovány. Elektroda může přijmout až 0,5 kg škodlivých solí. Vzdálenosti elektrod od sebe jsou závislé na stupni zasolení zdiva. V průměru činí 50 cm. Elektrody se zapustí do zdiva v odpařovací oblasti. Otvory mají průměr 35 mm a jsou přibližně 40 cm hluboké. Jakmile jsou elektrody nasyceny solí musí být vyměněny.

Záporná elektroda se klade pod podlahu buď jako průchozí pásová elektroda nebo jako tyčová elektroda do průniku roviny stěny a podlahy pod úroveň podlahy. Kationty se přesunují v elektrickém stejnosměrném poli k záporné elektrodě a zpevňují zdivo. V místě záporné elektrody jsou chemicky vázány a uzavírají kapiláry. Vzlínající vlhkost ve zdivu se tím váže již na záporné elektrodě.

Systém odsolení KERASAN byl patentován v roce 1989 je od té doby používán pro odsolování různých druhů zdiva. V prospektu je uvedeno, že na snížení koncentrace solí na neškodnou míru stačí 3 až 12 měsíců. Tato doba závisí na stupni vlhkosti zdiva a obsahu solí. Doba odsolení je přímo-úměrná vlhkosti konstrukce. Firma KERASAN si klade za cíl dosáhnout minimálních hodnot zasolení (v hmotnostních procentech):

chloridy	0,1 %
dusičnany	0,15 %
sírany	0,8 %

Kapacita přístroje je dimenzována na délku zdiva do 200 m.

2.4 ELEKTROKINETICKÝ TRANSPORT

Současný směr vývoje nových odvlhčovacích technologií je určován těmito kritérii:

- Účinnost metody
- Požadavky na ochranu historických a technických hodnot konstrukcí
- Omezení destrukčnosti
- Maximální životnost opatření

Je možné konstatovat, že žádná ze současných metod nesplňuje všechna tato kritéria, tak aby

požadavky byly rovnoměrně a zároveň uspokojivě naplněny. Jednotlivé přístupy se však liší svou možností vývoje a bádání. Lze se domnívat, že největší šance v tomto ohledu má výzkum metod založených na elektrokinetických jevech. Z těchto důvodů bylo na Katedře stavebních hmot přistoupeno k výzkumu elektroosmotických jevů ve stavebních materiálech. Tato kapitola představuje souhrn jevů a vztahů souvisejících s elektrokinetickým transportem.

2.4.1 ELEKTROKINETICKÉ JEVY

Elektrokinetické jevy jsou tyto:

1) potenciál proudění , tj. potenciálový rozdíl vztažený na jednotkový tlakový rozdíl při nulovém elektrickém proudu;

$$\left(\frac{\Delta\varphi}{\Delta p}\right)_{I=0} \qquad (2.4.1.1)$$

2) elektroosmóza, tj. tok hmoty vztažený na jednotkový elektrický proud při všude stejném tlaku;

$$\left(\frac{J}{I}\right)_{\Delta p=0} \qquad (2.4.1.2)$$

3) elektroosmotický tlak, tj tlakový rozdíl vztažený na jednotkový potenciálový rozdíl při nulovém toku hmoty;

$$\left(\frac{\Delta p}{\Delta\varphi}\right)_{J=0} \qquad (2.4.1.3)$$

4) elektroforetický proud, tj elektrický proud vztažený na jednotkový tok hmoty při nulovém potenciálovém rozdílu;

$$\left(\frac{I}{J}\right)_{\Delta\varphi=0} \qquad (2.4.1.4)$$

V důsledku platnosti Onsangenova recipročního vztahu je každý z obou elektroosmotických jevů (uvedených pod čísly 2 a 3) v jednoduchém vztahu k jednomu z jevů hmotového proudění (uvedených pod čísly 1 a 4)

$$\left(\frac{\Delta\varphi}{\Delta p}\right)_{I=0} = -\left(\frac{J}{I}\right)_{\Delta p=0} \qquad (2.4.1.5)$$

$$\left(\frac{\Delta p}{\Delta \varphi}\right)_{I=0} = -\left(\frac{I}{J}\right)_{\Delta\varphi=0} \qquad (2.4.1.6)$$

Protože všechny čtyři jevy je možno měřit nezávisle, byly tyto vztahy podrobeny experimentálnímu ověření [13], přičemž se ukázalo, že platí velmi dobře. Jelikož byly odvozeny na základě termodynamiky nerovnovážných dějů, měly by platit pro všechny soustavy, bez ohledu na strukturu bariéry, jíž jsou roztoky od sebe odděleny.

2.4.2 ELEKTROCHEMIE – ELEKTRODOVÉ JEVY

Reakcí, jež se uskutečňuje na povrchu elektrody, je přenos náboje (obvykle ve formě elektronů) z elektrody na ionty nebo neutrální molekuly, nebo naopak z těchto částic na elektrodu. Elektroda jež působí jako zdroj elektronů, je katoda. Elektroda, která funguje jako odnímač elektronů, je anoda.

Dvojice elektrod zasahujících do roztoku iontů a spojených vnějším kovovým vodičem tvoří typický elektrochemický článek. Článek, v němž se fyzikální či chemická přeměna uskutečňuje vynaložením elektrické energie z vnějšího zdroje, se označuje jako elektrolytický článek .

2.4.3 DEFINICE POTENCIÁLŮ

Abychom mohli hovořit o elektrodových dějích, musíme začít přesnými definicemi různých potenciálových rozdílů, jež se mohou vyskytnout v těchto dosti složitých systémech, skládajících se z několika fází a fázových rozhraní.

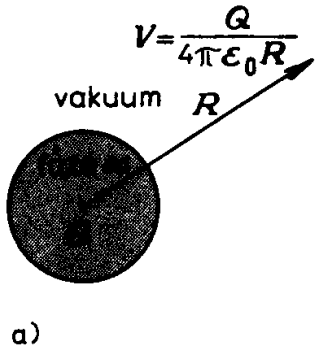
Pokud se zaměříme na čistě elektrostatické jevy, je nutné zdůraznit, že můžeme definovat a měřit rozdíl elektrostatického potenciálu mezi dvěma body téže fáze nebo mezi dvěma kusy látky téhož chemického složení, avšak nemůžeme měřit rozdíl elektrostatického potenciálu mezi dvěma body v různých fázích nebo mezi dvěma kusy chemicky rozdílných látek. Potenciálový rozdíl mezi dvěma body pole se měří prací potřebnou k převedení určitého standardního náboje z jednoho bodu do druhého. Tato práce je podle elektrostatické teorie určena rozložením elektrických bodových nábojů v prostředí, v němž se standardní náboj pohybuje.

Jestliže však standardní náboj prochází rozhraním mezi dvěma různými fázemi, je nutno do celkové práce započítat příspěvky dané rozdílností chemických potenciálů, tj. příspěvky způsobené místní interakcí standardního náboje s chemicky rozdílnými prostředími v jednotlivých fázích. Člen

vyjadřující tuto „chemickou práci„ nelze žádným způsobem oddělit od členu, který vyjadřuje „práci elektrostatickou„. Z toho vyplývá, že čistě elektrostatický poteciálový rozdíl mezi různými fázemi není měřitelný. na toto omezení poukázal jako první Gibbs [8].

Následující obrázek (2.16) znázorňuje kouli z homogenní látky (fáze α) umístěnou ve vakuu. Koule nese náboj Q, takže elektrostatický potenciál V v libovolném bodě vně koule ve vzdálenosti R od jejího středu je dán výrazem:

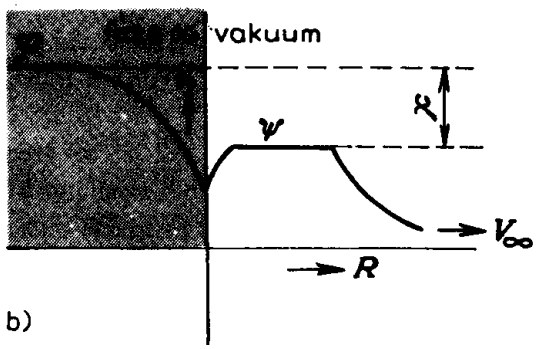
$$V = Q/4\pi\varepsilon_0 R \qquad (2.4.3.1)$$



Obr. (2.16) Elektrostatický potenciál ve vakuu ve vzdálenosti R od středu stejnoměrně nabité koule tvořené fází α.

Potenciál v místě $R \to \infty$ se bere jako nulový $V_\infty = 0$. Přenesme jednotkový standardní náboj z nekonečna (V = 0) až do vzdálenosti zhruba 10^{-6} cm od povrchu fáze α (v této vzdálenosti jsou totiž indukované síly i jakékoliv chemické změny, jež by mohl přibližující se náboj ve fázi α vyvolat, ještě zcela zanedbatelné).

Na následujícím obr. (6.3.2) je ukázán obvyklý tvar závislosti potenciálu V od povrchu fáze α . Do vzdálenosti řádově 10^{-5} až 10^{-6} cm od povrchu je V přímo úměrné R^{-1}, avšak při dalším přibližování k povrchu zůstává vlivem interakcí blízkého dosahu přibližně konstantní. Tato konstantní hodnota se označuje jako vnější neboli Voltův potenciál ψ.



Obr. (2.17) Elektrostatické potenciály měřené pomocí práce vynaložené na převedení kladného standardního náboje ze vzdálenosti R = ∞ ve vakuu do vnitřku fáze α.

Potenciál ψ je definován jako práce potřebná k tomu, aby byl jednotkový standardní náboj přiveden z nekonečna do vzdálenosti řekněme 10^{-6} cm od povrchu. Veličina ψ je měřitelná, protože jde o potenciálový rozdíl mezi dvěma body v témže prostředí (v tomto případě ve vakuu).

Povrch fáze α je obvykle místem, kde existuje dvojvrstva nábojů, jejíž vznik může mít různé příčiny. Tak například u vody bylo dokázáno, že její dipólové molekuly jsou svými kladnými konci orientovány směrem ven z vodního povrchu a zápornými konci směřují dovnitř do kapaliny. U kovů se mohou energeticky bohaté elektrony částečně uvolnit a vytvořit na povrchu kovu záporně nabitý elektronový film, přičemž těsně pod ním zůstane kompenzující kladně nabitá vrstva iontů kovu; tím vzniká dipólová vrstva, jejíž záporná strana směřuje směrem ven. Tyto dipólové vrstvy sice neudílejí dané fázi žádný výsledný náboj, avšak přesto je na převedení standardního náboje takovouto vrstvou nutno vynaložit jistou práci. Z toho je zřejmé, že k převedení standardního náboje z místa těsně u povrchu dovnitř prostředí α bude zapotřebí další práce. Změna elektrického potenciálu podmíněná existencí povrchové dipólové vrstvy se nazývá povrchový elektrický potenciálový rozdíl χ.

Vnitřní potenciál je pak definován následujícím vzorcem:

$$\varphi = \psi + \chi \qquad (2.4.3.2)$$

kde ψ je dáno především existencí náboje Q a χ existencí dipólů na povrchu.

Vnitřní potenciál φ se též nazývá Galvaniho potenciál. Ani φ, ani χ nelze experimentálně stanovit, protože standardní náboj v prostředí α vyvolá v elektronových strukturách reálných látek tvořících toto prostředí jisté změny jež označujeme jako chemické, přičemž členy, které odpovídají této chemické práci, nelze separovat od těch, které jsou podmíněné čistě elektrostatickými potenciály χ a φ. Výsledky zmíněných chemických iterakcí můžeme vyjádřit pomocí chemického potenciálu.

Práce, kterou je třeba vynaložit na převedení standardního náboje ze vzdálenosti $R = \infty$ do nitra fáze α, je měřitelná veličina, i když nemůžeme odděleně měřit její elektrostatickou a chemickou část. Tato měřitelná práce nám dovoluje definovat elektrochemický potenciál $\underline{\mu}_i$. Počítáme-li $\underline{\mu}_i$ pro jeden mol i-té složky ve fázi α, můžeme formálně psát

$$\underline{\mu}_i = \mu_i + z_i F \varphi \qquad (2.4.3.3)$$

kde z_i je počet nábojů (včetně znaménka) nesených ionty i-té složky a F je Faradayova konstanta. Index $_i$ přisuzuje elektrostatickému standardnímu náboji určitou chemickou identitu.

Například by to mohl být náboj nesený iontem Na^+ a fázi α by mohl představovat roztok chloridu sodného, nebo by to mohl být náboj nesený iontem Cu^+ a fází α by mohl být kus mědi. Jako i-tou složku lze označovat elektron. Elektrochemický potenciál elektronu se nazývá Fermiho energie.

Za rovnováhy platí pro i-tou složku ve fázích α a β vztah

$$\underline{\mu}_i^{\alpha} = \underline{\mu}_i^{\beta} \qquad (2.4.3.4)$$

Jelikož $\underline{\mu}_i$ a ψ jsou měřitelné veličiny, existuje ještě jeden měřitelný potenciál, který má určitý význam, totiž

$$\varphi_{i0} = \underline{\mu}_i - z_i F\psi \qquad (2.4.3.5)$$

Tato veličina φ_{i0} se nazývá reálný potenciál a je v těsném vztahu k tzv. výstupní práci. Udává totiž práci potřebnou k přenesení jednoho molu nabité i-té složky z vnitřku dané fáze do místa, které leží právě mimo dosah všech povrchových jevů, tj. do vzdálenosti asi 10^{-6} cm od povrchu. Výstupní práci, a tím i reálný potenciál φ_{i0} je možno měřit metodami termionickými nebo fotoelektrickými.

Při představě , že fáze α je ve styku jinou fází β (místo s vakuem), můžeme prve uvedených potenciálů užít k definování různých potenciálových rozdílů mezi fázemi. Má-li fáze α určitou povrchovou koncentraci σ nábojů určitého znaménka, můžeme v obecném případě očekávat, že náboje opačného znaménka ve fázi β budou rozloženy blízko rozhraní tak, aby bylo dosaženo co nejlepší lokální elektroneutrality. Vznikne tak elektrická dvojvrstva, jejíž vlastnosti mají velký význam při mnoha povrchových a koloidních jevech. Potenciálový rozdíl mezi oběma stranami dvojvrstvy bude $\Delta\varphi$, tzn. bude roven rozdílu vnitřních potenciálů obou fází a jako takový nebude přímo měřitelný.

Přehled uvedených potenciálů: elektrostatický potenciál V

chemický potenciál

Voltův potenciál ψ

elektrický potenciálový rozdíl χ

vnitřní potenciál φ

elektrochemický potenciál $\underline{\mu}$

reálný potenciál φ_{i0}

potenciálový rozdíl mezi dvěma fázemi $\Delta\varphi$

2.4.4 ELEKTRICKÁ DVOJVRSTVA

V každém reálném stavebním materiálu je vlhkost tvořená především vodou přítomnou v relativně malých pórech a kanálcích kapilárního charakteru. S ohledem na rozměry těchto kapilár, mají velký význam procesy, které se odehrávají na rozhranní kapalné fáze tvořené vlhkostí a pevné fáze, tvořené především stěnou pórů a kanálků.

Na rozhraní dvou fází se vytváří oblast, v níž má intenzita elektrického pole (síla na každou jednotku náboje N/C) hodnotu různou od nuly. Elektrické pole je vyvoláno přebytečným nábojem přítomných elektricky nabitých částic - iontů, elektronů a orientovaných dipólů. Oblast, v níž jsou nadbytečné náboje přítomny, se nazývá elektrická dvojvrstva.

Přítomnost elektrických nábojů v mezifází ovlivňuje mezipovrchové napětí v tomto mezifází. Je-li přitom jednou z uvažovaných fází kov a druhou roztok elektrolytu, pak soubor jevů provázejících změnu mezipovrchového napětí nazýváme elektrokapilarita.

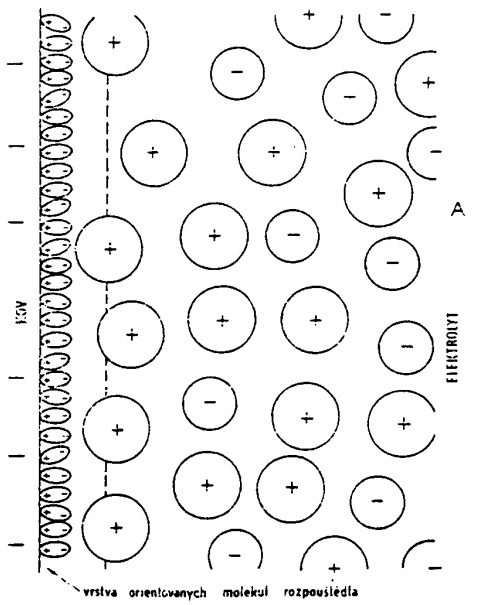
Tvorba elektrických dvojvrstev v mezifází je jevem zcela obecným. Jestliže nabijeme elektrodu nábojem Q (C), rozprostře se tento náboj stejnosměrně na jejím rozhraní s roztokem. Vyčnívá-li elektroda částečně z roztoku a je částí svého povrchu též ve styku se vzduchem, je podíl náboje připadající na styčnou plochu se vzduchem zanedbatelný, protože toto rozhraní má nepatrnou kapacitu. Naprosto převažující podíl náboje leží na rozhraní kov - roztok. Přebytečný náboj v kovu Q (C) musí být v roztoku vyrovnán nábojem stejně velkým, ale opačného znaménka. Tento náboj je z roztoku přitažen elektrostatickými silami. Platí tedy obecný vztah

$$q_{(m)} + q_{(l)} = 0 \qquad (2.4.3.6)$$

kde $q_{(m}$ je hustota náboje připadající na jednotku plochy mezifází na straně elektrody

$q_{(l)}$ je povrchová hustota náboje v části dvojvrstvy v roztoku.

Nutno uvážit, že přebytečný náboj je rozptýlen směrem do mezifází a má tedy povahu prostorového náboje viz obr. 2.18.



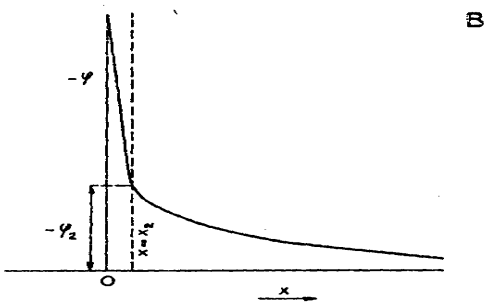
Obr (2.18) Elektrická dvojvrstva na rozhraní kov – roztok elektrolytu

Rozložení prostorového náboje nastává především na straně roztoku, zatímco kovová strana má i v molekulárních dimenzích povahu deskového kondenzátoru. Jestliže však elektroda je polovodičem, přebytečný náboj je rozptýlen také směrem dovnitř elektrody. Prostorová hustota náboje ρ (x), kde x je vzdálenost od elektrody, souvisí s povrchovou hustotou náboje podle Gausova vztahu

$$g_{(l)} = \int_0^{\infty} \rho\,(x)\,dx \qquad (2.4.4.1)$$

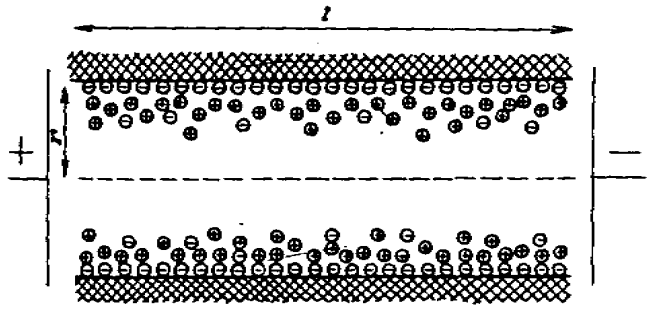
Meze tohoto integrálu jsou dány tím, že roztok lze považovat za poloprostor z jedné strany neomezený. Prostorový náboj ve dvouvrstvě se totiž rozprostírá do vzdálenosti x řádu 0,1 – 10 desítek nm.

Povrchový náboj se zpravidla vyjadřuje v ηC . cm^{-2}. Následující obrázek 2.19 ukazuje elektrickou dvojvrstvu na rozhraní kov - roztok elektrolytu. B - průběh elektrického potenciálu ve dvvojvrstvě, svislá čárkovaná úsečka značí vnější Helmhotzovu rovinu, φ_2 je potenciálový rozdíl mezi VHR a vnitřkem roztoku.



Obr. 2.19 Potenciálový rozdíl na rozhraní kov – elektrolyt [8]

V jednoduchém případě pouhého elektrostatického přitahování se mohou ionty elektrolytu přiblížit až na vzdálenost danou jejich primárními solvatačními obaly, přičemž mezi elektrodou a solvatovanými ionty je monomolekulární vrstva rozpouštědla obr. 2.20.



Obr. 2.20 Elektrostatické přitahování iontů elektrolytu

Rovina procházející středy iontů v maximálním přiblížení pod vlivem elektrostatických sil se nazývá vnější Helmhotzova rovina, oblast roztoku mezi vnější Helmhotzovou rovinou a povrchem elektrody se nazývá Helmhotzova nebo také kompaktní část dvojvrstvy.

Elektrostatické síly však nemohou udržet ionty v minimální vzdálenosti od elektrody, protože tepelný pohyb neustále rozptyluje ionty do větších vzdáleností od elektrody. Vytváří se tak difuzní část dvojvrstvy, což je oblast mezi vnější Helmhotzovou rovinou a vnitřkem roztoku. V případě, že na ionty působí pouze elektrostatické síly, je celý náboj $q_{(l)}$ v této difuzní dvojvrstvě (viz obr.6.4.3). Velmi často jsou však ionty k povrchu elektrody poutány nejen elektrostatickými, ale i van der Waalsovými, popřípadě i chemickými silami - adsorbují se (u aniontů v případě, že je elektroda nabita kladně, je to pravidlem). Tzv. specifickou adsorpcí, tj. adsorpcí jednoho druhu iontů, se však v roztokové části zvětší náboj nad hodnotu odpovídající náboji elektrody Q (C) při daném elektrodovém potenciálu, tj. potenciálu uvažované elektrody vzhledem k referentní elektrodě.Toto zvýšení se vyrovná změnou náboje v difuzní části dvojvrstvy. Rovina proložená středy adsorbovaných iontů se nazývá vnitřní Helmhotzova rovina.

Adsorpce závisí na 1) vlastnostech iontů, 2) na materiálu elektrody a navíc je ovlivněna 3) velikostí elektrického potenciálu na vnitřní Helmhotzově rovině. Analogicky jako ionty hromadí se v povrchu roztoku i nenabité složky roztoku, jsou-li méně polární než rozpouštědlo. V mezifází elektroda - roztok je adsorpce těchto látek ovlivněna též účinkem elektrického pole ve dvojvrstvě na jejich dipóly. Látky, jež se hromadí v mezifází vlivem jiných sil než elektrostatických, se nazývají látky povrchově aktivní čili surfaktanty.

V případě rovinné dvojvrstvy se uplatní jednorozměrná Poissonova - Boltzmannova rovnice (6.4.3). Značí-li x vzdálenost od tuhého povrchu a C_i^0 molekulovou koncentraci iontů i - tého druhu v objemové fázi roztoku (kde pro $x \rightarrow \infty$ je $\varphi \rightarrow 0$), lze psát

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = -\frac{1}{\varepsilon_0\varepsilon_r} \sum z_i e C_i^0 \exp\left(-\frac{z_i e\varphi}{kT}\right) \qquad (2.4.4.2)$$

kde:

φ ... vnitřní elektrický potenciál (V/m)
x … vzdálenost od pevné fáze (m)
z_i … i tý náboj
C_i^0 … molekulová koncentrace iontů i – tého druhu
e … elementární náboj 1,602 10^{-19} (C)
k … Boltzmanova konstanta 1,381.10^{23} (J/K)
T … teplota (K)
ε_0 … permitivita vakua (F/m)
ε_r … relativní permitivita prostředí

Tato rovnice ovšem platí pouze za zjednodušujícího předpokladu, že existuje nějaká konstantní efektivní permitivita ε i v těsné blízkosti nabité elektrody.

Pro případ symetrického binárního elektrolytu, kde $z_+ = - z_-$ (= z), přechází rovnice (2.4.4.2) na tvar

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = -\frac{zeC^0}{\varepsilon_0\varepsilon_r}(\exp(-ze\varphi/kT) - \exp(\exp ze\varphi/kT)) = \frac{2zeC^0}{\varepsilon_0\varepsilon_r}\sinh ze\varphi/kT \qquad (2.4.4.3)$$

Lze účelně zavést tyto nové proměnné:

$$y = \frac{ze\varphi}{kT}; \quad w = \frac{ze\varphi_o}{kT}; \quad \kappa^2 = \frac{2\,C^2 e^2 z^2}{kT}; \quad \xi = \kappa x \qquad (2.4.4.4)$$

Kde φ_o je potenciál na rozhraní (z = 0) (V/m)

e je elementární náboj 1,602.10^{-19} (C)

k je Boltzmanova konstanta 1,381.10^{-23} (J/K)

T je teplota (K)

Rovnice (2.11.3.) tak přechází

$$\frac{{}^2y}{d\,\xi^2} = \sinh y \qquad (2.4.4.5)$$

Po první integraci dostáváme

$$\frac{dy}{d\,\xi} = -2\sinh(y/2) + C_1 \qquad (2.4.4.6)$$

Pro $\xi = 0$ je $dy / d\,\xi = 0$; odtud plyne $C_1 = 0$. Další integrace vede ke vztahu

$$\ln\frac{e^{y/2} - 1}{} = -\xi + C_2 \qquad (2.4.4.7)$$

$$e^{y/2} + 1$$

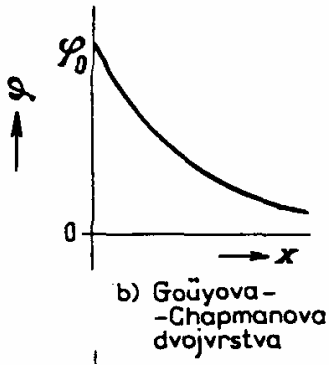
Hodnoty konstanty C_2 zjistíme z druhé okrajové podmínky: v bodě $\xi = 0$ je y=w. Musí tedy platit

$$C_2 = \ln \frac{e^{w/2} - 1}{e^{w/2} + 1} \qquad (2.4.4.8)$$

Konečným řešením je proto vztah

$$e^{y/2} = \frac{e^{w/2} + 1 + (e^{w/2} - 1) e^{-\xi}}{e^{w/2} + 1 - (e^{w/2} - 1) e^{-\xi}} \qquad (2.4.4.9)$$

Ukazuje se při vynesení této závislosti do grafu, že odpovídá přibližně exponenciálnímu poklesu potenciálu φ s rostoucí vzdáleností od tuhého povrchu ve směru napříč dvojvrstvou, jak je to znázorněno na obr. 2.21.



Obr. 2.21 [8] Závislost potenciálu na vzdálenosti od povrchu

Veličina κ^{-1} je míro tloušťky dvojvrstvy. Hodnoty κ^{-1} vypočtené pro různé koncentrace uniunivalentního a bibivalentního elektrolytu při 25 °C jsou uvedeny v následující tabulce

Tab. 2.11 [1] Tloušťka dvojvrstvy vypočtená na základě Gouyovy-Chapmanovy teorie

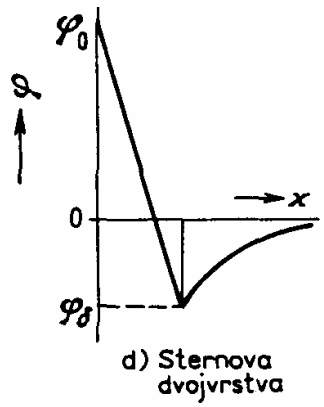
c(mol. dm^{-3})	κ^{-1}(nm) (pro z = 1)	κ^{-1}(nm) (pro z = 2)
10^{-5}	100	50
10^{-3}	10	5
10^{-1}	1	0,5

Známe – li potenciálovou funkci φ (x), můžeme vypočítat náboj připadající na jednotkovou plochu povrchu (resp. náboj, který na plošnou jednotku povrchu připadá v difuzní vrstvě) :

$$Q/A = -\int_0^\infty \rho dx = -\varepsilon_r \varepsilon_0 \int_0^\infty \frac{d^2\varphi}{dx^2} dx = -\varepsilon_r \varepsilon_0 \left(\frac{d\varphi}{dx}\right)_{x=0} \qquad (2.4.4.10)$$

Povrchovou hustotu náboje lze tudíž zjistit z počátečního sklonu křivky vyjadřující potenciálovou funkci.

Vážným nedostatkem Gouovy – Chapmanovy teorie je to, že se na ionty pohlíží jako na bodové náboje. To pak vede ve svých důsledcích k absurdně vysokým hodnotám koncentrace nábojů v bezprostřední blízkosti fázového rozhraní. V roce 1924 se Stern [1] postaral o vhodnou korekci zavedením představy, že existuje adsorbovaná vrstva iontů mající tloušťku δ, jež zhruba odpovídá iontovým poloměrům. Tato vrstva je podle jeho představy pevně poutána k povrchu. Potenciálová funkce $\varphi(x)$ pro Sternovu modifikaci Gouyova – Chapmanova modelu je znázorněna na následujícím obr. 2.22.

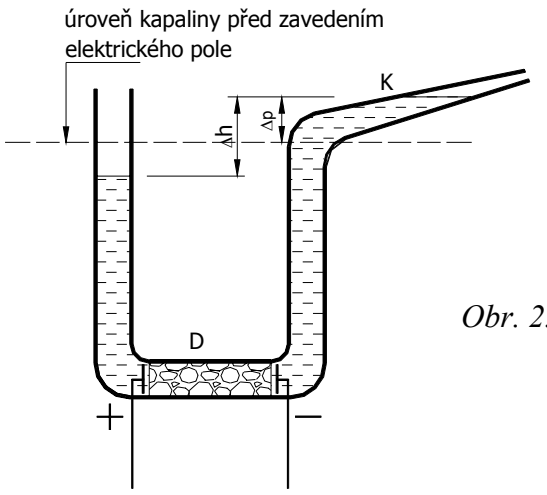


Obr.2.22 [8] Závislost potenciálu na vzdálenosti od povrchu

V nehybné části Sternovy vrstvy klesá potenciál lineárně se vzdáleností ; pak následuje pokles v difúzní dvojvrstvě, který odpovídá Gouyově – Chapmanově průběhu. Celkový pokles potenciálu v difúzní vrstvě se označuje jako φ_δ.

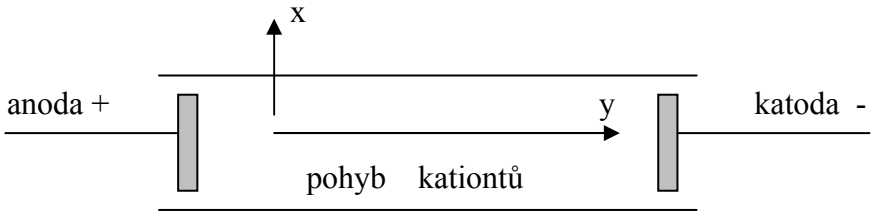
2.4.5 ELEKTROOSMÓZA

Elektroosmóza je známa od roku 1807, kdy ji objevil F.F. Reuss, profesor moskevské univerzity. Po zapojení stejnosměrného proud do U-trubice s vodou, v jejímž ohbí byla vrstvapráškového křemene , zjistil, že voda není v obou ramenech stejně vysoko, jak by podle zákona o spojených nádobách měla být, ale že u katody vystoupila mnohem výše než u anody (obr.2.23).



Obr. 2.23 [4] Schématické znázornění přístroje pro měření elektroosmotického tlaku. Elektrické pole vložené na pórovitou přepážku D vyvolá rovnovážný tlakový rozdíl $\Delta h \rho g$

Vrstva práškového křemene funguje jako katexová membrána, která má nadbytek mobilních kationtů nad anionty, což jsou elektricky nabité částice (kationty kladně, anionty záporně). Tato iontoměničová membrána má stěny pórů elektricky nabité a obsahuje vodný roztok. Zastoupení složek elektrolytu v pórech je ovlivňováno 1) elektrickým nábojem na stěnách pórů a 2) koncentrací elektrolytu, který je v kontaktu s membránou. Elektrická dvojvrstva, která se uvnitř póru vytvoří, působí, že ionty opačného znaménka než fixované ionty na stěně membrány mají větší koncentraci v póru. Při průchodu elektrického proudu unášejí kationty ve svém okolí větší počet molekul vody než anionty, což vede ke vzniku elektroosmotického toku vody ve směru pohybu kationtů v elektrickém poli (obr. 2.24).



Obr. 2.24

Elektroosmotický tok vzniká účinkem elektrického pole o potenciálovém spádu E (ve směru osy pórů Y) na náboj v elektrické dvojvrstvě v póru o hustotě ρ. Náboje se v tomto poli pohybují ve směru osy Y (tj. ve směru pole) a s nimi celý roztok rychlostí v. Rychlost pohybu v se ustálí, jakmile se síla E . ρ vyrovná s vnitřním třením η (d^2v / dx^2). V ustáleném stavu platí

$$E.\rho = \eta \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right) \qquad (2.4.5.1)$$

kde:

$$\rho = - \varepsilon \frac{\partial^2 \varphi}{\partial^2 x} \quad \ldots \quad \text{prostorový náboj } (\mu C/cm^3)$$

η ... viskosita kapaliny (Pa . s)

x … vzdálenost od povrchu (m)

E … je spád potenciálu (Volt/m)

Pro prostorový náboj ρ tedy platí tzv. Poissonova rovnice.

$$- \frac{\rho}{\varepsilon} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \qquad (2.4.5.2)$$

kde: ε je permitivita prostředí. ($A^2 .s^4 / m^3 . kg$) ($\varepsilon = D . \varepsilon_o$),

kde D je (dielektrická konstanta)

ε_o je permitivita vakua $\varepsilon_o = 8{,}854 \ . \ 10^{-12}$ ($F . m^{-1}$)

Okrajové podmínky této diferenciální rovnice jsou:

$x = x_2$; $\varphi = \varphi_2$; $v = 0$ $\quad x \rightarrow \infty$ (střed kapiláry) ; $\varphi = 0$; $\partial\varphi/\partial x = 0$; $\partial v/\partial x = 0$

Průběh elektrického φ potenciálu je popsán v kapitole o elektrické dvojvrstvě.

Ve vzdálenosti vrstvy kapaliny, která se při průtoku proudu pohybuje jen zanedbatelně, od povrchu pórů (tuto vzdálenost můžeme prakticky ztotožnit s povr-- chem pórů x = 0) má rozdíl elektrického potenciálu mezi středem póru ($x \rightarrow \infty$) a povrchem póru hodnotu potenciálu na rozhraní dvojvrstvy φ_2, kterému se, v případě elektroosmózy, říká zeta potenciál a značí se ξ. Ve středu póru má elektrický potenciál nulovou hodnotu a i jeho gradient $\partial\varphi/\partial x = 0$. Tam také platí $\partial v/\partial y = 0$. Po integraci obdržíme Helmhotzovu - Smoluchovského rovnici

$$v = E \ . \frac{\varepsilon \ . \varphi_2}{\eta} \ (cm / s) \qquad (2.4.5.3)$$

zde v … rychlost uvnitř roztoku, kde platí $\varphi = 0$ (cm/s)

E … potenciální spád (Volt/m)

V případě, že uvažovaný povrch je tvořen povrchem systému kapilár v porézní zátce oddělující katodický a anodický prostor, můžeme nahradit porézní prostředí systémem rovnoběžných kapilár délky L a průměrného poloměru r. V tom případě E=U/L (U je elektrické napětí na koncích kapilár).

Pro elektrický odpor v jedné kapiláře platí:

$$R_1 = \frac{L}{\kappa \,.\, \pi \,.\, r^2} = U / I_1 = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \,.\, \frac{L}{I_1} \qquad (\Omega \text{ nebo Vm / A}) \qquad (2.4.5.4)$$

kde κ je konduktivita membrány a ta se rovná $\sum |z_i| \,.\, F \,.\, U_i \,.\, c_i$ (1/Ωm)

kde z_i ... jsou náboje iontů

F ... Faradayova konstanta 96 484,56 C/mol

c_i ... koncentrace iontů v elektrolytu

U_i ... elektrolytická pohyblivost, jež je součinem $|z_i| \,.\, F \,.\, u_i$,

kde u_i je pohyblivost iontů

Rovnice (2.4.5.4) pro lineární průtokovou rychlost (cm/s) roztoku jednou kapilárou má tedy tvar :

$$\mathbf{v} = U / L \,.\, \varepsilon \,.\, \varphi_2 / \eta = R \,.\, I / L \,.\, \varepsilon \,.\, \varphi_2 / \eta = \varepsilon \,.\, \varphi_2 \,.\, I_1 / \pi \,.\, r^2 \,.\, \kappa \,.\, \eta \qquad (2.4.5.5)$$

nebo pro objemovou rychlost J_v v n kapilárách platí

$$\mathbf{Jv} = v \cdot \pi \,.\, r^2 \,.\, n = \varepsilon \,.\, \varphi_2 \,.\, I / \kappa \,.\, \eta \quad (cm^3/s) \qquad (2.4.5.6)$$

Pak pro objemový tok kapaliny membránou (elektroosmotický tok) platí

$$\mathbf{J_v} = \frac{\varepsilon \,.\, \xi \,.\, I}{\kappa \,.\, \eta} \quad (cm^3/s) \qquad (2.4.5.7)$$

kde $I = nI_1$ … celkový proud (Amp.)

$\xi = \varphi_2$ … elektrický potenciál v místě vnější Helmholtzovi roviny (Volt/m)

Ze vzorce je patrné, že objemový tok kapaliny je přímo úměrný hodnotě proudu, ξ potenciálu a nepřímo úměrný specifické vodivosti a viskositě roztoku. To znamená, že proces je účinnější ve zředěných roztocích, které mají menší vodivost (konduktivitu), resp. vyšší specifický odpor ($\rho = 1 / \kappa$). Následující tabulka (Tab. 2.12) dokládá, že na velikost elektroosmotického toku má také vliv teplota vody. Můžeme vyčíst, že viskosita vody η (Pa.s) s rostoucí teplotou roste (např. mezi 0 ^{0}C a 25 ^{0}C viskosita klesne dvakrát, to znamená, že vzroste elektroosmotický tok) [8].

Tab. 2.12

T °C	$\eta . 10^3$ $m^{-1}kgs^{-1}$	$\sigma . 10^3$ N m^{-1}	t °C	$\eta . 10^3$ $m^{-1}kgs^{-1}$	$\sigma . 10^3$ N m^{-1}	t °C	$\eta . 10^3$ $m^{-1}kgs^{-1}$	$\sigma . 10^3$ N m^{-1}
0	1,786 5	75,6	70	0,404 8	64,4	220	0,125 0	33,2
5	1,513 8	74,9	80	0,355 4	62,6	240	0,115	28,6
10	1,303 7	74,2	90	0,315 5	60,7	260	0,105 0	23,8
15	1,136 9	73,5	100	0,282 9	58,8	280	0,096 0	19,1
20	1,001 9	72,75	120	0,232	54,0	300	0,089	14,4
25	0,890 9	72,0	140	0,200	50,8	320	0,082 5	9,9
30	0,798 2	71,2	160	0,171 5	46,6	340	0,076	5,7
40	0,654 0	69,6	180	0,150 5	42,3	360	0,066	2,0
50	0,547 7	67,9	200	0,136 5	37,8	374,15	0,047	0
60	0,467 4	66,2						

K výpočtu elektroosmotického tlaku byl navržen následující vzorec [8] :

$$\left(\frac{\Delta p}{\Delta \varphi}\right)_{J=0} = \frac{8 \,.\, \varepsilon_r \,.\, \varepsilon_0 \,.\, \xi \,.\, l}{r^2} \quad \text{(Pa)} \qquad (2.4.5.8)$$

kde l ... délka kapiláry (m)

r ... její vnitřní poloměr (m)

ξ ... je efektivní potenciál na dvojvrstvě (V/m)

Elektrokinetický převod v trubici dle obr. 2.16. probíhá tak dlouho, dokud sloupec roztoku svým hydrostatickým tlakem Δp nezabrání dalšímu toku. Přetlak p odpovídá podle Poisseuilleovy rovnice [$dV/dt = \int_0^R 2\pi r v dr = (2\pi(p_1-p_2)/(4\eta l)) \,.\, \int_0^R (R^2-r^2) r\, dr = (\pi R^4(p_1-p_2))/8\eta l$] rychlosti vztahu 26. Přetlak Δp se podle analogie s osmosou nazývá elektroosmotický tlak.

Je patrné, že relativní permitivita ε_r ve dvojvrstvě nebude zřejmě stejná jako v objemové fázi a zeta potenciál ξ je výsledkem dosti hrubého zprůměrování aplikovaného na dvojvrstvu, jež je v nerovnovážném stavu (ve stavu toku). Z tohoto vzorce lze teoreticky odvodit, že změna

elektroosmotického tlaku roste přímo úměrně se změnou el. potenciálu, s permitivitou prostředí, se zeta potenciálem a délkou kapilár ve směru gradientu el. potenciálu. Nepřímo úměrně roste elekroosmotický tlak se čtvercem poloměru kapiláry, tzn. s velikostí průřezu.

Potenciál ξ je (jak již bylo řečeno) elektrickým potenciálem , který se vyskytuje na rozhraní difuzní dvojvrstvy (viz. obr. 2.18). V difúzní části dvojvrstvy se hodnota el. potenciálu φ_2 řídí vztahem

$$\varphi_2 = \frac{2 . R . T}{z . F} \ln (q_{(m)} / (8 . \varepsilon . R . Tc)^{1/2} + q_{(m)}^{2} / (8 . \varepsilon . R . Tc) + 1 \qquad (2.4.5.9)$$

kde

F … je Faradayova konstanta 96 484,56 (C/mol)

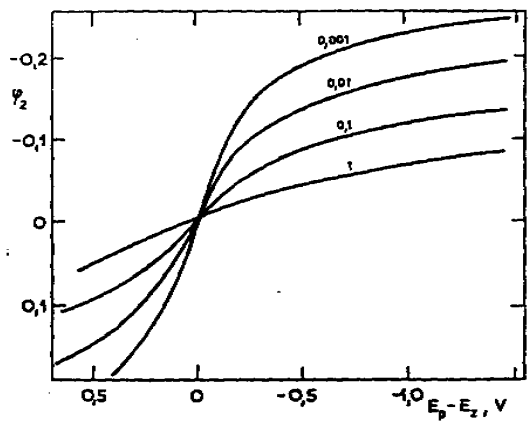
z … je přítomný náboj (C což je J/V)

R … je plynová konstanta 8,314 (J/mol . K)

T … je teplota (K)

$q_{(m)}$ … je hustota náboje ($\eta C/cm^2$)

Na následujícím obrázku (2.25) můžeme vidět závislost potenciálového rozdílu v difúzní části dvojvrstvy φ_2 (V) na potenciálovém rozdílu E_p - E_z (V) při různých koncentracích KF (udána u křivek v mol/dm^3) [9]



Obr. 2.25

V roce 1952 stanovil Casagrande rovnici pro průtok Q trubicí celkové plochy U pod účinkem elektrického spádu (V cm^{-1}) materiálem s elektroosmotickým součinitelem propustnosti k_e ve tvaru

$$Q = k_e . U . \partial E / \partial x \quad (m^3/s) \qquad (2.4.5.10)$$

Řadou pokusů bylo zjištěno, že střední hodnota k_e pro běžná stará cihelná a kamenná zdiva a elektrický spád 1 (V . cm^{-1}) je obvykle mezi 0,2 . 10^{-7} (m . s^{-1}) až 10^{-7} (m . s^{-1}) [5].

Elektroosmotický koeficient propustnosti k_e je podobný hydraulickému koeficientu propustnosti k avšak má rozměr (cm^2/s.V). Elektroosmotický koeficient propustnosti k_e je rychlost, kterou prosakuje voda jednotkovým průřezem daného materiálu zdiva pod vlivem elektrického spádu 1 (V cm^{-1}).

Shrnutí obecných zákonitostí elektroosmózy

- Objem kapaliny převedené elektroosmoticky za jednotku času je přímo úměrný velikosti proudu a potenciálu ξ a nepřímo úměrný viskositě elektrolytu.
- Objem kapaliny převedené elektroosmoticky je přímo úměrný teplotě elektrolytu.
- Pro daný materiál je elektroosmotický tlak úměrný zapojenému potenciálnímu rozdílu, proudu, délce kapilár ve směru proudění iontů, potenciálu ξ a nepřímo úměrný průřezu kapilár.
- Pro kruhovou válcovou kapiláru je poměr elektroosmotického tlaku a zapojeného potenciálního rozdílu úměrný poměru její délky a průřezu
- Pohyblivost iontů je nepřímo úměrná koncentraci elektrolytu.

2.4.6 ELEKTROLÝZA

Mluvíme-li o elektroosmóze tedy o transportu vody v důsledku již citovaných elektrokinetických jevů na rozhraní tuhá fáze - elektrolyt, musíme vzít v úvahu také druhý proces který za určitých podmínek elektroosmózu doprovází a tím je elektrolýza. Jak již bylo řečeno, hnací silou přenosu vody je spád potenciálu v daném prostředí, jemuž je úměrný proud zdivem. Zdrojem potřebného elektrického napětí je při galvanoosmóze galvanický článek vytvořený z rozpustné anody a inertní katody nebo při aktivní elektroosmóze vhodný stejnosměrný zdroj napětí. Uzavřeným elektrickým obvodem, který tvoří zdroj, kovové přívody, elektrody a elektrolyt ve zdivu, prochází elektrický proud. Tento proud se ve vnějších kovových přívodech a elektrodách (které představují vodiče první třídy), uskutečňuje tokem elektronů. V elektrolytu (jež je vodičem druhé třídy), je tok proudu zprostředkován ionty. Ionty nesoucí kladný náboj (kationty) se účinkem elektrického pole mezi elektrodami pohybují k opačně nabité elektrodě, tj. ke katodě a ionty se záporným nábojem (anionty) se pohybují k anodě.

Probíhá-li v okruhu proud, přechod elektronu z kovového vodiče a zpět přes fázové rozhraní musí být doprovázen chemickými reakcemi spojenými s příjmem a uvolňováním elektronů. Podmínkou

těchto elektrochemických reakcí je, aby elektrický potenciál byl větší než termodynamická hodnota elektromotorického napětí kyslíko - vodíkového článku, tj. 1,23 V při 25°C. Vzhledem k pomalosti elektrochemických reakcí a k různým ztrátám v průběhu (o kterých je zmíněno dále) je potřebné dodávané napětí zpravidla podstatně vyšší než je tato termodynamická hodnota. Přijímá-li iont na katodě elektron probíhá redukce a opačně na anodě ionty elektrony uvolňují a předávají je do vnějšího proudového zdroje, přičemž se příslušné ionty oxidují.

- Na katodě je nejobvyklejší rozkladnou reakcí vylučování vodíku z molekul vody, v alkalickém a neutrálním prostředí podle reakce:

$$2H_2O + 2e \rightarrow H_2 + 2(OH)^- \qquad (2.4.6.1)$$

s hodnotou standardního potenciálu $E^0 = -0{,}828$ V

nebo v kyselém prostředí podle reakce:

$$2\,H_3O^+ + 2\,e \rightarrow H_2 + 2\,H_2O \qquad E^0 = -0{,}000 \qquad (2.4.6.2)$$

Zdivo jako porézní materiál s poměrně velkým povrchem obsahuje vedle malých pórů, které jsou zaplněny vodou, obvykle i značný počet pórů, které (na rozdíl od pórů s malým poloměrem) jsou zaplněny vzduchem. Na rozhraní voda-vzduch, které v tomto porézním prostředí má poměrně velkou plochu, dochází k rozpouštění kyslíku ze vzduchu ve vodě. Množství rozpuštěného kyslíku se řídí Henryho zákonem a je úměrné parciálnímu tlaku kyslíku nad kapalinou. Tento kyslík se může na katodě redukovat podle reakce:

$$2\,H_2O + O_2 + 4\,e \rightarrow 4\,OH^- \qquad E^0 = 1{,}229 \text{ V} \qquad (2.4.6.3)$$

Společným produktem reakcí (2.4.6.1) a (2.4.6.2) na katodě jsou hydroxylové ionty OH^- , které zvyšují hodnotu pH v blízkosti elektrod a které při jejich pomalé difúzi a migraci mohou mít negativní účinek na ξ potenciál v kapilárách zdiva a tím i na účinek vysoušení. Za přítomnosti většího počtu iontů některých kovů mohou se i tyto redukovat na katodě podle reakce:

$$M^{n+} + n\,e \rightarrow M \qquad (2.4.6.4)$$

jejíž standartní potenciál závisí na druhu kationtu. Jejich koncentrace je však obvykle velmi malá a proto tuto reakci není nutné uvažovat jako trvale probíhající elektrodový proces.

Na druhé elektrodě - anodě, mohou podle materiálu anody a složení elektrolytu probíhat následující reakce:

Při použití rozpustné kovové anody v případě pasívní elektroosmózy probíhá rozpuštění anody ve smyslu obráceně probíhající reakce (2.4.6.4). Při aktivní elektroosmóze na nerozpustné anodě se může vylučovat kyslík podle opačně probíhající reakce (2.4.6.3).

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4\,e \qquad E^0 = 1{,}229\ V \qquad (2.4.6.5)$$

V některých vodách, zvláště v přímořských oblastech při vyšším obsahu chloridových iontů ve vodě může probíhat i vylučování chloru podle reakce:

$$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2\,e \qquad E^0 = 1{,}359\ V \qquad (2.4.6.6)$$

O tom, která s obou uvedených reakcí bude probíhat v instalovaném zařízení bude rozhodovat jak velikost použitého stejnosměrného napětí, tak i charakter zamokřeného zdiva, druh a koncentrace iontů v tomto zdivu. Podle Faradayova zákona se rozloží 0,336 g vody množstvím elektřiny 1 Ah. U středně velké elektroosmotické instalace obnáší intenzita elektrického proudu 100 mA (0,1A). To znamená , že za 24 h se elektrolyticky rozloží asi 0,8g vody (0,1 . 24 . 0,336). Jde o zanedbatelné množství vody, které se takto z vlhkého zdiva odstraní.

2.4.6.1 Složky napětí

Při průchodu elektrického proudu zdivem celkové napětí zdroje lze rozdělit na několik složek:

$$U = E_{Ar} - E_{Kr} + \eta_A + \eta_\kappa + E_{\Omega,E} + E_{\Omega,V} \qquad (2.4.6.1.1)$$

kde E_{Ar}, E_{Kr} jsou rovnovážná napětí elektrodové reakce na anodě a katodě a η_A,η_κ tzv. přepětí na obou elektrodách . $E_{\Omega,E}$ je ohmický odpor elektrolytu , $E_{\Omega,V}$ je ohmický odpor vodičů. Hodnota rovnovážného potenciálu se řídí Nernstovou rovnicí a závisí na hodnotě standardního potenciálu E^0, koncentraci reagující složky a teplotě. Tak např. pro reakci (2.4.6.6) vylučování kyslíku :

$$E_r = E^0 + \frac{R\,T}{4\,F}\ \ln\ \frac{p_{O2}\ .\ a_{H+}^{\ 4}}{a_{H2O}^{\ 2}} \qquad (2.4.6.1.2)$$

kde a_H^+ , a_{H2O} jsou aktivity vodíkových iontů a vody. Koncentraci vodíkových iontů můžeme vyjádřit pomocí pH (pH = -log a_{H+}) a ve zředěných roztocích můžeme aktivitu vody považovat rovnu jedné. Potom rovnice (40) přejde na tvar:

$$E_r = 1{,}229 + 0{,}0148\ .\ \log p_{O2} - 0{,}0592\ .\ pH \qquad (2.4.6.1.3)$$

Podobné vztahy lze odvodit pro všechny uvedené možné reakce. Pro neutrální prostředí (pH = 7) jsou následující hodnoty rovnovážných potenciálů:

Vylučování vodíku	$E_{r,H2}$	=	-0,414	V	(pH_2 = 101 kP)
Redukce kyslíku	$E_{r,O2}$	=	0,804	V	(p_{O2} = 21,2 kP)
Vylučování kyslíku	$E_{r,O2}$	=	0,814	V	(p_{O2} = 101 kP)
Vylučování chloru	$E_{r,Cl2}$	=	1,300	V	(c_{cl}- = 5g NaCl / l)

Přepětí η_A ,η_κ jsou závislá na velikosti proudové hustoty (A/m^2) na elektrodě a jsou dána obvykle logaritmickým vztahem:

$$\eta = a + b\ .\ \log i \qquad (2.4.6.1.4)$$

Hodnota konstanty a závisí značně na materiálu elektrody , hodnota konstanty b při pokojové teplotě je obvykle 0,12. Obecně hodnoty konstanty a pro vylučování kyslíku i jeho redukci jsou poměrně velké (např. na platině a = 1,58 V) , zatímco pro redukci vylučování chloru na některých materiálech značně menší (např. také na platině a = 0,25 V). Z uvedených hodnot E_r pro jedotlivé dvojice možných reakcí lze snadno vypočítat nejmenší teoretické napětí U_r (pro pH = 7 a za podmínek , kdy $\eta_A = |\eta_\kappa| = E_{\Omega,E} = E_{\Omega,V} = 0$). Nejmenší U_r má děj, při němž na katodě se bude redukovat kyslík a na anodě naopak opět kyslík vylučovat. Praktické hodnoty potřebného U jsou však značně ovlivňovány dalšími členy rovnice (38) tj. odporem zdiva a vodičů, přičemž úbytek napětí se řídí Ohmovým zákonem. Předem stanovit potřebné U výpočtem bez znalostí jednotlivých členů rovnice (38) není obvykle možné . Při malých proudových hustotách ve zdech s velkou porozitou lze očekávat, že bude probíhat redukce kyslíku na katodě a jeho vylučování na anodě.

2.4.7 ELEKTROFORÉZA

Vložíme-li na soustavu koloidních částic v uzavřené kyvetě, kde nemůže docházet k proudění kapaliny, elektrické pole E, budou se částice pohybovat rychlostí v. Tento jev se nazývá elektroforéza. Síla působící na kulovou koloidní částici o poloměru r v potenciálovém spádu

$$\mathbf{E} = \varepsilon \,.\, r \,.\, E \,.\, \varphi_2 \qquad (2.4.7.1)$$

(pro jednoduchost ztotožňujeme potenciál v difúzní dvojvrstvě s eklektrokinetickým potenciálem).

Kde : ε ... permitivita prostředí $\varepsilon = D \,.\, \varepsilon_0$

ε_0 je permitivita vakua $8{,}854 \,.\, 10^{-12}$ F . m^{-1}

D je relativní permitivita (dielektrická konstanta) prostředí

Odpor prostředí je dán Stokesovou rovnicí:

$$\mathbf{v} = f_i \;/\; (\, 6 \,.\, \pi \,.\, \eta \,.\, r_i \,) \qquad (2.4.7.2)$$

kde : v ... rychlost pohybu kulové částice

f_i ... je síla působící na částici

η ... je koeficient viskozity viskozního prostředí

V případě difúze odpovídá rychlosti látkový tok.

Při ustáleném pohybu jsou si obě síly rovny a pro tzv. elektroforetickou pohyblivost v/E platí v prvém přiblížení

$$\frac{v}{E} = \frac{2 \,.\, \varepsilon \,.\, \varphi_2}{3 \,.\, \eta_i} \qquad (2.4.7.3)$$

V dalších přiblíženích nutno brát korekce na vodivostní efekty (relaxační a elektroforetický) a na reálný tvar částic. Rychlost elektroforetického pohybu tedy závisí na složení roztoku, na vlastnostech povrchu částic a případně na vlastním náboji částic. Jde - li o amfolytické částice (amfolyty - látky, kt. mohou vystupovat jako kyseliny nebo zásady podle acididity prostředí v němž jsou rozpuštěny), závisí též na pH prostředí neboť v tom případě částice získávají vlastní náboj

disociací, která je funkcí pH. To je podstatou elektroforetické analýzy, kterou vypracoval A. Tiselius.

Elektroforézy lze užít preparativně k separaci složek směsy, k zahušťování jemných suspenzí z roztoků apod. Další elektronický jev je k předchozímu inverzní podle LeChatelierova - Brownova principu: Vzniká - li vlivem elektrického pole pohyb, musí vlivem pohybu vznikat elektrické pole (za přítomnosti elektrokinetického potenciálu). Při pohybu částic nesoucích elektrickou dvojvrstvu roztokem elektrolytu (např. vlivem gravitačního či centrifugálního pole) vzniká na krajích roztoku potenciálový rozdíl, tzv. sedimentační potenciál.

Vliv elektrokinetického potenciálu na elektroforetický efekt je zkoumán např. v jílových suspenzích, zejména ve formě jeho vlivu na koagulační stabilitu jílové suspenze. Koagulační stabilita, je přímo úměrná velikosti elektrického náboje dispergované částice (jejího elektrokinetického potenciálu). Je funkcí koncentrace elektrolytu v disperzní soustavě. Koagulační stabilitu suspenze je možné zvýšit přípravkem ochranného koloidu, tím se však zvětší průměr dispergovaných částic a sníží se její kinetická stabilita.

Elektrokinetický potenciál je definovaný jako:

$$\xi = 4 \,.\, \pi \,.\, e \,.\, d \;/\; \varepsilon \qquad (2.4.7.4)$$

kde e je náboj jádra koloidní micely, d je tloušťka difuzní dvojvrstvy, ε je permitivita vody (disperzního prostředí).

Částice jílového minerálu kaolinitu dispergované ve vodě má velmi podobné vlastnosti jako koloidní micela.

Na jejím povrchu se předpokládá vznik záporného náboje (záporného povrchového potenciálu ψ_0). To je důsledek

izomorfní substituce iontů Fe^{3+} a Al^{3+} za ionty SiO^{4+} ve vrstvě tetraedrů SiO_4 v mřížce kaolinitu, nepravidelnosti v uspořádání vrstev tetraedrů SiO_4 a oktaedrů $Al(OH)_6$ v mřížce kaolinitu, adsorpce iontů na povrchu částice kaolinitu nebo disociace povrchových skupin.

Při styku částice kaolinitu s vodou, která je vždy částečně disociována na H^+ a OH^- ionty, vznikají na povrchu kaolinitu skupiny SiOH nebo AlOH. Ty se potom disociují podle pH disperzního prostředí.

Při pH < 4:

$SiOH^{3+}$ nedisociují, $AlOH^{2+} + H^+ \leftrightarrow Al^{3+} + H_2O$ (2.4.7.5)

Při pH > 9:

$SiOH^{3+} + OH^- \leftrightarrow SiO^{2+} + H_2O$, $Al\ OH^{2+} + OH^- \leftrightarrow AlO^+ + H_2O$ (2.4.7.6)

Kolem jádra micely, dispergované jílové částice, se vytvoří elektrická dvojvrstva. Na povrchu částice je pevně vázaná laminární vrstva vody (její hustota $\rho = 2{,}45 g/cm^3$ se blíží hustotě pevné fáze), která se pohybuje s částicí. Zvětší tak objem částice v závislosti na velikosti povrchového potenciálu částice. Záporný potenciál povrchu ψ_0 se vyrovnává kationty v disperzním prostředí a vytvoří se tak druhá část dvojvrstvy. Na fázovém rozhraní mezi vrstvou vody adsorpčně vázané na povrchu částice a vodou volnou v disperzním prostředí se ustaví elektrokinetický potenciál ξ. Je měřítkem odpudivé síly mezi částicemi a tedy stability suspenze.

Jestliže elektrokinetický potenciál dosáhne hodnoty $\xi > 30mV$, tak převládnou mezi částicemi odpudivé síly a disperzní systém se stabilizuje. Suspenze začne koagulovat, jestliže hodnota ξ se sníží pod kritickou hranici. Na částice začnou působit Van der Waalsovy síly, které způsobí jejich aglomeraci.

Reologické vlastnosti jílových suspenzí se tedy mění změnou velikosti elektrokinetického potenciálu ξ.

Zvýšení ξ se dosáhne

a) zvýšením hodnoty potenciálu povrchu jádra micely ψ_0,
b) pomalým vyrovnáváním potenciálu povrchu ψ_0 ionty opačné polarity.

Použití elektrolytů reguluje jak pH disperzního prostředí, tak adsorpci dalších vhodných iontů na povrch jílové částice. Použitím polyelektrolytů např. sodných, draselných nebo amonných solí ve vodě rozpustných vysokomolekulárních látek buď kyselými substituenty (např. –COOH, -OSO_3H, -OPO_3H_2, SiO_3H) nebo zásaditými (-NH_2) se na jádru micely vytvoří vysoká hodnota potenciálu povrchu ψ_0. Jestliže je povrch částice pokryt vrstvou polyelektrolytu, částice se chová jako by byla tvořena pouze polyelektrolytem.

Účinnost jednotlivých kationtů na hydratované částice dispergované fáze popisuje lyotropní Hofmeistrova řada:

$Li^+ < Na < K^+ < NH_4 < Mg^{2+} < Ca^{2+} < Sb^{3+} < Ba^{2+} < Al^{3+} < H^+$ (2.4.7.7)

roste	$\Leftarrow$	elektrokinetický potenciál	$\Rightarrow$	klesá
klesá	$\Leftarrow$	zdánlivá viskozita suspenze	$\Rightarrow$	roste

Dispergační či peptizační účinek kationtu vzrůstá s jeho klesajícím oxidačním číslem. Při shodném oxidačním čísle stoupá s iontovým poloměrem hydratovaného kationtu. Nejvíce hydratované jsou kationty na levé straně Hofmeistrově řady. Vyjímku tvoří ionty H^+ a OH^- v důsledku jejich vysoké adsorbovatelnosti.

S poklesem elektrokinetického potenciálu ξ klesá dispergační účinek iontu a zvyšuje se účinek koagulační. Kterýkoliv kationt je možné vytlačit z adsorpční sféry dostatečným přebytkem kationtu jiného. Snáze se vytlačují kationty, které jsou od uvažovaného kationtu v Hofmeistrově řadě nalevo. Míru adsorbovatelnosti kationtu je možné také ovlivnit volbou aniontu. Jejich peptizační účinek je vyjádřen, bez jednoznačného teoretického vysvětlení, v následující Hofmeistrově řadě:

$$OH^- \rightarrow CO_3^{2} \rightarrow PO_4^{3-} \rightarrow Cl^- \rightarrow NO_3^- \rightarrow F^- \rightarrow SO_4^{2-} \qquad (2.4.7.8)$$

Přídavky elektrolytu či polyelektrolytu, tzv. ztekutiva, které vedou k zvyšování elektrokinetického potenciálu ξ dispergované částice, snižují viskozitu suspenze. Po dosažení optimálního přídavku ztekutiva však další zvyšování koncentrace iontů v disperzním prostředí hodnotu elektrokinetického potenciálu ξ dispergované částice snižuje a vede k opětnému zvýšení viskozity suspenze.

3. FORMULACE PROBLÉMU A PŘÍSTUP K ŘEŠENÍ

Používání elektroosmotických odvlhčovacích metod započalo ve 40. letech 20. století. U nás je tento způsob používán zhruba od 60. let. Spolu se získáváním znalostí se mapují také problémy a dochází ke zdokonalování technologie i materiálů jednotlivých komponentů. Lze konstatovat, že technologické a materiálové řešení je již dneska vyřešeno pro životnost cca 30 let zabudování v konstrukci. Současný výzkum vychází z požadavků snížení ceny systému a zvýšení jeho účinnosti. Na katedře Stavebních hmot fakulty stavební v Praze je řešena problematika elektroosmotické vodivosti z hlediska jednotlivých konstrukčních materiálů historických budov (pískovec, opuka, cihla).

Výsledky získané prostřednictvím této disertační práce by měli rozšířit praktickou znalost podmínek, které podporují či brání použití elektroosmózy při dodatečném odvlhčování staveb. Postupné odhalování jednotlivých ovlivňujících faktorů by také mělo vést k definici nutných kroků při stavebním průzkumu, která by tuto metodu připustila či jednoznačně odmítla. Podmínkou těchto kroků je technická dostupnost, cena a přiměřená sdělnost.

3.1 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavním cílem této disertační práce je prohloubení znalostí o účinnosti elektroosmotického odstraňování vlhkosti v reálných stavebních materiálech, tedy míry schopnosti vloženého elektrického pole transportovat vložený roztok pórovitou strukturou testovaných stavebních materiálů a ověření platnosti úvah založených na metodickém modelu elektroosmózy. K tomuto cíli bylo provedeno porovnání několika stavebních materiálů používaných v historických konstrukcích z hlediska schopnosti transportu vlhkosti v důsledku vytvořeného elektrického pole. Nezbytnými kroky vedoucími k vytčenému cíli byly:

- návrh soustavy modelující reálné zdivo
- vyvinutí měřící aparatury;
- stanovení rozsahu měřících parametrů v závislosti na vložených okrajových podmínkách;
- rozhodnutí o hlavním hodnotícím kritériu a kritériích vedlejších.

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Úvaha založená na matematickém modelu

V následujícím textu jsou shrnuty vzorce, které popisují hlavní fyzikální jevy probíhající během elektroosmotického působení.

Elektroosmosa

Rychlost elektroosmoticky přesouvané kapaliny :

$\mathbf{V} = \varepsilon \,.\, \varepsilon_0 j \,.\, \rho \,.\, \xi / \eta = \varepsilon \,.\, \varepsilon_0 \,.\, E \,.\, \xi / \eta \,.\, l$ (m/s) (4.1.1)

Objemový průtok:

$\mathbf{V} = v \,.\, q = \varepsilon \,.\, \varepsilon_0 \,.\, I \,.\, \rho \,.\, \xi / \eta = \varepsilon \,.\, \varepsilon_0 \,.\, E \,.\, q \,.\xi / \eta \,.\, l$ (m^3/s) (4.1.2)

Elektroosmotický tlak:

$\mathbf{p_e} = V \,.\, w = 8 \,.\, \varepsilon \,.\, \varepsilon_0 \,.\, E \,.\, \xi / r^2$ (pro kruhovou kapiláru) (4.1.3)

Elektroosmotický tlak:

$\mathbf{p_e} = \varepsilon \,.\, \varepsilon_0 \,.\, E \,.\, w_0 \,.\, \xi / \eta$ (pro obecný tvar kapiláry) (4.1.4)

Specifický hydrodynamický odpor:

$\mathbf{w_0} = w \,.\, q / l$ (charakteristický pro danou kapalinu a dané porézní prostředí bez ohledu na jeho rozměry) (4.1.5)

Specifický hydrodynamický odpor:

$\mathbf{w_0} = 8 \,.\, \eta / r^2$ (pro kruhovou kapiláru) (4.1.6)

Hydrodynamický odpor porézního systému:

$\mathbf{w} = 8 \,.\, \eta \,.\, l / \pi \,.\, r^4$ (pro kruhovou kapiláru o délce l a poloměru r) (4.1.7)

ε … relativní permitivita (bez rozměru)

ε_0 … permitivita vakua ($8{,}854.10^{-12}\ J^{-1}C^2m^{-1}$)

j … hustota proudu (A/m^2)

ρ … specifický odpor kapaliny (Ω.m)

η … viskosita kapaliny ($kg.m^{-1}s^{-1}$)

q … celkový průřez kapilár (m^2)

I … celkový proud (A)

E … rozdíl potenciálů mezi konci kapiláry

w … hydrodynamický odpor porézního systému

w_0 … specifický hydrodynamický odpor

Nasávání

$$\mathbf{p_c} = p_g + p_p \quad (4.1.8)$$

$$\mathbf{p_c} = 2\gamma/r' \quad (4.1.9)$$

$$\mathbf{p_g} = gh\rho' \quad (4.1.10)$$

$$\mathbf{p_c} = hvw_0 \quad (4.1.11)$$

$$\mathbf{v} = dh/dt \quad (4.1.12)$$

platí nelineární diferenciální rovnice:

$$h \,.\, w_0 \,.\, dh / dt + g \,.\, h \,.\, \rho' = 2 \,.\, \gamma / r' \quad (4.1.13)$$

lze nahradit

$$h_{ce} = 2 \,.\, \gamma / g \,.\, r' \,.\, \rho' \quad \text{a} \quad t_0 = 0{,}386 \,.\, 2\gamma \,.\, w_0 / g \,.\, r' \,.\, \rho'^2 \quad (4.1.14)$$

a pak platí

$$0{,}1931\ t / t_0 = -\ln (1 - h/ h_c) - h / h_c \quad (4.1.14)$$

p_c … kapilární vztlak

p_g … hydrostatický tlak

p_p… tlak daný hydrodynamickým odporem při toku vody rychlostí v

γ… povrchové napětí

r'… střední poloměr pórů

g… gravitační zrychlení (9,81 m^2/s)

ρ'… hustota vody (1000kg/m^3)

v… rychlost proudící kapaliny

h_c … limitní výška vody v pórech po velmi dlouhé době (m)

t_0… doba, za kterou výška vody dosáhne hodnoty $h_c/2$

Výpočet rychlosti vysoušení

$$\mathbf{p_c} = p_g + p_p + p_e \quad (4.1.15)$$

$\mathbf{p_e} = \varepsilon \,.\, \varepsilon_0 \,.\, E \,.\, w_0 \,.\, \xi \;/\; \eta$ (4.1.16)

platí

$h \,.\, w_0 \,.\, dh / dt + g \,.\, h \,.\, \rho' = 2 \,.\, \gamma / r' - \varepsilon \,.\, \varepsilon_0 \,.\, E \,.\, w_0 \,.\, \xi / \eta$ (4.1.17)

lze nahradit

$\mathbf{h_{ce}} = (w_0 / g \,.\, \rho' \,.\, \eta) \,.\, (r' \,.\, \gamma / 4 - \varepsilon \,.\, \varepsilon_0 \,.\, E \,.\, \xi)$ (4.1.18)

$\mathbf{t^{\cdot}} = h_c \,.\, w_0 / g \,.\, \rho'$ (4.1.17)

$t^{\cdot}$… konstanta o rozměru času (s)

h_{ce} … limitní výška vody dosažená po velmi dlouhé době (m)

platí

$t / t^{\cdot} = -\ln ((h - chce) / (h_0 - h_{ce})) + ((h_0 - h) / h_{ce})$ (4.1.18)

h_0 … výška nasáknutí v okamžiku zapnutí zdroje

Předpoklady výpočtu:

1) Anoda je umístěna co nejníže
2) Limitní výška h_{ce} musí být podstatně menší než počáteční výška h_0 (popřípadě záporná)
3) Výška h_0 musí být menší než h_c daná vztahem

$\mathbf{h_{ce}} = 2 \,.\, \gamma / g \,.\, r' \,.\, \rho'$ (4.1.19)

4) Hydrodynamický specifický odpor w_0 (odvozeným pro cylindrické póry) je dán výrazem:

$\mathbf{W_0} = 8 \,.\, \eta / r^2$ (4.1.20)

Kde: η … viskosita kapaliny ($kg.m^{-1}s^{-1}$)

r … poloměr pórů (μm)

5) Pro výpočet jsou použity následující konstanty:

gravitační zrychlení	g =	9,81 m^2/s
hustota vody	ρ' =	1000 kg/m^3
viskózita vody	η =	$1{,}05.10^{-3}$ $kg.m^{-1}s^{-1}$
povrchové napětí vody	γ =	0,074 N/m

relativní permitivita prostředí $\varepsilon = 80$

permitivita vakua $\varepsilon_0 = 8{,}854.10^{-12}\ J^{-1}C^2m^{-1}$

6) Výška nasáknutí v okamžiku zapnutí zdroje $h_0 = 2$ m
7) Doba potřebná k poklesu výšky vody v pórech na určitou úroveň je dána rovnicemi

$$t\ /\ t^{\cdot} = -\ln\left((h - h_{ce}) / (h_0 - h_{ce}) \right) + \left((h_0 - h) / h_{ce} \right) \qquad (4.1.21)$$

$$\mathbf{h_{ce}} = (w_0 / g \,.\, \rho' \,.\, \eta) \,.\, (r' \gamma / 4 - \varepsilon \,.\, \varepsilon_0 \,.\, E \,.\, \xi) \qquad (4.1.22)$$

Následující tabulka 4.1.1. ukazuje hodnoty limitních výšek vody h_c (m) nasáknuté po velmi dlouhé době do systému s pravidelnou strukturou válcových pórů s vloženými hodnotami součinu vloženého napětí, ξ - potenciálu a velikostí pórů. Z hlediska elektroosmotického převádění vody je důležitý okamžik zlomu či záporná hodnota h_c.

Tab. 4.1.1. Hodnoty výšky nasáknutí vody (m) po dlouhé době

E.ξ	0,01	0,05	0,1	0,15	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4	15
r´. μm											
0,01	1425,4	1194,4	905,5	616,7	327,9	-827,3	-3137,9	-7758,9	-17001,0	-35485,2	-85161,5
0,1	147,7	145,4	142,5	139,7	136,8	125,2	102,1	55,9	-36,5	-221,4	-718,1
0,3	49,4	49,1	48,8	48,5	48,2	46,9	44,3	39,2	28,9	8,4	-46,8
0,6	24,7	24,6	24,6	24,5	24,4	24,1	23,4	22,2	19,6	14,5	0,7
0,7	21,2	21,1	21,1	21,0	21,0	20,7	20,2	19,3	17,4	13,6	3,5
0,8	18,5	18,5	18,4	18,4	18,4	18,2	17,8	17,1	15,7	12,8	5,0
2	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,3	7,2	7,0	6,5	5,2

V případě navržených hodnot součinu E.ξlze odvodit hodnoty vloženého napětí E (V) na elektrody. Hodnoty E jsou odvozeny v následující tabulce 4.1.2.

Tab. 4.1.2. Hodnoty vloženého napětí (V)

E.ξ	0,01	0,05	0,1	0,15	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4	15
ξmV											
1	10,00	50,00	100,00	150,00	200,00	400,0	800,0	1600,	3200,0	6400,0	15000,00
5	2,00	10,00	20,00	30,00	40,00	80,00	160,0	320,0	640,00	1280,0	3000,00
10	1,00	5,00	10,00	15,00	20,00	40,00	80,00	160,0	320,00	640,00	1500,00
20	0,50	2,50	5,00	7,50	10,00	20,00	40,00	80,00	160,00	320,00	750,00
30	0,33	1,67	3,33	5,0	6,67	13,33	26,67	53,33	106,67	213,33	500,00
40	0,25	1,25	2,50	3,75	5,00	10,00	20,00	40,00	80,00	160,00	375,00
50	0,20	1,00	2,00	3,00	4,00	8,00	16,00	32,00	64,00	128,00	300,00
100	0,10	0,50	1,00	1,50	2,00	4,00	8,00	16,00	32,00	64,00	150,00
150	0,07	0,33	0,67	1,00	1,33	2,67	5,33	10,67	21,33	42,67	100,00
200	0,05	0,25	0,50	0,75	1,00	2,00	4,00	8,00	16,00	32,00	75,00
500	0,02	0,10	0,20	0,30	0,40	0,80	1,60	3,20	6,40	12,80	30,00

Z tabulek vyplývají následující údaje o elektroosmotickém vedení vody, které se opírají o matematický model.

- Elektroosmotický přesun vody v žádoucím směru se nejvíce projevuje u materiálů s póry velikostí setin až desetin μm
- Žádoucí elektroosmotické působení je patrné u materiálů, na něž je vloženo minimální napětí 5V při jejich hodnotě ξ-potenciálu větší než cca 40 mV při vloženém minimálním napětí 20V při jejich hodnotě ξ-potenciálu 10 mV.
- Správná volba vloženého elektrického napětí je velmi důležitá a její malý pokles může v některých případech vésti k zastavení elektroosmotického vysoušení. Např. u pórů poloměru setin μm lze při hodnotě ξ-potenciálu 1V změnit tok vody rozdílem 2 voltů. Při 2V dochází k nasávání a při 4V již převažuje elektroosmotické vytlačování vody.

Významný podíl na vysoušení zdiva má vypařování vody. Z tohoto důvodu není bezpodmínečně nutné dosažení převahy elektroosmotického toku nad tokem kapilárním, ale bodu kdy elektroosmotický tok a voda vypařená převažují nad vodou kapilární. Tato skutečnost poukazuje na vhodnost použití doplňujícího sanačního opatření, které zmenší kapilární tlak zemní vody a umožní zdivu intenzivnější vydýchávání vlhkosti.

4.2 VÝBĚR KOMPONENT A MATERIÁLŮ

4.2.1 SNÍMACÍ APARATURA

Pro vytvoření jednotných podmínek elektroosmotického působení na zkoušené vzorky, byla vyvinuta soustava EMIS 03 tvořící okruh zdroj stejnosměrného proudu, vodiče, zkoušený vzorek (kartuše), snímací aparatura a ukládací paměť. Soustava je schopna obhospodařovat 16 kanálů najednou, lze nastavit velikost aplikovaného stejnosměrného napětí, čas běhu a intervaly mezi uloženímy jednotlivých dat.

K řízení chodu aparatury slouží speciální software, který umožňuje komunikaci uživatele se soustavou EMIS 03 a EMIS 04 prostřednictvím PC, umožňuje využití pevného disku PC pro ukládání dat a jejich převod do EXCELU a umožňuje samostatný restart programu v případě přerušení dodávky elektrického proudu. Soustava umožňuje kontrolovat skutečné napětí na výstupu, měří a ukládá záznamy proudu v nastavených časových intervalech a podává chybová hlášení v případě přerušení chodu.

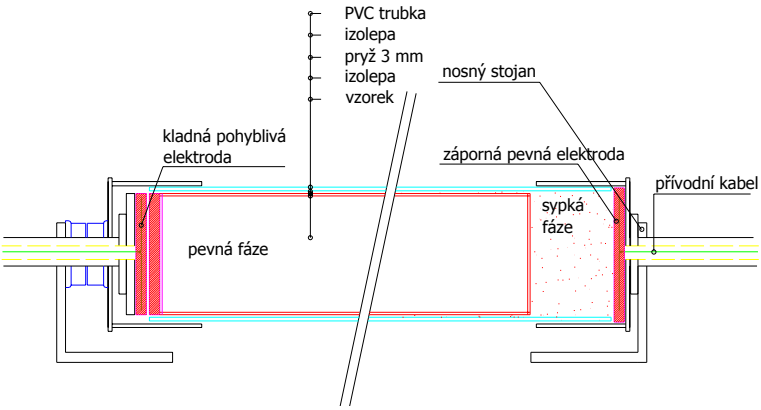
Obr. 4.1. Aparatura EMIS 03

4.2.2 KARTUŠE

Kartuše je soustava skládající se ze zkoušeného vzorku, parotěsných obalů, elektrod a přívodních kabelů. Zkoušený vzorek byl izolován třemi vrstvami izolepy, jednou vrstvou 3mm gumové pryže a vložen do uzavřeného PVC prostoru. V případě měření pevného vzorku byly elektrody aplikovány přímo na zkoušený vzorek. Pro případ zkoušené sypké fáze či kombinace pevné a sypké fáze byl sestrojen systém tzv. přítlačných elektrod u nichž lze pohybovat kladnou elektrodou a měnit přítlak na zkoušený vzorek.

Obr. 4.2. Kartuše s měřeným vzorkem

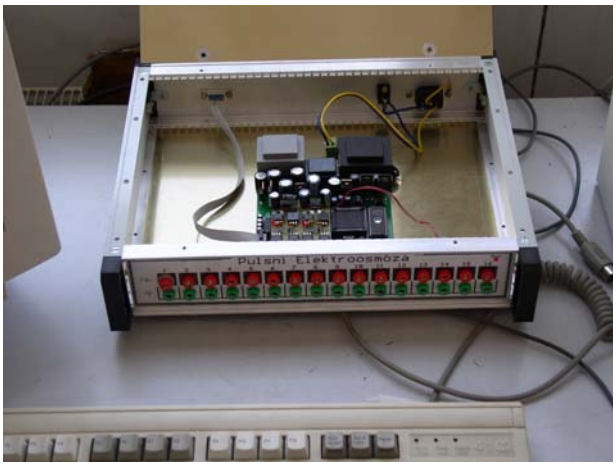
Obr. 4.3. Izolace měřeného vzorku



Obr. 4.4. Schéma měřené skladby

4.2.3 MULTIPLIKAČNÍ INTERFACE

Multiplikační interface (snímač) je přístroj, který plní funkci zdroje shodného napětí do 16 kanálů, zároveň převádí analogový signál napětí na čísla, měří proudy a komunikuje s PC prostřednictvím sériové linky. Hlavními částmi přístroje jsou zdroje napětí, procesorová část a analogová část. Celý systém je galvanicky oddělen. Napětí ze sítě je zredukováno a usměrněno prostřednictvím transformátorů MT 812 (dvojité vinutí) a MT 509 (jednoduché vinutí) a diodových usměrňovačů B4C1500. V systému existují tři typy zdrojů napětí. První typ 2.5V (označeno VCC) napájí procesor, multiplexery a paměť, a druhý typ 2.12V (označeno AVCC) napájí analogovou část. Zesilovače sériové linky a optočleny napájí zvláštní galvanicky oddělený zdroj se samostatným transformátorem. Hlavními funkcemi procesoru (80552) jsou měření vstupního napětí vztažené k referenci, převod analogového signálu napětí na čísla, vyvedení sériové linky, ukládání proměnných do registru, čtení registru a obsluha zdroje. Krystal 11.8592MHz udává rychlost procesoru. V analogové části dochází k měření proudu a jeho převedení na napětí (0μA→0V a 20μA→5V) pro soustavu EMIS01 a (0μA→0V a 100μA→5V) pro EMIS02 a generování napětí prostřednictvím PWM systému. Rozsah měření 0 – 20 μA soustavy EMIS 01 byl po prvních zkouškách rozšířen na 0 – 100 μA pro soustavu EMIS 02.



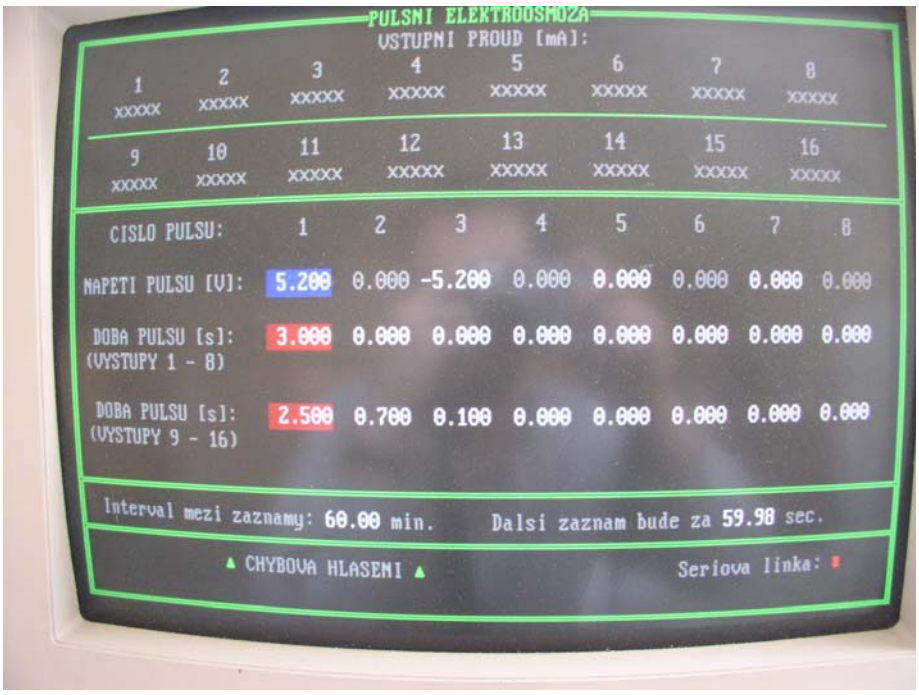
Obr. 4.5, 4.6., 4.7. Multiplikační interface soustavy

4.2.4 FUNKCE PC

Hlavní funkcí PC je komunikace s procesorem snímače, čtení a filtrování proměnných, zpracovávání a posílání zpět údajů o napětí, ukládání proměnných a jejich import do tabulkového procesoru EXCEL.

4.2.5 PROGRAM PRO PC

Celý program je psaný pro MS-DOS, běží i v dosovském okně pod Windows. Spouští se bez jakýchkoliv parametrů příkazem osmoza.exe (příp. osmoza2.exe pro port COM2). Má jediné okno, ve kterém se vše zobrazuje najednou.



Obr 4.8. Řídící okno

Program používá ve svém adresáři tyto soubory:

- osmoza. exe;
- stat1, stat 2;
- osmoza ins;
- data1. out, data2. out;
- osmoza. log.

osmoza.exe (osmoza2.exe) je vlastní tělo programu. Osmoza2 komunikuje po COM2, jinak je funkce úplně stejná.

Soubory stat1.### a stat2.### ukládají svá nastavení pro případ navázání měření po výpadku proudu.

Osmoza.ins je soubor s instrukcemi, kterými se program řídí.

Data1.out a data2.out jsou soubory s naměřenými daty (oba shodné kvůli bezpečnosti dat). Po každém měření je vhodné tyto soubory přesunout jinam, jinak program při dalším měření do nich pokračuje se zápisem výsledků. Struktura dat je importovatelná tabulkovými procesory (Excel…)

Osmoza.log. je velmi důležitý soubor, kam program ukládá chybové hlášky a upozornění na důležité události za běhu.

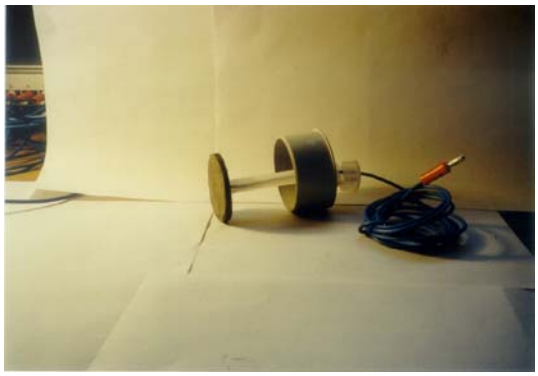
Pokud dojde k nestandardnímu ukončení programu za běhu (např. z důvodu výpadku proudu), pokračuje program po opětovném spuštění tam, kde byl přerušen. Pokud dojde za běhu programu k chybě, uloží se její stručný popis do souboru osmoza.log a zároveň se hláška vypíše na obrazovce.

4.2.6 VODIČE

Vedení elektrického proudu mezi zdrojem a zkoušenými vzorky je zajištěno měděnými dráty CYKY 1,5mm.

4.2.7 ELEKTRODY

Laboratorní podmínky vyžadují takový typ elektrod, kde je zaručen kontakt se vzorkem. Pro laboratorní testy byl vyvinut elektrovodivý tmel (vodivost - desítky Ω / cm2) , na bázi grafitu a parafinu, umožňující výrobu celoplošné elektrody. Tímto bylo zaručeno roznesení el. napětí z měděného drátu do plochy a zároveň dobrý kontakt se zkoušeným vzorkem.



Obr. 4.9 Kladná elektroda

Obr. 4.10. Záporná elektroda

Tmel byl nanesen na nosič (dutý plastový šroub) umožňující pohyb elektrody pomocí matek. Pro zaručený přenos napětí do pevné fáze, je samotný materiál také opatřen tímto tmelem v tloušťce cca 2 mm. Adheze tmelu k vzorku je zaručena pomocí adhezního můstku, který tvoří elektrovodivý, průmyslově vyráběný lak EP-02.

4.3 UPŘESNĚNÍ METODIKY

4.3.1 POPIS KOMUNIKACE ZAŘÍZENÍ NA MĚŘENÍ ELEKTROOSMÓZY S PC

Zařízení komunikuje s PC pomocí sériové linky typu RS232 (standardní sériové rozhraní PC). Připojuje se běžným laplinkovým (tedy prokříženým) kabelem. Formát dat je asynchronní přenos o frekvenci 57,6 kB, 1 startbit, 8 bitů slova, no parity, no stopbit. Komunikační věta je následující: Nejprve zařízení vyšle sekvenci 36 bytů, mezi jejichž počátky je prodleva 0,625 ms. Tyto byty nesou následující informaci:

byte 1……klíč o hodnotě 0xA5 (hexadecimálně)

byte 2-33….16 dvojic nesoucí informaci o měřeném proudu v pořadí od kanálu 1 do 16, ve dvojici je vždy vyšší byte jako první. Dvojice vyjadřuje celočíselný údaj proudu bez znaménka. Pro správnou hodnotu proudu v mikroampérech je třeba číslo vydělit konstatou 200.

byte 34,35…dvoubytový údaj o napětí zdroje. Správnou hodnotu ve voltech z něho získáme pomocí vztahu: U = naše číslo / 819

byte 36…….prostý jednobytový přetékaný kontrolní součet předchozích 35 bytů.

Po tomto řetězci zařízení čeká na odezvu PC po dobu 500 ms. V této odezvě očekává následně 2 byty s prodlevou max. 20 ms:

byte 1……klíč o hodnotě 0xA5 (hexadecimálně)

byte 2……údaj, podle kterého se při správném příjmu nastaví napětí zdroje. Výpočet tohoto údaje je podle vzorce: byte = (10,04 – U) . 25,449.

Pokud k této odezvě nedojde výše popsaným způsobem, zařízení zůstane v nezměněném stavu a začne vysílat celou sérii znovu.

4.3.2 OVLÁDÁNÍ PROGRAMU

Program je konstruován zejména pro ovládání instrukcemi. Tak umožňuje automatické měření po dlouhou dobu. Instrukcí je celkem 5 a zapisují se do textového souboru osmoza.ins Tento soubor je třeba vytvářet nějakým jednoduchým editorem (Norton, Notepad…). Instrukce se píší vždy velkými písmeny - jedna instrukce na jeden řádek a pod ní jednočíselný (může být vícečíslicový) parametr. Instrukce jsou:

ZACATEK – musí být na úplném začátku souboru jako první instrukce. Parametr udává počet sekund, které se čeká, než se přejde na další instrukci.

KONEC – musí být na konci jako poslední instrukce. Parametr udává počet sekund, během kterých se čeká.

NAPETI – instrukce nastaví na výstupu požadované napětí. Parametr udává napětí ve voltech (nemusí být celočíselný). Rozmezí je 0.1 až 10. Na další instrukci se čeká 2 sec.

INTERVAL – instrukce nastaví požadovaný interval mezi záznamy dat na disk. Parametr udává dobu v minutách, rozmezí je 1 – 60000.

BEZ – Tato instrukce startuje měření a její parametr udává počet hodin, po které se má měřit a zaznamenávat. Rozmezí parametru je 1 – 30000.

Instrukce se nemusí psát od začátku řádku a mohou mezi nimi být i prázdné řádky. Je možné vkládat komentáře, vždy za středník. Instrukcí může být v souboru maximálně 100 v libovolném pořadí. Např. lze zvolit jeden režim na určitou dobu, pak automaticky změnit napětí a pokračovat.

Příkladem zadání měřícího režimu s dvěmi etapami ukládání dat a dvou období vkládání různých napětí je následující:

```
ZACATEK
2; měření vzorku opuky, který je v kontaktu s křemennou moukou
NAPĚTÍ
3; napětí první části trvající 24 hodin
INTERVAL
60
BEZ
24
NAPĚTÍ
6; druhá část s dvojnásobným napětím, která trvá 72 hodin
INTERVAL
 180
BEZ
72
KONEC
2
```

Druhou možností je ovládání programu klávesami. V tomto případě lze do každé instrukce zvlášť zasáhnout a změnit parametr na dobu, než vyprší časový limit této sady instrukcí. Další sada běží opět podle předdefinování v instrukcích.

4.3.3 STRUKTURA NAMĚŘENÝCH DAT

Data jsou uložena v textové formě v souboru data1.out (soubor data2.out je jeho kopie kvůli bezpečnosti). Každé nové spuštění programu vloží do datového souboru zprávu o začatém měření s datem a časem v uvozovkách. Jednotlivé sady 16-ti čísel proudů (v mikroampérech) jsou na zvláštních řádcích. Čísla jsou od sebe oddělena mezerami. Na začátku řádku je v uvozovkách datum a čas měření (odpadne při zpracování jen jako komentář), pak je datum přepočtené na vteřiny (sedmi- místné číslo), které může sloužit jako osa x pro případné grafy. Tento druh souboru lze snadno importovat například do Excelu. Ukázka zapsaných dat je naznačena v následujícím obrázku (obr. 4.11).

```
————————Dalsi mereni spusteno dne 2003/08/15 v 15:12:34 hodin.————————

2003/08/15, 15:13:43 1     0.397 0.265 0.433 0.263 0.536 0.447 0.345 1.023 0.016 0.338 0.656 0.858 0.045 0.882 0.436 0.443
2003/08/15, 16:13:43 61    0.390 0.260 0.429 0.258 0.528 0.440 0.339 1.023 0.013 0.335 0.649 0.846 0.045 0.864 0.679 0.438
2003/08/15, 17:13:44 121   0.392 0.261 0.426 0.258 0.528 0.441 0.340 1.023 0.013 0.335 0.650 0.846 0.045 0.863 0.724 0.435
2003/08/15, 18:13:44 181   0.391 0.259 0.426 0.257 0.527 0.440 0.339 1.023 0.013 0.334 0.649 0.844 0.045 0.858 0.743 0.428
2003/08/15, 19:13:45 241   0.389 0.258 0.424 0.255 0.525 0.438 0.337 1.023 0.013 0.334 0.649 0.843 0.045 0.859 0.763 0.434
2003/08/15, 20:13:45 301   0.382 0.251 0.418 0.248 0.518 0.431 0.329 1.023 0.013 0.334 0.647 0.843 0.045 0.862 0.771 0.424
```

Obr. 4.11 Ukázka dat v paměti systému EMIS 03 při výpisu na obrazovku

4.3.4 DEFINICE A VLOŽENÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK

Pro možnost experimentu bylo nutno vyhodnotit a stanovit jednotné okrajové podmínky vztahující se ke zdárnému působení snímání a vyhodnocení naměřených dat. Jednalo se zejména o stanovení rozsahu snímaných proudů v závislosti na zvlhčení vzorku, velikost aplikovaného napětí, velikost a tvar zkoušených vzorků, druh a koncentrace solí v roztoku používaného ke zvlhčení vzorků, velikost zvlhčení. Vývojové testy a úpravy interfaceu nakonec vedly k následujícímu experimentálnímu uspořádání:

- aplikované napětí bylo 5V a bylo produkované multiplikačním interfacem EMIS 03 s rozsahem snímaných proudů 0 – 1mA;
- zkoušenými pevnými vzorky byly jádrové vrty průměru 50mm +/- 5 mm a délek kol. 300 mm. Jako sypká fáze byly použity minerální a cihelná moučka, jejíž měrný povrch se pohybuje v rozmezí 3000 až 3500 cm2 /g. Celková délka kartuší byla vyrobena jednotně 450mm;
- zvlhčení vzorků v rozmezí 4 – 11%hm.;
- roztok solí obsahoval zastoupení chloridů 0,25%, dusičnanů 0,5% a síranů 2,14%

4.4 ZKOUŠENÉ MATERIÁLY

Pro vyhodnocení účinnosti elektroosmotického působení bylo provedeno měření na následujících vzorcích:

Tab. 4.4.1

Číslo měření	Materiál	Období měření	Poznámka
PÍSKOVEC			
1.	pískovec	22.7. - 6..11. 2003	
26.	pískovec v křemenné mouce	28.8. - 24.10. 2002	
15.	pískovec v křemenné mouce	28.8. - 29.10. 2002	
16.	pískovec v křemenné mouce	28.8. - 29.10. 2002	
24.	pískovec v křemenné mouce	28.8. - 29.10. 2002	
27.	pískovec v křemenné mouce	29.8. - 24.10. 2002	
28.	pískovec v křemenné mouce	29.8. - 28.11. 2002	
29.	pískovec v křemenné mouce	29.8. - 28.11. 2002	

Číslo měření	Materiál	Období měření	Poznámka
OPUKA			
2.	opuka	1.8. - 21.11. 2003	
17.	opuka v křemenné mouce	21.11. 2002 - 14.4. 2003	
18.	opuka v křemenné mouce	21.11. 2002 - 14.5. 2003	
32.	pískovec v cihelné mouce	21.11. 2002 - 14.2. 2003	cihla nebyla izolována
30.	pískovec v cihelné mouce	28.11. 2002 - 21.2. 2003	
31.	pískovec v cihelné mouce	28.11. 2002 - 21.2. 2003	

Číslo měření	Materiál	Období měření	Poznámka
HISTORICKÁ CIHLA			
3.	historická cihla č. 3	4.7. - 3.10. 2003	koroze přívodu +
4.	historická cihla č. 4	5.7. - 4.11. 2003	bez záslepek, vzorek vlhčen 24 hodin
5.	historická cihla č. 2	4.7. - 20.11. 2003	cca 1 % koroze přívodu
6.	historická cihla č. 1	27.6. - 2.12. 2003	přepálený střep
19.	historická cihla č. 5 v křemenné mouce	29.7. - 11.11. 2003	
36.	historická cihla 6a, 6b s historickou maltou	15.8. - 21.11. 2003	

Číslo měření	Materiál	Období měření	Poznámka
NOVÁ CIHLA			
13.	nová cihla číslo 78	2.5. - 12.11. 2003	zapojeno na přímo - kontaktně
14.	nová cihla číslo 76	5.5. - 13.11. 2003	koroze u +
7.	nová cihla číslo 71	9.5. -.20.11. 2003	
8.	nová cihla číslo 70	2.5. - 12.11. 2003	
9.	nová cihla číslo 68	5.5. - 13.11. 2003	
10.	nová cihla číslo 67	22.5. - 18.11. 2003	
20.	nová cihla číslo 72 v křemenné mouce	21.5. - 10.11. 2003	zapojena polarita opačně tzn. + u sypké fáze
21.	nová cihla číslo 73 v křemenné mouce	22.5. - 18.11. 2003	

Číslo měření	Materiál	Období měření	Poznámka
NOVÁ MALTA			
11.	nová malta	6.6. - 12.8. 2003	koroze u +
12.	nová malta	6.6. - 3.9. 2003	koroze u +
22.	nová malta v křemenné mouce	25.11. 2002 - 28.1. 2003	
23.	nová malta v křemenné mouce	14.2. - 28.3. 2003	koroze u +
25.	nová malta v křemenné mouce	14.2. - 28.3. 2003	křemenná mouka bez pryže

Číslo měření	Materiál	Období měření	Poznámka
SLEPENCE			
33.	slepenec pískovce a nové malty	21.11. 2002 - 14.4. 2003	prasklina, vyluh solí u +
34.	slepenec pískovce a nové malty s prasklinou	18.11. 2002 - 14.4. 2003	koroze u +
35.	slepenec pískovce a 2 x malty	14.11. 2002 - 14.2. 2003	

Obr. 4.12 Časový harmonogram prováděných testů

4.5 POSUZOVANÉ PARAMETRY

V rámci vyhodnocování byly posuzovány parametry které je možno rozdělit do následujících skupin:

- hlavní posuzované parametry:

- Relativní změna vlhkosti vlivem působícího elektrického pole parciálních částí zkoušených materiálů po aplikaci elektrického pole.

- Směrodatná odchylka lineární regrese relativních změn vlhkosti a vlhkostí konečných v posuzovaném materiálu po aplikaci elektrického pole.

➢ vedlejší posuzované parametry

- transport solí
- změna pH v krajních částech vzorků
- prošlý náboj
- proud v čase
- vypařená vlhkost
- elektrolyticky rozložená voda
- čas působení

➢ parametry související a umožňující provedení experimentu

- vodivost tmelu kontaktních elektrod

4.6 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Technologický postup byl přizpůsobován potřebám jednotlivých vzorků a získání objektivních výsledků. Měření a vyhodnocování všech vzorků mělo následující společné fáze postupu:

➢ Fáze přípravná;
➢ Fáze působení elektrického pole;
➢ Fáze ukládání do porovnávacích tabulek;
➢ Fáze vyhodnocování experimentu.

4.6.1 FÁZE PŘÍPRAVNÁ

Přípravnou fázi tvoří následující operace:

1) vážení suchého vzorku
2) nanášení elektrod
3) vážení s elektrodami
4) příprava sypké fáze (mletí, vlhčení)
5) vlhčení pevné fáze

6) vyhodnocení koncentrace solí (po zvlhčení)
7) vyhodnocení pH (před i po zvlhčení)
8) vážení zvlhčeného vzorku
9) izolace vzorku a vložení do kartuše
10) vážení kartuše před vložením do elektrického okruhu
11) nastavení parametrů soustavy EMIS 03 (čas běhu experimentu, intervaly ukládání proudů, velikost aplikovaného napětí)

4.6.2 FÁZE PŮSOBENÍ ELEKTRICKÉHO POLE

V této fázi došlo k osazení kartuše do stojanu a uzavření elektrického okruhu. Byl zapsán čas sepnutí a velikost elektrického proudu bezprostředně po sepnutí. Délka experimentu byla pro každý zkoušený vzorek individuální a odvíjela se od ustálení proudových poměrů v čase. Časy působení se pohybovaly v rozmezí 1002 – 4217hodin.

4.6.3 FÁZE BEZPROSTŘEDNÍHO VYHODNOCENÍ PO SKONČENÍ EXPERIMENTU

Po vyjmutí kartuše z elektrického okruhu byly provedeny následující kroky:

1) zapsání času a zaznamenání hodnoty proudu
2) zvážení kartuše, vyjmutého vzorku s izolacemi i bez nich
3) rozbití vzorku na jednotlivé segmenty (počet se pohyboval mezi 10 a 12)
4) vyhodnocení segmentů pevné a sypké části části z hlediska vlhkosti
5) vyhodnocení prvního a posledního segmentu z hlediska koncentrace původně vložených solí
6) vyhodnocení vybraných segmentů z hlediska pH

Vlhkosti byly ve všech případech stanoveny gravimetricky v souladu s normovým postupem vyhodnocování vlhkosti.

Obsah iontů byl stanoven v laboratořích Watrex Praha pomocí iontové chromatografie. Směrodatná odchylka výsledků nepřesahuje 0.05%hm.

Vodné roztoky pro stanovení koncentrace solí byly připraveny z frakcí rozemletých segmentů zkoušených vzorků v mezích 0.09 – 0.3 mm louhovaných v destilované vodě teploty 50°C po dobu 2 hodin. Koncentrace pevné a kapalné fáze byla stanovena 24 %.

Stanovení pH bylo provedeno z těchž vodných extraktů pomocí přístroje Radelkis OP 211/01.

Vážení probíhalo na elektronické váze Mettler AE 240.

4.6.4 FÁZE UKLÁDÁNÍ DO POROVNÁVACÍCH TABULEK

Získaná data a vyhodnocené parametry experimentu byly uloženy do následujících tabulek a grafů:

a) Tabulka " Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č. x " se skládá z těchto fází:

- rozdíl hmotností před a po působení (celek, segmenty)
- vyhodocení vlhkostí a stanovení absolutních a relativních změn vlhkosti před a po působení
- vyhodnocení koncentrací jednotlivých solí a jejich změn před a po působení
- vyhodnocení pH před a po působení
- vyhodnocení parametrů souvisejících s elektrickým proudem (proudy, náboje)
- vyhodnocení časových parametrů

b) Graf "Rozložení vlhkosti v místech měření vzorku x " s porovnáním původních a konečných vlkostních poměrů měřených míst

c) Tabulka "Kanál x změna proudu v čase" ukazuje změny proudu v čase působení v podrobnosti dané intervaly ukládání (v převážné většině vzorků byl interval ukládání 1hodina).

4.6.5 FÁZE VYHODNOCOVÁNÍ EXPERIMENTU

Kontrolním faktorem při konečném vyhodnocování přesunu vlhkosti byla celková bilance přesunutého roztoku (hmotnost roztoku dodaného na začátku do systému se samotným přesunem nemění). Zjištěný rozdíl v celkové hmotnosti byl připsán především odparu a z menší části na vrub elektrolytického rozkladu.

Metody vyhodnocování měřených charakteristik

Hmotnost

Hmotnosti byly stanoveny vážením na digitálních vahách METTLER AE240 a KERN EW 6000.

Hodnoty pH

Technologický postup přípravy a vyhodnocení tohoto parametru je popsáno v kapitole 4.6.3 str. 80.

Pórovitost, velikosti pórů a měrná hmotnost

K určení hodnot bylo využito metody rtuťové porozimetre založené na jevu kapilární deprese, při níž dochází k pronikání rtuti do pórové struktury pouze účinkem vnějšího tlaku. K měření bylo využito přístroje PoreSizer 9320 americké firmy Micrometritics. Stanovení probíhalo v těchto dvou částech:

- nízkotlaká analýza – proběhla evakuace vzorku a měření v oblasti makropórů v tlakovém rozsahu od 0,003 – 0,15 MPa tj. pro poloměry pórů 200 . 10-6 – 4.10-6.
- Vysokotlaká analýza – proběhlo měření převážně v oblasti mezopórů od 0,15 MPa do 200 MPa tj. propoloměry pórů 4.10-6 – 3.10.-9m.

V průběhu analýzy došlo k postupnému zvyšování tlaku a zaznamenávání objemu rtuti vtlačené do pórů. Z odečtených údajů byla sestrojena tzv. kumulativní distribuce pórů, která vyjadřuje závislost objemu pórů s poloměry většími, než odpovídá okamžitému tlaku podle Washburnovy rovnice (viz. kap. 4.6.).

Při formulování kvantitativního popisu byly přijaty tyto zjednodušující předpoklady:

- pevná látka má póry s neelastickými stěnami a s pravidelným tvarem
- povrchové napětí rtuti a její smáčecí úhel s povrchem pevné látky jsou uvažovány za nezávislé na tlaku

Sole

Hodnoty solí byly stanoveny z roztoků výše popsaných metodou iontové chromatografie početně převedené na hodnoty v %hm. vztažených k původní navážce. Směrodatná odchylka nepřekročila 0,05% hmotnostních nebo 5% relativních výsledků.

Proud

Hodnoty proudu byly snímány multiplikačním interfacem vyrobeným speciálně k tomuto účelu, který je součástí systému EMIS 4 (popsán v samostatné kapitole č. 4.2.3 str.).

Vodivost tmelu

Vodivost vyrobeného tmelu byla testována prostřednictvím odporu válcových tělísek průměru 10mm a téže výšky měřeného voltmetrem PU 510 (Metra Blansko).

Čas působení

Čas působení byl dán zapojením a odpojením elektrického okruhu s odpočtem výpadků elektrického proudu či jiným přerušením elektrického působení.

Zeta potenciál

Pro měření Zeta potenciálu bylo použito přístroje SZ2 (Magendans a Bayer AG). Princip měření spočívá ve vytvoření potenciálu proudění v měřící cele ohraničené dvěma elektrodami viz. obr. 4.5.1.

Obr 4.13 Systém zeta potential SZ 2

Měření suspenze probíhá prostřednictvím podtlakového nasávání z kádinky přes sací trubici do válcové měřící cely opatřené sítem. Měření probíhá na tzv. koláči, který se vytvoří mezi horním sítem, které zároveň reprezentuje horní měřící elektrodu a spodní elektrodou. Díky měnícímu se podtlaku dochází k protékání roztoku přes vytvořený koláč a tím vzniká potenciál proudění, který podobně jako vodivost, může být měřen dvěma krajními elektrodami. Mikroprocesor přesně vyhodnotí zeta-potenciál a jeho hodnota se zobrazí na displeji přístroje a zároveň dochází k tisku hodnot.

Mimo hodnoty zeta – potenciálu jsou zaznamenány informace o datu, času měření, vodivosti suspenze, vzniklého tlaku, měřeného potenciálu na vstupu a počtu detekčních cyklů.

Vzhledem ke skutečnosti, že měření nemohlo probíhat na samotném vytvořené suspenze roztoku solí a namletého stavebního materiálu, bylo nezbytné zvolení tzv. nosiče, který vytvoří požadovaný koláč obsahující zkoumaný materiál. Jako nosič byla použita suspenze papírových vláken, jejíž hodnoty zeta - potenciálu se blíží k nule. Roztokem solí síranů, dusičnanů a chloridů byla doplněna kádinka obsahující 22g vysušené papírové suspenze do 1 litru. Zkoušené materiály byly umlety na frakce 0,09 – 0,2 mm a přidány do připravené suspenze v množství 30g.

4.6.6 Početní metody odvozených charakteristik

Vlhkost (w)

Stanovení vlhkosti bylo provedeno gravimetricky prostřednictvím vzorce:

$$\mathbf{w} = (m_{vlhk.} - m_{such.})/ m_{such.} \times 100 \ (\%hm.) \qquad (4.6.1.1)$$

kde m_{vlhk} … je hmotnost vlhkého vzorku

$m_{such.}$ … je hmotnost suchého vzorku

Hmotnost suchého vzorku byla stanovena po 20hodinách umístění v sušárně HS 61A při teplotě 105°C.

Absolutní hodnota změny vlhkosti (Δ w)

Tato hodnota byla stanovena rozdílem vlhkostí po a před elektroosmotickém působení daného vzorku v %hm. Kladná hodnota odpovídá přírůstku vlhkosti po elektroosmotickém působení.

$$\mathbf{\Delta w} = w_2 - w_1 \ (\%hm.) \qquad (4.6.1.2)$$

kde: w_2 … je vlhkost po elektroosmotickém působení (%hm.)

w_1 … je vlhkost před elektroosmotickým působením (%hm.)

Relativní hodnota změny vlhkosti (rel.Δw)

Tato hodnota byla stanovena poměrem absolutní hodnoty změny vlhkosti a vlhkosti vzorku před působením:

$$\mathbf{rel.\Delta w} = \Delta w/w_1 \ (\%) \qquad (4.6.1.3)$$

Absolutní změna pH

Tato hodnota byla stanovena rozdílem pH po a před elektroosmotickým působením daného vzorku. Kladná hodnota dokládá tendenci k alkalizaci vlivem elektroosmotického působení.

Směrnice křivky lineární regrese vložených argumentů

Pomocí metody nejmenších čtverců byla vypočítána a vrácena matice popisující přímku, která nejlépe odpovídala zadaným datům. Tato přímka je definována následujícím vztahem:

y = mx + b nebo (4.6.1.4)

y = m1x1 + m2x2 + … + b (v případě více oblastí hodnot x) (4.6.1.5)

Vloženými argumenty byly a) hodnoty relativních změn vlhkostí b) hodnoty vlhkostí w_2. Rovnice byly řešeny v programu Excel. Záporné hodnoty naznačily žádoucí transport vlhkosti a množství transportované vlhkosti je úměrné hodnotě směrnice.

Elektrolyticky rozložená voda

$\mathbf{m_{H2O}} = M \times I_{stř} \times 1 \times 10^{-5} \times t/(2 \times F)$ (g) (4.6.1.7)

kde: F … je Faradayova konstanta (96 484,5627 C x mol^{-1})

$I_{stř}$ … střední hodnota proudu (microA)

t … čas působení (s)

M … molární hmotnost atomů ()

Celkový náboj

$\mathbf{Q} = 1 \times 10^{-5} \int I \times dt$ (C) (4.6.1.8)

kde: I … je proud (microA)

t … čas (s)

Střední hodnota proudu

Tato hodnota byla počítána jako aritmetický průměr argumentů hodnot proudu ukládaných v časových intervalech jedné hodiny.

Vztah mezi tlakem vtlačované rtuti a velikostí pórů – Washburnův vzorec

$$g\rho h\pi r^2 = -2\pi r\gamma.\cos\theta \qquad (4.6.1.9)$$

kde: g … gravitační zrychlení (m/s^2)

ρ … hustota rtuti (kg/m^3)

h … výška sloupce rtuti v póru (m)

r … poloměr póru kruhového průřezu (m)

γ … povrchové napětí rtuti v póru (N/m)

θ … úhel smáčení stěn pórů rtutí

Příslušný vzorec lze přepsat do tvaru

$$g\rho h = P = -2\gamma.\cos\theta/r \qquad (4.6.1.10)$$

kde: P … celkový tlak, pod nímž rtuť proniká do pórů (N/m^2)

Poloměr zaplněného póru je tedy nepřímo úměrný hodnotě použitého tlaku, takže při nejmenších tlacích jsou rtutí zaplněny póry o největším poloměru a každý přírůstek tlaku vyvolává vniknutí rtuti do frakce pórů o příslušném menším poloměru.

4.7 VÝSLEDKY A DISKUZE

4.7.1 PRŮBĚH PROUDŮ PŘI ELEKTROOSMÓZE

Elektroosmotický tok je při konstantních hodnotách dalších parametrů (konduktivity, permitivity a ξ potenciálu) přímo úměrný procházejícímu proudu. Proto jsou v této kapitole uvedeny průběhy proudů s časem při odvlhčování vzorků působením elektroosmózy. Vzhledem k tomu, že vodivost roztoku se při konstantním napětí na elektrodách mění mj. i s teplotou, a tedy i procházející proud je funkcí teploty, byly proudové křivky doplněny grafem průběhu teplot v místnosti (viz. příloha 1), kde byla elektroosmóza prováděna.. Elektrolytickým rozkladem vody a solí na elektrodách dochází ke změně koncentrací iontů včetně pH roztoku, takže se současně mění i vodivost roztoku (které je elektroosmotický tok nepřímo úměrný) a ξ potenciál, kterému je elektroosmotický tok přímo úměrný. Proto lze procházející proud považovat za kvalitativní kritérium průběhu elektroosmózy. Z průběhu proudu lze do jisté míry usuzovat na korozi elektrod případně přívodu proudu k elektrodám a na vliv teploty systému. Vzhledem k tomu, že

k rozpouštění kovů dochází u kladné elektrody se problém koroze týká především anody a proudového přívodu k anodě. V některých případech byl pozorován náhlý pokles proudu během měření a následně byl zjištěn zkorodovaný přívod k anodě. Toto bylo pozorováno v případech, kdy byl přímý kontakt mezi zvlhčeným vzorkem a přívodním měděným vodičem. V případech, kdy nedošlo k přímému kontaktu měděného drátu s testovaným vzorkem (mezi testovaným materiálem a měděným přívodem byl vodivý tmel), byla koroze pozorována jen v omezené míře.

U některých vzorků byl pozorován počáteční proudový nárůst s očekávaným poklesem a to až do konce doby elektroosmotického působení. Počáteční růst proudu lze přisoudit počátečnímu neúplnému zvlhčení středních částí vzorků a následnému pronikání vlhkosti do těchto částí. Počáteční nerovnoměrné zvlhčení bylo způsobeno krátkým obdobím ponoření některých zkoušených vzorků do roztoku před měřením. Doba ponoření byla volena podle požadavku množství roztoku nasáknutého do vzorku a byla nepřímo úměrná rychlosti zvlhčení vzorků. Obecně lze konstatovat, že k nerovnoměrnému zvlhčení docházelo u pískovců, nových cihel a některých historických cihel u nichž významné nasáknutí vzorku (~ 6%) proběhlo během několika minut. Dlouhodobý pokles proudu je zřejmě způsoben poklesem obsahu roztoku v části vzorku přilehlé k anodě (působením elektroosmózy) a následným vzrůstem elektrického odporu. Další příčinou poklesu proudu může být koroze anody, případně proudového přívodu k ní.

Graf v příloze 1 znázorňuje průběh teplot v laboratoři v období listopad 2002 až prosinec 2003. Graf v příloze 2 dokládá korelaci mezi průběhy proudů a teploty prostředí. Příklad byl doložen na vzorku nové cihly zvlhčené destilovanou vodou v průběhu 4 po sobě jdoucích dnů se záznamy v hodinových intervalech. Z grafu je patrna souvislost mezi změnami teploty a proudu. Z uvedeného příkladu je vidět, že proud sledoval změny teploty místnosti se zpožděním 10 až 12 hodin. Růst proudu s teplotou lze vysvětlit poklesem viskozity roztoku při růstu teploty a následným poklesem měrného odporu roztoku. Pozorované zpoždění změn proudu lze vysvětlit tepelnou setrvačností vzorku, který byl v PVC a pryžovém obalu poměrně účinně tepelně izolován od vzduchu v místnosti.

4.7.1.1 Pískovec

U všech vzorků pískovce byl po vložení napětí 5 V pozorován zprvu růst proudu, který trval 3 až 14 dnů. Pak následoval rovnoměrný mírný pokles, během kterého se proud snížil na 90 až 20 % maximální hodnoty. Během působení elektroosmózy po dobu 1130 – 2471 hod. prošel vzorky náboj v rozmezí od 1130 C do 8855 C a střední hodnoty proudů byly od 303 μA do 1026 μA.

4.7.1.2 Opuka

U všech vzorků opuky byl po vložení napětí 5 V pozorován mírný rovnoměrný pokles proudu v celém období elektroosmotického působení s poklesem proudu na 20 až 45 % maximální hodnoty. Skutečnost že u vzorků opuky nebyl pozorován počáteční růst proudu lze vysvětlit velmi pomalým pronikáním roztoku do opuky před elektroosmotickým měřením (dosažení požadované vlhkosti trvalo několik dnů), takže po zahájení elektroosmózy byly zřejmě koncentrace roztoku ve zkoumaném vzorku již poměrně vyrovnány. Po dobách působení elektroosmózy v rozmezí 2021 – 4158 hod. prošel vzorky náboj v rozmezí od 1033 C do 5069 C a střední hodnoty proudů byly od 134 μA do 542 μA. Celkově byly hodnoty proudů u vzorků opuky výrazně nižší, než u vzorků pískovce.

4.7.1.3 Nová cihla

U samotných vzorků nové cihly zvlhčených roztokem solí byl po vložení napětí 5 V pozorován mírný nárůst během prvních několika dnů s následným mírným rovnoměrným poklesem do konce období elektroosmotického působení. Zvlhčené vzorky, které byly v kontaktu se sypkou fází, vykázaly mírný pokles proudu v celém období elektroosmotického působení. Konečné hodnoty proudu za dobu působení elektroosmózy v rozmezí 1940 až 4541 hod činily 50 až 60 % z maximální hodnoty. Za tuto dobu prošel zkoumanými vzorky náboj mezi 1737 C až 5551 C při středních hodnotách proudů od 107 μA do 500 μA.

Elektroosmotický proud procházející vzorky, které byly zvlhčeny destilovanou vodou, nejprve (během několika dnů) rostl rychleji a pak následoval mírný růst trvající v průměru 2,5 měsíce a dále proud mírně klesal až do konce měření.

4.7.1.4 Historická cihla

U vzorků historických cihel se průběh proudů s časem i hodnoty proudů výrazně liší podle typů cihel. Tato skutečnost zřejmě souvisí s rozdílnými surovinami i technologiemi přípravy historických cihel.

U samotných vzorků historických cihel zvlhčených roztokem solí poklesl proud během působení elektroosmózy (2426 až 3522 hod) až na 0,5 až 13 % maximální hodnoty. Za tuto dobu prošel vzorky náboj v rozmezí 2237 C až 3797 C při středních hodnotách proudů od 224 μA do 480 μA.

Při zvlhčení vzorku historické cihly destilovanou vodou byl elektroosmotický proud extrémně nízký (střední hodnota proudu 37 μA), takže za dobu působení elektroosmózy 2426 hod

prošel náboj pouhých 324 C. Příčinou nízké hodnoty proudu byla zřejmě velmi nízká vodivost destilované vody, resp. Výluhu cihly destilovanou vodou.

4.7.1.5 Malta

U vzorků malty (při zahájení elektroosmózy cca 1 měsíc staré) je charakteristický významný pokles proudu v období prvního týdne až čtrnácti dnů s následným velmi mírným poklesem do konce elektroosmotického působení. Konečná hodnota proudu byla ve všech případech velmi nízká, po době působení 1002 až 2085 hod byla jen 0 až 12 % počáteční hodnoty. Celkový prošlý náboj byl od 157 C do 822 C a střední proud 43 μA až 127 μA. Po skončení těchto experimentů byla vždy pozorována významná koroze přívodu proudu k anodě, což bylo pravděpodobnou příčinou značného poklesu proudu a velmi nízkých hodnot proudů ke konci experimentu. Výraznější koroze v této sérii měření zřejmě souvisí s vysokou alkalitou studovaných vzorků malty.

4.7.1.6 Slepence pískovce s novou maltou

U vzorků slepenců pískovce a zdící malty MVC 02 je charakteristický významný pokles proudu v prvních čtrnácti dnech s následným velmi mírným poklesem do konce elektroosmotického působení.

Konečná hodnota proudu po době působení elektroosmózy 2200 až 4217 hod činila 10 až 12 % z počáteční hodnoty. Prošlý náboj se pohyboval od 1971 C do 3555 C, střední hodnoty proudů od 107 μA do 262 μA.

4.7.1.7 Historická cihla ve styku s historickou maltou

U vzorku historické cihly, která je v kontaktu s historickou maltou došlo k mírnému nárůstu proudu v prvním týdnu s následným rovnoměrným poklesem až do konce období elektroosmotického působení. Proud klesl po 2254 hod až na 16% maximální hodnoty. Celkový prošlý náboj byl 4077C a střední hodnota proudu byla 509 μA.

4.7.2 VYHODNOCENÍ ÚČINNOSTI ELEKTROOSMÓZY Z GRADIENTU KONCENTRACE VODY

V reálných podmínkách aplikace elektroosmózy při odvlhčování staveb dochází k současnému pronikání vlhkosti do zdiva. Tento systém se obtížně realizuje v laboratorních podmínkách, a proto jsme zvolili uzavřený experimentální systém. Vedle určitých ztrát vody odparem a elektrolýzou docházelo působením elektroosmózy ke vzniku koncentračních gradientů

vody mezi katodou a anodou. Vzniklé koncentrační gradienty však měly za následek difúzní tok vody v opačném směru. V ustálených podmínkách jsou oba toky vyrovnány a experimentálně zjištěný gradient obsahu vlhkosti lze považovat za kvalitativní míru účinnosti elektroosmózy. Tímto způsobem jsme hodnotili účinnost elektroosmózy u vzorků samotných materiálů. Hlavním kritériem účinnosti elektroosmózy u vzorků ve styku se sypkou fází jsme použili hmotnost roztoku přesunutého z pevné fáze do fáze sypké.

Hodnocení elektroosmotické účinnosti vychází z výsledků, které jsou shrnuty v přílohách P 3. Podrobné výsledky měření jsou přiložey v přílohách P 4.

V použitém experimentálním uspořádání platí v ustáleném stavu rovnost mezi elektroosmotickým tokem J_v a tokem difúzním J_d, který se vytváří v opačném směru ($J_{EO} = J_d$) . Pro difúzní tok platí rovnice:

$$\mathbf{J_d} = -D_{ef} \cdot dc/dx \qquad (4.7.2.1)$$

Znamená to tedy, že při stejném elektroosmotickém toku je vytvořený gradient koncentrace roztoku dc/dx tím větší (v absolutní hodnotě), čím je menší efektivní difúzní koeficient vody D_{ef} ve stavebních materiálech. Protože v opuce, která má velmi malé póry, je efektivní difúzní koeficient velmi malý (což potvrzuje velmi pomalý proces nasákávání viz. kap. 4.7.3.), vznikají v tomto materiálu pře elektroosmóze velké gradienty vlhkosti. Je však zřejmé, že na vzniklém gradientu vlhkosti se podílí také velikost vloženého napětí a hodnot ξ potenciálu.

4.7.2.1 Samotné stavební materiály

4.7.2.1.1 Pískovec

Působením elektroosmózy (při napětí 5V po dobu 2471 hodin) se u vzorku č. 1 vytvořil gradient vlhkosti s poklesem ve směru od katody k anodě, což je ve shodě s očekávaným vlivem elektroosmózy. Při proudu, který klesal z 1510 μA na 19 μA, prošel systémem celkový náboj 8855C. Před působením elektroosmózy byl průměrný obsah vody ve vzorku 4,25 %(hm)., po skončení obsah vody klesal z hodnoty 4,37 %.u katody na 3,24%. u anody.

4.7.2.1.2 Opuka

Působením elektroosmózy (při napětí 5V po dobu 2586 hodin) se u vzorku č. 2 vytvořil gradient vlhkosti s poklesem ve směru od katody k anodě, což je také ve shodě s očekávaným vlivem elektroosmózy. Při proudu, který klesal z 1023 μA na 325 μA, prošel systémem celkový

náboj 5064 C. Před působením elektroosmózy byl průměrný obsah vody ve vzorku 4,51 %hm., po skončení obsah vody klesal z hodnoty 5,55 %hm.u katody na 3,53%hm.u anody.

4.7.2.1.3 Historická cihla

Působení elektroosmózy bylo testováno na vzorcích čtyř historických cihel. Tyto cihly byly získány z objektu Krocovského paláce v Praze. Pro zkoumání byly vybrány vzorky s odlišnou strukturou a podle historických pečetí pocházely od různých výrobců. Vzorek č. 4 byl vzat z cihly, která byla viditelně přepálená, neboť měla černé zabarvení keramického střepu.

Působením elektroosmózy se vytvořil očekávaný gradient s poklesem vlhkosti od katody k anodě pouze u dvou vzorků (č.3 a 5). U vzorku č.6 klesal obsah vody od anody ke katodě také avšak s výjimkou oblasti u katody. Tuto anomálii lze vysvětlit velmi nehomogenní strukturou některých historických cihel mající za následek značný rozptyl lokálních hodnot obsahu vody. Značný rozptyl byl pozorován i u vzorků zvlhčených historických cihel bez působení elektroosmózy (viz. kap. 4.7.3). U vzorku č. 4 (přepálená cihla) byly lokální rozdíly vlhkosti tak velké, že celkovou hodnotu gradientu vlhkosti nelze vyhodnotit. U obou okrajů cihly byla vlhkost extrémně vysoká (12,9 % a 13,5 %), ve vnitřních částech vzorku se pohybovala od 3,5 % do 7,14 %. Příčina velkého rozptylu hodnot konečné vlhkosti u tohoto vzorku není zcela jasná, možné vysvětlení je např. průnikem spalin při vypalování do struktury cihly a následným usazením hydrofobních sazí v porézní struktuře. V souladu s tímto předpokladem zvlhčení vzorku této cihly na požadovaný obsah vody (7,02 %) před zahájením elektroosmózy trvalo cca 24 hodin na rozdíl od cca 10 min postačujících u ostatních vzorků historických cihel. Hodnoty základních charakteristik jsou shrnuty v tab.

Tab. 4.8.1 Výsledky měření získané ze vzorků historických cihel

Číslo měření	Doba působení	Proud			Prošlý náboj	Vlhkost		
	hod.	μA			C	před působením %hm.	po působení %hm.	
		počátek	maximum	konec			katoda	anoda
3	2811	482	850	3	3797	8,31	7,64	6,85
4	2826	282	450	13	2237	7,02	12,9*	13,5*
5	3236	1023	1023	116	5510	9,24	9,17	7,32
6	3522	908	908	132	3462	13,08	11,49*	11,98*

*viz. text

4.7.2.1.4 Nová cihla

Působení elektroosmózy bylo testováno na vzorcích šesti cihelných střepů ve tvaru válců ϕ cca 50mm a délky cca 300mm. Tyto vzorky byly vyrobeny speciálně k tomuto účelu firmou WIENEBERGER CIHLÁŘSKÝ PRŮMYSL a.s..

4.7.2.1.4.1 Nová cihla – zvlhčena roztokem solí

Doba působení elektrického proudu se pohybovala u čtyř testovaných vzorků v rozmezí 1940 hod až 4541 hod a celkový prošlý náboj byl v rozmezí 2945 C až 5551 C.

Působením elektroosmózy (při napětí 5V) se u všech vzorků (7, 8, 9, 10) vytvořil gradient vlhkosti s poklesem ve směru od katody k anodě, což je ve shodě s očekávaným vlivem elektroosmózy.

Tab. 4.8.2 Výsledky měření získané ze vzorků nových cihel zvlhčených roztokem solí

Číslo měření	Doba působení	Proud			Prošlý náboj	Vlhkost		
	hod.	μA			C	před působením %hm.	po působení %hm.	
		počátek	maximum	konec			katoda	anoda
7	4540	375	796	66	5551	7,11	7,25	5,34
8	1984	269	458	242	2611	5,95	5,9	4,87
9	1940	236	682	341	3670	7,13	7,45	6,85
10	1946	350	531	283	2946	6,1	5,96	5,67

4.7.2.1.4.2 Nová cihla – zvlhčena destilovanou vodou

U vzorků, které byly zvlhčeny destilovanou vodou není patrné vytvoření významného gradientu vlhkosti. Ze srovnání je vidět, že vzorky zvlhčenými destilovanou vodou procházel značně menší elektrický proud než vzorky zvlhčenými roztokem solí. Tato skutečnost je důsledkem podstatně nižší vodivostí destilované vody oproti vodivosti roztoků solí. Na změřeném průběhu výsledné vlhkosti (viz. příloha č. 6) lze pozorovat, že uvnitř vzorků se vlhkost prakticky neměnila se vzdáleností a u okrajů byla nižší – zřejmě díky možnému odparu v oblasti styku mezi elektrodami a válcovým obalem vzorků. O větší rychlosti odparu svědčily i krystaly soli pozorované v těchto místech.

Tab. 4.8.3 Výsledky měření získané ze vzorků nových cihel zvlhčených destilovanou vodou

Číslo měření	Doba působení	Proud			Prošlý náboj	Vlhkost		
	hod.	μA			C	před působením %hm.	po působení %hm.	
		počátek	maximum	konec			katoda	anoda
13	4511	2	128	75	1737	9,45	8,09	6,98
14	4470	18	176	100	2239	10,75	9,03	9,36

4.7.2.1.4.3 Malta

Vzorky byly vyrobeny z vápenocementové zdící malty MVC 02, zvlhčeny a vloženy do elektrického pole po cca 1 měsíci od okamžiku smíchání komponent. U všech vzorků malty bylo

zjištěno velmi vysoké pH a to jak před zahájením elektroosmózy (12,44), tak po jejím ukončení (11,49 – 11,96).

U vzorku č. 11 se vytvořil gradient vlhkosti s růstem ve směru od katody k anodě, což je v rozporu s předpokládaným vlivem elektroosmózy.

U vzorku č. 12 se působením elektroosmózy vytvořil gradient vlhkosti s poklesem ve směru od katody k anodě.

Tab. 4.8.4 Výsledky měření získané ze vzorků nové malty zvlhčené roztokem

Číslo měření	Doba působení	Proud			Prošlý náboj	Vlhkost		
	hod.	μA			C	před působením %hm.	po působení %hm.	
		počátek	maximum	konec			katoda	anoda
11	1562	580	580	22	425	8,02	6,11	8,93
12	2085	822	822	10	822	11,06	10,99	8,34

4.7.2.2 Materiály v loži křemenné mouky

4.7.2.2.1 Pískovec

Působením elektroosmózy se u testovaných vzorků 15 a 16 vytvořil gradient vlhkosti s poklesem ve směru od katody k anodě, což je ve shodě s očekávaným vlivem elektroosmózy.

Gradient vlhkosti vzorku 24 zvlhčeného roztokem soli síranů (sypká fáze) a roztokem solí síranů, dusičnanů a chloridů (pevná fáze) se vytvořil (při napětí 5V v čase 1440 hod) s poklesem koncentrace vody ve směru od katody k anodě v souladu s teoretickým předpokladem působení elektroosmózy.

Gradient vlhkosti vzorku 26 zvlhčeného roztokem solí síranů (sypká fáze) a roztokem soli chloridů (pevná fáze) se vytvořil (při napětí 5V v čase 1312 hod) s mírným růstem koncentrace vody ve směru od katody k anodě v rozporu s teoretickým předpokladem působení elektroosmózy. Naproti tomu byl zjištěn výrazný nárůst vlhkosti v křemenné mouce a její pokles v pískovci, což svědčí o transportu roztoku od anody ke katodě. Zjištěný malý kladný gradient vlhkosti v pískovci lze pak považovat spíše za výsledek nepřesnosti měření.

Tab. 4.8.5. Výsledky měření získané ze vzorků pískovce v loži křemenné mouky

Číslo měření	Doba působení	Proud			Prošlý náboj	Vlhkost		
	hod.	μA			C	před působením %hm.	po působení %hm.	
		počátek	maximum	konec			katoda	anoda
15	1441	444	603	547	2796	5,06	4,6	4,25
16	2037	454	454	386	1989	3,94	4,19	3,54
24	1440	441	672	531	2945	5,76	4,7	4,33
26	1312	347	413	94	1130	5,79	4,46	4,61

4.7.2.2.2 Opuka

Gradient vlhkostí ve vzorcích 17,18 zvlhčených roztokem solí síranů, dusičnanů a chloridů (pevné i sypké fáze) se vytvořil s poklesem ve směru od katody k anodě, což je ve shodě s očekávaným vlivem elektroosmózy.

Průběh gradientu u vzorku 17 je poměrně rovnoměrný a je zřetelný pouze v pevné fázi. Průběh gradientu u vzorku č. 18 je značně nerovnoměrný s maximálním skokem sousedních hodnot 0,9 % hm. Gradient u tohoto vzorku pokračuje rovnoměrně v sypké fázy.

Tab. 4.8.6 Výsledky měření získané ze vzorků opuky v loži křemenné mouky

Číslo měření	Doba působení	Proud			Prošlý náboj	Vlhkost		
	hod.	µA			C	před působením %hm.	po působení %hm.	
		počátek	maximum	konec			katoda	anoda
17	2878	424	424	70	1565	4,85	5,84	3,72
18	4158	433	433	115	2454	4,67	4,76	3,36

4.7.2.2.3 Historická cihla

Působením elektroosmózy (při napětí 5V po dobu 2426 hodin) se u vzorku č. 19 (zvlhčeném destilovanou vodou) vytvořil gradient vlhkosti s růstem ve směru od katody k anodě, což je v rozporu s očekávaným vlivem elektroosmózy. Při proudu, který klesal z 47 µA na 28 µA, prošel systémem celkový náboj 324 C. Před působením elektroosmózy byl průměrný obsah vody v pevném vzorku 6,3 % hm. a v přilehlém křemenné mouce jen 5,00 %. Po skončení obsah vody rostl z hodnoty 4,18 % u katody na 5,4 % u anody.

Změřený pokles vlhkosti od anody ke katodě lze vysvětlit počáteční vyšší vlhkostí pevného vzorku proti vlhkosti křemenné mouky a současně tím, že cihla byla zvlhčena destilovanou vodou. Při vloženém napětí 5V v zorném poli procházel jen minimální proud (k elektroosmóze téměř nedošlo) a gradient vody ve vzorku byl způsoben jen difúzním tokem z míst vyšší koncentrace roztoku do s koncentrací nižší.

4.7.2.2.4 Nová cihla

Elektrody byly na vzorek č. 20 osazeny v opačné polaritě než u předešlých vzorků, tedy katoda byla aplikována na vzorek a anoda na sypkou fázi.

Působením elektroosmózy se u vzorku č. 20 (zvlhčeném roztokem síranů, dusičnanů a chloridů) vytvořil gradient vlhkosti s růstem ve směru od katody k anodě, což je v rozporu s očekávaným vlivem elektroosmózy. Přestože obsah roztoku v pevném vzorku překvapivě klesal ve směru od anody ke katodě, obsah roztoku v křemenné mouce přilehlém k anodě během elektroosmotického působení klesl, což je ve shodě s teorií.

Působením elektroosmózy se u vzorku č. 21 (zvlhčeném roztokem solí síranů, dusičnanů a chloridů) vytvořil gradient vlhkosti s poklesem ve směru od katody k anodě, což je v souladu s očekávaným vlivem elektroosmózy.

Tab 4.8.7 Výsledky měření získané ze vzorků nové cihly v loži křemenné mouky

Číslo měření	Doba působení	Proud			Prošlý náboj	Vlhkost		
	hod.	μA			C	před působením %hm.	po působení %hm.	
		počátek	maximum	konec			katoda	anoda
20	4005	354	354	19	1844	8,65	8,18	9,02
21	4175	221	211	54	2824	5,59	5,01	4,28

4.7.2.2.5 Malta

Působením elektroosmózy se u vzorku č. 22 (zvlhčeném roztokem síranů, dusičnanů a chloridů) vytvořil gradient vlhkosti s poklesem ve směru od katody k anodě, což je v souladu s očekávaným vlivem elektroosmózy.

U vzorků 23 a 25 (zvlhčených roztokem solí síranů, dusičnanů a chloridů v pevné i sypké fázi) se gradient vlhkostí vytvořil s růstem ve směru od katody k anodě, což je v v rozporu s očekáváním. U vzorků malty byl pozorován také transport vody ze sypké do pevné fáze. Tedy rovněž v rozporu s požadavkem vysušování zdiva.

Tab. 4.8.8 Výsledky měření získané ze vzorků malty v loži křemenné mouky

Číslo měření	Doba působení	Proud			Prošlý náboj	Vlhkost		
	hod.	μA			C	před působením %hm.	po působení %hm.	
		počátek	maximum	konec			katoda	anoda
22	1529	332	332	27	2725	11,07	11,61	10,55
23	1002	648	548	6	157	8,17	7,72	8,33
25	1002	840	840	0	187	8,03	7,84	7,99

4.7.2.3 Materiály v cihelném loži

4.7.2.3.1 Pískovec

Gradient vlhkostí vzorků 27,28 zvlhčených roztokem solí síranů u sypké fáze a chloridů u fáze pevné se vytvořil s poklesem ve směru od katody k anodě, což je v souladu s požadovaným směrem elektroosmotického vysoušení. Při srovnatelných počátečních podmínkách došlo u vzorku 28 při cca 1,6x delší době elektroosmotického působení k vytvoření cca 5x většího vlhkostního spádu.

U vzorku 29, který byl zvlhčen roztokem síranů v sypké fázi a roztokem síranů, chloridů a dusičnanů v pevné fázi byl zjištěn gradient vlhkosti v žádoucím směru elektroosmotického toku s poklesem od katody k anodě. Ve všech případech pokračoval v sypké fázi gradient vlhkosti ve stejném směru.

Tab. 4.8.9 Výsledky měření získané ze vzorků pískovce v loži cihelné mouky

Číslo měření	Doba působení	Proud			Prošlý náboj	Vlhkost		
	hod.	μA			C	před působením %hm.	po působení %hm.	
		počátek	maximum	konec			katoda	anoda
27	1288	315	457	143	1387	5,78	4,33	4,16
28	2037	469	469	169	4061	5,81	4,26	3,51
29	2128	344	344	205	5331	5,75	4,43	4,02

4.7.2.3.2 Opuka

Gradient vlhkosti se ve vzorcích č. 30, 31, 32 zvlhčených roztokem síranů v pevné fázi a roztokem síranů, dusičnanů a chloridů v sypké fázi se ve všech případech vytvořil s poklesem gradientu vlhkosti pevné fáze od katody k anodě což je v souladu s žádoucím směrem elektroosmotického toku. U všech vzorků byl zaznamenán prudký pokles vlhkosti v těsné blízkosti katody u sypkých fází. Příčinu lze shledávat v nedokonalém utěsnění vzorku na styku elektrody a sypké fáze. U všech vzorků lze pozorovat shodný průběh křivky gradientů vlhkosti s menším nárůstem do vzdálenosti cca 200 mm od anody a zvýšeným nárůstem od tohoto místa do styku s cihelným prachem. Vzorek 32 se vyznačuje větším rozptylem hodnot vlhkosti než tomu bylo u vzorků 30 a 31.

Tab. 4.8.10 Výsledky měření získané ze vzorků opuky v loži cihelné mouky

Číslo měření	Doba působení	Proud			Prošlý náboj	Vlhkost		
	hod.	μA			C	před působením %hm.	po působení %hm.	
		počátek	maximum	konec			katoda	anoda
30	2025	328	328	72	1035	4,36	5,52	3,7
31	2023	248	248	112	1151	4,33	4,63	3,77
32	2021	238	238	93	1033	4,18	5,51	3,81

4.7.2.3.3 Slepence materiálů a malty

Vzorky 33 až 35 jsou slepence pískovce a poměrně mladé zdící vápenocementové malty MV 02 (cca 31 dnů). Vzorky byly zvlhčeny roztokem síranů, dusičnanů a chloridů V případech 32 a 33 šlo o pískovce pojené jedním maltovým ložem ve střední části. U vzorku 34 došlo před

započetím elektroosmotického působení k rozlomení spoje mezi pískovcem (strana s anodou) a maltovým ložem.

Vzorek 35 byl tvořen třemi částmi pískovce pojenými dvěma maltovými loži. Také v tomto případě došlo ke zlomu na styku malty a pískovce.

Vzorek 36 byl tvořen historickou cihlou, která byla ve střední fázi přerušena ložem historické malty. Oba materiály pocházely ze stejné stavby a lze konstatovat, že modelují odpovídající současný stav konstrukce Krocovského paláce v Praze. Vzorky byly zvlhčeny roztokem sodných solí (síranů, dusičnanů a chloridů).

U vzorku č.33 se v obou částech vytvořil gradient koncentrace vody s poklesem od katody k anodě v souladu s očekávaným směrem elektroosmotického toku. V maltovém loži došlo k prudkému nárůstu vlhkosti z původních 5,3 % až na 11 %.

V maltovém loži došlo k nárůstu vlhkosti také u vzorku 34 (z původní hodnoty 4,93 % až na 7,95 %).

U složeného vzorku 35 (3 části pískovce pojené maltou) byla vlhkost maltových loží po elektroosmotickém experimentu více než 3 x vyšší než vlhkost pískovce.

Tato skutečnost poukazuje na výrazný transport roztoku z pískovce do malty během elektroosmotického působení.

Gradient vlhkosti se ve vzorku č. 36 vytvořil s poklesem ve směru od katody k anodě, tedy v souladu s očekávaným směrem elektroosmotického toku. Na rozdíl od předchozích měření byl pozorován významný úbytek vlhkosti z maltového lože.

Tab. 4.8.11 Výsledky měření získané ze vzorků slepenců pískovce a malty MVC 02

Číslo měření	Doba působení	Proud			Prošlý náboj	Vlhkost		
	hod.	μA			C	před působením %hm.	po působení %hm.	
		počátek	maximum	konec			katoda	anoda
33	4217	1023	1023	107	3555	5,45	2,73	1,93
34	3513	1023	1023	110	2948	4,69	2,61	2,15
35	2200	906	906	94	1971	5,15	2,52	2,96
36	2254	436	436	152	4077	7,5	8,7	5,94

4.7.3 VYHODNOCENÍ HOMOGENITY NASÁKAVOSTI VZORKŮ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Pro orientační zjištění homogenity stavebních materiálů byla vybrána sada referenčních vzorků, které byly po vysušení (24hod. při 105 °C) zváženy a ponořeny do destilované vody na dobu 504 hod. (3 týdnů). Po vyjmutí byly vyhodnoceny tyto parametry:

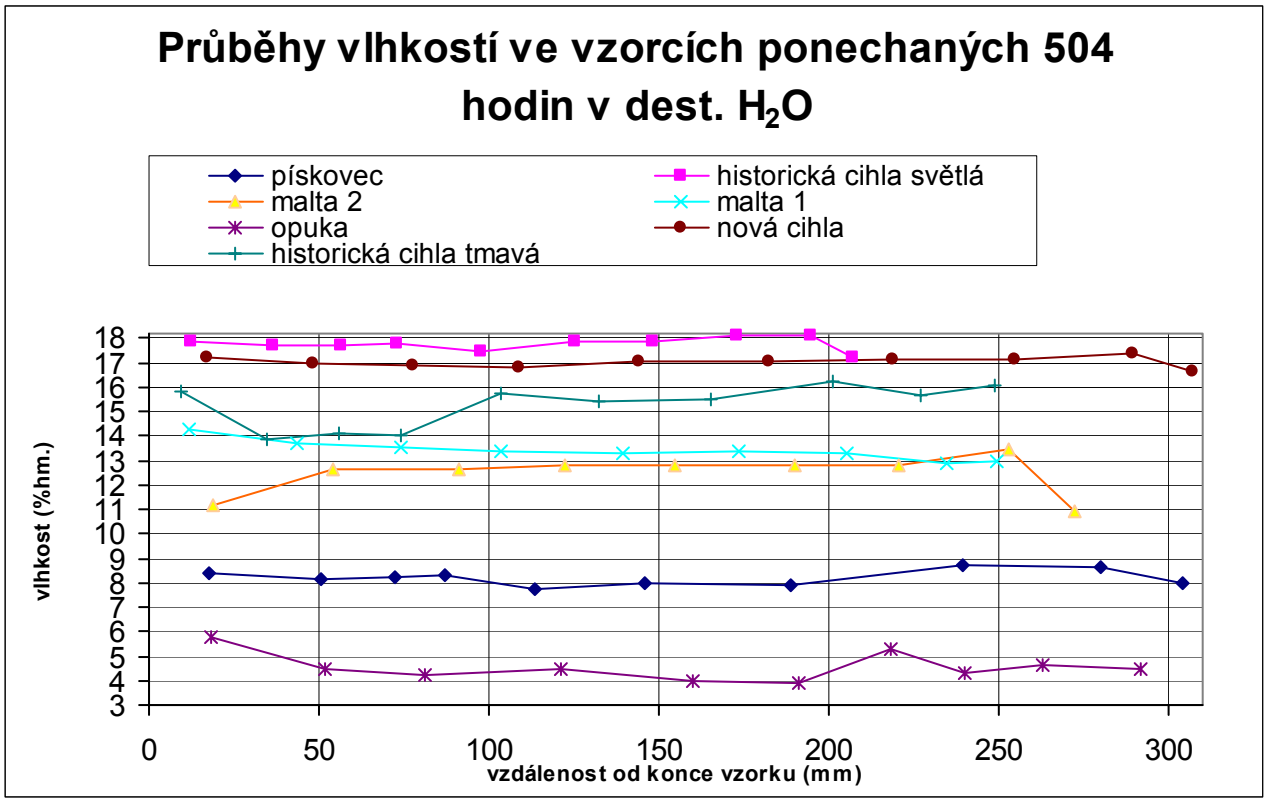
- Vlhkost vzorku jako celku
- Vlhkosti segmentů vzorků
- Střední hodnota vlhkostí segmentů
- Maximální rozdíl vlhkostí

Tab. 4.8.12

materiál	vlhkost %hm										středení hodnota	směrodatná odchylka	maximální rozdíl vlhkostí
segment č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	%hm	%hm	%hm
pískovec	8,39	8,11	8,27	8,28	7,71	8,01	7,92	8,75	8,61	8,01	8,21	0,30	1,05
opuka	5,79	4,51	4,23	4,43	4,01	3,88	5,31	4,3	4,63	4,51	4,56	0,55	1,91
hist. cihla 1	17,91	17,75	17,72	17,76	17,47	17,87	17,86	18,11	18,11	17,22	17,78	0,26	0,89
hist. cihla 2	15,82	13,83	14,11	14,04	15,77	15,43	15,5	16,26	15,67	16,07	15,25	0,86	2,43
malta	14,24	13,73	13,57	13,38	13,29	13,36	13,3	12,87	12,99		13,41	0,38	1,38
nová cihla	17,23	16,99	16,86	16,85	17,03	17,06	17,16	17,11	17,4	16,67	17,04	0,20	0,55

Hodnoty předešlé tabulky jsou graficky převedeny do grafu 4.7.1.

Graf 4.8.1



Z tabulky a grafu je patrná největší homogenita u keramických střepů nových cihel. Velký rozptyl výsledků je patrný u jednoho typu historické cihly a u opuky. U historických cihel zřejmě velmi záleží na výrobci a typu cihly.

Dále je z grafů patrná největší absolutní nasákavost u jedné z historických cihel a u nové cihly (hodnoty se pohybují mezi 17 a 18 %). Nasákavost byla nejmenší u opuky (hodnoty vlhkosti mezi 4 až 6 %. Výsledná vlhkost materiálu úzce souvisí s dobou, po kterou musely být jednotlivé vzorky máčeny pro dosažení požadované vlhkosti. Při elektroosmotických měřeních jsme se snažili o přiblížení se hodnotě 6% před zahájením elektroosmózy. U pískovce, nové cihly, některého typu staré cihly a malty stačilo pro požadované zvlhčení doby 10 až 20 minut. U některých historických cihel a zejména u opuky bylo nezbytné ponoření vzorku v roztoku po dobu několika dnů. Rozdílné vlastnosti u historických cihel lze opět přisoudit různým původním technologiím výroby a rozličným zdrojům surovin.

4.7.4 VYHODNOCENÍ ZMĚŘENÝCH GRADIENTŮ VLHKOSTI A TRANSPORTU VODY

Na základě výsledků popsaných v kapitolách 4.8.1, 4.8.2 a tabulky, která shrnula naměřené hodnoty (příloha 3) bylo provedeno vyhodnocení vzniku a účinnosti elektroosmózy z následujících hledisek:

- Vliv testovaného stavebního materiálu
- Vliv celkové porozity stavebního materiálu
- Vliv porézní struktury
- Vliv typu sypké fáze ve styku se stavebním materiálem
- Vliv koncentrace a typu solí
- Vliv prošlého náboje

4.7.4.1 Vliv testovaného stavebního materiálu

Pro stanovení a porovnání účinku elektrického pole v jednotlivých materiálech byly rozděleny výsledky testů do dvou samostatně posuzovaných kategorií. V prvním případě šlo o testy, při nichž bylo vloženo elektrické pole na vzorky samotné. Kritériem pro porovnání a vyhodnocení byl zvolen vzniklý gradient vlhkosti ve vzorcích, který se ustálil.

Druhou kategorii tvořily vzorky, jež se skládaly z fáze pevné a sypké. Kritériem hodnocení bylo v tomto uspořádání zejména množství roztoku převedeného z pevné do sypké fáze.

Tabulka 4.8.13 obsahuje hodnoty středního gradientu vlhkosti u samotných testovaných materiálů. Kladná hodnota znamená růst vlhkosti ve směru od katody k anodě, záporná hodnota pokles vlhkosti v tomto směru. V v žádoucím případě elektroosmotického odvlhčování zdiva, kdy zemní elektroda je záporná a zední elektroda kladná, je gradient vlhkosti záporný. Hodnoty gradientu vlhkosti znamenají absolutní změnu vlhkosti (udané v % hmot.) na vzdálenost 1 m.

Tab. 4.8.13

materiál	Pískovec	opuka	nová cihla	hist. cihla I	hist. cihla II	nová malta
Střední gradient vlhkosti (%/m)	-2,7	-5,64	-2,905	-2,57	-7,64	+0,69

Z tabulky je patrné, že gradient vlhkosti byl nejvyšší u historické cihly II a klesal v řadě

1) historická cihla II
2) opuka
3) nová cihla
4) pískovec
5) historická cihla I

V případě nové malty byl účinek elektrického proudu na přesun roztoku dokonce negativní.

Tabulka 4.8.14 Množství přesunutého roztoku převedeného z pevné do sypké fáze vlivem elektroosmotického působení.

Materiál	Pískovec v křemenné mouce	Pískovec v cihelné mouce	Opuka v křemenné mouce	Opuka v cihelné mouce	Nová cihla v křemenné mouce	Malta v křemenné mouce
Průměrný převod roztoku (g)	9,78	13,84	4,94	3,5	2,37	-1,93

Z tabulky 4.8.14 vyplývá, že při styku stavebních materiálů se sypkou fází byl nejúčinnější převod vody z pískovce do cihelné mouky a dále klesal v pořadí:

1) Pískovec v cihelné mouce
2) Pískovec v křemenné mouce
3) Opuka v křemenné mouce
4) Opuka v cihelné mouce
5) Nová cihla v křemenné mouce
6) Nová malta v křemenné mouce

V uspořádání nové malty v křemenné mouce došlo naopak k přesunu vody ze sypké fáze do malty, což potvrzuje s výsledky měření gradientu vlhkosti v samotné maltě.

4.7.4.2 Vliv pórovitosti

Výsledky zohledňující vliv pórovitosti byly rozděleny do pěti samostatných kategorií. Do první kategorie (Tab. 4.8.15) byly zahrnuty výsledky měření na samotných materiálech. Druhá a čtvrtá kategorie (Tab. 4.8.16 a Tab. 4.8.18) se týkala vzorků, které byly v kontaktu s křemennou moukou a třetí a pátá kategorie (Tab. 4.8.17 a Tab. 4.8.19) zahrnula vzorky ve styku s cihelnou moukou. Kategorie 1 – 3 byly porovnávány z hlediska vzniklého gradientu vlhkosti a pro kategorie 4 a 5 bylo hlavním kritériem množství převedené vlhkosti. Údaje o velikostech a zastoupení pórů jednotlivých materiálů byly získány metodou rtuťové porozimetre popsané v kap 4.7 str.82 a kap. 4.8 str. 86.

Tab. 4.8. 15 Gradienty vlhkosti různých stavebních materiálů a jejich pórovitost.Materiály byly z jedné strany v kontaktu s anodou a z druhé strany v kontaktu s katodou.

Materiál	opuka	Historická cihla II	pískovec	Historická cihla I	Nová cihla
Pórovitost (%)	11,6	17,8	19,1	27,3	28,1
Gradient vlhkosti	-5,64	-7,64	-2,7	-2,57	-2,9

Tabulka 4.8.16 Pórovitost a gradienty vlhkosti v různých stavebních materiálech po skončení elektroosmózy. Materiály byly na jedné straně ve styku s anodou a na straně druhé ve styku s křemennou moukou (katodický prostor).

Materiál	opuka	Historická cihla II	pískovec	Historická cihla I	Nová cihla
Pórovitost (%)	11,6	17,8	19,1	27,3	28,1
Gradient vlhkosti	-2,32	-	-1,35	-	-0,03

Tabulka 4.8.17 Pórovitost a gradienty vlhkosti v různých stavebních materiálech po skončení elektroosmotického působení. Materiály byly na jedné straně ve styku s anodou a na straně druhé ve styku s cihelnou moukou (katodický prostor).

Materiál	opuka	Historická cihla II	pískovec	Historická cihla I	Nová cihla
Pórovitost (%)	11,6	17,8	19,1	27,3	28,1
Gradient vlhkosti	-4,23	-	-1,57	-	-0,03

Z výsledků obsažených v tabulkách 4.8.15 až 4.8.17 není patrná korelace mezi vytvořeným gradientem vlhkosti a celkovou pórovitostí stavebních materiálů. Dále jsou uvedeny hodnoty transportů vlhkosti a celkových pórovitostí testovaných vzorků (Tab. 4.8.18 a 4.8.19).

Tabulka 4.8.18 Pórovitost a střední hodnota množství převedeného roztoku různých stavebních materiálů. Materiály byly na jedné straně ve styku s anodou a na straně druhé ve styku s křemennou moukou (katodický prostor).

Materiál	opuka	Historická cihla II	pískovec	Historická cihla I	Nová cihla
Pórovitost (%)	11,6	17,8	19,1	27,3	28,1
Množství převedeného roztoku (g)	4,94	-	8,25	-	2,36

Tabulka 4.8.19 Pórovitost a střední hodnota převedeného roztoku z různých stavebních materiálů po skončení elektroosmózy. Materiály byly na jedné straně ve styku s anodou a na straně druhé ve styku s cihelnou moukou (katodický prostor).

Materiál	opuka	Historická cihla II	pískovec	Historická cihla I	Nová cihla
Pórovitost (%)	11,6	17,8	19,1	27,3	28,1
Množství převedeného roztoku (g)	3,5	-	13,84	-	-

Z předcházejících tabulek vyplývá, že ani množství převedeného roztoku nekoreluje s celkovou porozitou. Tyto skutečnosti svědčí o tom, že specifické vlastnosti stavebních materiálů (zejména ξ - potenciál) mají vliv větší vliv na elektroosmózu než celková porozita.

4.7.4.3 Vliv velikosti nejvíce zastoupených pórů na elektroosmotický transport roztoku

Vliv velikosti nejvíce zastoupených pórů na elektroosmotický transport lze posoudit z následujících tabulek. Hodnotícím kritériem tabulek 4.8.20, 4.8.21 a 4.8.22 byl gradient vlhkosti vzniklý ve vzorcích zkoušených materiálů. Kritériem pro tabulky 4.8.23a 4.8.24 byly hodnoty úbytku vlhkostí stavebních materiálů ve styku se sypkou fází.

Tab. 4.8.20 Hodnoty gradientů vlhkosti samotných stavebních materiálů a velikosti jejich nejvíce zastoupených pórů

Materiál	Opuka	Nová cihla	Historická cihla I	Historická cihla II	Pískovec
Poloměr nejvíce zastoupených pórů (μm)	0,09	0,3	0,75	2	6
Gradient vlhkosti (%/m)	-5,64	-2,9	-2,57	-7,64	-2,7

Tab. 4.8.21 Gradienty vlhkostí různých stavebních materiálů ve styku s křemennou moukou a velikosti nejvíce zastoupených pórů

Materiál	Opuka	Nová cihla	Historická cihla I	Historická cihla II	Pískovec
Poloměr nejvíce zastoupených pórů (μm)	0,09	0,3	0,75	2	6
Gradient vlhkosti (%/m)	-2,33	-0,03	-	-	-1,35

Tab. 4.8.22 Gradienty vlhkostí ve stavebních materiálech ve styku s cihelnou moukou a velikosti nejvíce zastoupených pórů

Materiál	Opuka	Nová cihla	Historická cihla I	Historická cihla II	Pískovec
Poloměr nejvíce zastoupených pórů (μm)	0,09	0,3	0,75	2	6
Gradient vlhkosti (%/m)	-4,23	-	-	-	-1,58

Tab. 4.8.23 Množství roztoku převedeného ze stavebních materiálů ve styku s křemennou moukou do sypké a poloměr nejvíce zastoupených pórů

Materiál	Opuka	Nová cihla	Historická cihla I	Historická cihla II	Pískovec
Poloměr nejvíce zastoupených pórů (μm)	0,09	0,3	0,75	2	6
Množství převedeného roztoku (g)	4,94	2,37	-	-	9,78

Tab. 4.8.24 Množství roztoku převedeného ze stavebních materiálů ve styku s cihelnou moukou do sypké a poloměr nejvíce zastoupených pórů

Materiál	Opuka	Nová cihla	Historická cihla I	Historická cihla II	Pískovec
Poloměr nejvíce zastoupených pórů (μm)	0,09	0,3	0,75	2	6
Množství převedeného roztoku (g)	3,5	-	-	-	13,84

Z předcházejících tabulek nelze odvodit závislost gradientu vlhkosti ani množství převedeného roztoku na velikosti nejvíce zastoupených pórů. Naproti tomu by bylo možné očekávat vliv všech zastoupených pórů na hodnotu elektroosmotického toku. To je však pro různé stavební materiály odlišné stejně jako ξ - potenciál, který pak významně ovlivňuje elektroosmotický tok.

4.7.4.4 Vliv sypké fáze ve styku se stavebním materiálem

Zkoušené vzorky byly testovány v následujících čtyřech experimentálních uspořádání:

a) elektrody byly osazeny na samotné vzorky stavebních materiálů;
b) vzorky stavebních materiálů byly na katodové straně ve styku s křemenou moukou;
c) vzorky stavebních materiálů byly na katodové straně ve styku cihelnou moukou;
d) byly vytvořeny slepence testovaných materiálů a malty.

Pro další postup bádání mělo význam vyhodnocení vlivu přilehlé sypké fáze na probíhající elektroosmotický transport vody s důrazem na převod vody do sypké fáze a sledování gradientů vlhkostí ve stavebních materiálech.

Tab. 4.8.25 Gradienty vlhkosti a množství převedené vody s rozdělením do skupin podle přilehlé sypké fáze.

materiál	opuka		pískovec		historická cihla I		historická cihla II		nová cihla		malta	
	gradienty vlhkosti	množství převedeného roztoku	gradienty vlhkosti	množství převedeného roztoku	gradienty vlhkosti	množství převedeného roztoku	gradienty vlhkosti	množství převedeného roztoku	gradienty vlhkosti	množství převedeného roztoku	gradienty vlhkosti	množství převedeného roztoku
jednotky	g/m	g	g/m	g	g/m	g	g/m	g	g/m	g	g/m	g
stavební materiál ve styku s křemennou moukou	-2,56 -2,09	2,36 7,53	-2,18 -2,5 -1,47 0,75	11,45 8,56 12,51					2,92 -2,98	-2,55 6,43	-2,87 2,6 1,18	2,22 -3,76 -4,25
střední hodnota	-2,33	4,95	-1,35	10,84					-0,03	1,94	0,30	-1,93
stavební materiál ve styku s cihelnou moukou	-5,36 -2,06 -5,28	0,86 4,7 4,31	-0,97 -2,2 -1,56	7,26 19,14 15,12								
střední hodnota	-4,23	3,29	-1,58	13,84								
samotný stopavební materiál	-5,64		-2,7		-2,57		-7,64		-5,04 -2,81 -2,29 -1,48 -1,62 0,51		6,8 -5,42	
střední hodnota	-5,64		-2,70		-2,57		-7,64		-2,12		0,69	

*v pískovci ve všech případech vlhkost klesla a v křemenné mouce vzrostla

Na základě naměřených hodnot lze učinit tyto závěry:

1) Střední gradienty vlhkosti byly ve statisticky větší u vzorků, které byly ve styku s cihelnou moukou, avšak velký rozptyl výsledků tento závěr do značné míry zpochybňuje.
2) Střední množství převedeného roztoku bylo v případě opuky větší u vzorku ve styku s křemennou moukou a v případě pískovce u vzorku ve styku s cihelnou moukou, jednoznačný vliv sypké fáze tedy nebyl zjištěn..
3) Ve všech případech kdy byly změřeny záporné gradienty vlhkosti ve stavebních materiálech byl zjištěn převod vody ze stavebních materiálů do sypké fáze a naopak.
4) Elektroosmotický transport roztoku ze stavebního materiálu byl prokázán u opuky, pískovce, nové i historické cihly ve styku s oběmi fázemi.
5) Střední hodnota množství převedeného roztoku u malty ukazuje na průběh elektroomotického toku v nežádoucím směru (ze sypké fáze do stavebního materiálu).

4.7.4.5 Vliv koncentrace a typu solí

Ve stavebních materiálech při elektroosmóze byly přítomny sole ze dvou zdrojů. Prvním zdrojem byly sole přítomné ve struktuře materiálu samotného a druhým sole vložené do systému ve formě roztoků. Koncentrace vkládaných roztoků solí byly stanoveny a zrealizovány na základě ČSN P 73 06 10 tak, aby splňovaly zvýšený až vysoký stupeň zasolení. Roztok vyrobený ke zvlhčení vzorků obsahoval 2,14% SO_2^{4-}, 0,5% NO_3^- a 0,25% Cl^-. V případě roztoků obsahujících pouze některé sole byla koncentrace těchto solí zachována.

Z naměřených hodnot není patrný vliv koncentrace solí na účinek elektroosmózy v rozsahu použitých koncentrací. Naproti tomu je zřejmý významný vliv typu stavebního materiálu.

V případě nasycení stavebního materiálu i přilehlé sypké fáze destilovanou vodou byl zaznamenán velmi malý elektroosmotický účinek. Tento výsledek je v rozporu s teorií, neboť elektroosmotický tok by měl být přímo – úměrný ξ - potenciálu, který by měl klesat s rostoucí koncentrací solí.

4.7.4.6 Vliv pH výluhu z materiálu

Protože ξ - potenciál obecně výrazně závisí na hodnotě pH roztoku, bylo v rámci této kapitoli uvedeno hodnoty pH výluhů ze stavebních materiálů.

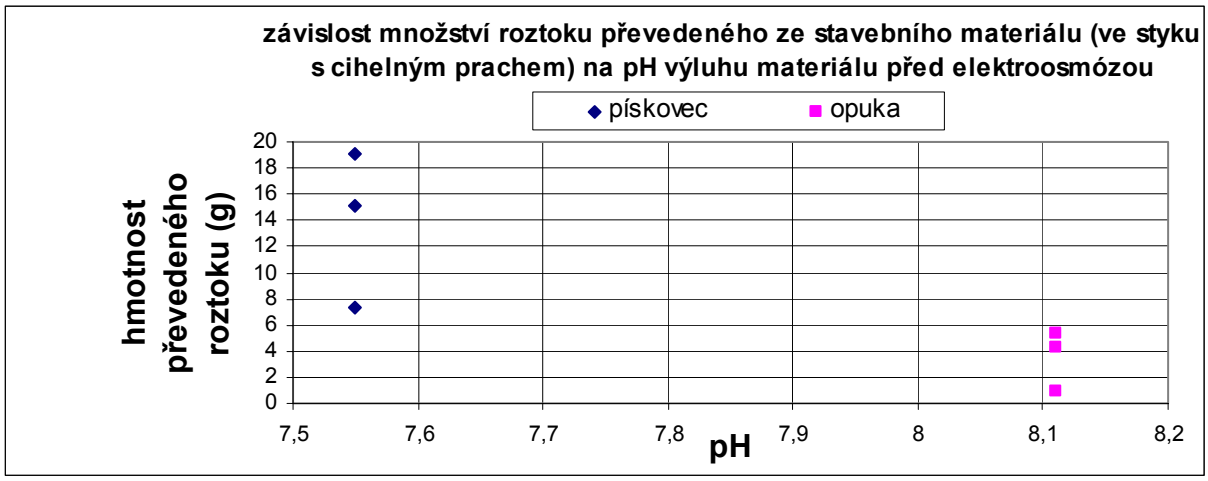
Pro stanovení vlivu pH bylo provedeno měření pH výluhů zvlhčených vzorků před započetím elektroosmotického působení.

Na obr. 4.7.4.6.1 – jsou uvedeny výsledky měření převodu roztoku z pevné fáze proti pH výluhu stavebních materiálů před působením elektroosmózy. Podobně v obr. 4.8.2 je uveden gradient vlhkosti v závislosti na pH výluhu.

Tab. 4.8.25 Hodnoty gradientů vlhkosti a množství převedeného roztoku při rozdělení podle druhu vložených roztoků.

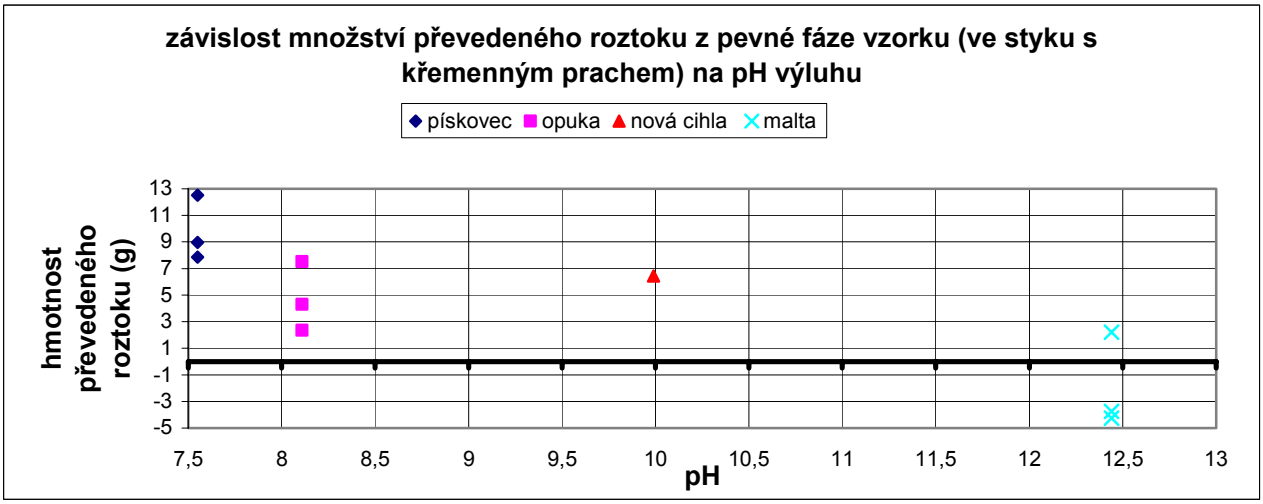
materiál	opuka		pískovec		historická cihla I		historická cihla II		nová cihla		malta	
pevný vzorek / sypká fáze	gradienty vlhkosti	množství převedeného	gradienty vlhkosti	množství převedeného	gradienty vlhkosti	množství převedeného	gradienty vlhkosti	množství převedeného	gradienty vlhkosti	množství převedeného	gradienty vlhkosti	množství převedeného
jednotky	g/m	g	g/m	g	g/m	g	g/m	g	g/m	g	g/m	g
SO_4^{2-}/SO_4^{2-} (křp)			-2,18	11,45								
			-2,5	8,56								
střední hodnota			-2,34	10,01								
$NO_3;SO_4^{2-};Cl^-/NO_3;SO_4^{2-};Cl^-$ (křp)	-2,56	2,36									-2,87	2,22
	-2,09	7,52							-2,98	6,43	2,6	-3,76
$NO_3;SO_4^{2-};Cl^-$ samotný vzorek	-5,64		-2,7		-2,57		-7,64		-5,04		6,8	
									-2,81		-5,42	
									-2,29			
									-1,48			
					-2,57		-7,64		-2,90		0,69	
střední hodnota	-3,43	4,94	-2,70		-2,57		-7,64		-2,92	6,43	0,28	-0,77
$SO_4^{2}/NO_3;SO_4^{2-};Cl^-$ (křp)			-1,47	12,51							1,18	-4,25
$SO_4^{2}/NO_3;SO_4^{2-};Cl^-$ (cihla)	-5,36	0,86	-1,56	15,12								
	-2,06	4,7										
	-5,28	4,31										
	-4,23	3,29										
střední hodnota	-4,23	3,29	-1,52	13,82							1,18	-4,25
SO_4^{2}/Cl^- (křp)			0,75									
SO_4^{2}/Cl^- (cihla)			-0,97	7,26								
			-2,2	19,14								
			-1,58	13,2								
střední hodnota			-0,81	13,20								
H_2O dest.									-1,62			
									0,51			
střední hodnota									-0,56			

Graf 4.8.2



Ze změřených hodnot množství roztoku převedeného z pískovce (pH výluhu 7,55) a opuky (pH 8,1) do cihelné mouky je patrné, že pro opuku bylo množství převedeného roztoku menší než u pískovce. U vzorků pískovce byla elektroosmóza prováděna 1288 – 2128 hodin, u vzorků opuky po dobu 2021 až 2025 hodin.

Graf 4.8.3



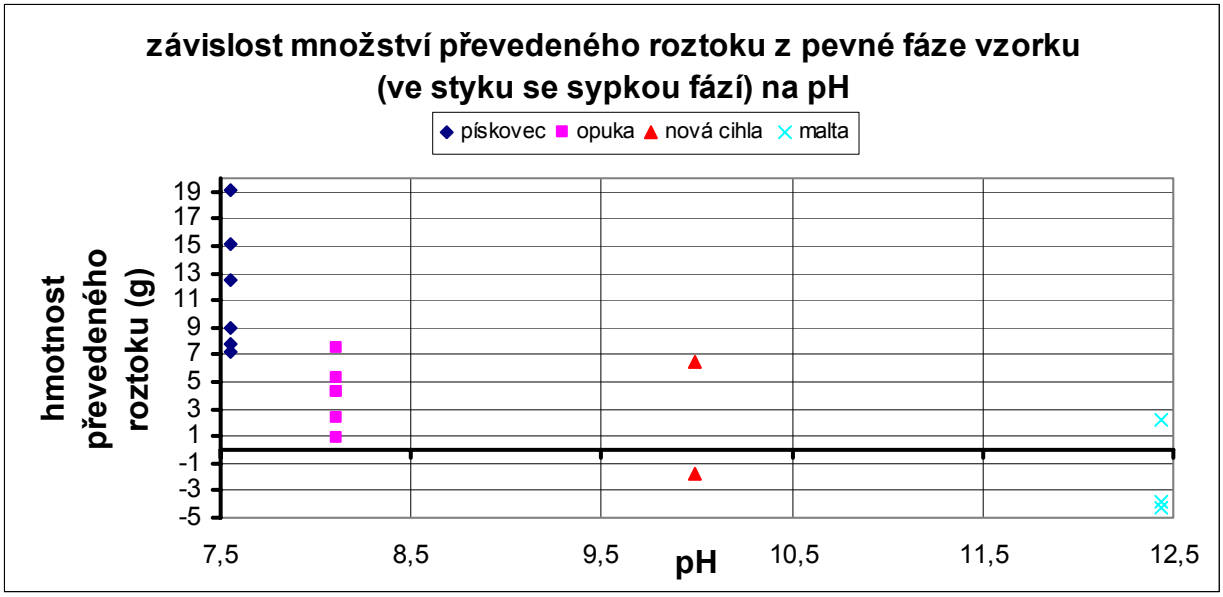
Ze změřených hodnot množství roztoku převedeného z pevné fáze do křemenné mouky (graf 4.8.3) je patrný pokles množství převedeného roztoku s rostoucím pH výluhu v mezích pH 7,5 až 10. V rozmezích pH 7,5 až 8,1 v časovém rozmezí 1441 až 2037 hodin se množství roztoku převedeného z pevné fáze pohybovalo mezi 7 a 12,5 gramy. U opuky s pH výluhu pH 8,1 až 8,5 bylo po době elektroosmotickéhho působení mezi 2426 až 4158 hodin množství převedeného roztoku od 2,3 do 7,5 g. Je však třeba uvést, že srovnáváme vliv pH výluhu na účinnost elektroosmózy pro různé stavební materiály, které mají jak různou pórovitou strukturu, tak mohou mít i při shodném pH roztoku různou hodnotu ξ - potenciálu, neboť neboť ten je funkcí nejen

složení roztoku, ale i funkcí složení elektrody. Proto bylo hodnocení vlivu pH výluhu stavebního materiálu na účinnostelektroosmózy třeba doplnit výsledky měření vlivu pH na hodnotu ξ - potenciálu, který přímo ovlivňuje elektroosmotický tok (viz. kap. 4.8.5 str. 118).

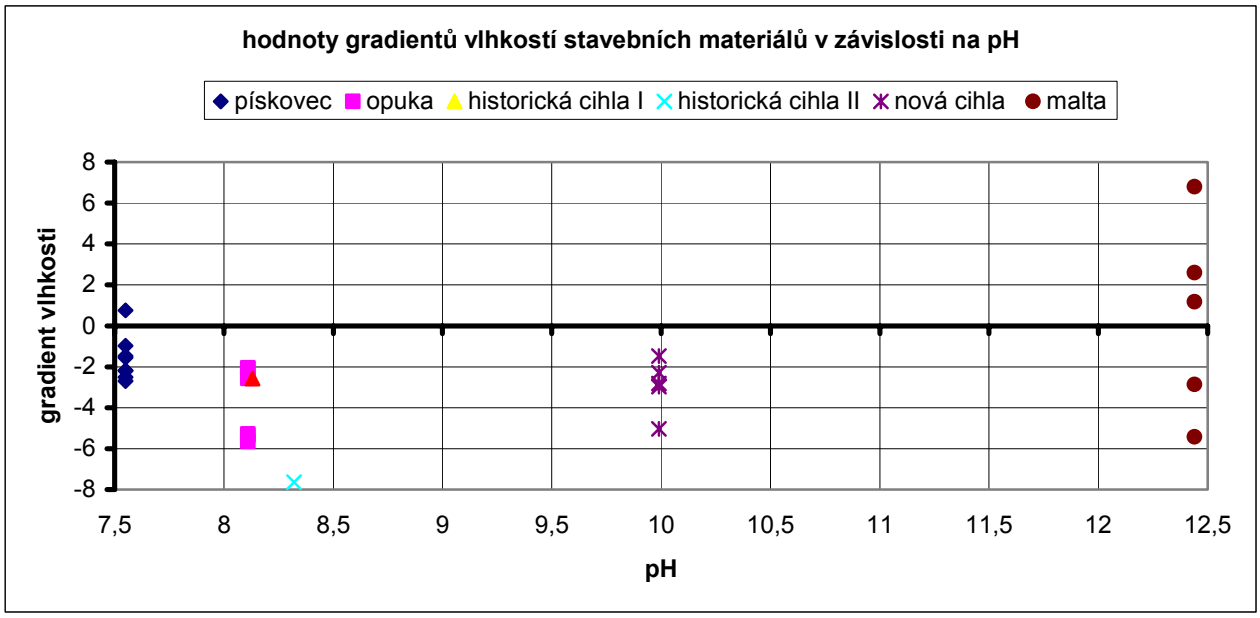
V experimentech s novou cihlou s pH výluhu 9,94 došlo po 4175 hodinách elektroosmotického působení k převedení 6,4 g vody do křemenné mouky.

V experimentech s poměrně čerstvou maltou (s pH výluhu 12,44 byly zaznamenány případy transportu roztoku v obou směrech s převládajícím nárůstem vlhkosti pevného vzorku. V časovém rozmezí 1440 až 1529 hodin došlo k poklesu vlhkosti malty od 2,2 g do -4,2 g (záporné znaménko znamená nárůst vlhkosti v testovaném vzorku). Obrácený směr transportu vody u malty s vysokým pH výluhu vysvětlujeme zápornou hodnotou ξ - potenciálu. Ve prospěch tohoto tvrzení svědčí závislost ξ - potenciálu na kyselosti roztoku, která ukazuje na pokles ξ - potenciálu s rostoucím pH (viz. kap. 4.8.4.8.5 str. 118). Pokles vlhkosti malty u anody působením elektroosmózy zjištěný u vzorku 22 lze přisoudit rychlejší karbonizaci vápna ($CaO \cdot n H_2O$) v tomto vzorku ($CaO \cdot nH_2O + CO_2 \rightarrow Ca\,CO_3 + nH_2O$), která mohla být způsobena lepším přístupem vzduchu.

Graf 4.8.3



Graf 4.8.4



Z těchto grafů vyplývá, že s výjimkou některých vzorků s vysokým pH (= 12,34) probíhal transport roztoku žádoucím směrem tzn. od zední (kladné) elektrody k zemní (záporné) elektrodě. Jednoznačný vliv pH v oblasti 7,5 až 10 nebyl zjištěn. Rozdíly v hodnotách gradientů lze přisoudit spíše porézní struktuře materiálů (menší gradienty v pískovci lze přisoudit větším pórům a následně menšímu difúznímu odporu).

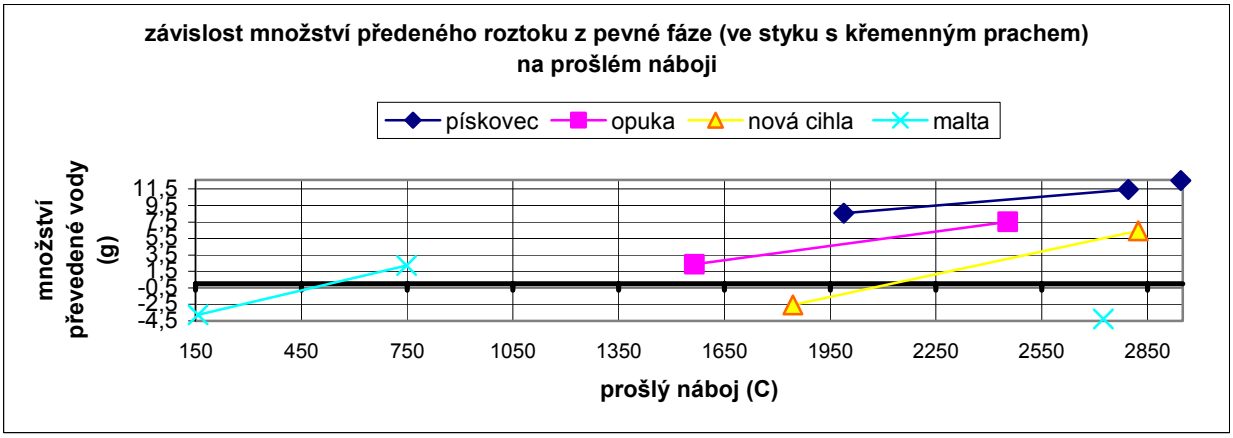
Výraznou výjimku od ostatních gradientů tvoří poměrně čerstvá malta (její stáří na počátku elektroosmotického experimentu bylo cca 31 dnů). V této maltě byl ještě vysoký podíl vápna CaO . nH_2O, které ještě nepodlehlo karbonizační reakci CaO . $nH_2O + CO_2 \rightarrow Ca\ CO_3 + nH_2O$. Z tohoto důvodu bylo pH výluhu z malty (i po experimentu) velmi vysoké.

4.7.4.7 Vliv prošlého náboje

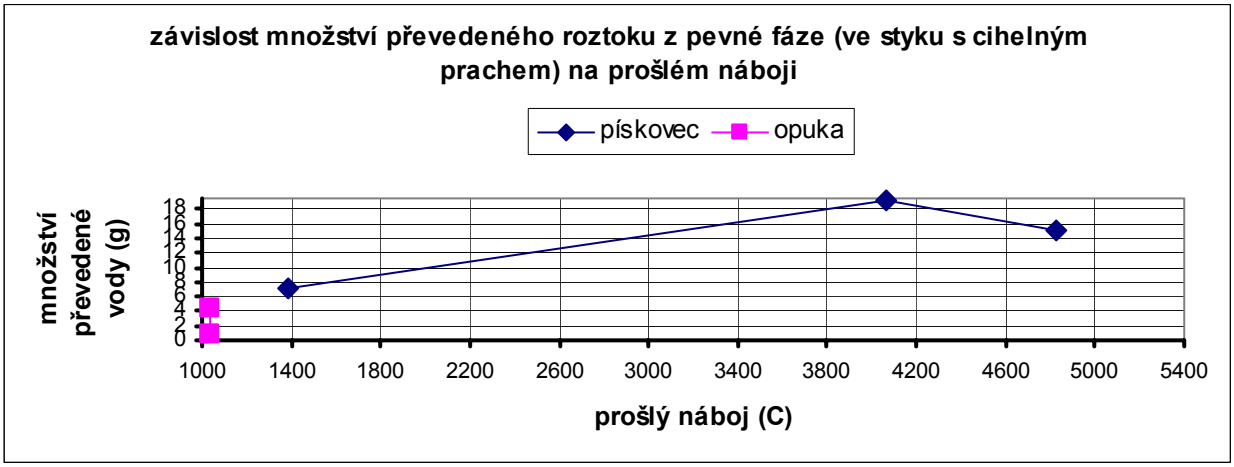
Grafy 4.8.5 až 4.8.7 dokládají závislosti množství převedené vody na prošlém náboji. Graf 4.8.5 se týká zkoušených vzorků, které byly ve styku s křemennou moukou. Graf 4.8.6. platí pro vzorky ve styku s cihelnou moukou a graf 4.8.7 shrnuje výsledky předešlých dvou grafů.

Z výsledků je patrný růst množstvím převedeného roztoku s prošlým nábojem u všech vzorků s výjimkou nové malty.

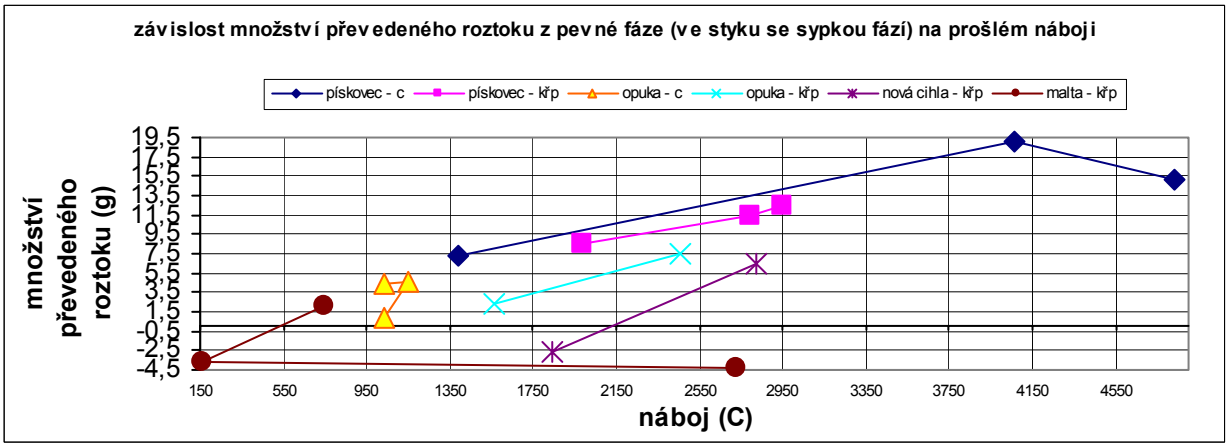
Graf 4.8.5



Graf 4.8.6



Graf 4.8.7



Následující tabulka 4.8.27 vyhodnocuje prošlý náboj všech testovaných vzorků po shodné době 1000 hodin.

Tab. 4.8.27

materiál	opuka	pískovec	historická cihla	nová cihla	malta
	prošlý náboj za 1000 hodin	prošlý náboj za 1000 hodin	prošlý náboj za 1000 hodin	prošlý náboj za 1000 hodin	prošlý náboj za 1000 hodin
jednotky	C	C	C	C	C
SO_4^{2-}/SO_4^{2-} (křp)		1947 1383			
střední hodnota		1665,00			
$NO_3;SO_4^{2-};Cl^-/NO_3;SO_4^{2-};Cl^-$ (křp)	871 813			1024 518	691 158
dest. H_2O/NO3;SO42-;Cl- (křp)			155		
$NO_3;SO_4^{2-};Cl^-$ samotný vzorek	2592	4616	2544 1232 3611 1506 2223,25	2417 1541 2232 1800 1997,5	375 736 555,5
střední hodnota	1425,33	4616,00	1809,60	1588,67	490,00
$SO_4^{2}/NO_3;SO_4^{2-};Cl^-$ (křp)		2097			185
$SO_4^{2}/NO_3;SO_4^{2-};Cl^-$ (cihla)	662 732 671	3233			
střední hodnota	688,33	2665,00			185,00
SO_4^{2}/Cl^- (křp)		1021			
SO_4^{2}/Cl^- (cihla)		1236 2623 1929,5			
střední hodnota		1626,67			
H_2O dest.				355 455	
střední hodnota				405,00	
STREDNI HODNOTY	**1056,83**	**2269,50**	**1809,60**	**1292,75**	**429,00**

Tab. 4.8.28

Materiál	Opuka	Nová cihla	Historická cihla I	Historická cihla II	Pískovec
Poloměr pórů (micrometr)	0,09	0,3	0,75	2	6
Pórovitost (%)	11,6	28,1	27,3	17,8	19,1
Průměrný náboj za 1000 hod.	1057	1589	1810	-	2270

Na základě hodnot uvedených v tabulce lze odvodit následující závěry:

- pořadí materiálů z hlediska průchodu náboje za stejný čas při zastoupení stejného množství solí v roztoku je následující:
  1) pískovec
  2) historická cihla ozn. 2
  3) historická cihla ozn. 3
  4) nová cihla
  5) historická cihla ozn. 1
  6) opuka
  7) historická cihla ozn. 4
  8) nová zdící malta MV 02
- větší vliv na průchod elektrického náboje měla sypká fáze na bázi cihly před křemennou moukou
- Prošlý náboj měl monotónně rostoucí tendenci s průměrem nejvíce zastoupených pórů
- Vliv vložených solí pevná fáze / sypká fáze lze zaznamenat v následujícím pořadí:
  1) **NO_3;SO_4^{2-};Cl^-/NO_3;SO_4^{2-};Cl^-**
  2) **SO_4^{2}/NO_3;SO_4^{2-};Cl^-**
  3) **SO_4^{2-}/SO_4^{2-}**
  4) **SO_4^{2}/Cl^-**
  5) **H_2O dest.**

4.7.5 VYHODNOCENÍ ZETA – POTENCIÁLU U VYBRANÝCH VZORKŮ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Pro doplnění údajů, které se váží k experimentální fázi, bylo provedeno vyhodnocení ξ - potenciálů u vybraných vzorků stavebních materiálů (obr. 4.12. – 4.18.).

Obr. 4.14 Pískovec

Obr. 4.15 Opuka

Obr. 4.16 Pískovec

Obr. 4.17 Hist. cihla ozn. 1

Obr. 4.18 Hist. cihla ozn. 6

Obr. 4.19 Hist. cihla ozn. 4

Obr. 4.20 Nová cihla

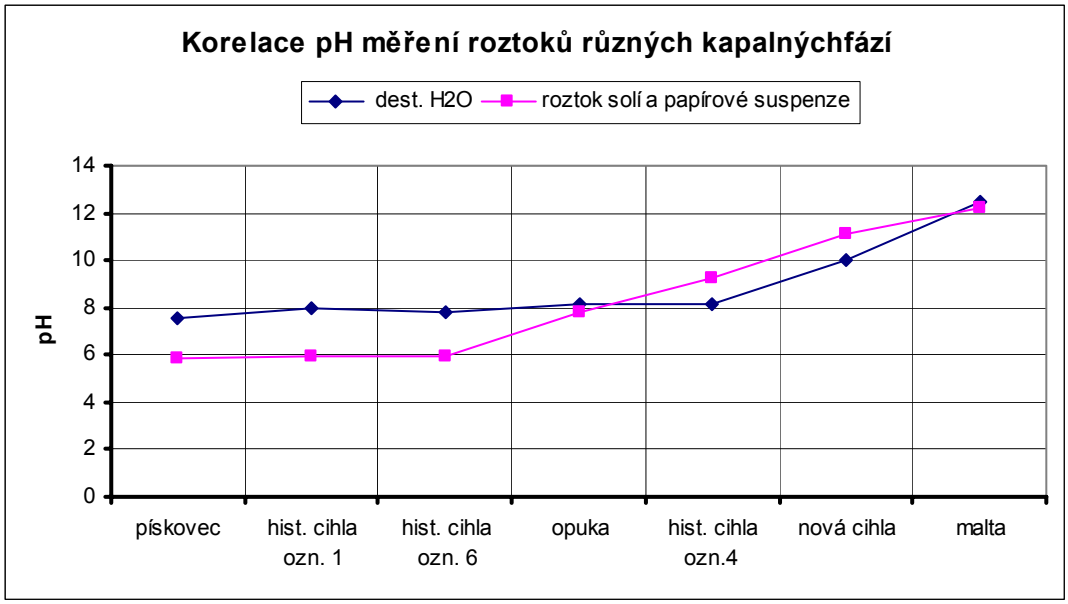
V následující tabulce (4.8.29) jsou uvedeny hodnoty naměřených ξ - potenciálů, a pH roztoků zkoušených materiálů. Měřený zeta-potenciál (ξ - potenciál) představuje hodnoty získané ze suspenze papírových vláken, roztoku solí a vloženého testovaného stavebního materiálu. Nelze předpokládat, že by tato hodnota odpovídala ξ - potenciálu v samotné pórové struktuře materiálu, avšak lze odvodit řádové hodnoty potenciálů a vliv pevné fáze jednotlivých testovaných vzorků na změny referenčních hodnot. Odvozený zeta-potenciál je předpokládaná hodnota ξ - potenciálu pevné fáze. Její hodnota byla stanovena z rozdílu ξ - potenciálů měřených u příslušných vzorků a referenčního vzorku samotné suspenze papírových vláken v roztoku solí síranů, dusičnanů a chloridů. Hodnota pH samotného roztoku solí byla 6,04.

Tab. 4.8.29

materiál	referenční vzorek papírová suspenze s destilovanou vodou	referenční vzorek papírová suspenze s roztokem solí	pískovec	hist. cihla ozn. 1	hist. cihla ozn. 6	opuka	hist. cihla ozn.4	nová cihla	malta
Měřený zeta - potenciál (mV)	-0,8	-15,7	-9,9	-7,7	-10	-16,7	-17,8	-6,6	-9,9
Odvozený zeta - způsobený roztokem na rozhranní vlákna/roztok		-14,9							
Odvozený zeta - potenciál pevných fází (mV)			5,8	8	5,7	-1	-2,1	9,1	5,8
pH - vzorek s vláknitou suspenzí	4,82	5,24	5,85	5,95	5,95	7,79	9,24	11,12	12,23
pH - vzorek v destilované vodě			7,55	7,94	7,8	8,11	8,13	9,99	12,44

Graf 4.8.8 znázorňuje korelaci mezi hodnotami pH roztoků zkoušených materiálů v destilované vodě a v roztocích solí spolu s papírovými vlákny.

Graf. 4.8.8



Z naměřených a odvozených údajů lze vyvodit následující závěry:

- pořadí materiálů z hlediska odvozeného ξ- potenciálu je následující (od nejpříznivější hodnoty):

  1) nová cihla
  2) historická cihla ozn. 1
  3) pískovec, malta
  4) historická cihla ozn. 6
  5) opuka
  6) historická cihla ozn. 4

- ξ- potenciál není primárně závislý na pH
- negativní potenciál u historické cihly ozn. 4 koreluje s dosaženými výsledky působení elektroosmózy u vzorku č. 4 (viz. kap.4.8.2.2.3). Jedná se o viditelně přepálenou cihlu se značně pórovitou strukturou střepu (obr.4.17.). Ovlivnění převodu vody lze předpokládat jak v mechanické příčině přítomností sazí tak ovlivnění hodnoy ξ-potenciálu.
- kladná hodnota odvozeného zeta - potenciálu u vzorku hist. cihly ozn. 6 koresponduje s poměrně příznivým výsledkem převodu roztoku u vzorku 36 (viz. kap. 4.8.2.3.3 str. 97).

Struktura průřezu vzorku je poměrně homogenní, pravidelná se světlou barvou střepu a viditelnou občasnou přítomností drobných kamenů (viz. obr. 4.16).

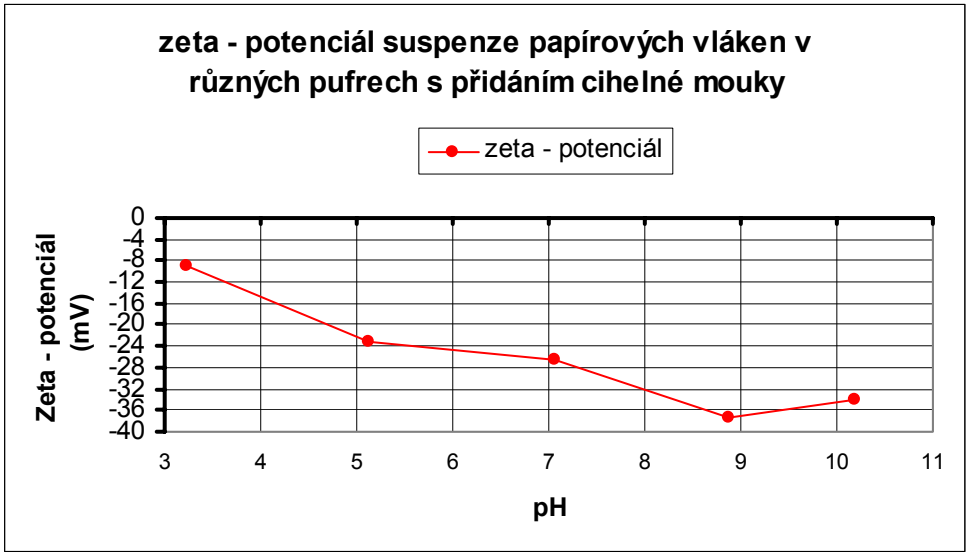
- kladná hodnota odvozeného potenciálu koresponduje s výsledky převodu roztoku v pískovci (obr. 4.8.2.3.1 str. 96).
- velmi rozdílné sousední hodnoty vlhkosti po elektroosmóze korespondují se strukturou cihelného střepu hist. cihly ozn. 1 (obr. 4.15). Střep vykazuje značnou materiálovou nehomogenitu a přítomnost velkého množství velkých pórů. Přítomnost makropórů ovlivnilo množství elektroosmoticky převedeného roztoku přes předpokládaný pozitivní vliv poměrně vysoké hodnoty ξ - potenciálu.

Následující tabulka 4.8.30 a graf 4.8.9 vyjadřují změnu ξ - potenciálu v závislosti na změně pH roztoku vloženého do suspenze papírových vláken. Různých hodnot pH roztoků bylo dosaženo přípravou pufrů. Výsledná testovaná suspenze byla připravena vložením 30g cihelné mouky (nové cihly) do suspenze 22g papírových vláken (50 % vláken krátkých – Portucel a 50% vláken dlouhých – Kemibrite) a 1 litru příslušného pufru.

Tab. 4.7.29.

materiál	pufr	pufr	pufr	pufr	pufr
Zeta - potenciál (mV)	-9	-23,3	-26,4	-37,4	-33,9
pH - připraveného pufru					
pH suspenze papírových vláken v pufru s přidáním cihelné mouky	3,23	5,13	7,07	8,88	10,19

Graf 4.8.9



Z předcházejících tabulky a grafu lze vyčíst následující skutečnosti:

- Směs papírových vláken vložených do roztoků pufrů způsobila pokles pH zkoumaných suspenzí.
- Hodnoty ξ - potenciálu takto připravených suspenzí pohybují v záporných hodnotách v řádech jednotek až desítek mV.
- Lze pozorovat téměř monotónní pokles hodnot ξ - potenciálu s rostoucím pH připravených suspenzí.

4.7.6 VYHODNOCENÍ VÝPARU A PŘESUNU ROZTOKU V RÁMCI MĚŘENÍ

Tabulka přílohy 4 byla vytvořena pro srovnání úbytku vody odparem, rozkladem a přesunem roztoku v rámci pevné fáze z pevné do sypké fáze. Z této tabulky je patrné, že množství roztoku přesunutého v rámci zkoušené soustavy je souměřitelné s hodnotami odparu. Tato skutečnost snižuje přesnost vyhodnocení přesunutého roztoku z pevné fáze do sypké, neboť známe pouze celkový úbytek roztoku odparem a rozkladem z celého systému, nikoli poměr odparu a rozkladu z pevné a sypké fáze. Ztráta odparem byla tedy rovnoměrně přisouzena pevné a sypké fázi, což představuje nejnepříznivější stav z hlediska posouzení elektroosmotické účinnosti. Obdobně jsme přistoupili k množství roztoku elektrolyticky rozloženého. Ze závislosti množství odpařeného a rozloženého roztoku na době elektroosmotického působení (viz příloha 5) lze usoudit, že množství tohoto roztoku rostlo s dobou experimentu. Experimentálně bylo zjištěno, že odpar během typické doby manipulace se sypkou fází (10 – 20 min.) se pohyboval cca 0,15 g a s pevnou fází cca 0,08 g. Na základě těchto zjištění lze usuzovat , že většina odpařeného roztoku se ztratila během probíhající elektroosmózy.

5. ZÁVĚR

Tato práce prokázala prostřednictvím vytvořeného gradientu vlhkosti testovaných materiálů, že pískovec, opuka a nová cihla tvoří příznivé prostředí pro působení elektroosmózy. Historické cihly jsou materiály značně rozmanité ve své struktuře a to jim přisuzuje i různé chování z hlediska elektroosmotického transportu vlhkosti. U těchto materiálů byly prokázány různé gradienty vlhkosti, za srovnatelných okrajových podmínek, od nulových až po největší ze všech testovaných materiálů.

Výsledky vyhodnocené u vzorků vápenocementové malty cca 30 dnů staré naznačují možnost opačného působení elektroosmotického toku tzn. od katody k anodě. Tato opačná polarita byla zaznamenána u vzorků s menším prošlým nábojem (měřeno max. 425 C). U vzorků s prošlým nábojem nad 749 C byl zaznamenán gradient vlhkosti požadovaný. Lze se domnívat, že existuje stádium hydratace vápenocementových malt, které ovlivňuje elektroosmotický tok či, že směr elektroosmotického toku je ovlivněn množstvím prošlého náboje.

Na vzorcích slepenců pískovce a vápenocementové malty došlo k úbytku vlhkosti vzorků pískovce a naopak k její akumulaci v maltových ložích pojících pískovcové bloky. Tato skutečnost potvrzuje možnost existence lokálních míst ve stěně, která mohou vykazovat opačnou polaritu či sloužit jako tzv. akumulátor vlhkosti. Dokladem je následující obrázek 5.1 stěny, na níž je aplikován systém elektroosmózy cca 11 let. Tato stěna vykazuje jak suchá tak vlhká místa a pro vlhkost je charakteristický lokální bodový charakter.

Obr. 5.1 Lokální projevy vlhkosti u stěny s působící elektroosmózou

Příznivé výsledky bylo možno zaznamenat u slepence jednoho typu historické cihly v kontaktu s historickou maltou. Pozorovaný gradient vlhkosti se vytvořil v požadovaném směru a došlo k významnému snížení vlhkosti maltového lože.

Z dosažených výsledků přesunu roztoků z pevné fáze do sypké lze uspořádat následující pořadí testovaných materiálů z hlediska účinku elektroosmotického působení:

1) Pískovec v cihelné mouce
2) Pískovec v křemenné mouce
3) Opuka v křemenné mouce
4) Opuka v cihelné mouce
5) Nová cihla v křemenné mouce
6) Nová malta v křemenné mouce

Pořadí materiálů sestavené na základě prošlého náboje vzorky ve shodném časovém období 1000 hodin je následující:

1) Pískovec
2) Historická cihla ozn. 2
3) Historická cihla ozn. 3
4) Nová cihla
5) Historická cihla ozn. 1
6) Opuka
7) Historická cihla ozn. 4
8) Nová zdící malta MV 02

Na základě výsledků sekundárně hodnocených paramentrů lze vyvodit následující závěry:

- Celková pórovitost materiálu není směrodatná pro účinek elektroosmotického působení
- Pro elektroosmózu není rozhodující množství nejvíce zastoupených pórů, ale množství pórů zastoupených v oblasti příznivé pro elektroosmózu.
- Nebyl zaznamenán významnější vliv zastoupených solí v roztoku na účinek elektroosmózy. Koncentrace vložených solí byla na rozhranní zvýšeného až vysokého stupně zasolení dle ČSN P 73 0610.

- Lze očekávat vliv pH pevné i kapalné fáze materiálu na elektroosmotický účinek, avšak není to primární faktor určující hodnotu ξ - potenciálu. Z dodatečných měření předem připravených pufrů s vloženou cihelnou moukou je patrný pokles ξ - potenciálu s rostoucím pH. Pro elektroosmotický transport roztoku se jeví u testovaných materiálů nejpříznivější hodnoty mezi 7 a 8 pH.
- Hodnoty ξ - potenciálů u testovaných materiálů se pohybují v řádech jednotek až desítek.

Získané poznatky jsou využitelné při pro posuzování vhodnosti nasazení elektrosmotických postupů k vysušování konkrétních objektů a zároveň představují dobrý základ pro další výzkumné a vývojové práce orientované na celkové zvýšení efektivity elektroosmotické sanace.

6. POUŽITÉ ZDROJE

[1] BALÍK, M. *Vysušování zdiva I.* 3. rozš. vyd. Praha: Grada Publishing a.s., 2002. 80 s. ISBN 80 - 247 – 0438 – 2.

[2] BALÍK, M. *Vysušování zdiva II.* 1. vyd. Praha: Grada Publishing, spol. s r.o., 1997. 132 s. ISBN 80 - 7169 – 440 – 1.

[3] BALÍK, M. *Vysušování zdiva III.* 1. vyd. Praha: Grada Publishing, spol. s r.o., 1999. 128 s. ISBN 80 - 7169 – 737 – 0.

[4] DVOŘÁK, J., KORYTA, J. *Elektrochemie.* 1. vyd. Praha: Academia, 1983. 412 s

[5] ČMELÍK, J. Voda vzlínající – sanační metody založené na elektrokinetických jevech. In *Sanace zavlhlého zdiva budov elektrofyzikálními metodami E´80.* Sborník přednášek vydaný Ústředním výborem společnosti stavební ČSVTS Praha, Pobočkou ČSVTS při OSP Opava a Okresním stavebním podnikem Opava, Ostrava, Česká republika, 6 - 8 říjen. 1980. s. VII/1 – VII/11.

[6] LEBEDA, J. aj. *Sanace zavlhlého zdiva budov.* 1. vyd. Praha, SNTL. 1979. 232 s.

[7] KOTLÍK, P., ŠRÁMEK, J., KAŠE, J. *Opuka*. 1. vyd. Praha: Společnost technologie a ochrany památek, 2000. 109 s. ISBN 80 – 902668 – 5 – 1.

[8] MOORE, W, J. *Fyzikální chemie.* 1. vyd. Praha: SNTL, 1979. 976 s.

[9] PASEKA, I. Elektrodové děje při elektroosmóze. In *Sanace zavlhlého zdiva budov elektrofyzikálními metodami E´80.* Sborník přednášek vydaný Ústředním výborem společnosti stavební ČSVTS Praha, Pobočkou ČSVTS při OSP Opava a Okresním stavebním podnikem Opava, Ostrava, Česká republika, 6 - 8 říjen. 1980. s. VIII/1 – VIII/5.

[10] SEIFERT, K. *Wasserdampfdiffusion im Bauwesen.* 2., uberarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden – Berlin: Bauverlag GmbH, 1974. 214 s. ISBN 3 – 7625 – 0521 – 7

[11] ČSN P 73 06 10 : 2000. Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení. Praha: Český normalizační institut, 2000. 19 s.

[12] ČSN P 73 06 00 : 1994. OCHRANA STAVEB PROTI VODĚ HYDROIZOLACE Základní ustanovení Praha: Český normalizační institut, 1994. 15 s.

[13] ČSN ISO 690 – 1 : 1996. Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

[14] ALKAFEEF, S. F., GOCHIN R. J., SMITH, A. L. Measurement of the electrokinetic potential at reservoir rock surfaces avoiding the effect of surface conductivity. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. December 1999, Volume 159, Issues 2-3, Pages 263-270.

[15] MATOUŠEK, M., DROCHYTKA, R. *Atmosférická koroze betonu.* 1. vyd. Praha, IKAS – Informační kancelář pro stavebnictví, 1998. 171 s. ISBN 80 - 902558 – 0 – 9.

[16] HANYKÝŘ, V. Vlastnosti jílů a zemin pro nepálené výrobky. In *Jíly v tradičním stavitelství.* Sborník přednášek z odborného semináře vydaný Společností pro technologie ochrany památek, červen. 2001. s. 6-20.

[17] KUŽELKA, J. *Technické zprávy k zařízení* "Multiplikační interface", 2001 – 2004.

[18] JOUNIAUX, L., BERNARD, M. L., POZZI J. P., ZAMORA, M. Electrokinetic in rocks: Laboratory measurements in sandstone and volcanic samples. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodety.2000,* Volume 25, Issue 4 , Pages 329-332.

[19] KALIN, M., NOVAK, S., VIŽINTIN J. Wear and friction behavior of alumina ceramics in aqueous solutions with different pH. *Wear*. October 2003, Volume 254, Issue 11, Pages 1141-1146.

[20] MICKA, K. Matematicko – fyzikální zákonitosti aktivní elektroosmózy. In *Sanace zavlhlého zdiva budov elektrofyzikálními metodami E ´80.* Sborník přednášek vydaný Ústředním výborem společnosti stavební ČSVTS Praha, Pobočkou ČSVTS při OSP Opava a Okresním stavebním podnikem Opava, Ostrava, Česká republika, 6 - 8 říjen. 1980. s. X/1 – X/10.

[21] NACHBAUR L., NKINAMUBANZI, P,C., NONAT A., MUTIN J.C., Electrokinetic Properties which Control the Coagulation of Silicate Cement Suspensions during Early Age. *Journal of Colloid and Interface Science*. June 1998, Volume 202, Issue 2, Pages 261-268.

[22] SCHMIDT, G. Electrochemistry of capillary systems with narrow pores. I. Overview. *Journal of Membrane Science*. November 1998, Volume 150, Issue 2, Pages 151-157.

[23] SCHMIDT, G. Electrochemistry of capillary systems with narrow pores. II. Electroosmosis. *Journal of Membrane Science.* November 1998, Volume 150, Issue 2, Pages 159-170.

[24] SCHMID, G., SCHWARZ, H. Electrochemistry of capillary systems with narrow pores III. Electrical conductivity. *Journal of Membrane Science* [on-line]. *November 1998, Volume 150, Issue 2,* [cit. 2003-09-5], *Pages 171-187.*

[25] SCHMID, G., SCHWARZ, H. Electrochemistry of capillary systems with narrow pores. IV. Dialysis potentials. *Journal of Membrane Science*. November 1998, Volume 150, Issue 2, Pages 189-196.

[26] SCHMID, G., SCHWARZ, H. Electrochemistry of capillary systems with narrow pores V. Streaming potential: Donnan hindrance of electrolyte transport. *Journal of Membrane Science*. November 1998, Volume 150, Issue 2, Pages 197-209.

[27] SCHMID, G. Electrochemistry of capillary systems with narrow pores. VI. Convection conductivity (theoretical considerations) *Journal of Membrane Science*. November 1998, Volume 150, Issue 2, Pages 211-225.

[28] SZYMCZYK, A., FIEVET, P., MULLET, M., REGGIANI, J. C., PAGETTI, J. Study of electro-kinetic properties of plate ceramic membranes by electroosmosis and streaming potential. *Desalination* September 1998, Volume 119, Issues 1-3, Pages 309-313.

[29] SZYMCZYK, A., FIEVET, P., MULLET, M., REGGIANI, J. C., PAGETTI, J. Comparison of two electrokinetic methods – electroosmosis and streaming potential – to determine the zeta-potential of plane ceramic membranes. *Journal of Membrane Science* May 1998,Volume 143, Issues 1-2, Pages 189-195.

[30] TANG, G. Y., YANG, C., CHAI, C. K., GONG, H. Q. Numerical analysis of the thermal effect on electroosmotic flow and electrokinetic mass transport in microchannels. *Analytica Chimica Acta* April 2004, Volume 507, Issue 1, Pages 27-37.

[31] THIELE, B., KOPP, J. W. Charge balances of paper machine systems - a method of process optimisation. In *Chemische Technologie der Papierherstellung.* Extended version of the paper given in 1996 at the 12th PTS Symposium [on-line]. 1996, [cit. 2004-05-18],Pages 1-19. . Dostupné na Internetu: http://www.solutionsforpaper.com/sfp/global/downloads/Pts-englneu.pdf

[32] XUAN, X., SINTON. D., Li, D. Thermal end effects on electroosmotic flow in a capillary. *International Journal of Heat and Mass Transfer* July 2004,Volume 47, Issues 14-16, Pages 3145-3157

[33] HOROUCNI, K., DUTTA, P. Joule heating effects in electroosmotically driven microchannel flows *International Journal of Heat and Mass Transfer* July 2004, Volume 47, Issues 14-16, Pages 3085-3095. Dostupné na Internetu: ⟨.⟩

[34] YANG, J., BELLMANN, C., GRUNDKE K., MICHEL S., KOSTIUK, L., KWOK D.Y. Characterization of porous membranes by zeta-potential under an ac electric field: analytical treatment of time-dependent electroosmostic flow. *Journal of Membrane Science* November 2003, Volume 225, Issues 1-2, *Pages* 155-164.

PUBLIKAČNÍ ČINNOST AUTORA

[1] BALÍK, L. Elektrické metody používané při dodatečném vysušování zdiva. Ing. Thesis. Praha: ČVUT, 1998 163 s.

[2] BALÍK, L.Vyhodnocení účinnosti systému metodou ELKINET používané při dodatečném vysušování zdiva In: *Construmat 1999 - Conference about structural materiále.* Sborník přednášek V. mezinárodní konference, Ostrava, VŠB-TUO, 1999, s. 278-279. ISBN 80-7078-647-7.

[3] BALÍK, L. Zeta - potenciál a způsoby jeho stanovení In: *Construmat 2000 - Conference about structural materiále.* Sborník přednášek VI. mezinárodní konference, Nitra, CPU Nitra, září 2000, s. 183-186. ISBN 80-7137-739-2.

[4] BALÍK, L. Elektroosmotická snímací soustava EMIS 01 In: *Construmat 2001 - Conference about structural materials.* Sborník přednášek VII. mezinárodní konference, Brno, Ústav technologie stavebních hmot a dílců Fakulty Stavební Vysokého učení technického v Brně. září 2001, s. 185-187. ISBN 80-214-1936-9

[5] BALÍK, L., SVOBODA, L. Studium podmínek pro efektivní použití elektroosmotického vysoušení In: *Construmat 2002 - Conference about structural materials*. Sborník přednášek VIII. mezinárodní konference o stavebních materiálech, Praha, České vysoké učení technické v Praze, září 2002, s. 8-9. ISBN 80-01-02571-3.

.

[6] BALÍK, L., SVOBODA, L. Electro-Osmotic Flow in Building Materiále In: *Proceedings of Workshop 2002 Part A.* Prague, Czech Technical University in Prague, February 2002, vol. 6, p.p. 524-525. ISBN 80-01-02511-X.

[7] BALÍK, L., SVOBODA, L.: Elektroosmotické zařízení ke studiu možnosti vysoušení zdiva pulsujícím napětím. In. *Construmat 2003 – Conference about structural materials.* Sborník přednášek IX. mezinárodní konference, Štúrovo, 2003, pp. 32–33. ISBN 80-227-1926-9.

[8] BALÍK, L., SVOBODA, L.: Porovnání pískovce a opuky z hlediska účinnosti elektroosmotického působení na transport elektrolytu obsaženého ve struktuře těchto materiálů. In. *Construmat 2003 – Conference about structural materials.* Sborník přednášek IX. mezinárodní konference, Štúrovo, 2003, pp. 11–13. ISBN 80-227-1926-9.

[9] BALÍK, L., SVOBODA, L. Electro-Osmotic Flow in Building Materiále II. In: *Proceedings of Workshop 2004 Part A.* Prague, Czech Technical University in Prague, March 2004, vol. 8, p.p. 594 - 595. ISBN 80-01-02945-X.

[10] BALÍK, L. Vliv elektroosmotického působení na transport vlhkosti ve vzorcích cihelných střepů In: *Sanace a rekonstrukce staveb 2004.* Sborník přednášek 26. konference, Praha, Česká stavební společnost, WTA CZ, listopad 2004, s. 222 – 226. ISBN 80-02-01683-1.

[11] BALÍK, L., KOLÍSKO, J., KLEČKA, T., Příklad narušení fasády opatřené keramickým obkladem lepeným na jádrovou omítku tenkovrstvím způsobem In: *Sanace a rekonstrukce staveb 2004.* Sborník přednášek 26. konference, Praha, Česká stavební společnost, WTA CZ, listopad 2004, s. 94 -101. ISBN 80-02-01683-1.

7. ABSTRACT

During the rehabilitation of historical buildings attacked by moisture, the continuously increasing emphasis is put on the non-destructive approach of the methods used. The method based on the existence of the electro-kinetics phenomenon (e.g. electro-osmosis) belongs to the advisable methods in this field. Next advantage of this method is possible to see in easier installation of system in case of substructures, which brings savings in consequence and the possibility of constant control of function.

The aim of this doctoral thesis is to elaborate the knowing of efficiency of electro-osmotic methods in process of dewatering of real buildings materials. The purpose of the work is to define the measure of influence of applied electrical field on the transport of water solution of salts through the pore structure of the buildings materials. The consequence of gained data enables to verify validity of electro-osmotic methodical model.

Some building materials, which are used in the structures of historical buildings, were compared each other from point of view of competency of transport of water under applied electrical voltage. The steps, which anticipated measuring of transport of water, included developing of measuring apparatus, definition of boundary conditions and determination of observed properties. The measuring apparatus consists of multi-channel interface, cartouches with measured samples, wires, reading apparatus and memory unit. The cylindrical core samples taken from the historical clay bricks, new clay brick, sandstones, cretaceous marls and cement – lime mortar are placed into the electric field (5 V) in order to assess the volume of the transported water after three months of electro-osmotic action. At the end of the testing period, the volume of transported water in each of ten parts of the tested samples was analyzed in the gravimetric procedures and compared with the initial state. In the frame of classification the adjudicate properties were divided into two parts. Firstly – main parameter (i.e. the transport of humidity) was classified. Secondly - supplementary properties (transports of salts, the change of pH at the ends of tested samples, the shape of curve of current in time, the evaporated humidity, the decomposed water and the passed charges) were measured at the same time.

The realized measurements proved, via the created gradient of humidity in the tested samples that the sandstone, cretaceous marble and brick are creating faire condition for electro-osmotic transport of water. Both the various internal structures and the material base of historical brick correspond with the created conditions of electro-osmotic humidity transport. The gained results from cement – lime mortar indicate the assumption of dependence of direction of electro-osmotic flow on the state of its hydration. The best condition for electro-osmotic flow was proved in the sandstone. The much of insecurity exists in the young mortars.

The work initiates course of impulses for advancement in the area of electro-osmotic action in the structures of building materials. The most interesting factors, which are concerned in efficiency of electro-osmotic transport, are the degree of pH, the applied voltage, the concentration and the type of embedded salts and the initial humidification.

8. PŘÍLOHY

Pří loha 1 – Průběh teplot a relativních vlhkostí v období 11/02 – 12/03 v laboratoři D1045 FSv ČVUT

Příloha 2 – Záznam průběhu teploty a proudu na vzorku nové cihly zvlhčení dest. H_2O

Příloha 3 – Komplexní tabulkové shrnutí dosažených výsledků

Příloha 3.1 – měření č. 1 – 6

Příloha 3.2 – měření č. 7 – 12

Příloha 3.3 – měření č. 13 – 19

Příloha 3.4 – měření č. 20 – 25

Příloha 3.5 – měření č. 26 – 31

Příloha 3.6 – měření č. 32 - 36

Příloha 4 – Grafy průběhů vlhkostí a proudů ve vzorcích

Přílohy 4.1. – 4.36. – odpovídající číslům měření

Přílohy 4.1. – 4.14. – samotné materiály

Přílohy 4.15. – 4.26. – materiály v křemenné mouce

Přílohy 4.27. – 4.32. – materiály v cihelné mouce

Přílohy 4.33. – 4.35. – slepence

Přílohy 4.36. – historická cihla s vloženou historickou maltou

Příloha 5 – Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení jednotlivých vzorků

Přílohy 5.1. – 5.36. – odpovídající číslům měření vzorků

Přílohy 5.1. – 5.14. – samotné materiály

Přílohy 5.15. – 5.26. – materiály v křemenné mouce

Přílohy 5.27. – 5.32. – materiály v cihelné mouce

Přílohy 5.33. – 5.35. – slepence

Přílohy 5.36. – historická cihla s vloženou historickou maltou

Příloha 6 – Výsledky vyhodnocení pórovitosti testovaných vzorků

Přílohy 6.1.1. – 6.1.5. – opuka

Přílohy 6.2.1. – 6.2.5. – historická cihla označená K 11

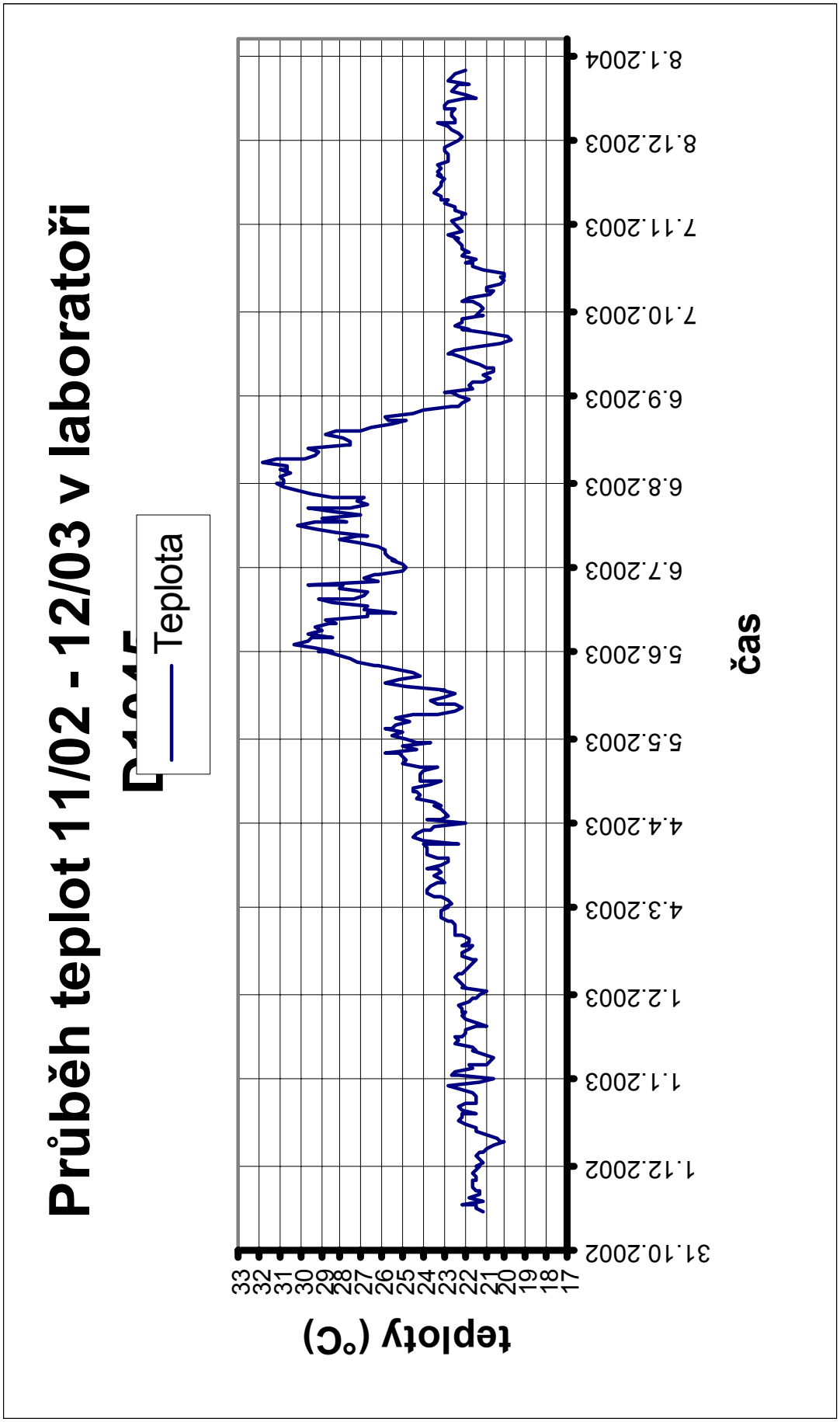
Přílohy 6.3.1. – 6.3.5. – historická cihla označená K 15

Přílohy 6.4.1. – 6.4.5. – nová cihla

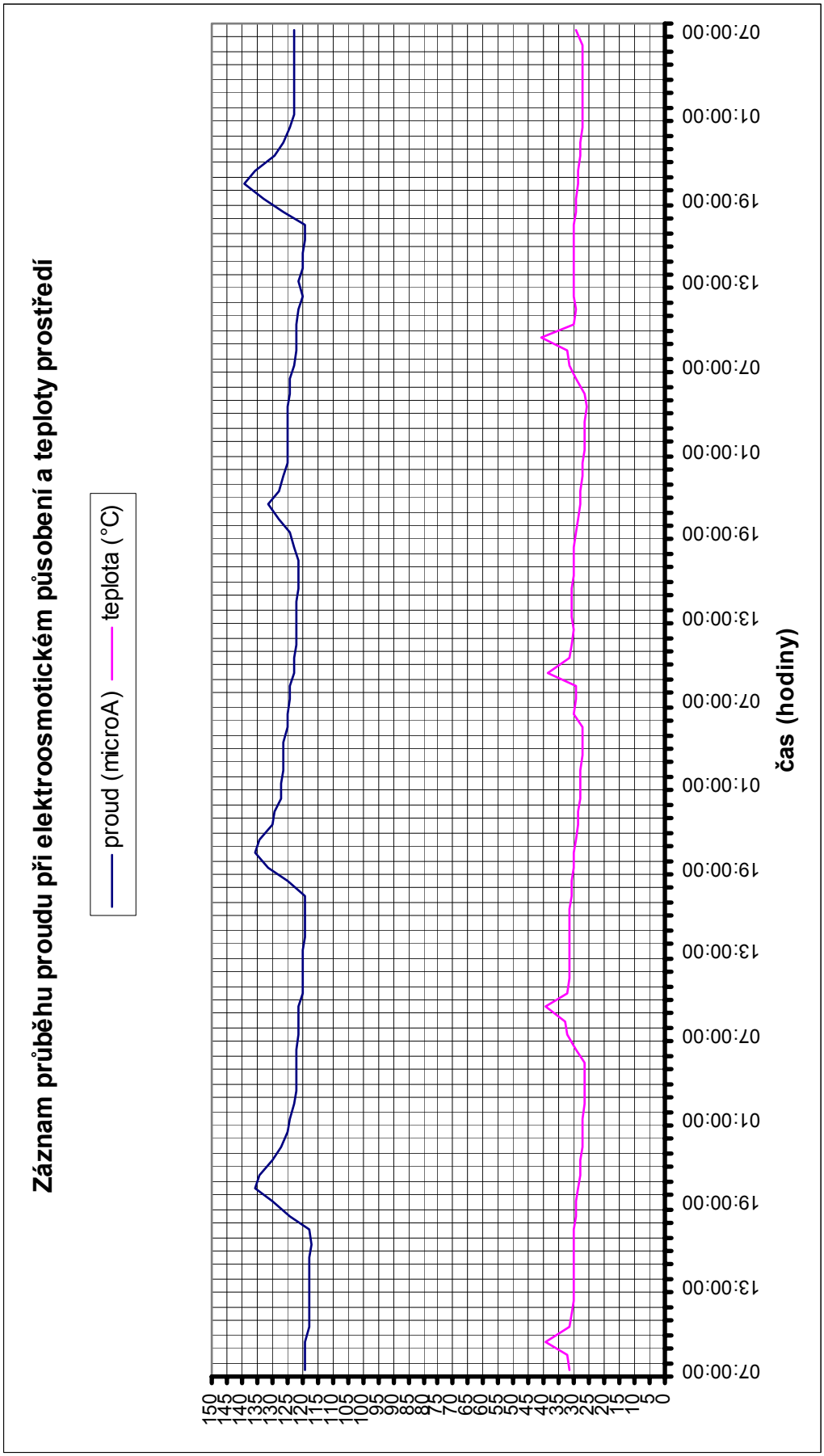
Přílohy 6.5.1. – 6.5.5. – pískovec

Příloha 7 – Tabulka shrnující poměry výparu a přesunu roztoku v rámci vzorku

Příloha 1


Průběh teplot 11/02 - 12/03 v laboratoři
Teplota
teploty (°C)
33
32
31
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
31.10.2002
1.12.2002
1.1.2003
1.2.2003
4.3.2003
4.4.2003
5.5.2003
5.6.2003
6.7.2003
6.8.2003
6.9.2003
7.10.2003
7.11.2003
8.12.2003
8.1.2004
čas

Příloha 2


Záznam průběhu proudu při elektroosmotickém působení a teploty prostředí
proud (microA)
teplota (°C)
čas (hodiny)
150
145
140
135
130
125
120
115
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
07:00:00
01:00:00
19:00:00
13:00:00
07:00:00
01:00:00
19:00:00
13:00:00
07:00:00
01:00:00
19:00:00
13:00:00
07:00:00
01:00:00
19:00:00
13:00:00
07:00:00

Příloha 3.1 – měření č. 1 – 6

číslo měření	popis	kanál	vložené napětí	roztok vložený do sypké fáze / roztok vložený do pevné fáze	čas působení	celkový náboj prošlý soustavou	náboj prošlý soustavou za 1000 hodin	původní zvlhčení	pH před působením	pH po působení u elektrod	pohyb solí k opačně nabytým elektrodám	množství přesunutého roztoku	charakteristika pórů			gradient vlhkosti		roztok převedený elektroosmoticky z pevné fáze
													poloměr max. zastoupen	rozsah	celková pórovitost	vypočítáno z absolutních hodnot vzorku po působení		
								pevný / sypký	pevný	u katody / u anody	A-ano;N-ne;0-nezměněno / SO_4^{2-} NO3- Cl-		r_{max}	r	p	všechny hodnoty	bez krajních hodnot	
			V		hod.	C	C	%hm.				g	µm	µm	%			g
								VZORKY SAMOTNÝCH MATERIALŮ										
1.	**pískovec** 22.7.-6.11. 2003	K8	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	2470	8854	4616	4,25	7,55	9,36 / 3,03	A 0 A	1,16	6	0,02-80	19,1	-2,7	-1,65	
2.	**opuka** 1.8 - 21.11. 2003	K14	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	2585	5064	2592	4,51	8,11	10,27 / 6,64	A A A	3,44	0,09	0,005-0,2	11,6	-5,64	-2,97	
3.	**hist. c 3** 4.7.-3.10. 2003	K11	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	2811	3797	2544	8,31	8,13	9,77 / 4,27	N A A	0,87	0,75	0,005-2	27,3	-2,57	-2,09	
4.	**hist. c 4** 5.7. 2003 - 4.11. 2003	K10	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	2826	2237	1232	7,02	8,13	10,98 / 5,17	A A A	7,63				0,002	0,005	
5.	**hist. c.2** 4.7.- 20.11. 2003	K12	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	3236	5510	3611	9,24	8,32	10,87 / 4,65	A A A	2,55	2	0,02-40	17,8	-7,64	-7,51	
6.	**hist. c.1** 27.6. - 2.12. 2003	K16	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	3522	3462	1506	13,08	7,94	10,83 / 5,11	A A A	2,4				-0,002	-0,006	

Příloha 3.2– měření č. 7 – 12

číslo měření	popis	kanál	vložené napětí	roztok vložený do sypké fáze / roztok vložený do pevné fáze	čas působení	celkový náboj prošlý soustavou	náboj prošlý soustavou za 1000 hodin	původní zvlhčení pevný / sypký	pH před působením pevný	pH po působení u elektrod u katody / u anody	pohyb solí k opačně nabytým elektrodám A-ano;N-ne;0-nezměněno	množství přesunutého roztoku	charakteristika pórů: poloměr max. zastoupen	charakteristika pórů: rozsah	charakteristika pórů: celková pórovitost	gradient vlhkosti: vypočítáno z absolutních hodnot vzorku po působení: všechny hodnoty	gradient vlhkosti: vypočítáno z absolutních hodnot vzorku po působení: bez krajních hodnot	roztok převedený elektroosmoticky z pevné fáze
			V		hod.	C	C	%hm.			SO_4^{2-} NO3- Cl-	g	r_{max} µm	r µm	p %			g
7.	**nová c. 71** 9.5.-20.11. 2003	K5	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	4541	5551	2417	7,11	9,99	10,92 / 5,15	A A A	1,63	0,3	0,02-60	28,1	-5,04	-3,83	
8.	**nová c.70** 7.10. - 29.12. 2003	K1	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	1984	2610	1541	6,07				1,17	0,3	0,02-60	28,1	-2,81	-2,18	
9.	**nová c. 68** 9.10. - 29.12. 2003	K2	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	1940	3670	2232	7,3				1,23	0,3	0,02-60	28,1	-2,29	-2,16	
10.	**nová c. 67** 9.10. - 29.12. 2003	K3	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	1946	2945	1800	6,25				0,67	0,3	0,02-60	28,1	-1,48	-1,92	
11.	**nová malta** 6.6. 2003-12.8.2003	K2	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	1562	425	375	7,48	12,44	11,63 / 11,49	N N N	4,76				6,8	6	
12.	**nová malta** 6.6. 2003-3.9.2003	K9	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	2085	822,24	736	11,06	12,44	11,97 / 11,98	N A A	3,63				-5,42	-3,13	

Příloha 3.3– měření č. 13 – 19

číslo měření	popis	kanál	vložené napětí	roztok vložený do sypké fáze / roztok vložený do pevné fáze	čas působení	celkový náboj prošlý soustavou	náboj prošlý soustavou za 1000 hodin	původní zvlhčení	pH před působením	pH po působení	pohyb solí k opačně nabytým elektrodám	množství přesunutého roztoku	charakteristika pórů			gradient vlhkosti		roztok převedený elektroosmoticky z pevné fáze
										u elektrod								
								pevný / sypký	pevný / sypký	u katody / u anody	A-ano;N-ne;0-nezměněno / SO_4^{2-} NO3- Cl-		poloměr max. zastoupen r_{max}	rozsah r	celková pórovitost p	vypočítáno z absolutních hodnot vzorku po působení: všechny hodnoty	bez krajních hodnot	
			V		hod.	C	C	%hm.				g	µm	µm	%			g
13.	**nová c.78** 2.5.-12.11.2003	K1	5	H_2O dest.	4511	1737	355	9,45	9,72	9,91 6,45	A A N	1,64	0,3	0,02-60	28,1	-1,62	-0,05	
14.	**nová c. 76** 5.5.-13.11.2003	K3	5	H_2O dest.	4470	2239	455	10,75	9,99	10,29 5,04	A 0 A	0,94	0,3	0,02-60	28,1	0,51	-0,02	
15.	**pískovec v křp** 28.8.2002-29.10.2002	K1	5	SO_4^{2-} SO_4^{2-}	1441	2796	1947	5,13 6,2 1,07	7,55 8,7	10,02 3,15	A 0 0		6	0,02-80	19,1	-2,18	-3,44	11,445 7,23
16.	**pískovec v křp** 28.8.2002-29.10.2002	K3	5	SO_4^{2-} SO_4^{2-}	2037	1989	1383	3,92 6,35 2,43	7,55 8,7	9,64 3,24	A 0 0		6	0,02-80	19,1	-2,5	-2,58	8,56 1,29
17.	**opuka v křp** 21.11.2002-14.4. 2003	K4	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^- SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	2878	1565	871	4,85 6,83 1,98	8,11 8,65	10,47 7,39	A A A		0,005-0,2	11,6		-2,56	-10,067	2,36 5,37
18.	**opuka v křp** 21.11.2002-14.4.2003	K16	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^- SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	4158	2454	813	4,64 6,2 1,56	8,11 8,65	10,3 3,15	A N N		0,005-0,2	11,6		-2,09	2,94	7,525 7,01
19.	**hist. c 5 v křp** 29.7.-11.11.2003	K13	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^- SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	2426	324	155	6,7 5,13 -1,57	8,13 8,78	9,94 6,32	N A 0	9	42,98	3,79		2,82	2,28	

Příloha 3.4– měření č. 20 – 25

číslo měření	popis	kanál	vložené napětí	roztok vložený do sypké fáze / roztok vložený do pevné fáze	čas působení	celkový náboj prošlý soustavou	náboj prošlý soustavou za 1000 hodin	původní zvlhčení	pH před působením	pH po působení u elektrod	pohyb solí k opačně nabytým elektrodám	množství přesunutého roztoku	charakteristika pórů			gradient vlhkosti		roztok převedený elektroosmoticky z pevné fáze
													poloměr max. zastoupen	rozsah	celková pórovitost	vypočítáno z absolutních hodnot vzorku po působení		
								pevný	pevný	u katody	A-ano;N-ne;0-nezměněno		r_{max}	r	p	všechny hodnoty	bez krajních hodnot	
								sypký	sypký	u anody	SO_4^{2-} NO3- Cl-	g						
			V		hod.	C	C	%hm.					μm	μm	%			g
20.	**nová c. 72 v křp**	K7	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	4005	1844	1024	9,63	9,72	9,84	N		0,3	0,02-60	28,1	2,92	2,61	-2,555
	21.5.-10.11. 2003			SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-				5,09	8,78	7,71	N							-0,99
								-4,54			A							
21.	**nová c. 73 v křp**	K6	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	4175	2824	518	5,86	9,99	10,44	A		0,3	0,02-60	28,1	-2,98	-3,23	6,43
	22.5.-18.11. 2003			SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-				4,1	8,78	7,56	A							8,67
								-1,76			A							
22.	**malta v křp**	K3	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	1529	749	691	11,07	12,44		A					-2,87	-1,21	2,22
	25.11. 2002 - 28.1. 2003			SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-				6,1	12,34		0							-0,68
								-4,97			0							
23.	**malta v křp**	K1	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	1002	157	158	7,99	12,34		A					2,6	2,34	-3,755
	14.2.-28.3. 2003			SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-				5,5	8,65		A							6,93
								-2,49			A							
24.	**pískovec v křp**	K2	5	SO_4^{2-}	1440	2945	2097	5,76	7,55	9,86	A		6	0,02-80	19,1	-1,47	-1,62	12,51
	28.8.2002-29.10.2002			SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-				5,35	8,7	3,96	0							13,87
								-0,41			0							
25.	**malta v křp**	K3	5	SO_4^{2-}	1529	2725	185	8,03	12,34	9,72	N					1,18	2,01	-4,245
	14.2.-28.3. 2003			SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-				5,23	8,74	11,67	A							-13,27
								-2,8			A							

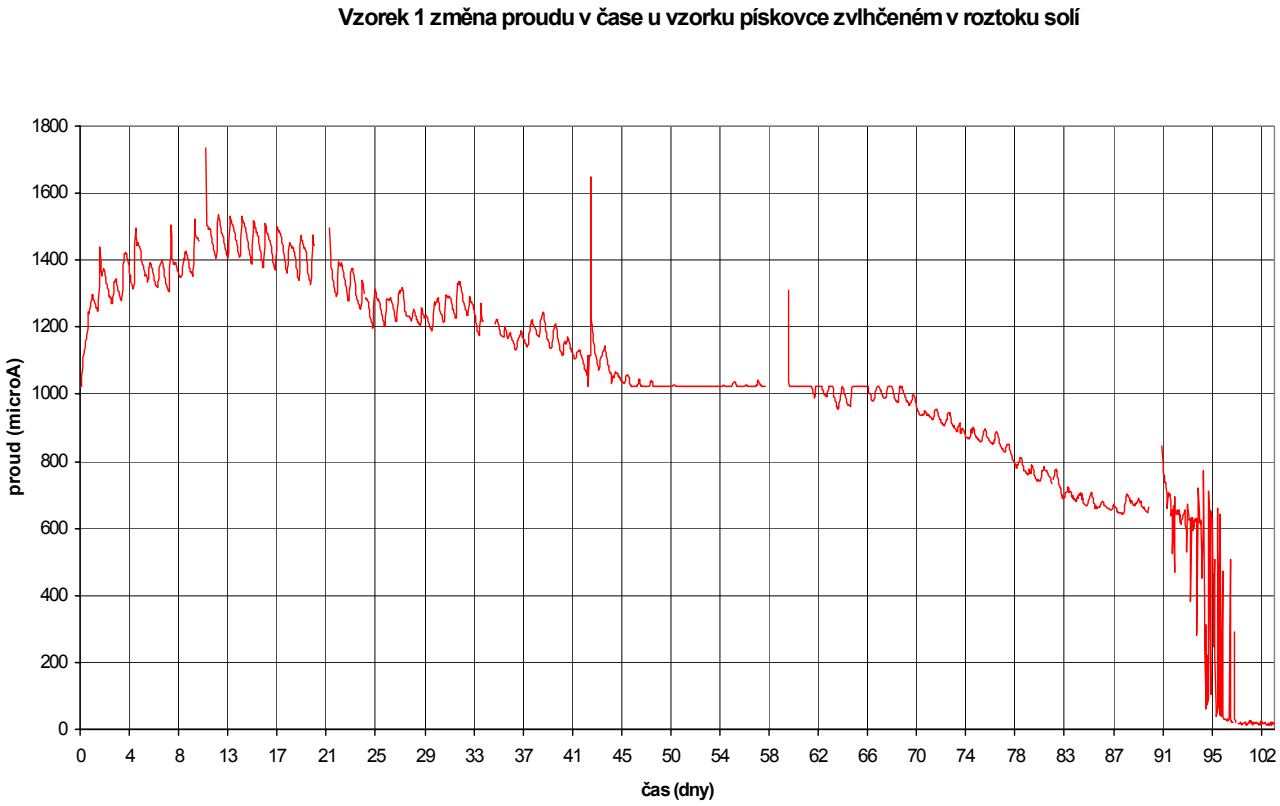
Příloha 3.5– měření č. 26 – 31

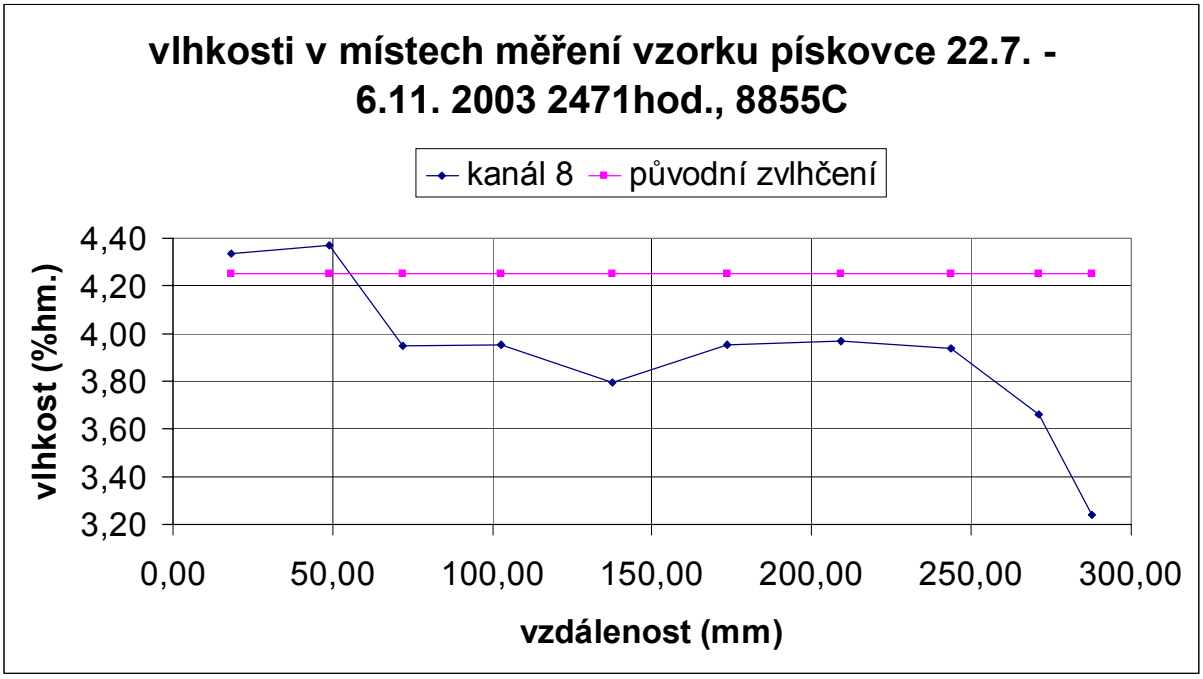
číslo měření	popis	kanál	vložené napětí	roztok vložený do sypké fáze / roztok vložený do pevné fáze	čas působení	celkový náboj prošlý soustavou	náboj prošlý soustavou za 1000 hodin	původní zvlhčení pevný / sypký	pH před působením pevný / sypký	pH po působení u elektrod u katody / u anody	pohyb solí k opačně nabytým elektrodám A-ano;N-ne;0-nezměněno SO_4^{2-} NO3- Cl-	objem přesunutého roztoku	charakteristika pórů: poloměr max. zastoupen r_{max}	charakteristika pórů: rozsah r	charakteristika pórů: celková pórovitost p	gradient vlhkosti (vypočítáno z absolutních hodnot vzorku po působení): všechny hodnoty	gradient vlhkosti (vypočítáno z absolutních hodnot vzorku po působení): bez krajních hodnot	roztok převedený elektroosmoticky z pevné fáze
			V		hod.	C	C	%hm.				g	µm	µm	%			g
26.	**pískovec v křp** 28.8.2002-24.10.2002	K4	5	SO_4^{2-} Cl-	1312	1130	1021	5,06 6,4 1,34					6	0,02-80	19,1	0,75		
VZORKY MATERIALŮ V CIHELNÉ MOUCE																		
27.	**pískovec v cihle** 29.8.2002-24.10.2002	K5	5	SO_4^{2-} Cl-	1288	1387	1236	5,63 6,2 0,57	7,55 7,95	9,86 3,92	N N N		6	0,02-80	19,1	-0,97	-1,39	7,26 19,01
28.	**pískovec v cihle** 29.8.2002-28.11.2002	K7	5	SO_4^{2-} Cl-	2037	4061	2623	5,64 6,2 0,56	7,55 7,95	10,52 2,85	A 0 N		6	0,02-80	19,1	-2,2	-1,21	19,135 17,19
29.	**pískovec v cihle** 29.8.2002-28.11.2002	K8	5	SO_4^{2-} SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	2128	4829	3233	7,4 6,2 -1,2	7,55 7,95	10,42 3,65	A 0 A		6	0,02-80	19,1	-1,56	-1,6	15,115 20,09
30.	**opuka v cihle** 21.11.2002-14.2. 2003	K1	5	SO_4^{2-} SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	2025	1035	662	4,36 6,34 1,98	8,11 8,65	9,64 7,37	A A A		0,09	0,005-0,2	11,6	-5,36	-7,37	0,86
31.	**opuka v cihle** 28.11.2002-21.2.2003	K7	5	SO_4^{2-} SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	2023	1151	732	4,33 3,62 -0,71	8,08 7,95	11,47 7,54	A A A		0,09	0,005-0,2	11,6	-2,06	-1,2	4,7 4,4

Příloha 3.6– měření č. 32 - 36

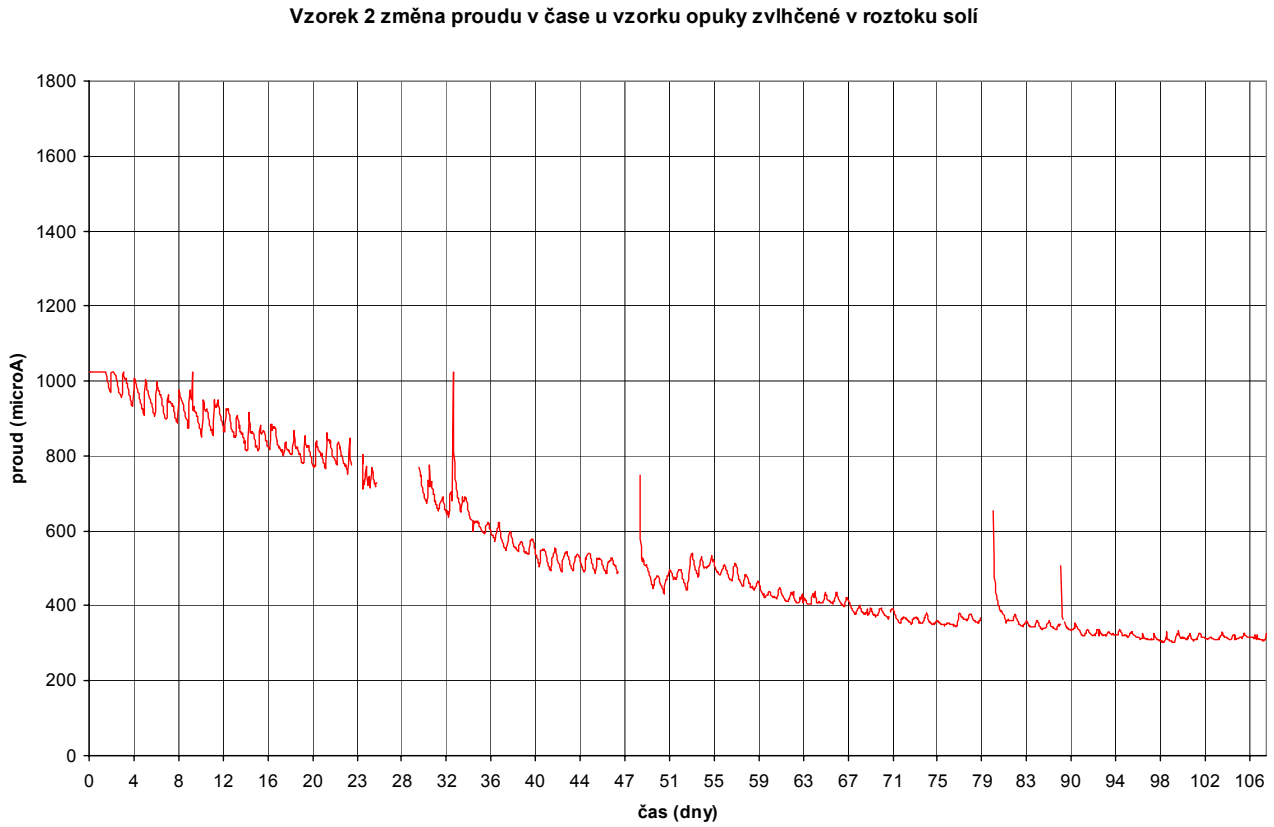
číslo měření	popis	kanál	vložené napětí	roztok vložený do sypké fáze / roztok vložený do pevné fáze	čas působení	celkový náboj prošlý soustavou	náboj prošlý soustavou za 1000 hodin	původní zvlhčení pevný / sypký	pH před působením pevný / sypký	pH po působení u elektrod / u katody / u anody	pohyb solí k opačně nabytým elektrodám A-ano;N-ne;0-nezměněno SO_4^{2-} NO3- Cl-	objem přesunutého roztoku	charakteristika pórů: poloměr max. zastoupen r_{max}	charakteristika pórů: rozsah r	charakteristika pórů: celková pórovitost p	gradient vlhkosti (vypočítáno z absolutních hodnot vzorku po působení): všechny hodnoty	gradient vlhkosti (vypočítáno z absolutních hodnot vzorku po působení): bez krajních hodnot	roztok převedený elektroosmoticky z pevné fáze
			V		hod.	C	C	%hm.				g	µm	µm	%			g
32.	**opuka v cihle**	K8	5	SO_4^{2-}	2021	1033	671	4,11	8,11	10,7	A		0,09	0,005-0,2	11,6	-5,28	-5,03	4,305
	28.11.2002-21.2.2003			SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-				6,68 2,57	7,95	7,61	A A							-1,69
	SLEPENCE ZKOUŠENÝCH MATERIALŮ A NOVÉ MALTY																	
33.	**slepenec pískovce a nové malty**	K2	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	4217	3555	1504	5,49	7,55	3,96	A	10,18	6	0,02-80	19,1	-4,33		malta
	21.11. 2002-14.4.2003			SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-					12,34	12,24	0 0		-0,186			-0,006		10,02
34.	**slepenec pískovce a malty s prasklinou**	K5	5								A	8,47	6	0,02-80	19,1	2,14		malta 8,49
	18.11.2002-14.4.2003			SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	3513	2948	1420	4,69	7,55	9,86	A		-82,5			-2,71		
				SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-					12,34	3,7	A							
35.	**slepenec pískovce a 2x malty**	K13	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	2200	1971	1354	4,68	7,55	10,2	A	5,68	6	0,02-80	19,1	1,64	2,11	malta
	14.11.2002 - 14.2.2003			SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-				7,59	12,34	5,27	A A							1,69 malta 0,8
	MATERIÁL HISTORICKÉ CIHLY S VLOŽENOU HISTORICKOU MALTOU (FRAKCE 0,09 - 0,3mm)																	
36.	**hist. c. 6a, 6b s hist. maltou**	K15	5	SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-	2254	4077	2732	8,24	7,8	9,84	0	3,06	-1,09	-0,94		-8,71	-7,62	historická malta -1,73
	15.8. - 21.11. 2003			SO_4^{2-}; NO_3^-; Cl^-				7,48	9,54	4,76	A A							

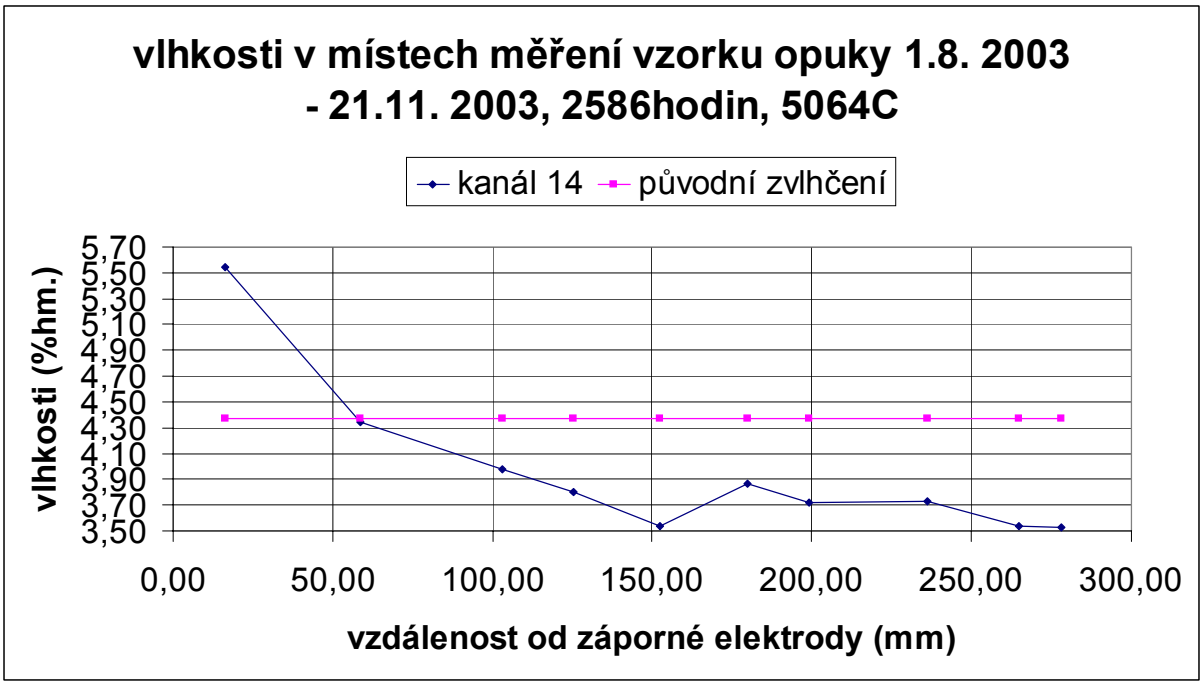
Příloha 4.1


Vzorek 1 změna proudu v čase u vzorku pískovce zvlhčeném v roztoku solí
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 4 8 13 17 21 25 29 33 37 41 45 50 54 58 62 66 70 74 78 83 87 91 95 102
čas (dny)

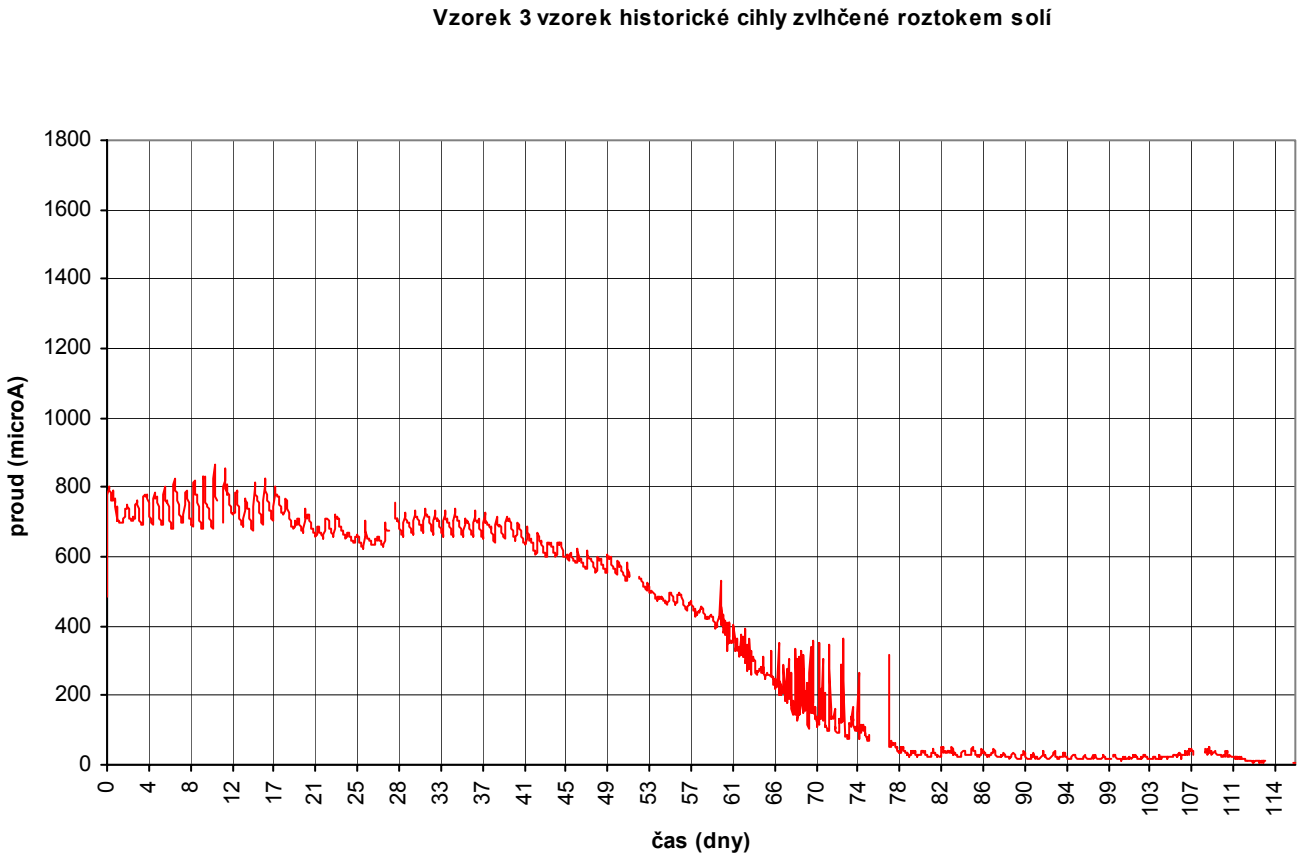

vlhkosti v místech měření vzorku pískovce 22.7. - 6.11. 2003 2471hod., 8855C
kanál 8
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
4,40
4,20
4,00
3,80
3,60
3,40
3,20
0,00 50,00 100,00 150,00 200,00 250,00 300,00
vzdálenost (mm)

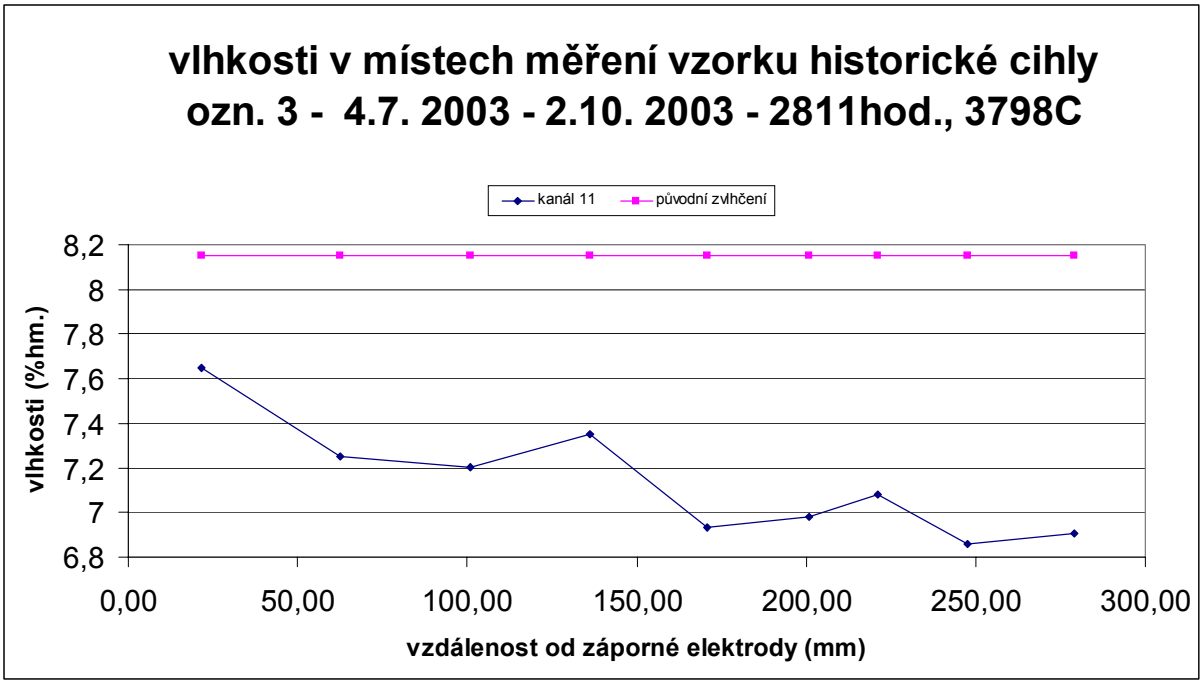
Příloha 4.2


Vzorek 2 změna proudu v čase u vzorku opuky zvlhčené v roztoku solí
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 4 8 12 16 20 23 28 32 36 40 44 47 51 55 59 63 67 71 75 79 83 90 94 98 102 106
čas (dny)

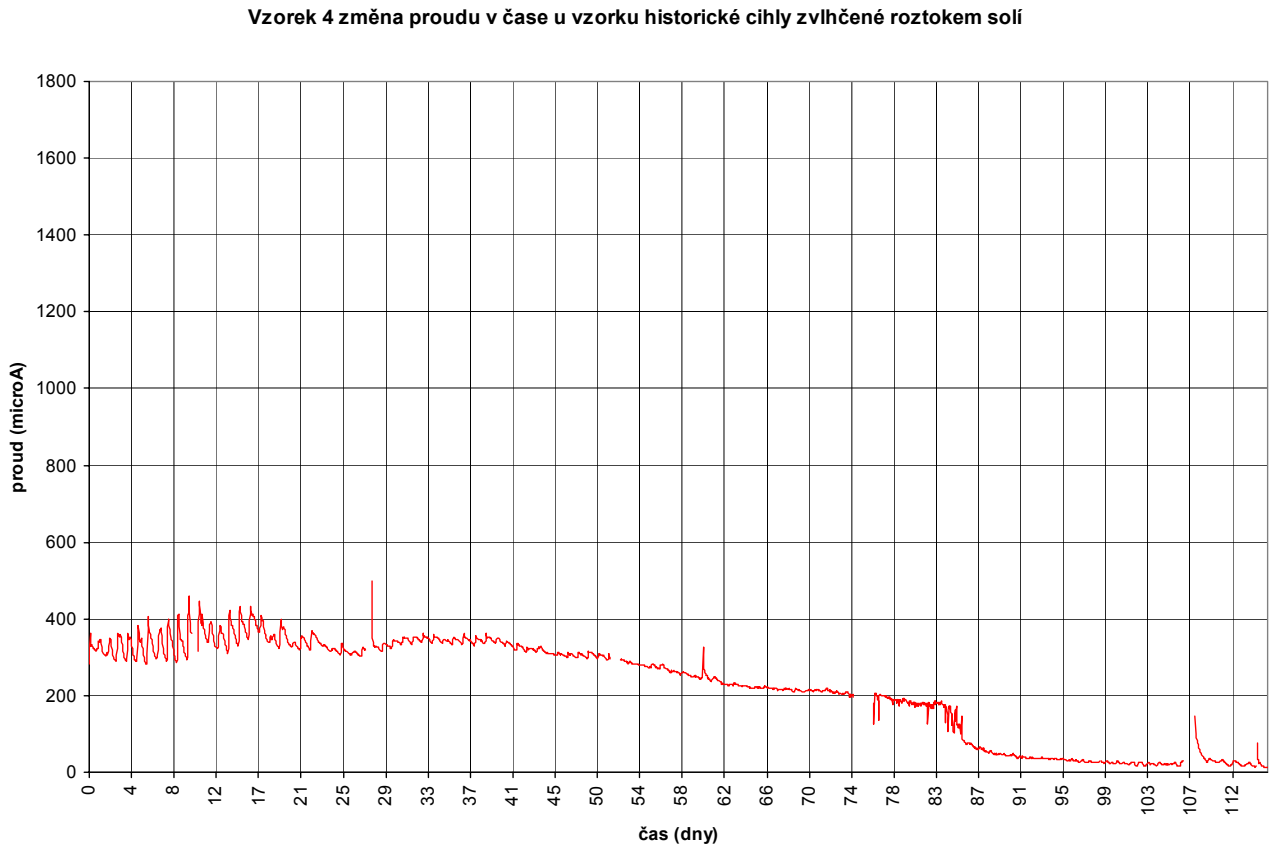

vlhkosti v místech měření vzorku opuky 1.8. 2003 - 21.11. 2003, 2586hodin, 5064C
kanál 14
původní zvlhčení
vlhkosti (%hm.)
5,70
5,50
5,30
5,10
4,90
4,70
4,50
4,30
4,10
3,90
3,70
3,50
0,00 50,00 100,00 150,00 200,00 250,00 300,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

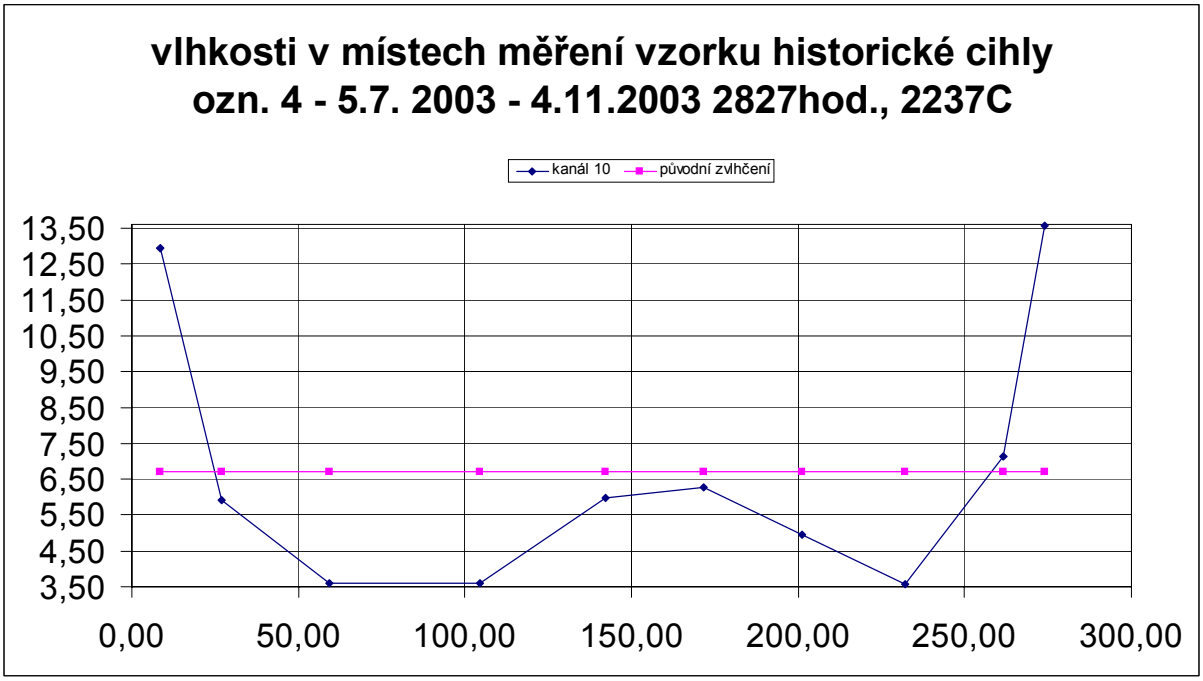
Příloha 4.3


Vzorek 3 vzorek historické cihly zvlhčené roztokem solí
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 4 8 12 17 21 25 28 33 37 41 45 49 53 57 61 66 70 74 78 82 86 90 94 99 103 107 111 114
čas (dny)

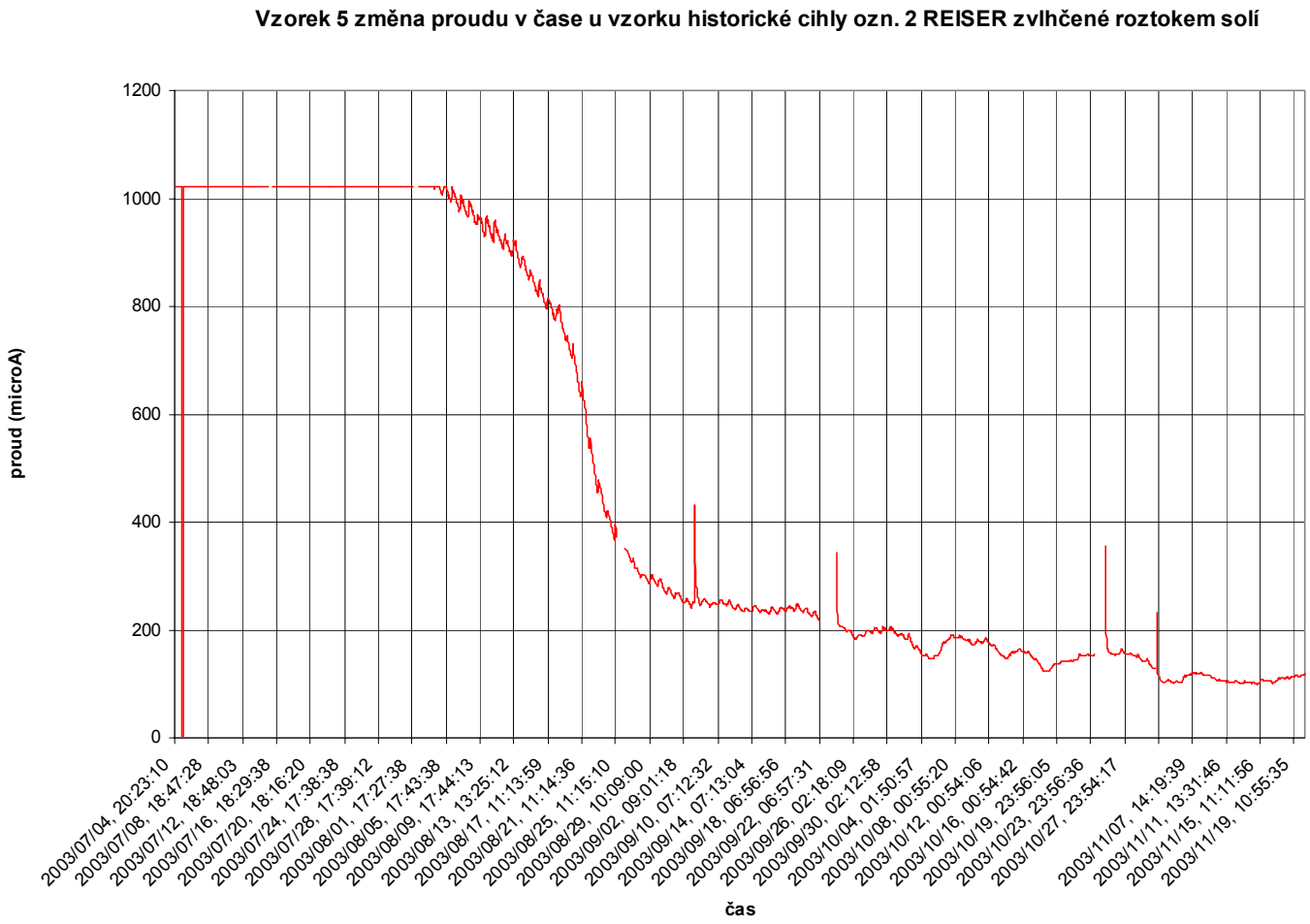

vlhkosti v místech měření vzorku historické cihly
ozn. 3 - 4.7. 2003 - 2.10. 2003 - 2811hod., 3798C
kanál 11
původní zvlhčení
vlhkosti (%hm.)
8,2
8
7,8
7,6
7,4
7,2
7
6,8
0,00 50,00 100,00 150,00 200,00 250,00 300,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

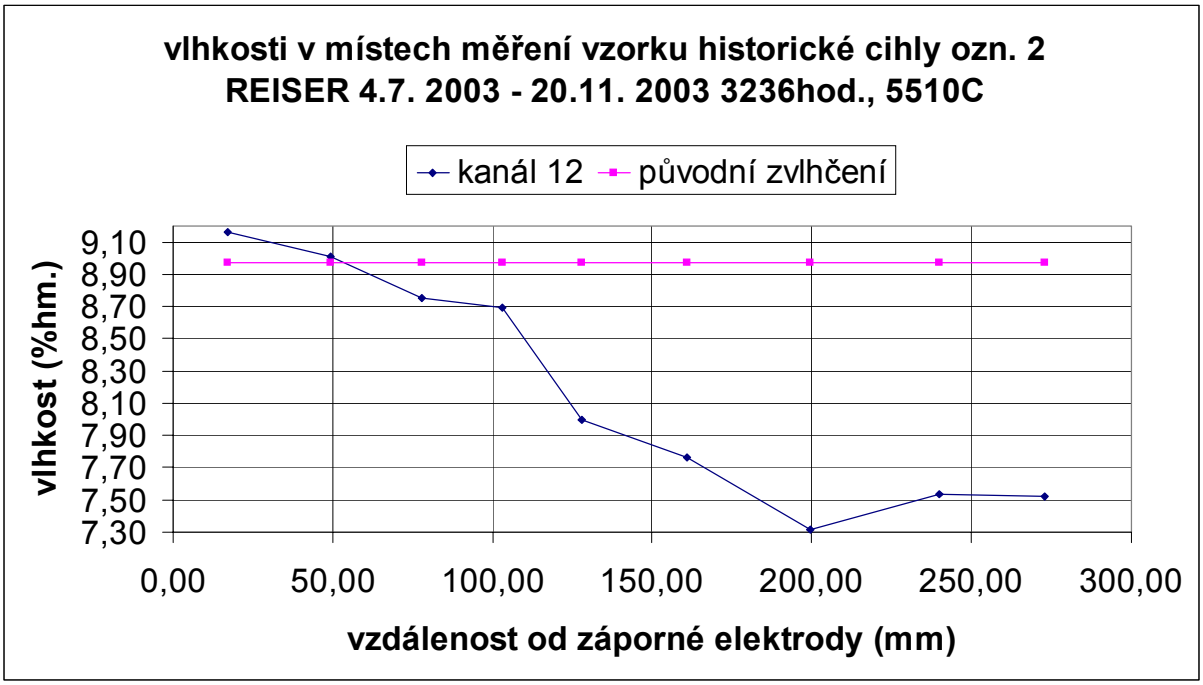
Příloha 4.4


Vzorek 4 změna proudu v čase u vzorku historické cihly zvlhčené roztokem solí
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 4 8 12 17 21 25 29 33 37 41 45 50 54 58 62 66 70 74 78 83 87 91 95 99 103 107 112
čas (dny)

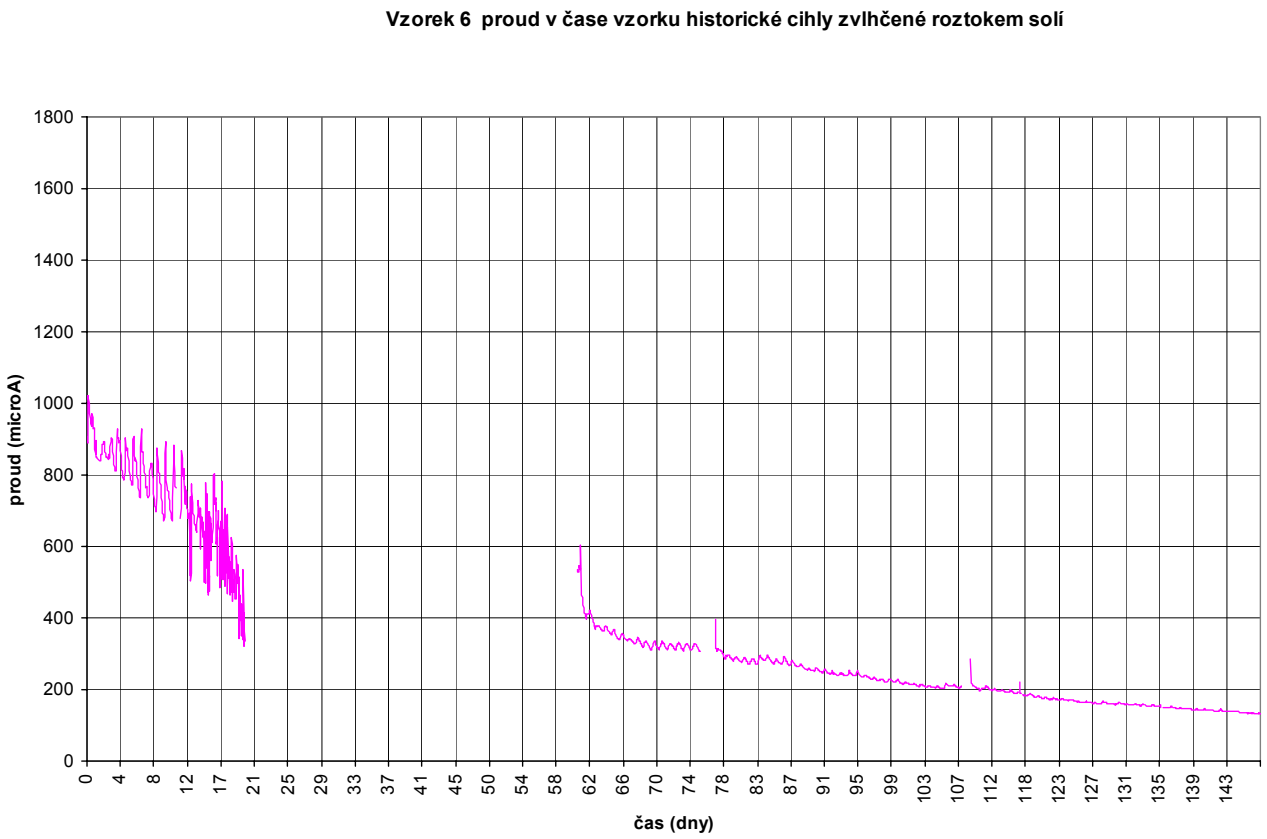

vlhkosti v místech měření vzorku historické cihly
ozn. 4 - 5.7. 2003 - 4.11.2003 2827hod., 2237C
kanál 10
původní zvlhčení
13,50
12,50
11,50
10,50
9,50
8,50
7,50
6,50
5,50
4,50
3,50
0,00
50,00
100,00
150,00
200,00
250,00
300,00

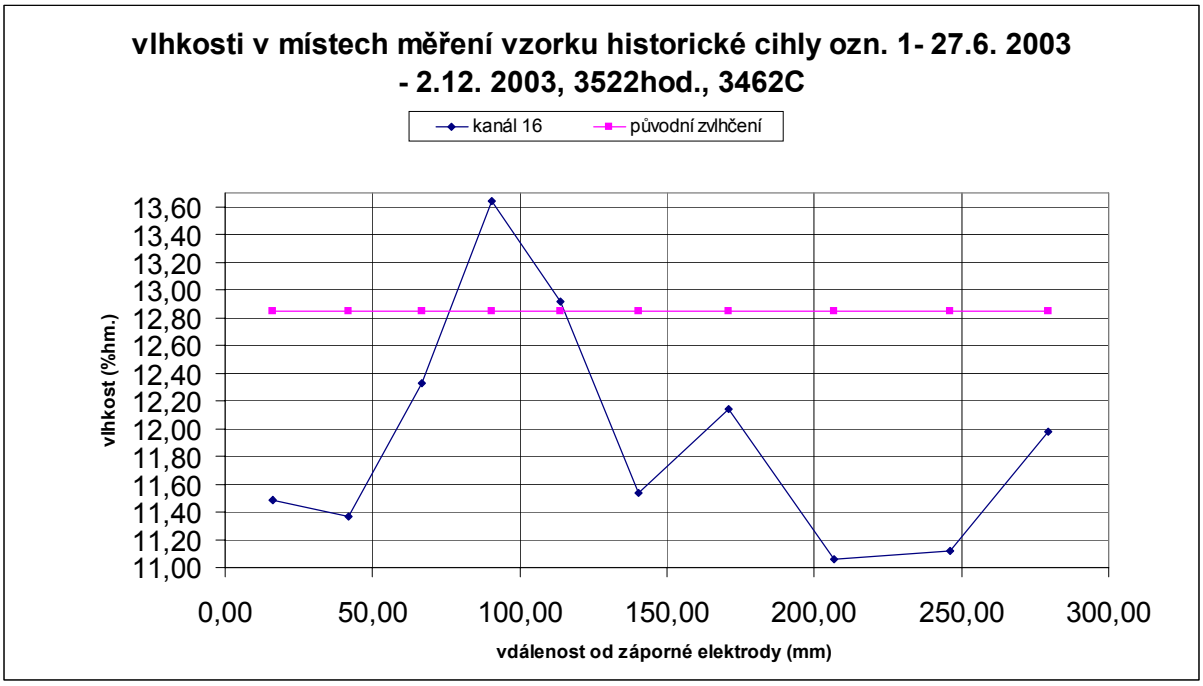
Příloha 4.5


Vzorek 5 změna proudu v čase u vzorku historické cihly ozn. 2 REISER zvlhčené roztokem solí
proud (microA)
1200
1000
800
600
400
200
0
2003/07/04, 20:23:10
2003/07/08, 18:47:28
2003/07/12, 18:48:03
2003/07/16, 18:29:38
2003/07/20, 18:16:20
2003/07/24, 17:38:38
2003/07/28, 17:39:12
2003/08/01, 17:27:38
2003/08/05, 17:43:38
2003/08/09, 17:44:13
2003/08/13, 13:25:12
2003/08/17, 11:13:59
2003/08/21, 11:14:36
2003/08/25, 11:15:10
2003/08/29, 10:09:00
2003/09/02, 09:01:18
2003/09/10, 07:12:32
2003/09/14, 07:13:04
2003/09/18, 06:56:56
2003/09/22, 06:57:31
2003/09/26, 02:18:09
2003/09/30, 02:12:58
2003/10/04, 01:50:57
2003/10/08, 00:55:20
2003/10/12, 00:54:06
2003/10/16, 00:54:42
2003/10/19, 23:56:05
2003/10/23, 23:56:36
2003/10/27, 23:54:17
2003/11/07, 14:19:39
2003/11/11, 13:31:46
2003/11/15, 11:11:56
2003/11/19, 10:55:35
čas

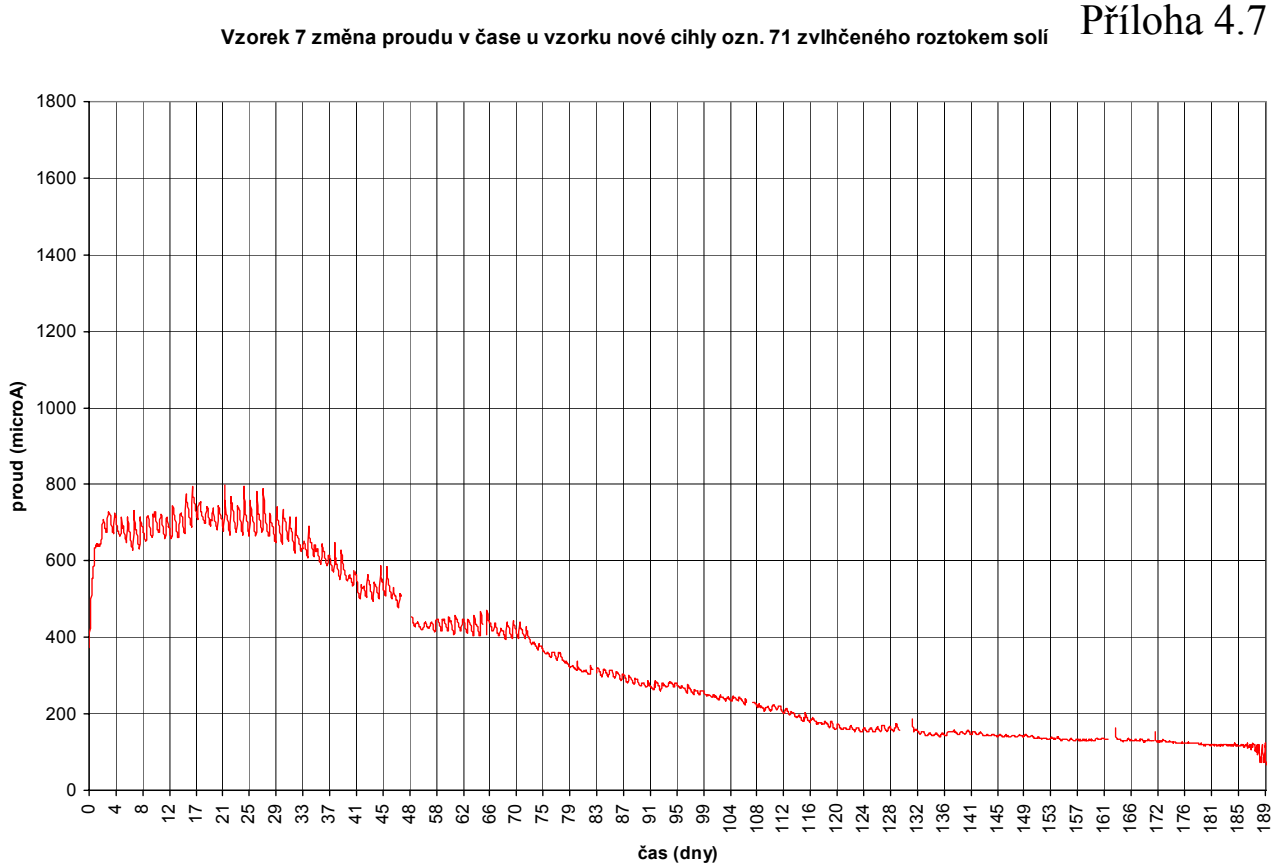

vlhkosti v místech měření vzorku historické cihly ozn. 2
REISER 4.7. 2003 - 20.11. 2003 3236hod., 5510C
kanál 12
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
9,10
8,90
8,70
8,50
8,30
8,10
7,90
7,70
7,50
7,30
0,00
50,00
100,00
150,00
200,00
250,00
300,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

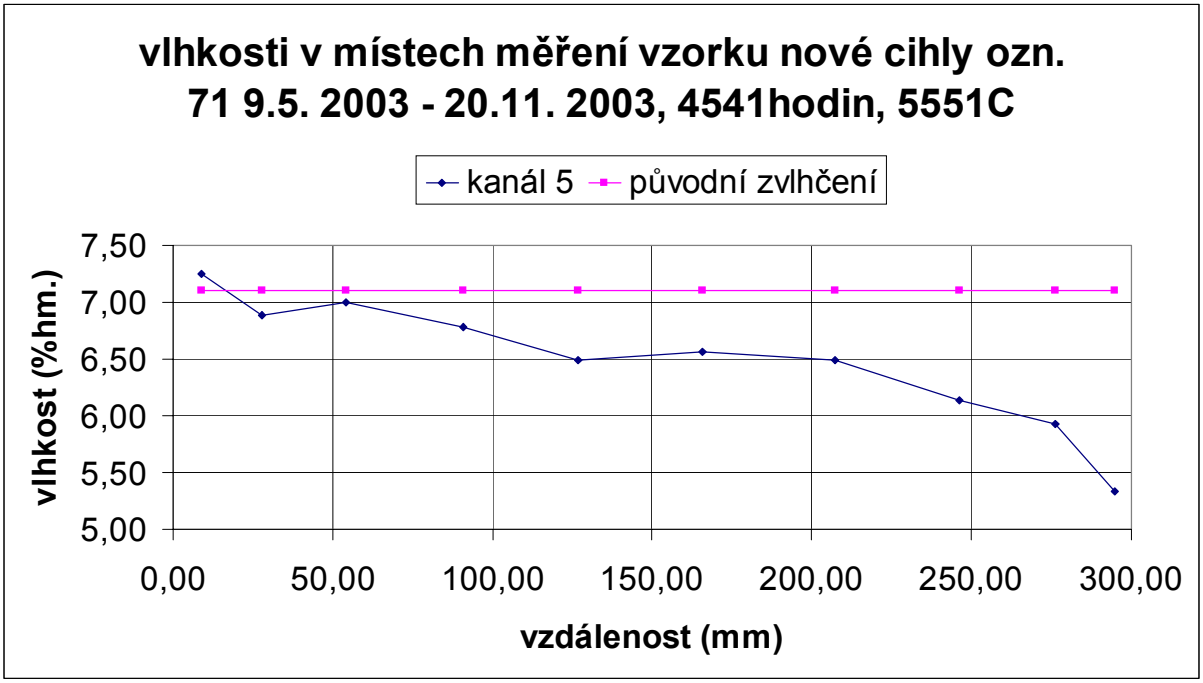
Příloha 4.6


Vzorek 6 proud v čase vzorku historické cihly zvlhčené roztokem solí
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 4 8 12 17 21 25 29 33 37 41 45 50 54 58 62 66 70 74 78 83 87 91 95 99 103 107 112 118 123 127 131 135 139 143
čas (dny)

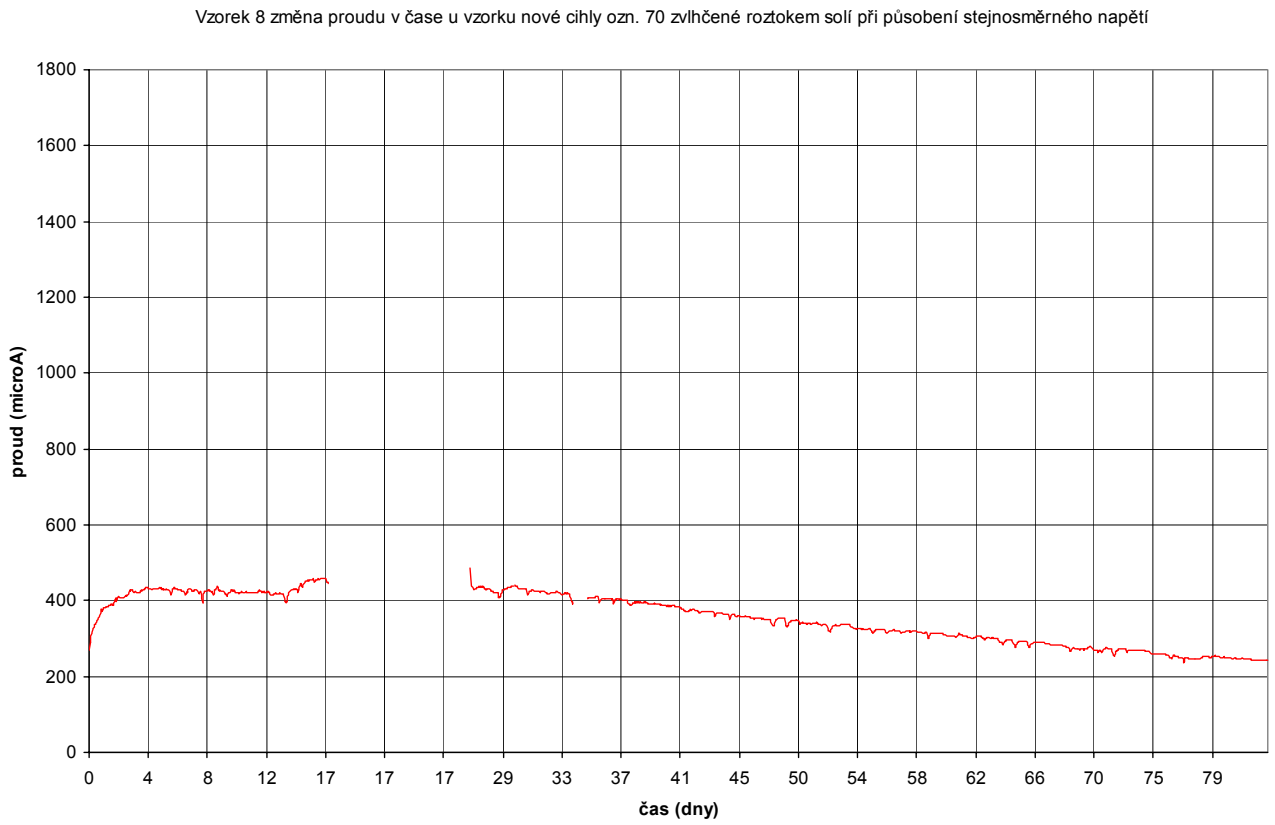

vlhkosti v místech měření vzorku historické cihly ozn. 1- 27.6. 2003 - 2.12. 2003, 3522hod., 3462C
kanál 16
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
13,60
13,40
13,20
13,00
12,80
12,60
12,40
12,20
12,00
11,80
11,60
11,40
11,20
11,00
0,00 50,00 100,00 150,00 200,00 250,00 300,00
vdálenost od záporné elektrody (mm)

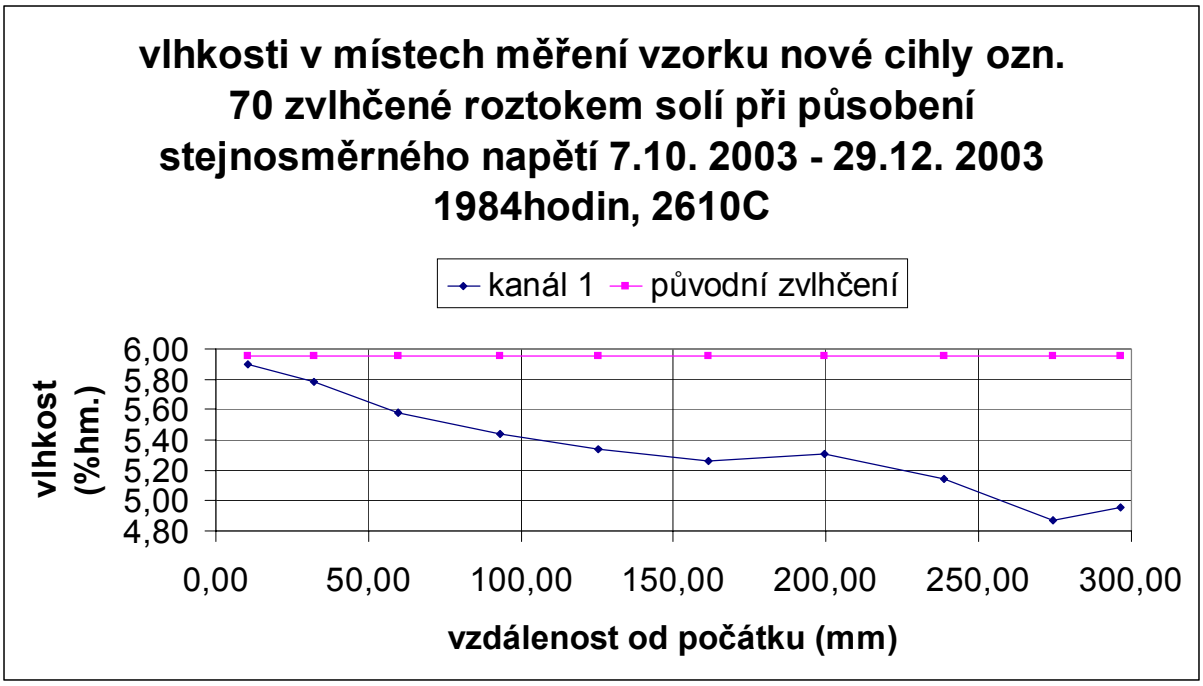
Příloha 4.7


Vzorek 7 změna proudu v čase u vzorku nové cihly ozn. 71 zvlhčeného roztokem solí
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 4 8 12 17 21 25 29 33 37 41 45 48 58 62 66 70 75 79 83 87 91 95 99 104 108 112 116 120 124 128 132 136 141 145 149 153 157 161 166 172 176 181 185 189
čas (dny)

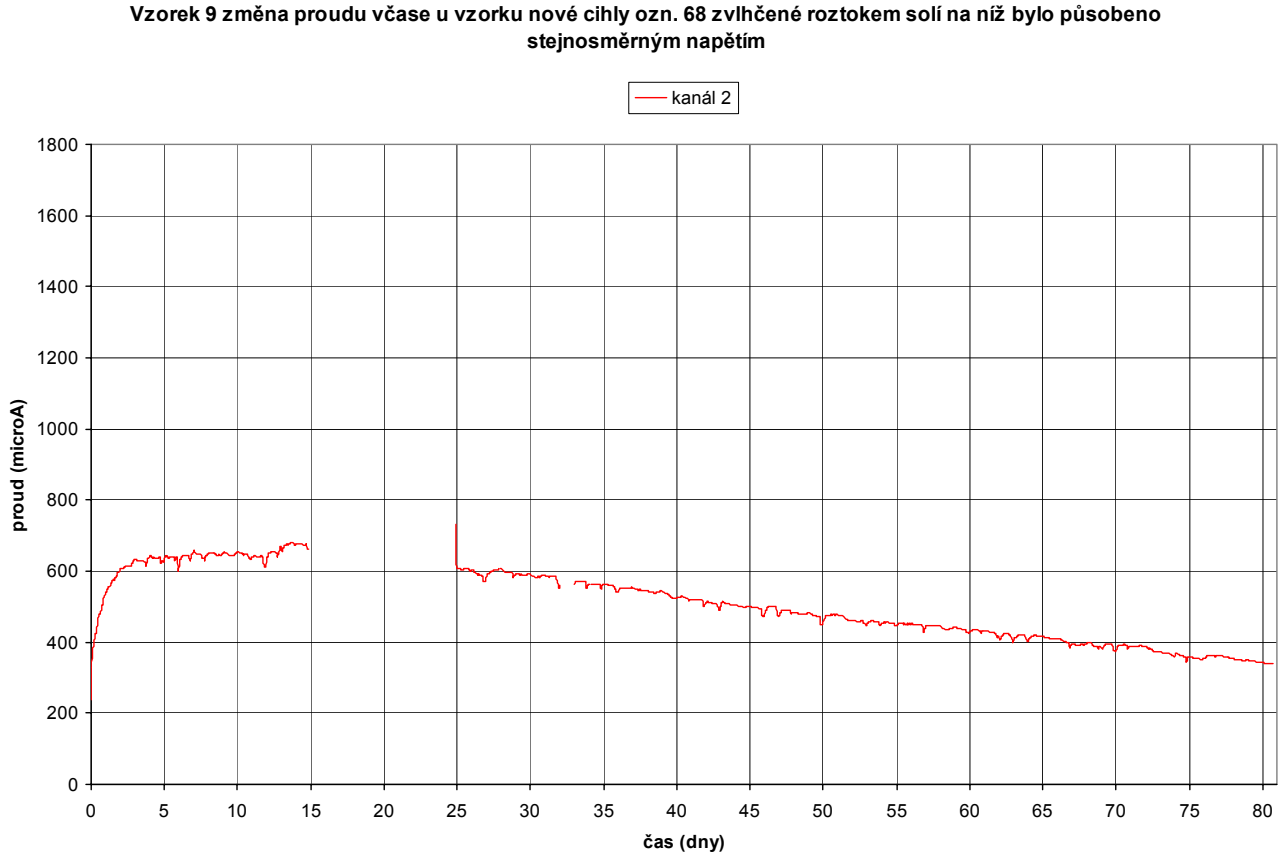

vlhkosti v místech měření vzorku nové cihly ozn. 71 9.5. 2003 - 20.11. 2003, 4541hodin, 5551C
kanál 5
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
7,50
7,00
6,50
6,00
5,50
5,00
0,00
50,00
100,00
150,00
200,00
250,00
300,00
vzdálenost (mm)

Příloha 4.8

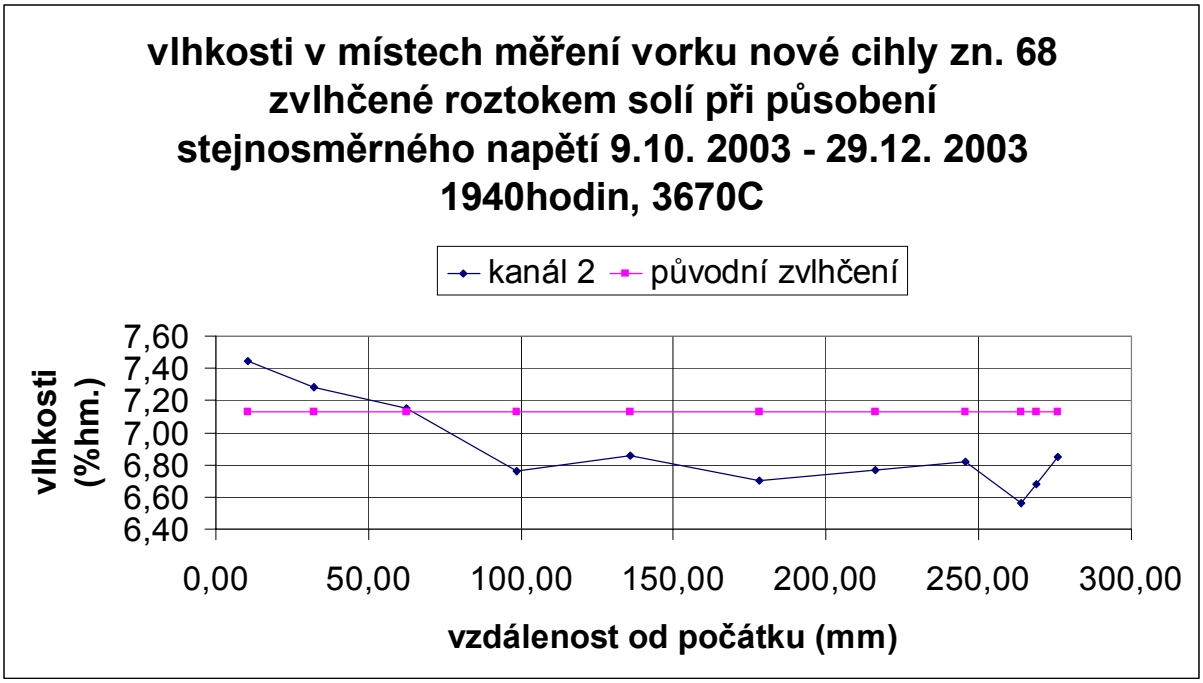

Vzorek 8 změna proudu v čase u vzorku nové cihly ozn. 70 zvlhčené roztokem solí při působení stejnosměrného napětí
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 4 8 12 17 17 17 29 33 37 41 45 50 54 58 62 66 70 75 79
čas (dny)


vlhkosti v místech měření vzorku nové cihly ozn. 70 zvlhčené roztokem solí při působení stejnosměrného napětí 7.10. 2003 - 29.12. 2003 1984hodin, 2610C
kanál 1
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
6,00
5,80
5,60
5,40
5,20
5,00
4,80
0,00 50,00 100,00 150,00 200,00 250,00 300,00
vzdálenost od počátku (mm)

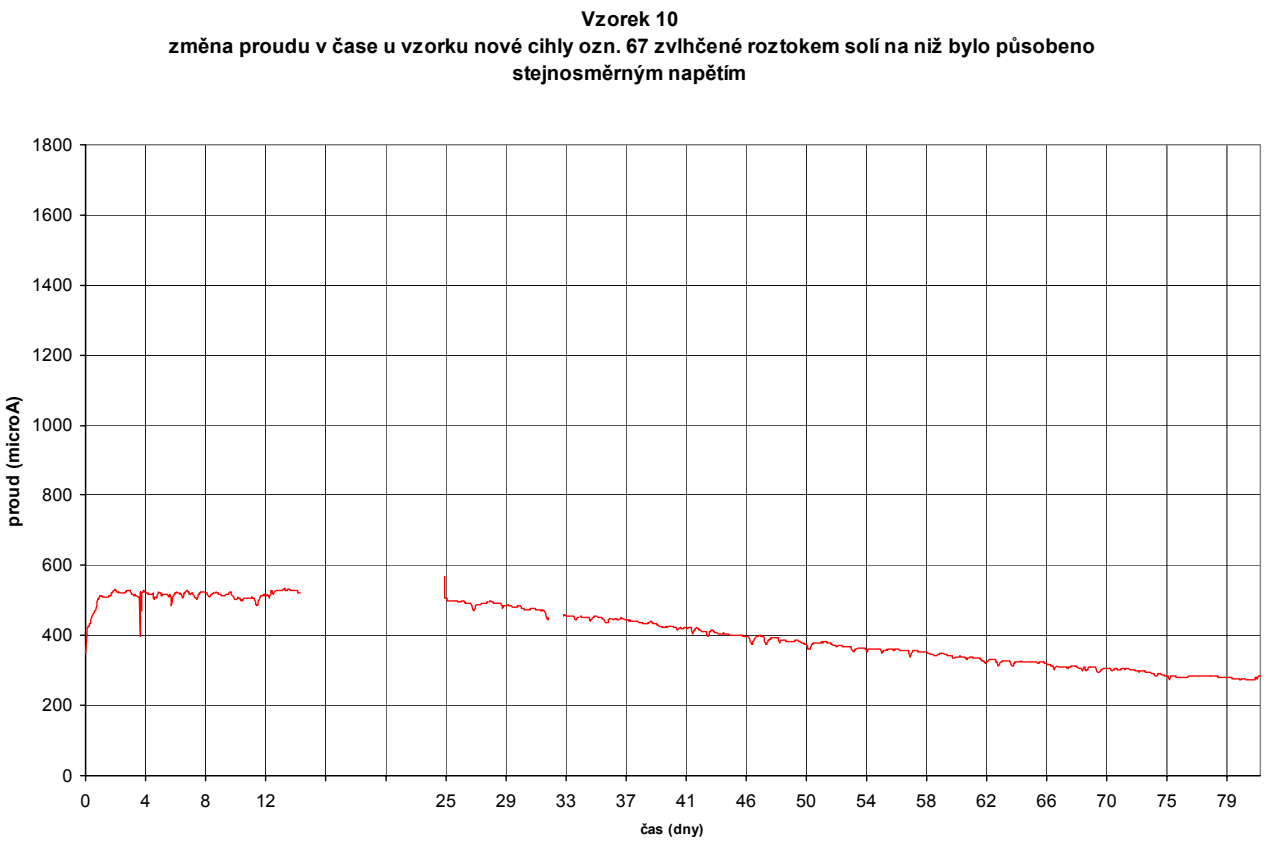
Příloha 4.9

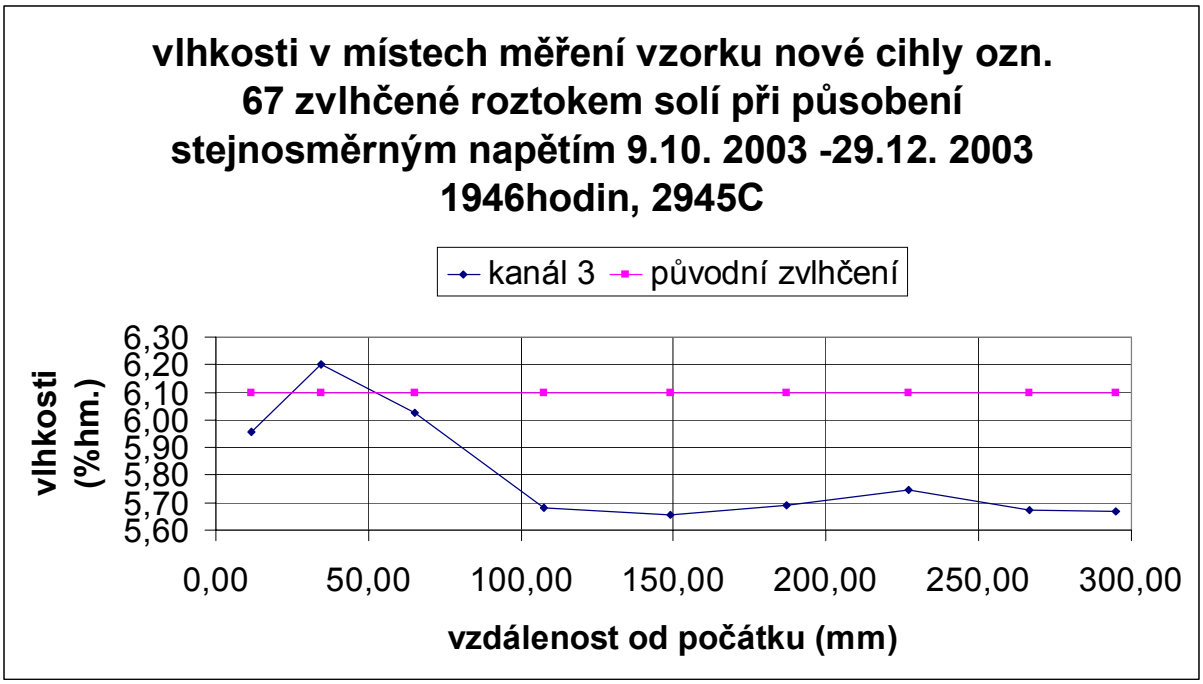

Vzorek 9 změna proudu včase u vzorku nové cihly ozn. 68 zvlhčené roztokem solí na níž bylo působeno stejnosměrným napětím
kanál 2
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
čas (dny)

..

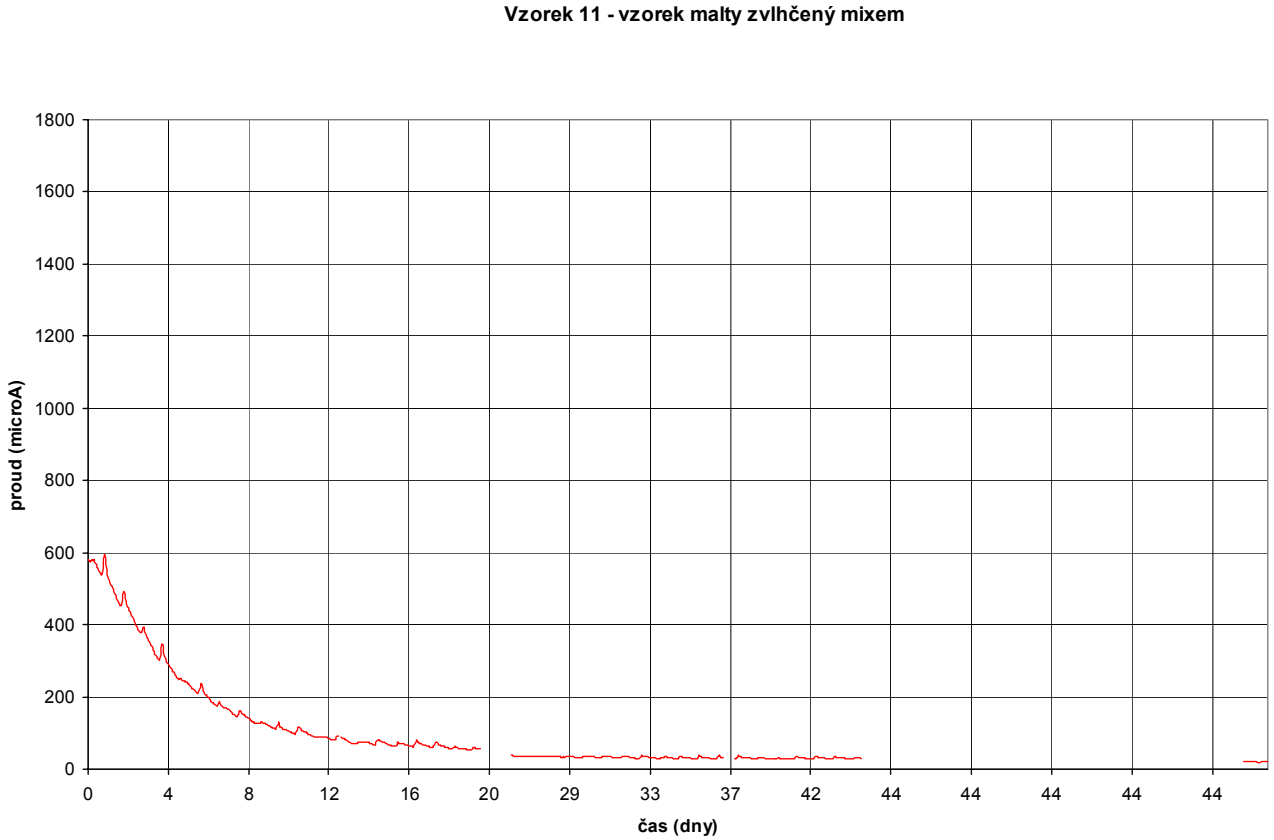

vlhkosti v místech měření vorku nové cihly zn. 68 zvlhčené roztokem solí při působení stejnosměrného napětí 9.10. 2003 - 29.12. 2003 1940hodin, 3670C
kanál 2
původní zvlhčení
vlhkosti (%hm.)
7,60
7,40
7,20
7,00
6,80
6,60
6,40
0,00
50,00
100,00
150,00
200,00
250,00
300,00
vzdálenost od počátku (mm)

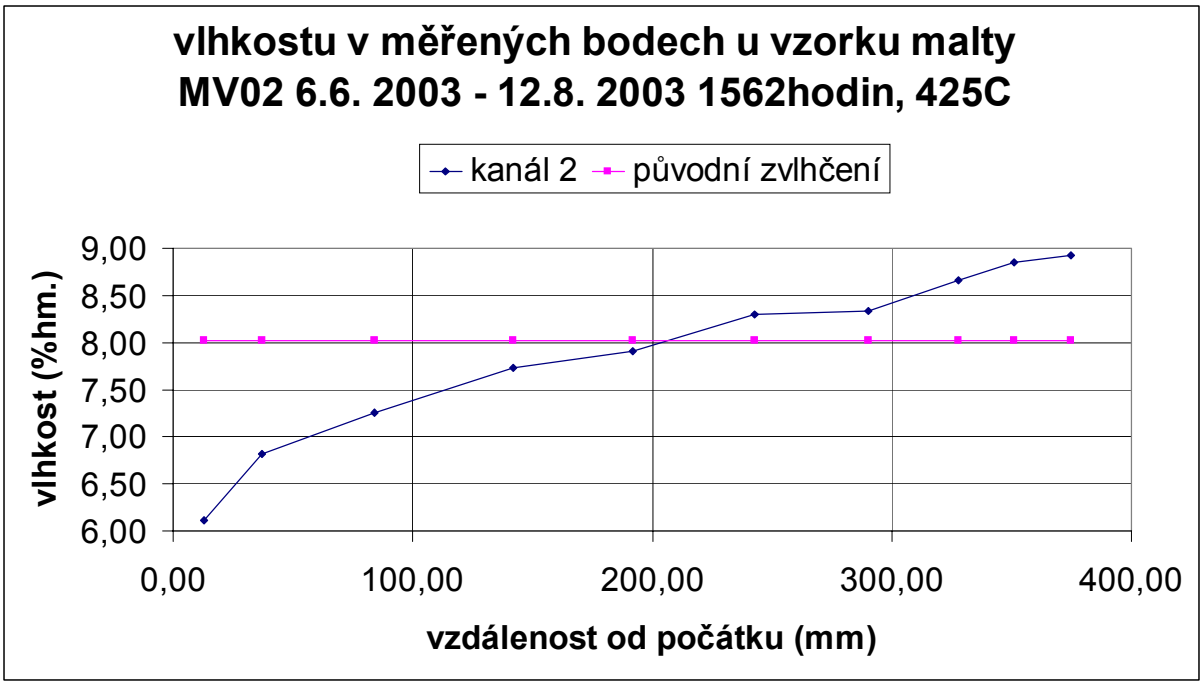
Příloha 4.10


Vzorek 10
změna proudu v čase u vzorku nové cihly ozn. 67 zvlhčené roztokem solí na niž bylo působeno stejnosměrným napětím
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
4
8
12
25
29
33
37
41
46
50
54
58
62
66
70
75
79
čas (dny)

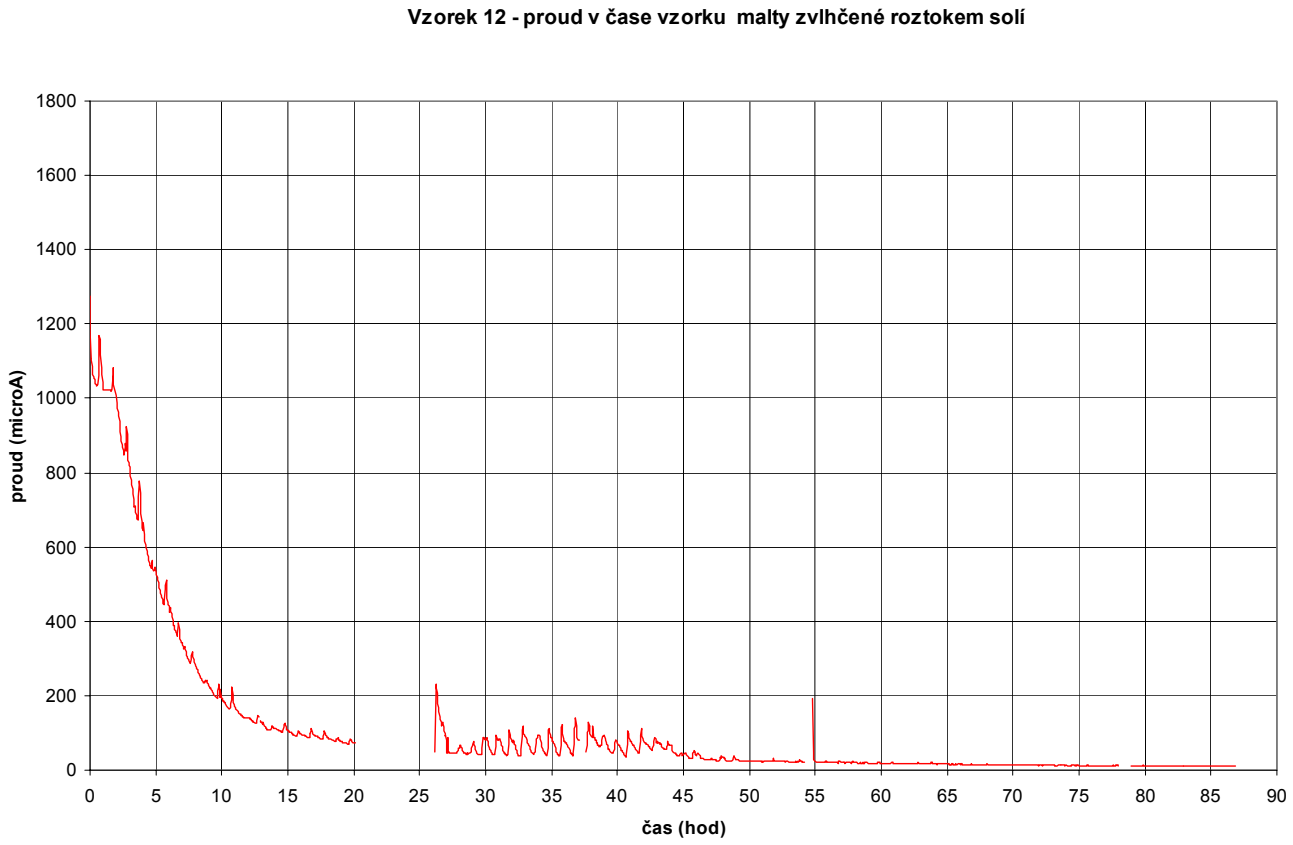

vlhkosti v místech měření vzorku nové cihly ozn. 67 zvlhčené roztokem solí při působení stejnosměrným napětím 9.10. 2003 -29.12. 2003 1946hodin, 2945C
kanál 3
původní zvlhčení
vlhkosti (%hm.)
6,30
6,20
6,10
6,00
5,90
5,80
5,70
5,60
0,00
50,00
100,00
150,00
200,00
250,00
300,00
vzdálenost od počátku (mm)

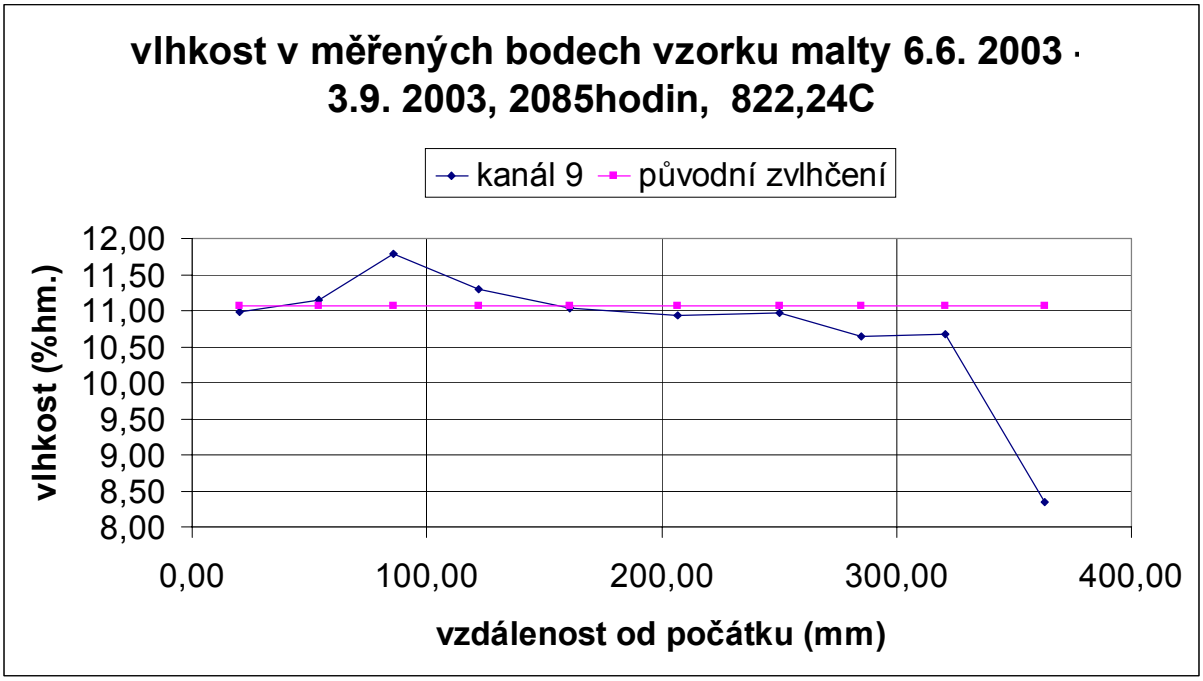
Příloha 4.11


Vzorek 11 - vzorek malty zvlhčený mixem
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
4
8
12
16
20
29
33
37
42
44
44
44
44
44
čas (dny)

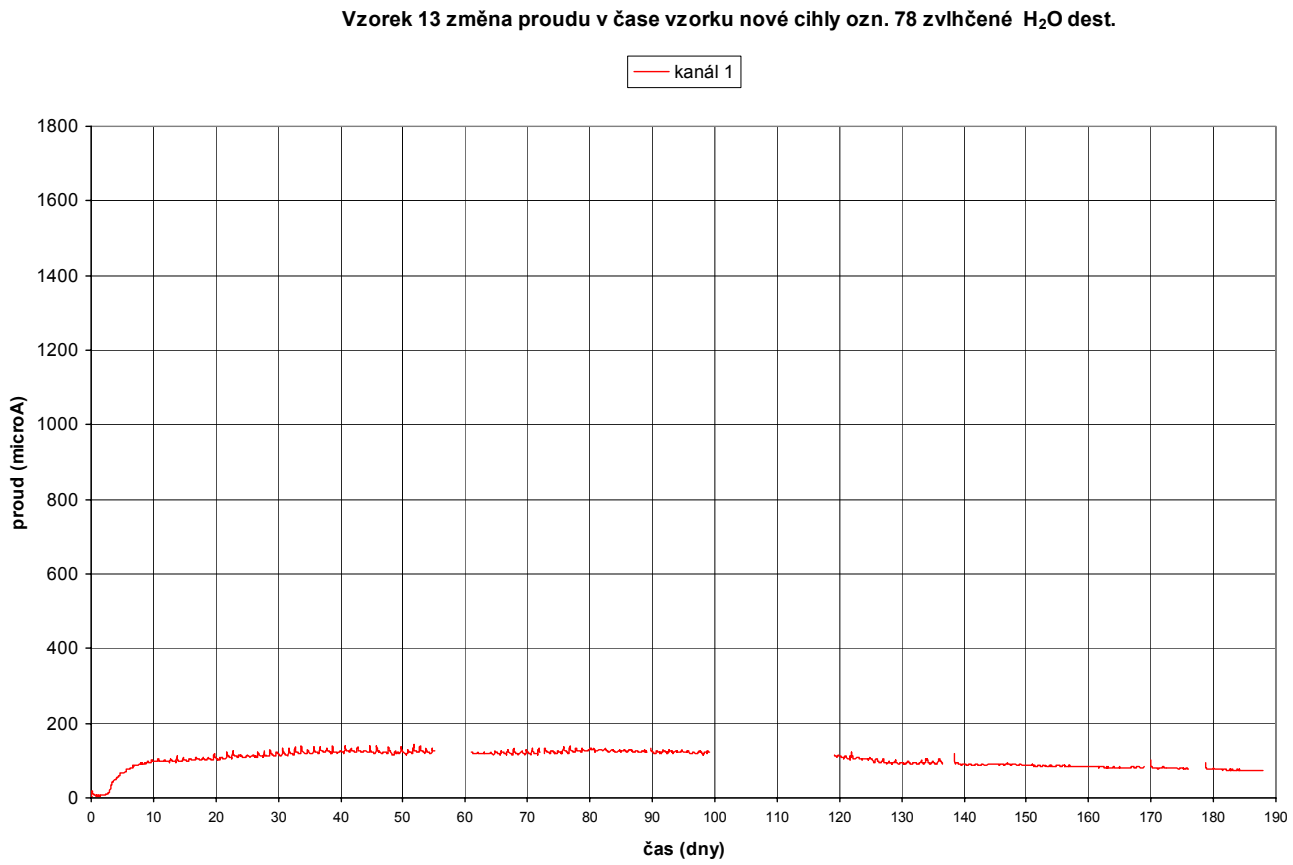

vlhkostu v měřených bodech u vzorku malty
MV02 6.6. 2003 - 12.8. 2003 1562hodin, 425C
kanál 2
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
9,00
8,50
8,00
7,50
7,00
6,50
6,00
0,00
100,00
200,00
300,00
400,00
vzdálenost od počátku (mm)

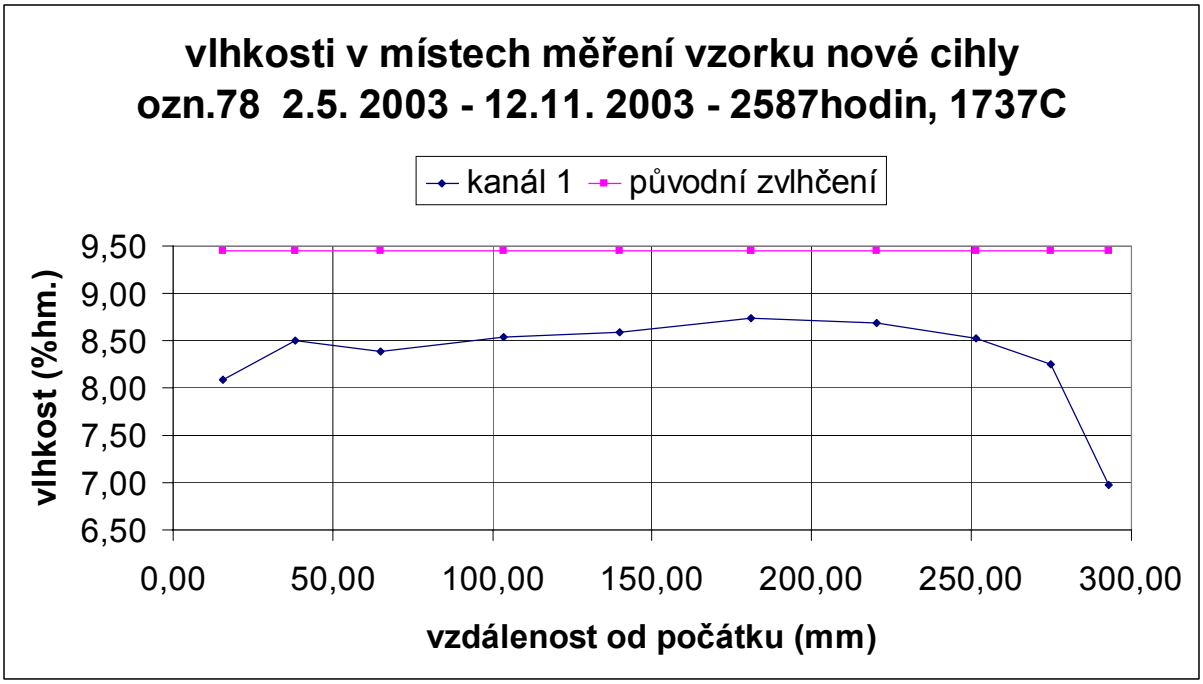
Příloha 4.12


Vzorek 12 - proud v čase vzorku malty zvlhčené roztokem solí
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90
čas (hod)

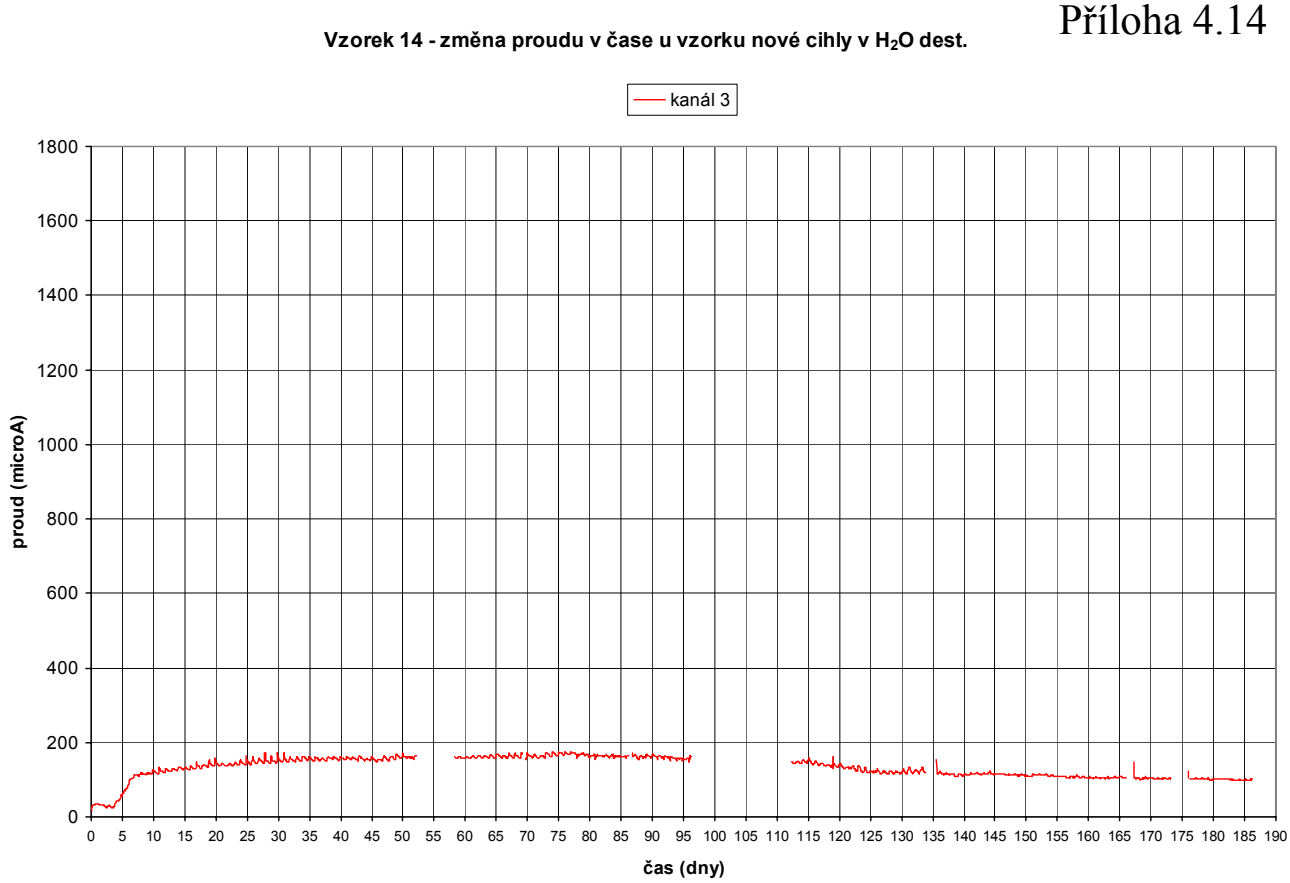

vlhkost v měřených bodech vzorku malty 6.6. 2003 - 3.9. 2003, 2085hodin, 822,24C
kanál 9
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
12,00
11,50
11,00
10,50
10,00
9,50
9,00
8,50
8,00
0,00 100,00 200,00 300,00 400,00
vzdálenost od počátku (mm)

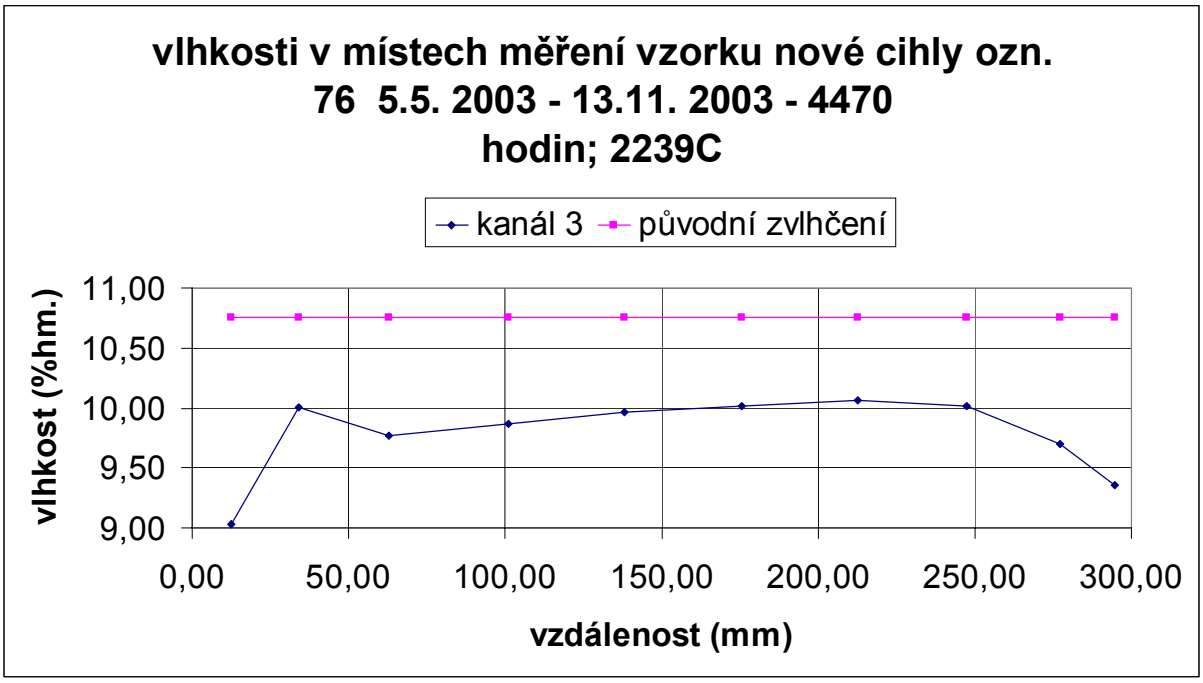
Příloha 4.13


Vzorek 13 změna proudu v čase vzorku nové cihly ozn. 78 zvlhčené H2O dest.
kanál 1
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190
čas (dny)

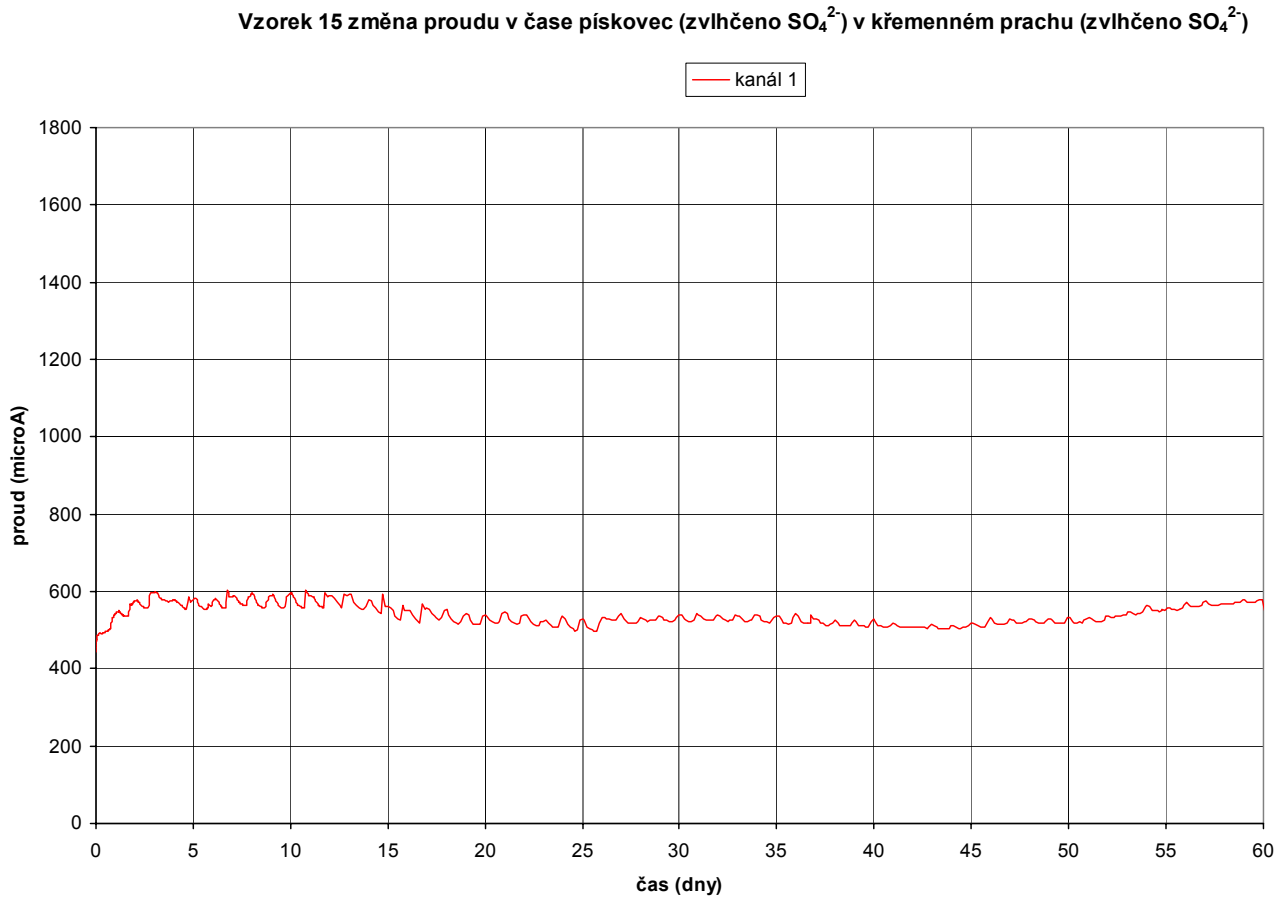

vlhkosti v místech měření vzorku nové cihly
ozn.78 2.5. 2003 - 12.11. 2003 - 2587hodin, 1737C
kanál 1
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
9,50
9,00
8,50
8,00
7,50
7,00
6,50
0,00 50,00 100,00 150,00 200,00 250,00 300,00
vzdálenost od počátku (mm)

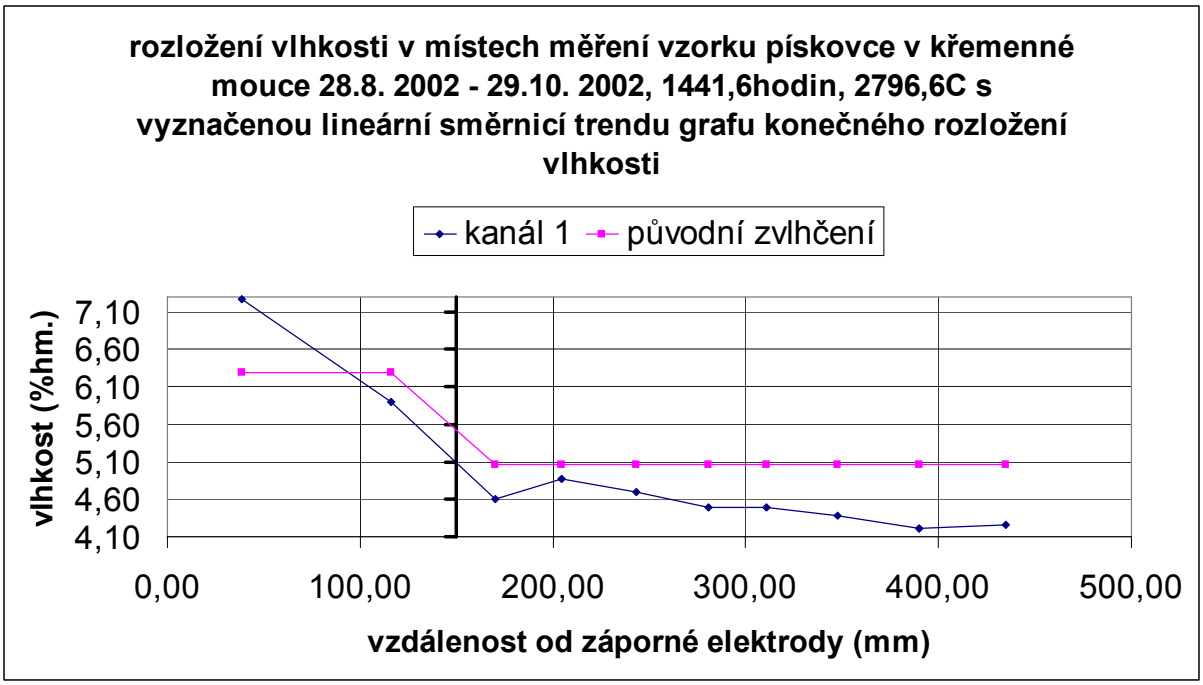
Příloha 4.14


Vzorek 14 - změna proudu v čase u vzorku nové cihly v H_2O dest.
kanál 3
proud (microA)
čas (dny)

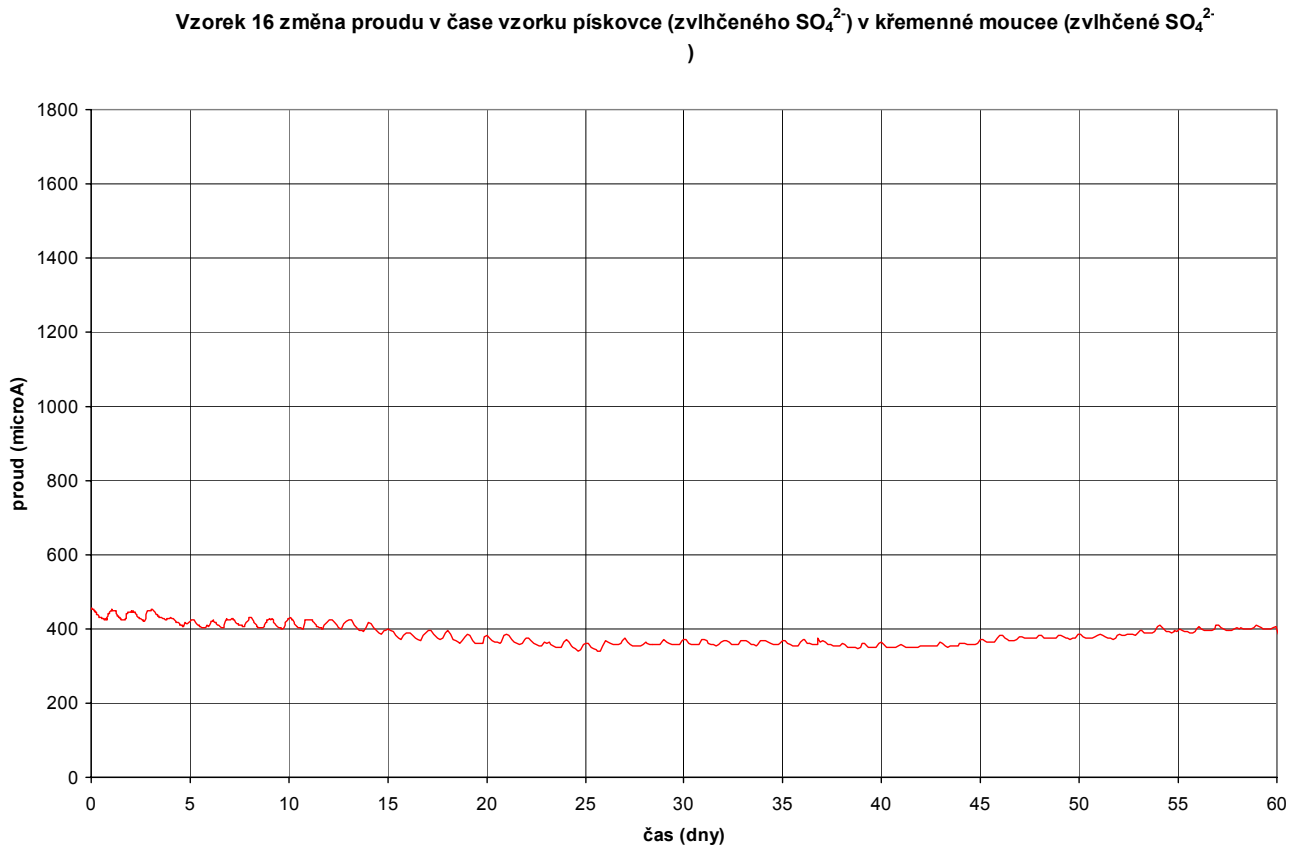

vlhkosti v místech měření vzorku nové cihly ozn. 76 5.5. 2003 - 13.11. 2003 - 4470 hodin; 2239C
kanál 3
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
vzdálenost (mm)

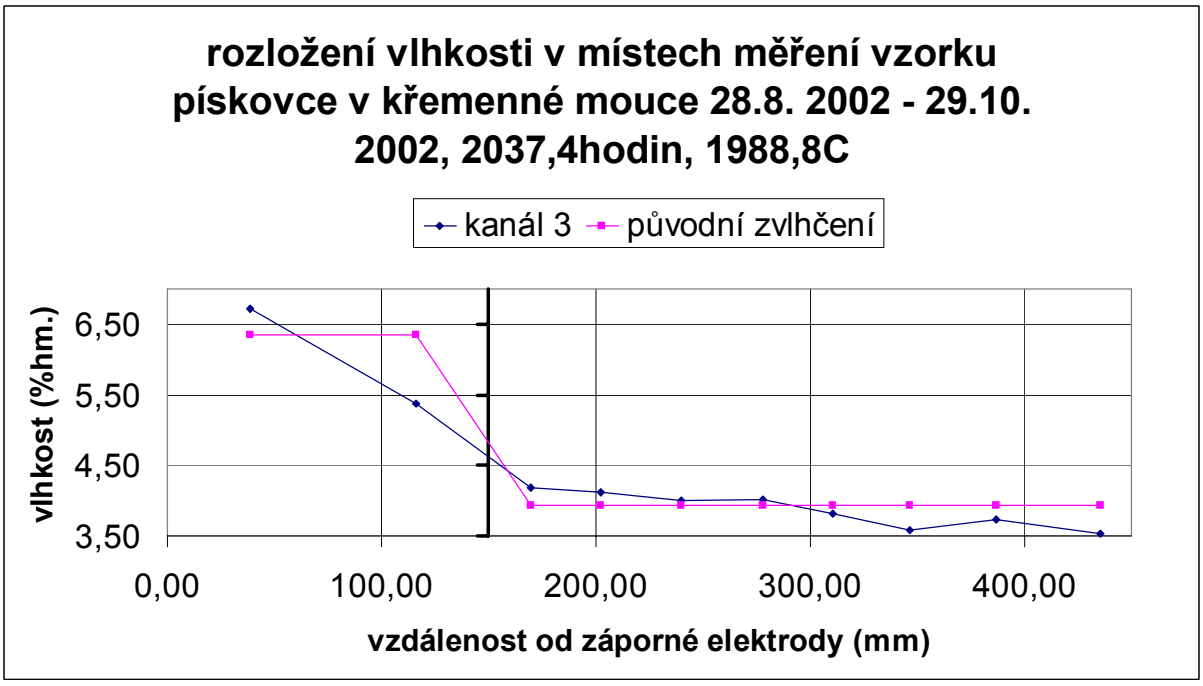
Příloha 4.15


Vzorek 15 změna proudu v čase pískovec (zvlhčeno SO_4^{2-}) v křemenném prachu (zvlhčeno SO_4^{2-})
kanál 1
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
čas (dny)

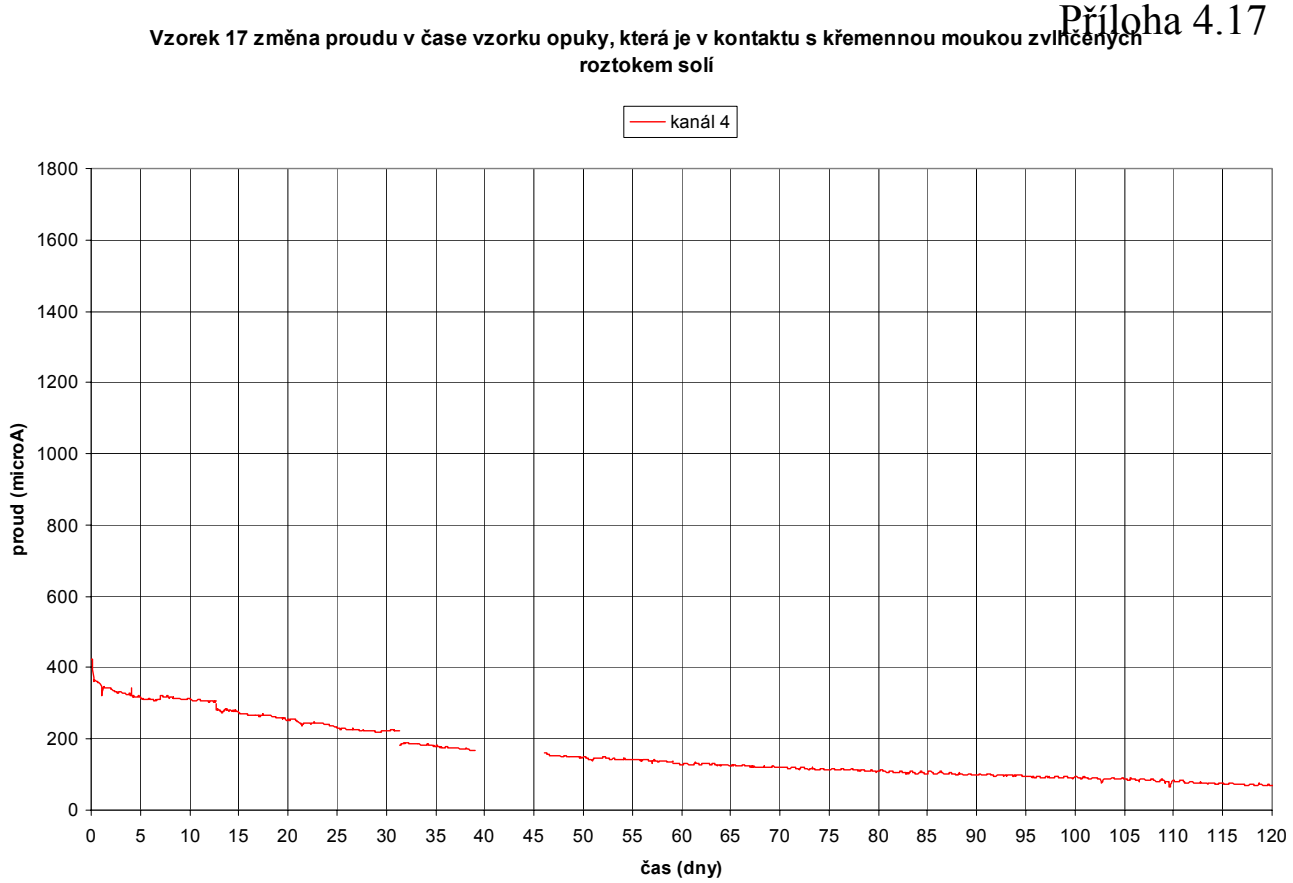

rozložení vlhkosti v místech měření vzorku pískovce v křemenné mouce 28.8. 2002 - 29.10. 2002, 1441,6hodin, 2796,6C s vyznačenou lineární směrnicí trendu grafu konečného rozložení vlhkosti
kanál 1
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
7,10
6,60
6,10
5,60
5,10
4,60
4,10
0,00
100,00
200,00
300,00
400,00
500,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

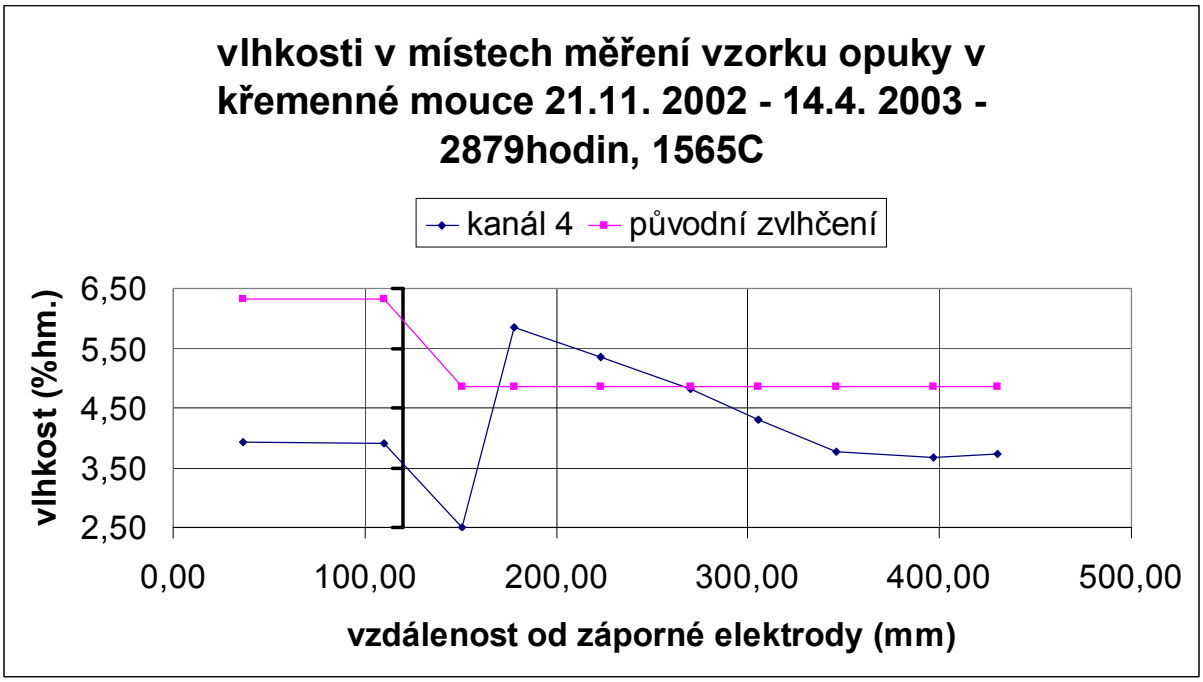
Příloha 4.16


Vzorek 16 změna proudu v čase vzorku pískovce (zvlhčeného SO_4^{2-}) v křemenné moucee (zvlhčené SO_4^{2-})
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
čas (dny)

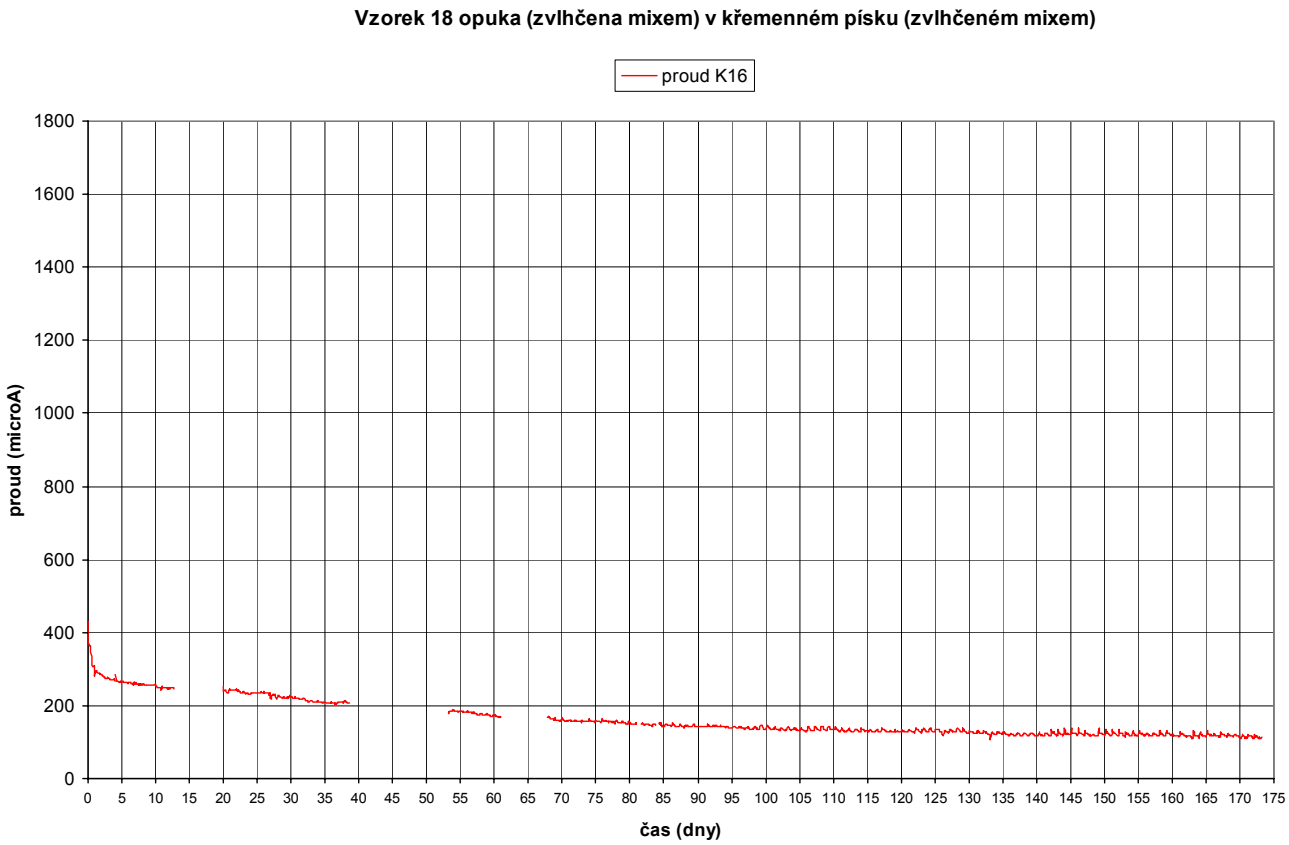

rozložení vlhkosti v místech měření vzorku pískovce v křemenné mouce 28.8. 2002 - 29.10. 2002, 2037,4hodin, 1988,8C
kanál 3
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
6,50
5,50
4,50
3,50
0,00
100,00
200,00
300,00
400,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

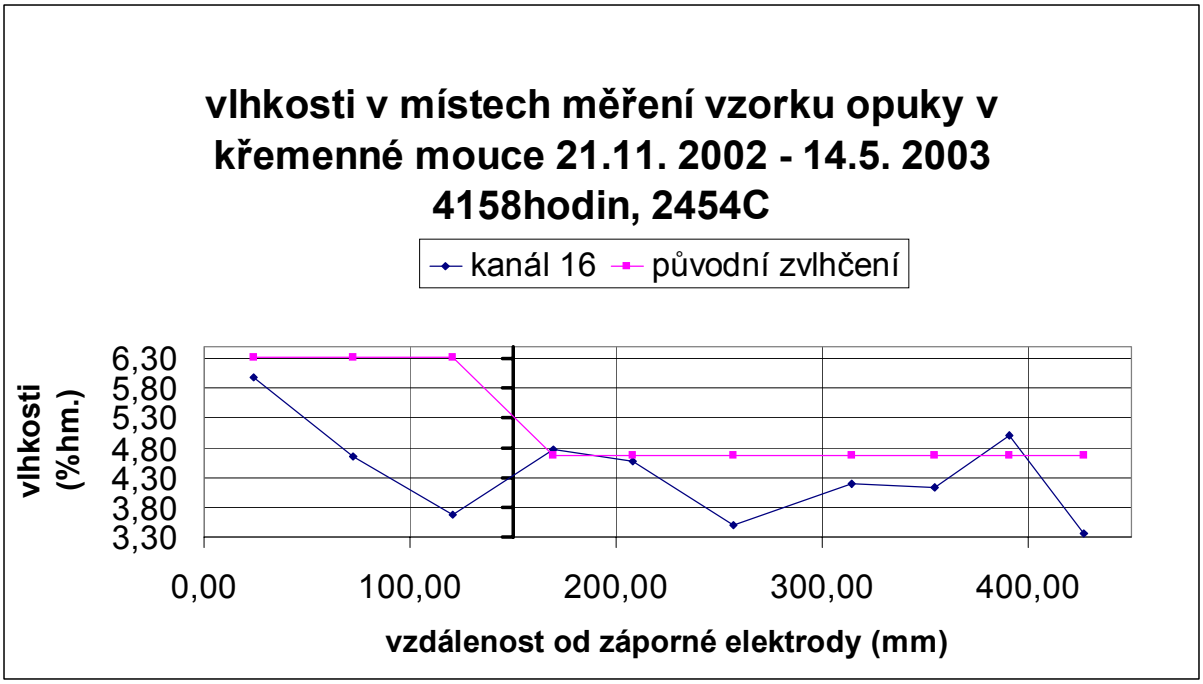
Příloha 4.17


Vzorek 17 změna proudu v čase vzorku opuky, která je v kontaktu s křemennou moukou zvlhčených roztokem solí
kanál 4
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120
čas (dny)

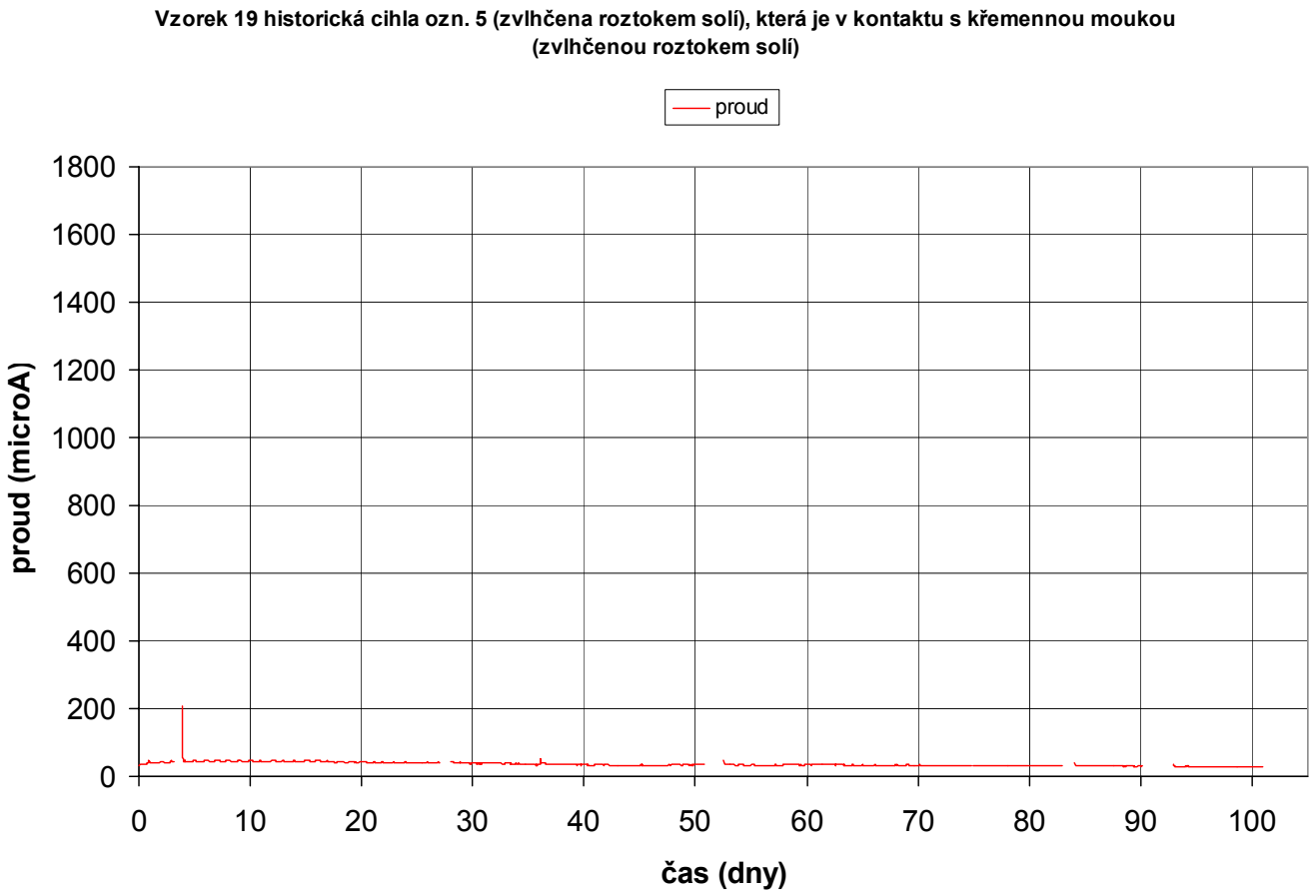

vlhkosti v místech měření vzorku opuky v křemenné mouce 21.11. 2002 - 14.4. 2003 - 2879hodin, 1565C
kanál 4
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
6,50
5,50
4,50
3,50
2,50
0,00 100,00 200,00 300,00 400,00 500,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

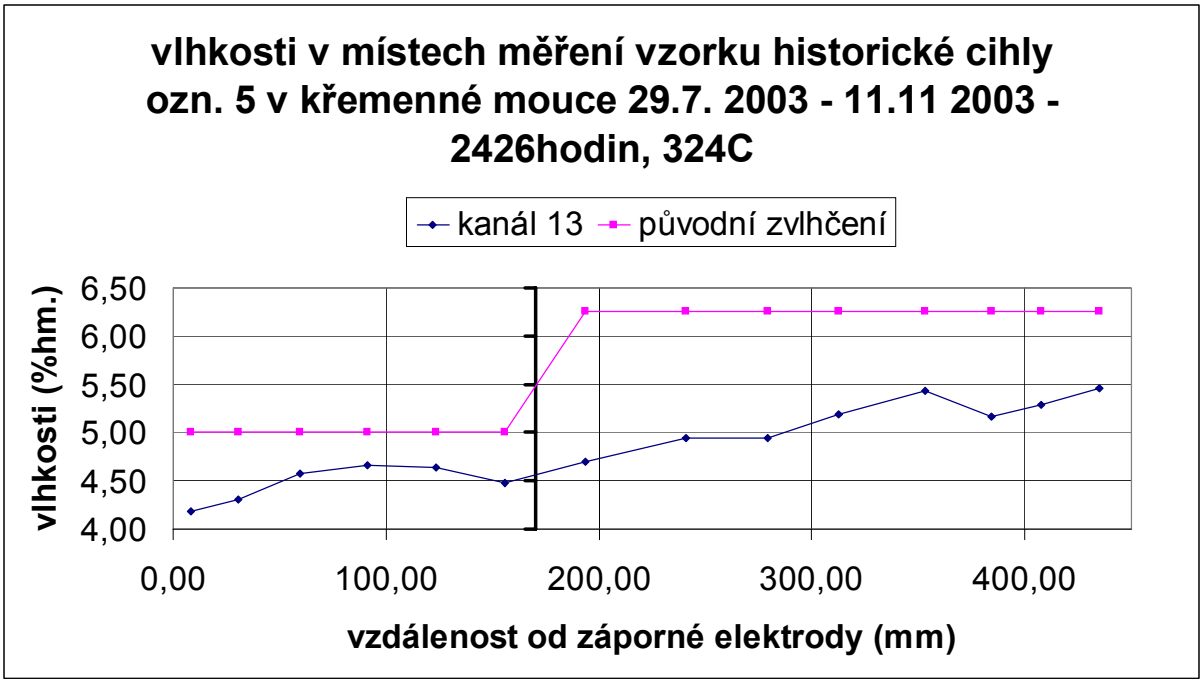
Příloha 4.18


Vzorek 18 opuka (zvlhčena mixem) v křemenném písku (zvlhčeném mixem)
proud K16
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175
čas (dny)

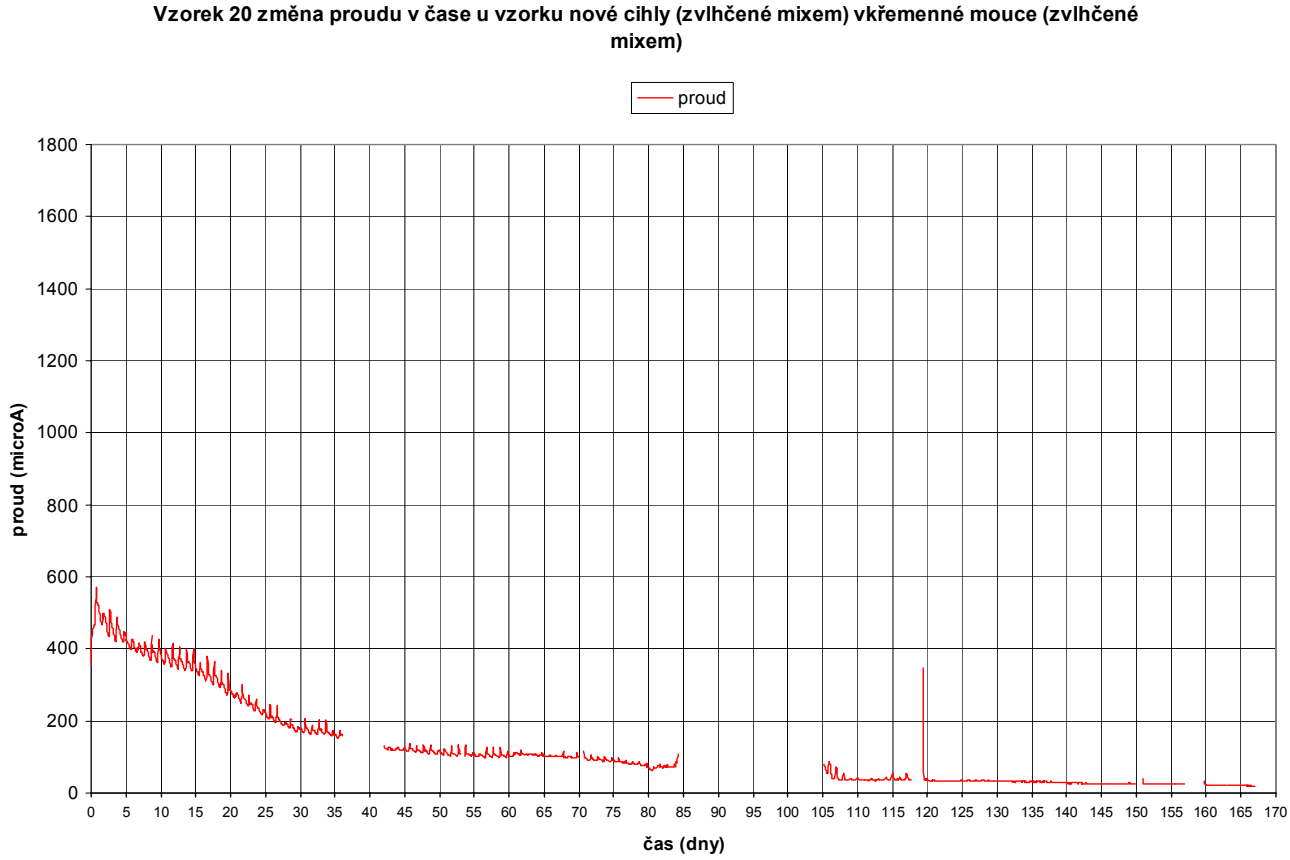

vlhkosti v místech měření vzorku opuky v křemenné mouce 21.11. 2002 - 14.5. 2003
4158hodin, 2454C
kanál 16
původní zvlhčení
vlhkosti (%hm.)
6,30
5,80
5,30
4,80
4,30
3,80
3,30
0,00
100,00
200,00
300,00
400,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

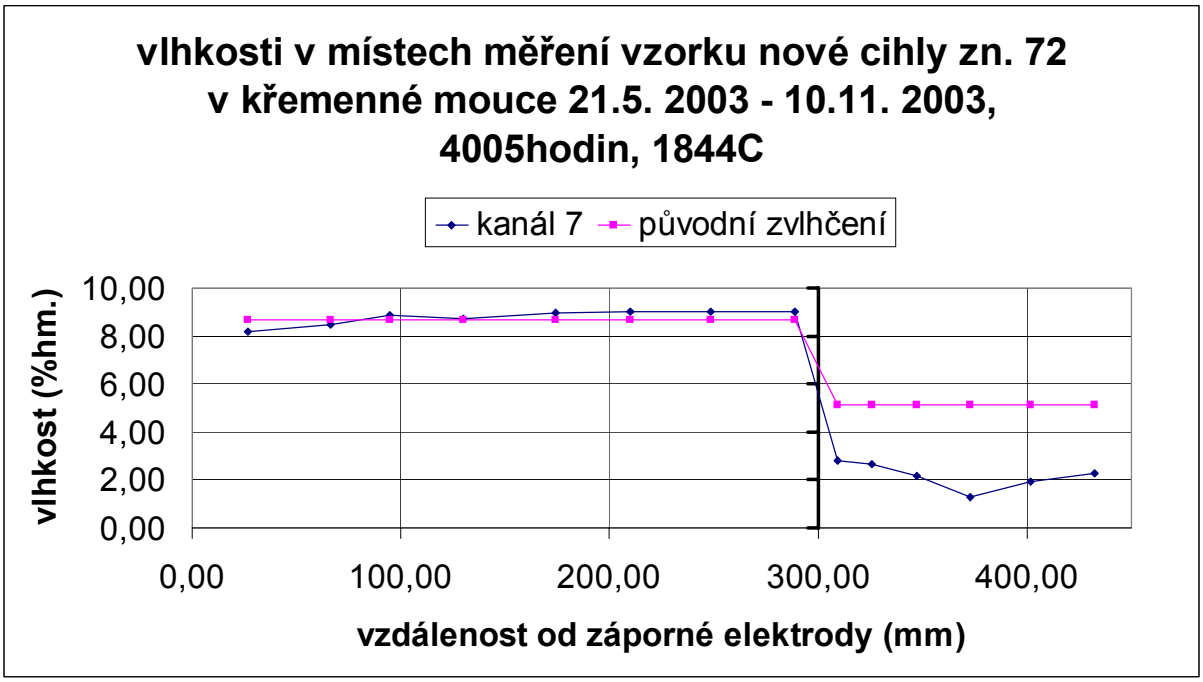
Příloha 4.19


Vzorek 19 historická cihla ozn. 5 (zvlhčena roztokem solí), která je v kontaktu s křemennou moukou (zvlhčenou roztokem solí)
proud
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
čas (dny)

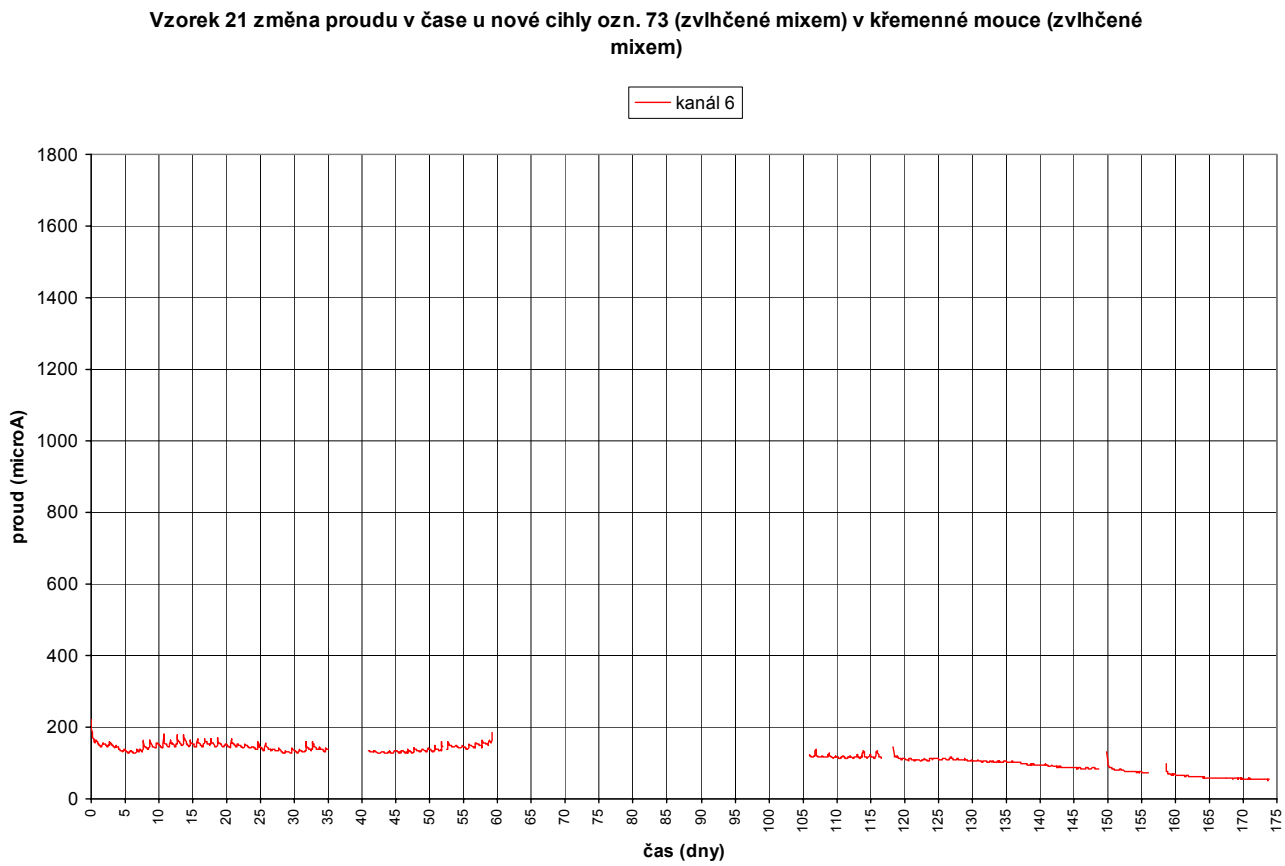

vlhkosti v místech měření vzorku historické cihly ozn. 5 v křemenné mouce 29.7. 2003 - 11.11 2003 - 2426hodin, 324C
kanál 13
původní zvlhčení
vlhkosti (%hm.)
6,50
6,00
5,50
5,00
4,50
4,00
0,00
100,00
200,00
300,00
400,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

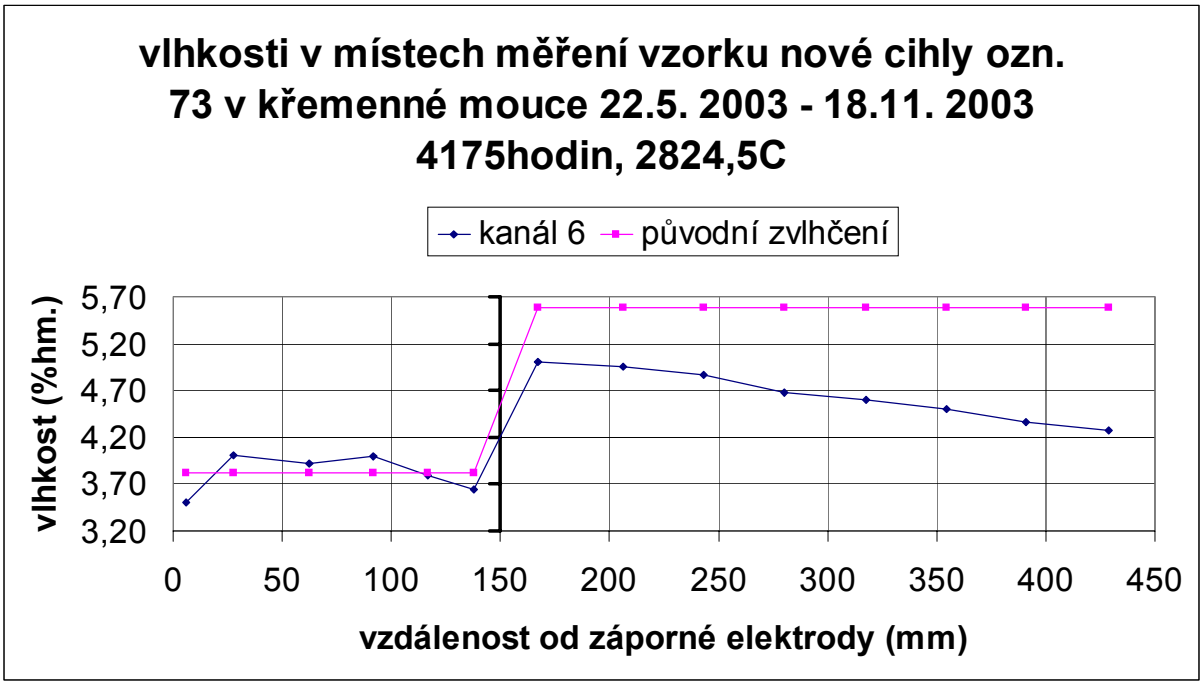
Příloha 4.20


Vzorek 20 změna proudu v čase u vzorku nové cihly (zvlhčené mixem) vkřemenné mouce (zvlhčené mixem)
proud
proud (microA)
čas (dny)

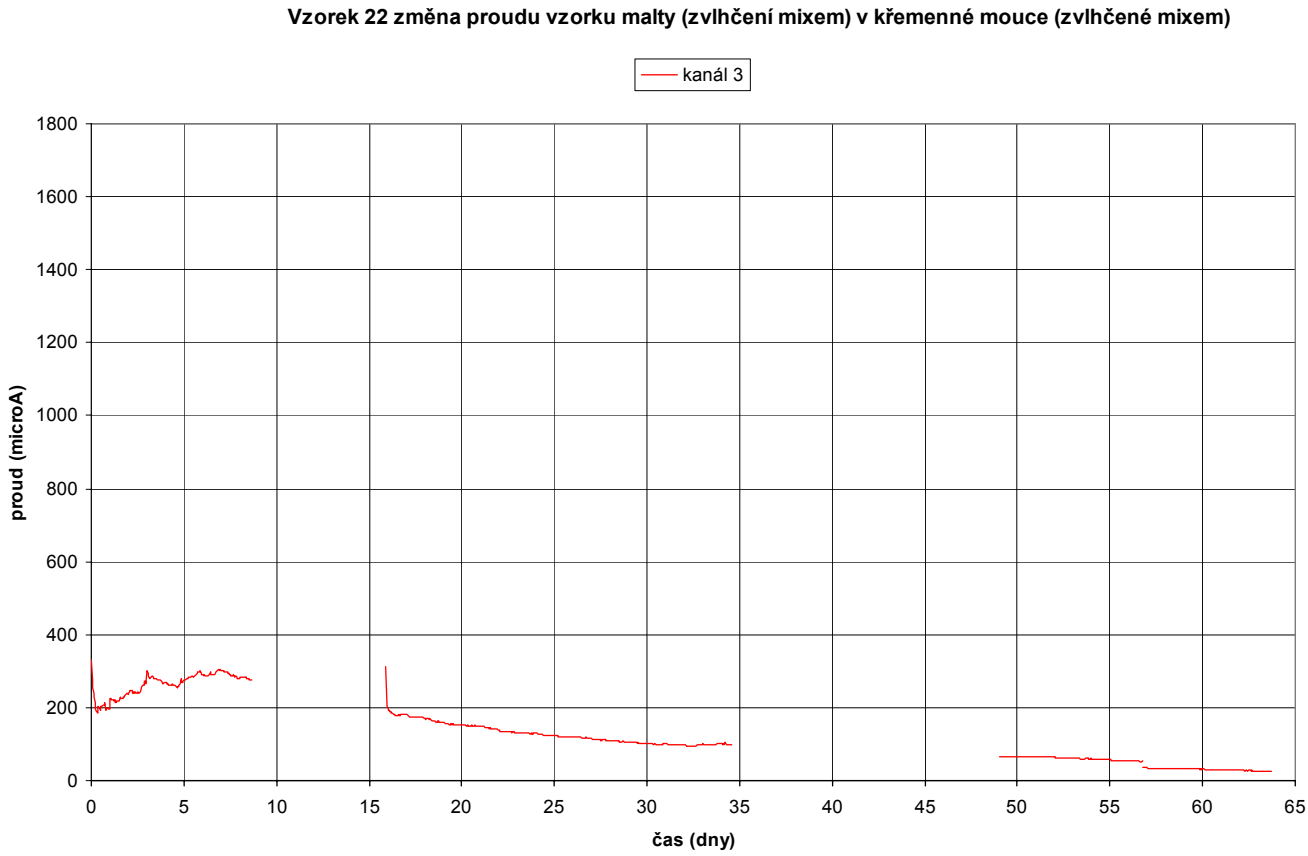

vlhkosti v místech měření vzorku nové cihly zn. 72 v křemenné mouce 21.5. 2003 - 10.11. 2003, 4005hodin, 1844C
kanál 7
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

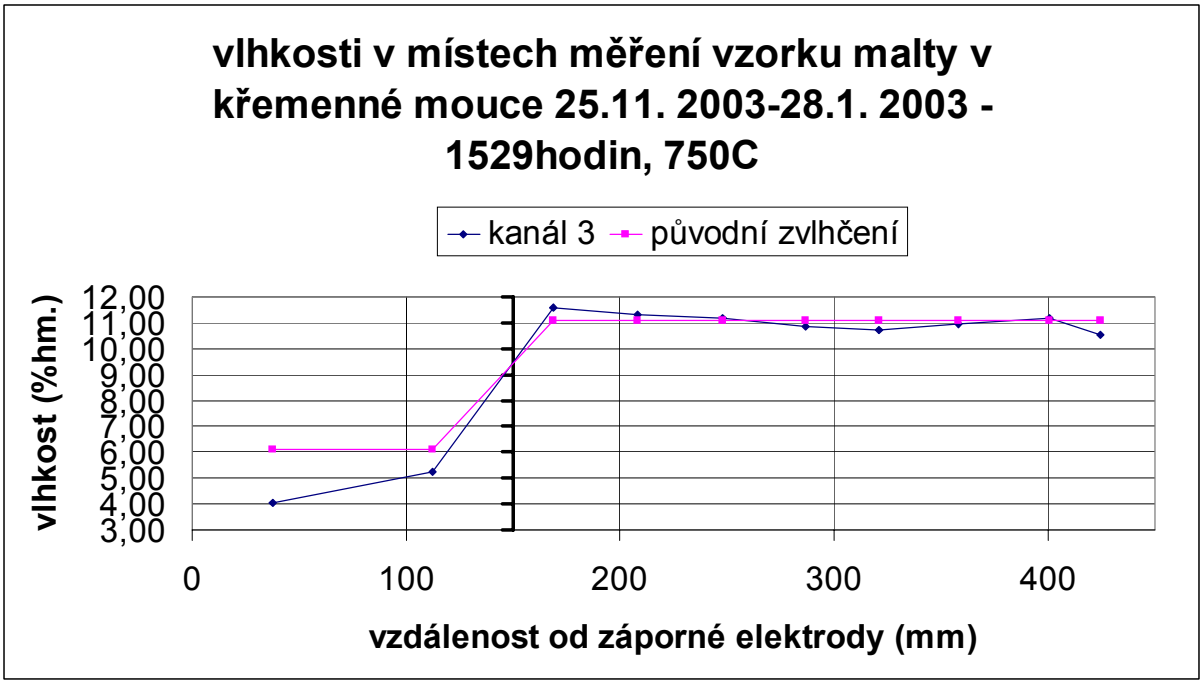
Příloha 4.21


Vzorek 21 změna proudu v čase u nové cihly ozn. 73 (zvlhčené mixem) v křemenné mouce (zvlhčené mixem)
kanál 6
proud (microA)
čas (dny)

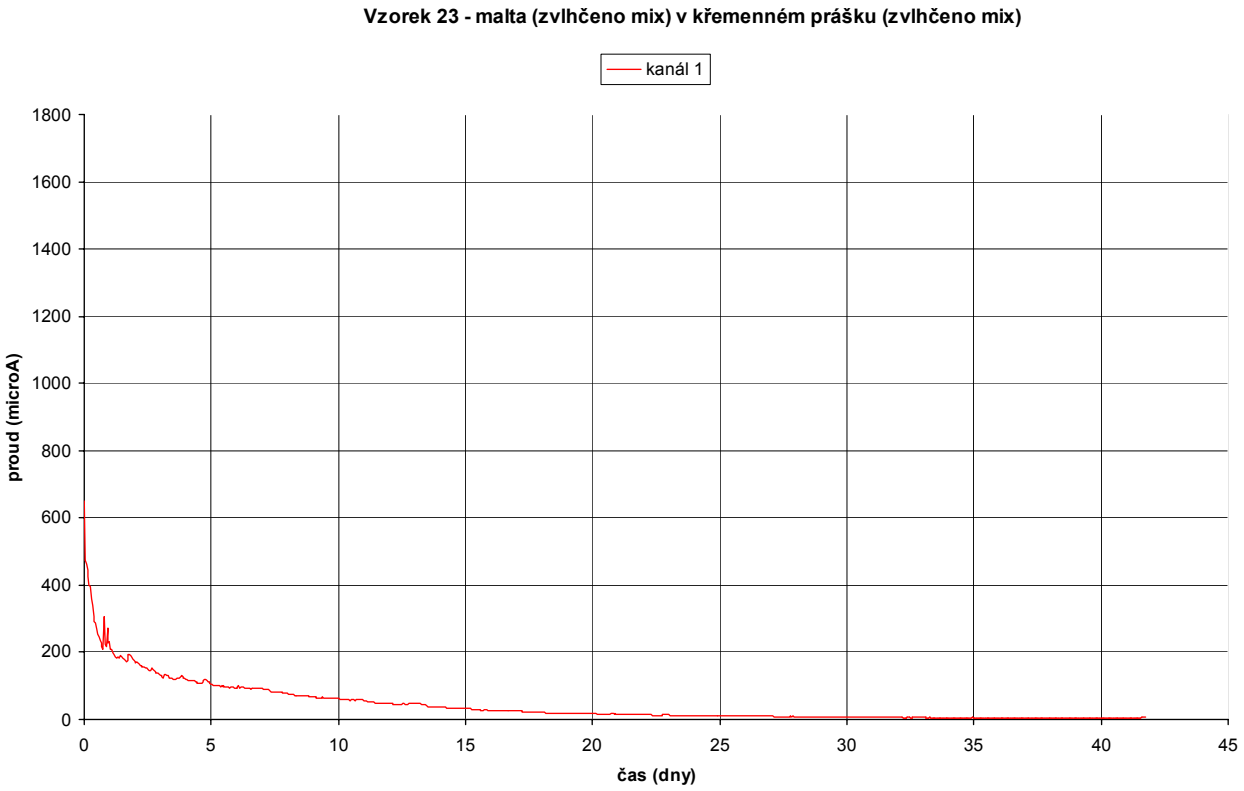

vlhkosti v místech měření vzorku nové cihly ozn. 73 v křemenné mouce 22.5. 2003 - 18.11. 2003 4175hodin, 2824,5C
kanál 6
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

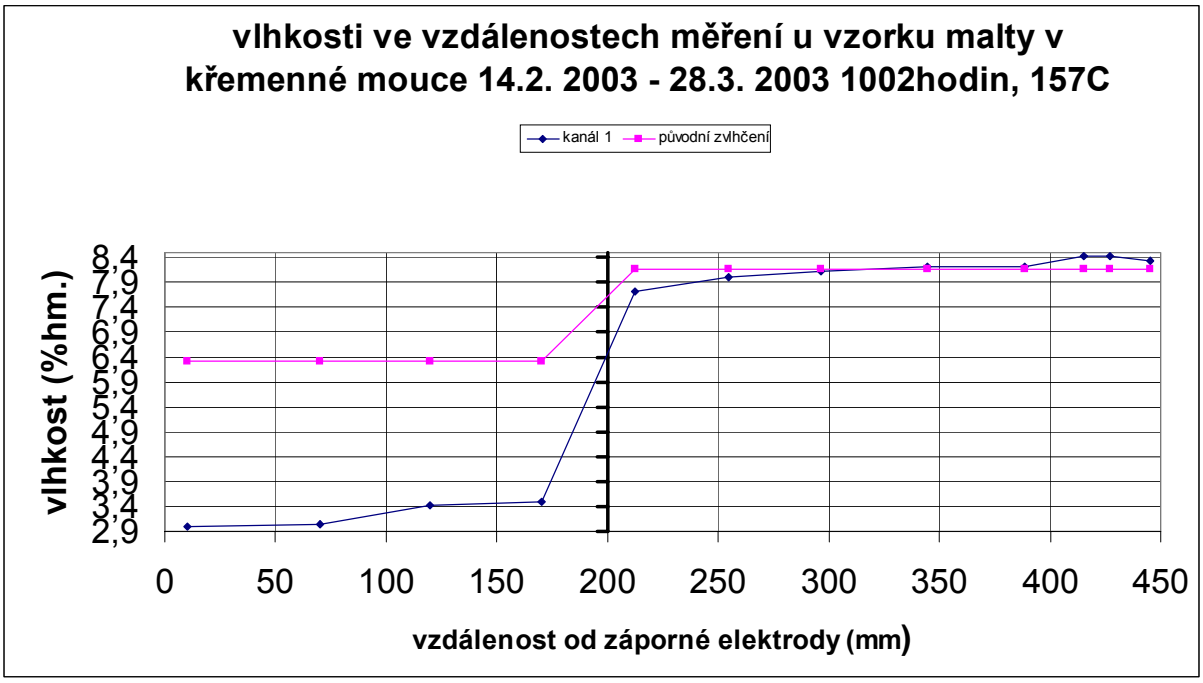
Příloha 4.22


Vzorek 22 změna proudu vzorku malty (zvlhčení mixem) v křemenné mouce (zvlhčené mixem)
kanál 3
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
čas (dny)

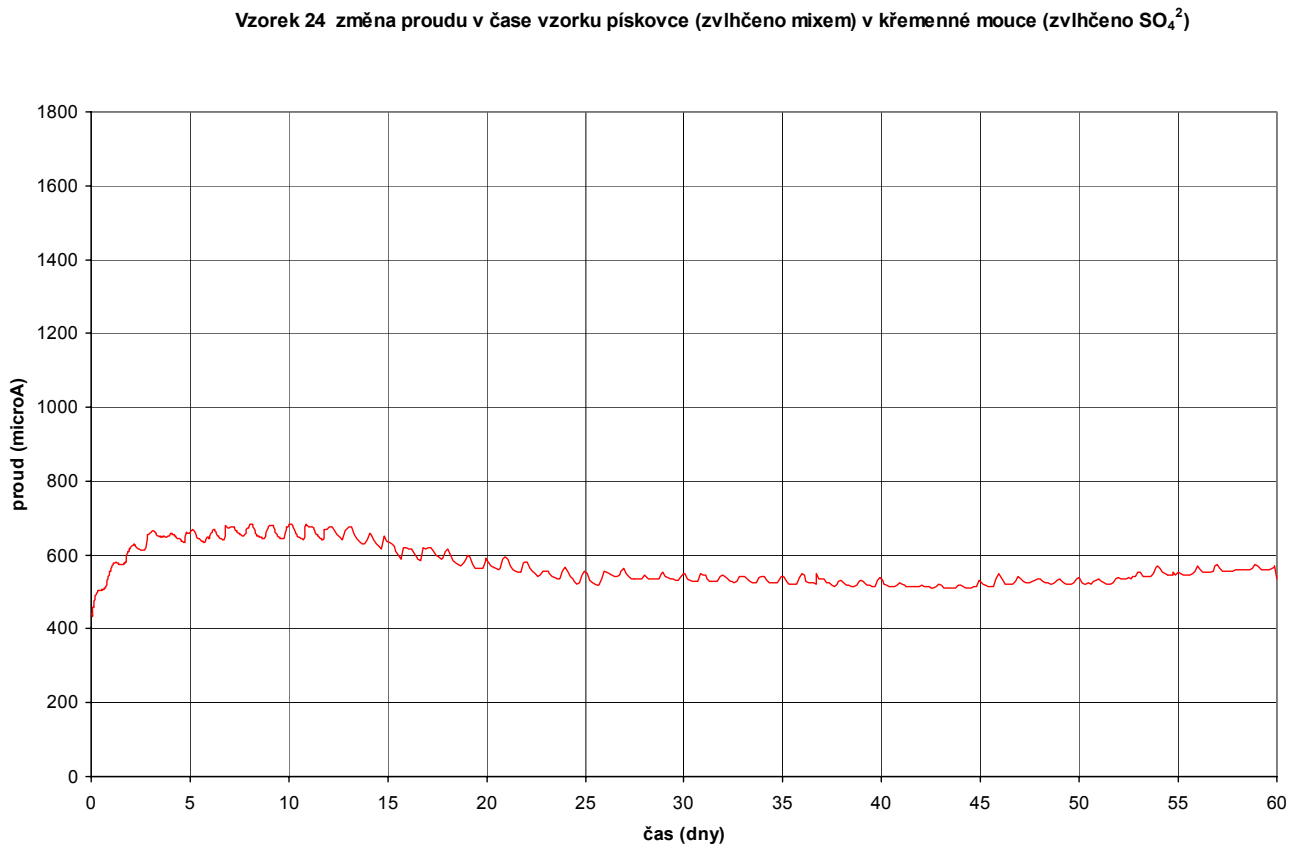

vlhkosti v místech měření vzorku malty v křemenné mouce 25.11. 2003-28.1. 2003 - 1529hodin, 750C
kanál 3
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
12,00
11,00
10,00
9,00
8,00
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
0
100
200
300
400
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

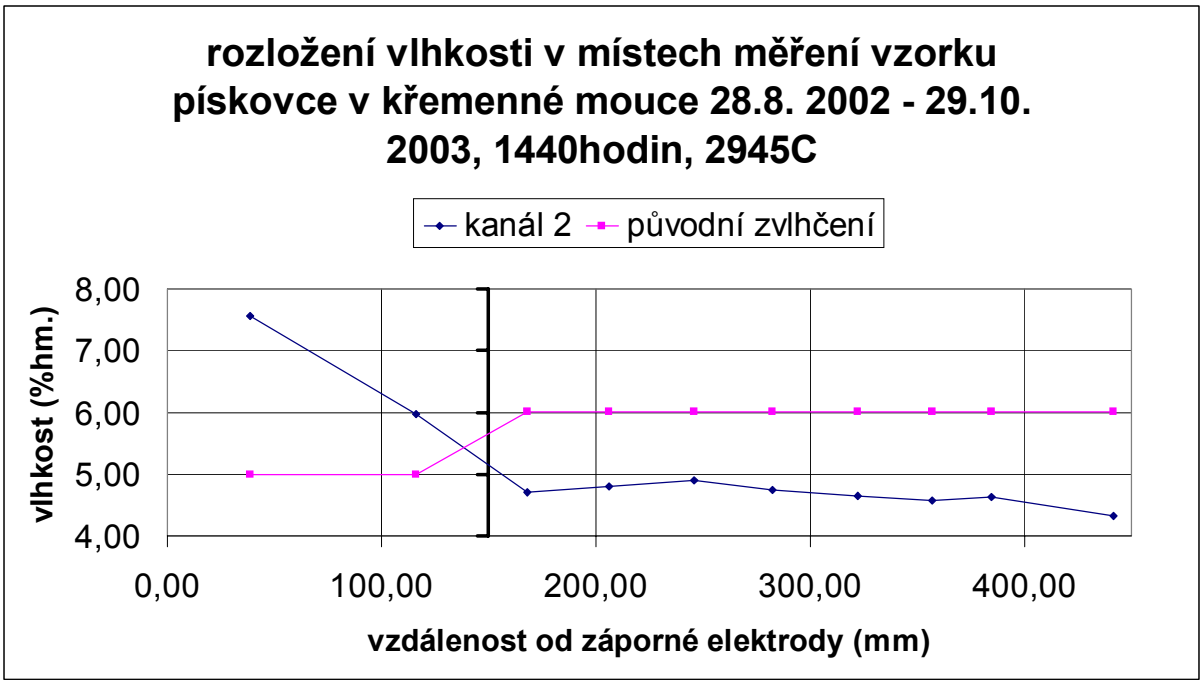
Příloha 4.23


Vzorek 23 - malta (zvlhčeno mix) v křemenném prášku (zvlhčeno mix)
kanál 1
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
čas (dny)

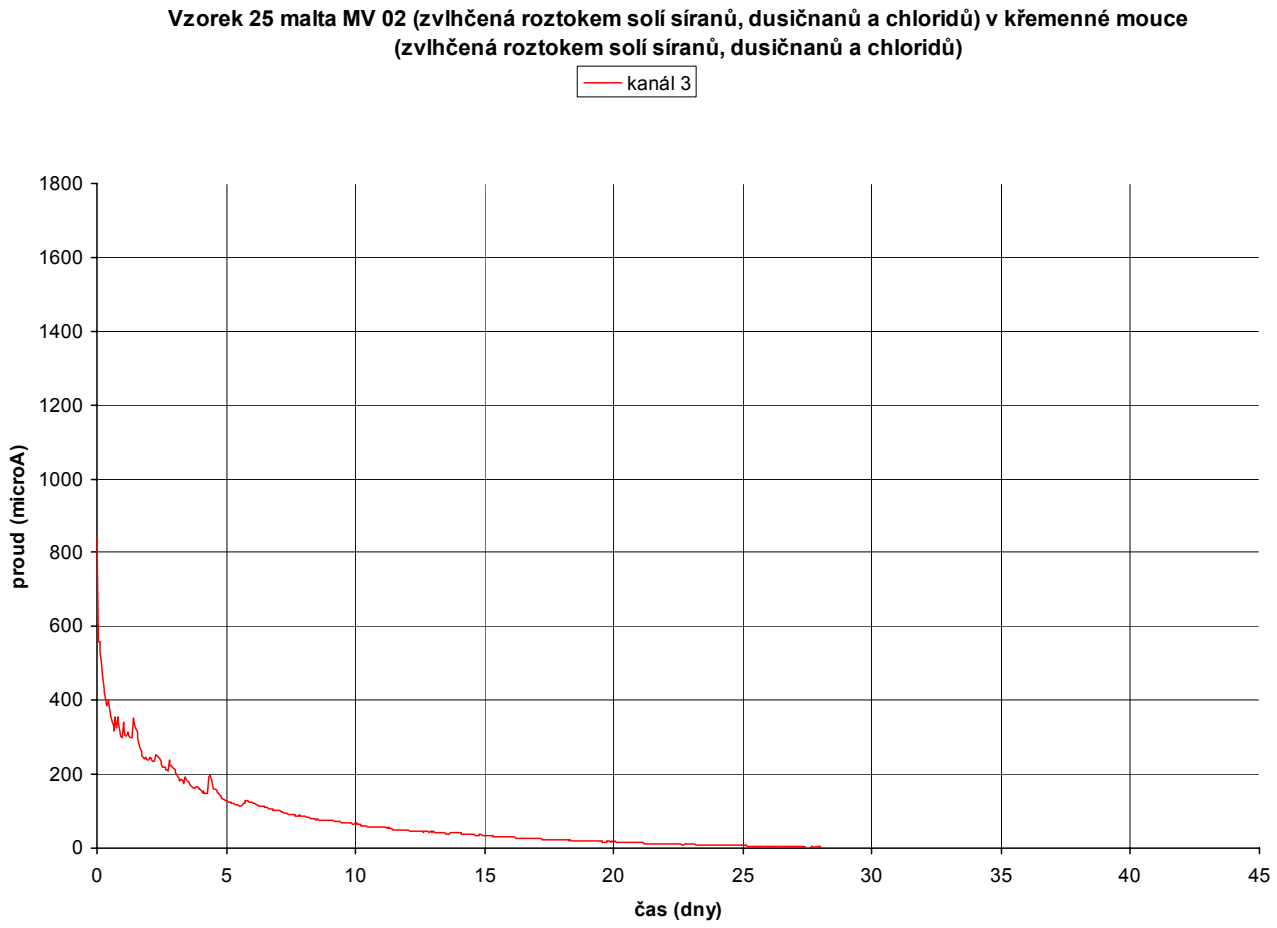

vlhkosti ve vzdálenostech měření u vzorku malty v křemenné mouce 14.2. 2003 - 28.3. 2003 1002hodin, 157C
kanál 1
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
8,4
7,9
7,4
6,9
6,4
5,9
5,4
4,9
4,4
3,9
3,4
2,9
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

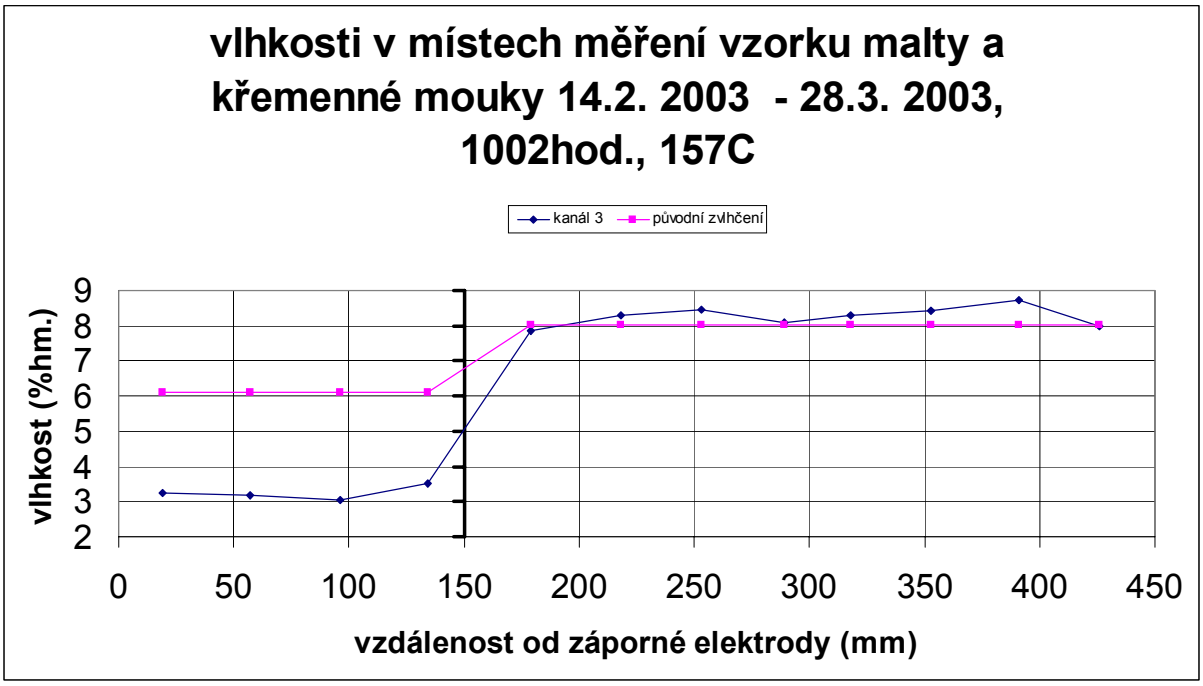
Příloha 4.24


Vzorek 24 změna proudu v čase vzorku pískovce (zvlhčeno mixem) v křemenné mouce (zvlhčeno SO_4^{2})
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
čas (dny)

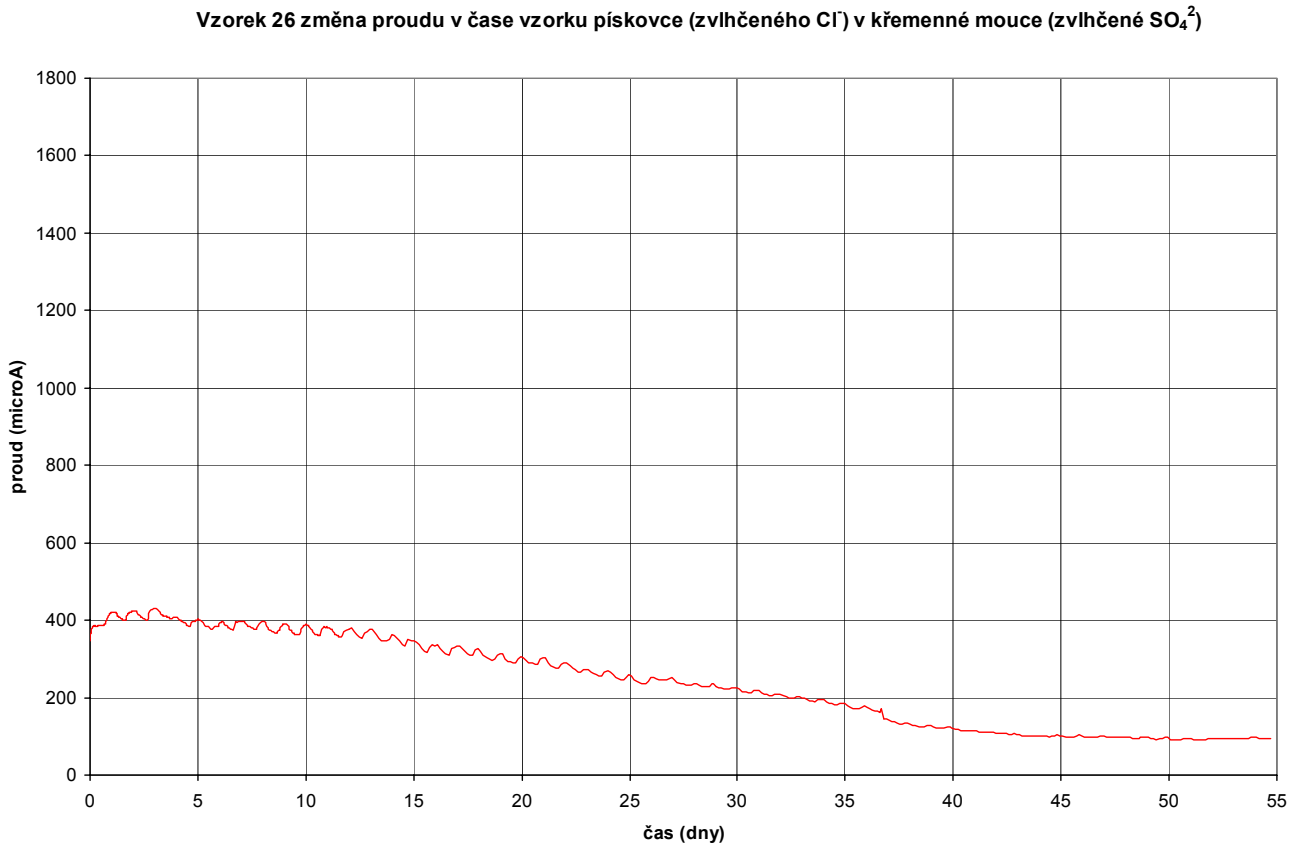

rozložení vlhkosti v místech měření vzorku pískovce v křemenné mouce 28.8. 2002 - 29.10. 2003, 1440hodin, 2945C
kanál 2
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
8,00
7,00
6,00
5,00
4,00
0,00
100,00
200,00
300,00
400,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

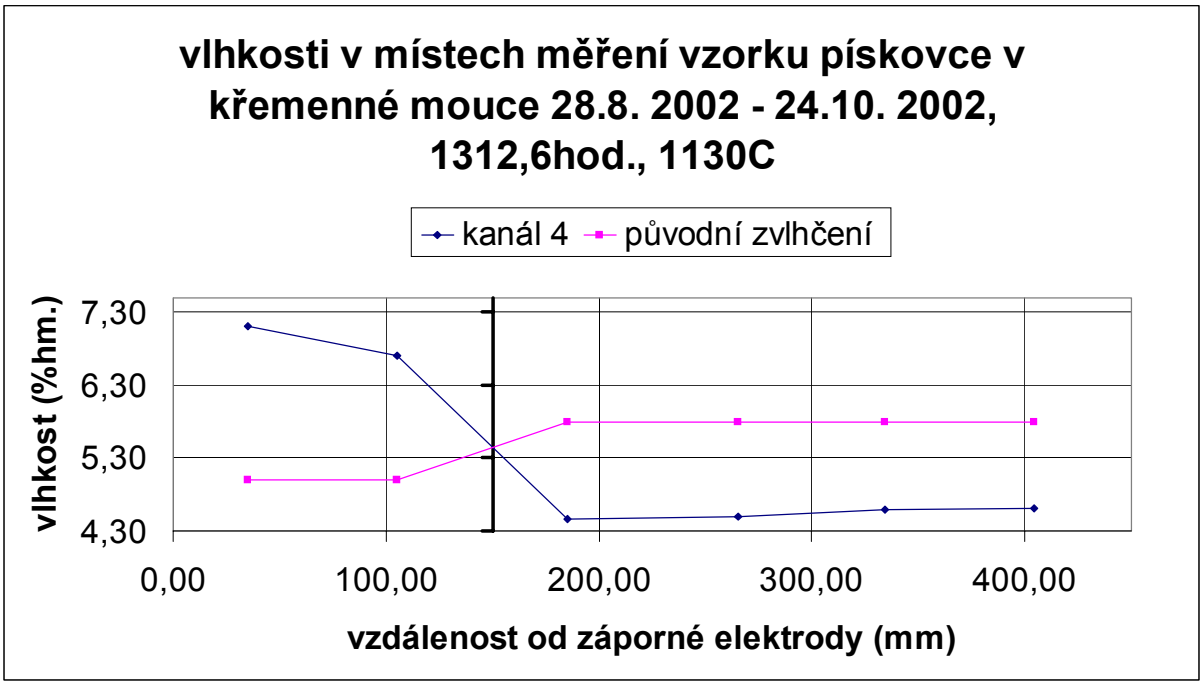
Příloha 4.25


Vzorek 25 malta MV 02 (zvlhčená roztokem solí síranů, dusičnanů a chloridů) v křemenné mouce
(zvlhčená roztokem solí síranů, dusičnanů a chloridů)
kanál 3
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
čas (dny)

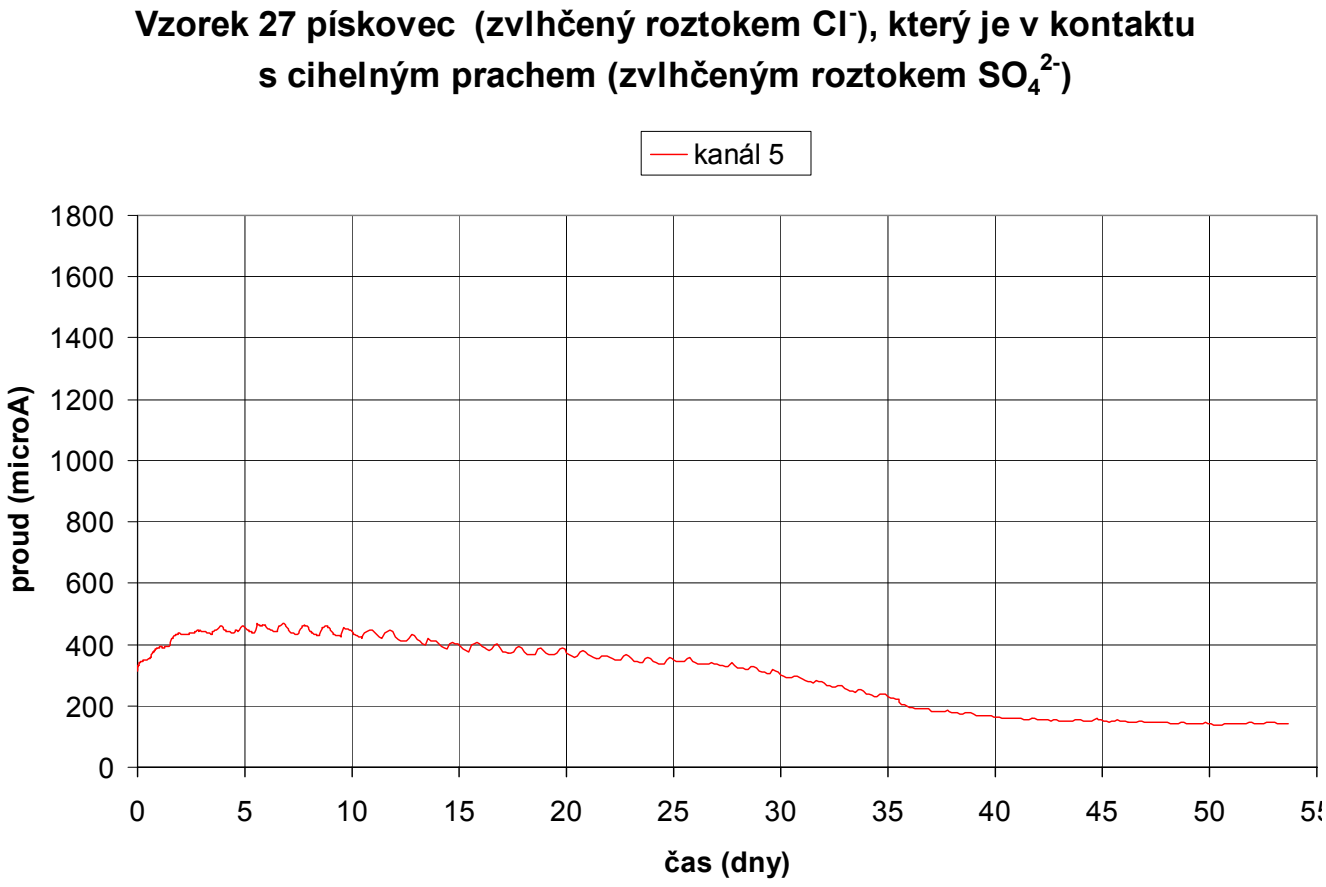

vlhkosti v místech měření vzorku malty a křemenné mouky 14.2. 2003 - 28.3. 2003, 1002hod., 157C
kanál 3
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
9
8
7
6
5
4
3
2
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

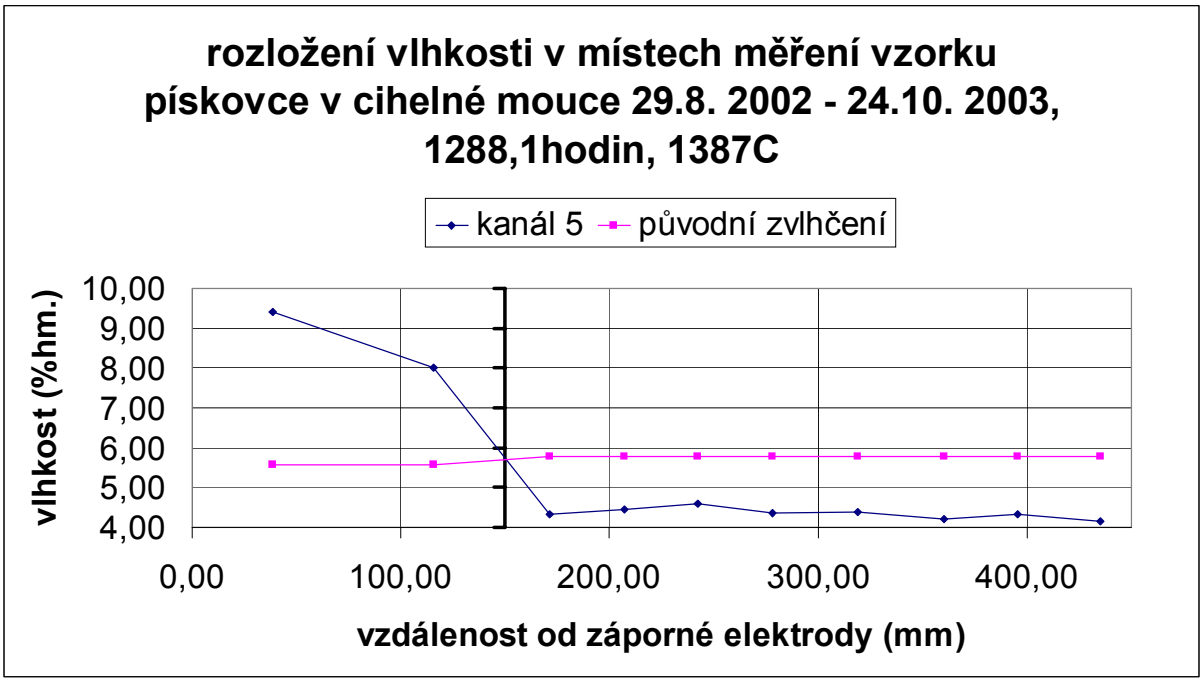
Příloha 4.26


Vzorek 26 změna proudu v čase vzorku pískovce (zvlhčeného Cl⁻) v křemenné mouce (zvlhčené SO4 2)
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
čas (dny)

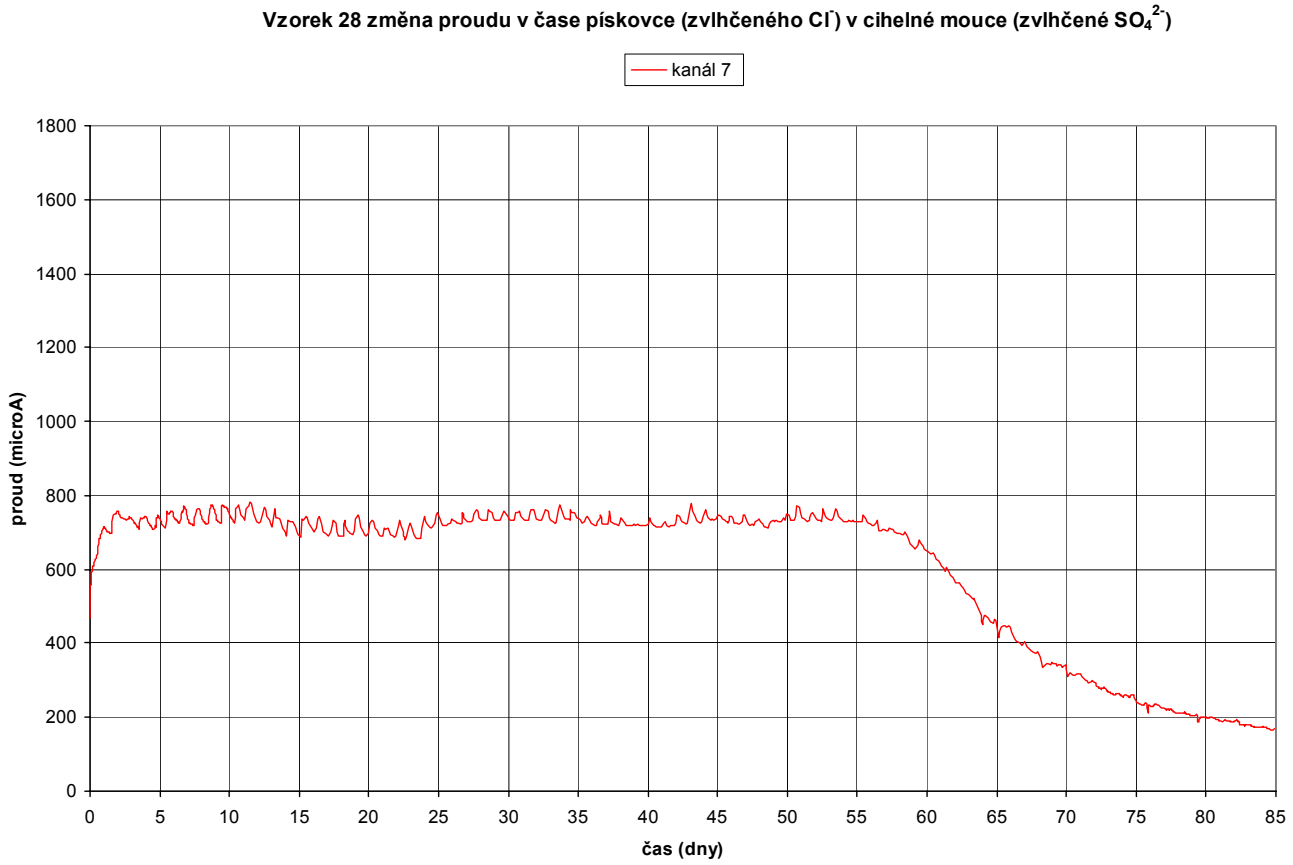

vlhkosti v místech měření vzorku pískovce v křemenné mouce 28.8. 2002 - 24.10. 2002, 1312,6hod., 1130C
kanál 4
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
7,30
6,30
5,30
4,30
0,00
100,00
200,00
300,00
400,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

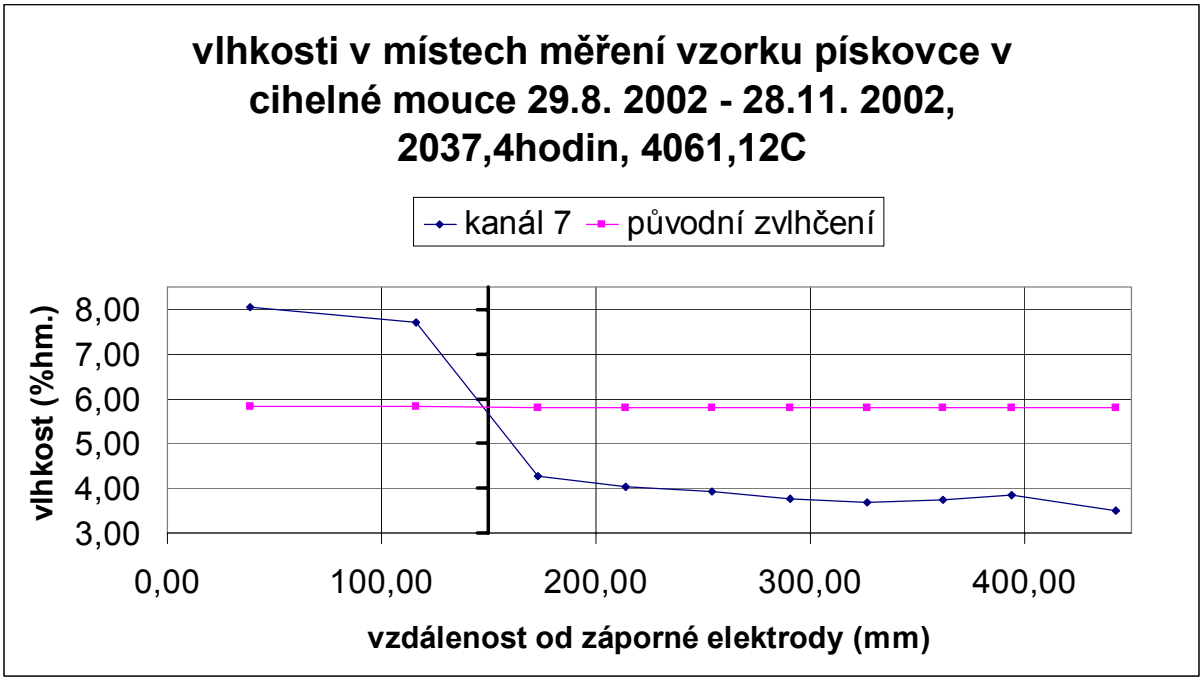
Příloha 4.27


Vzorek 27 pískovec (zvlhčený roztokem Cl-), který je v kontaktu s cihelným prachem (zvlhčeným roztokem SO4 2-)
kanál 5
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
čas (dny)

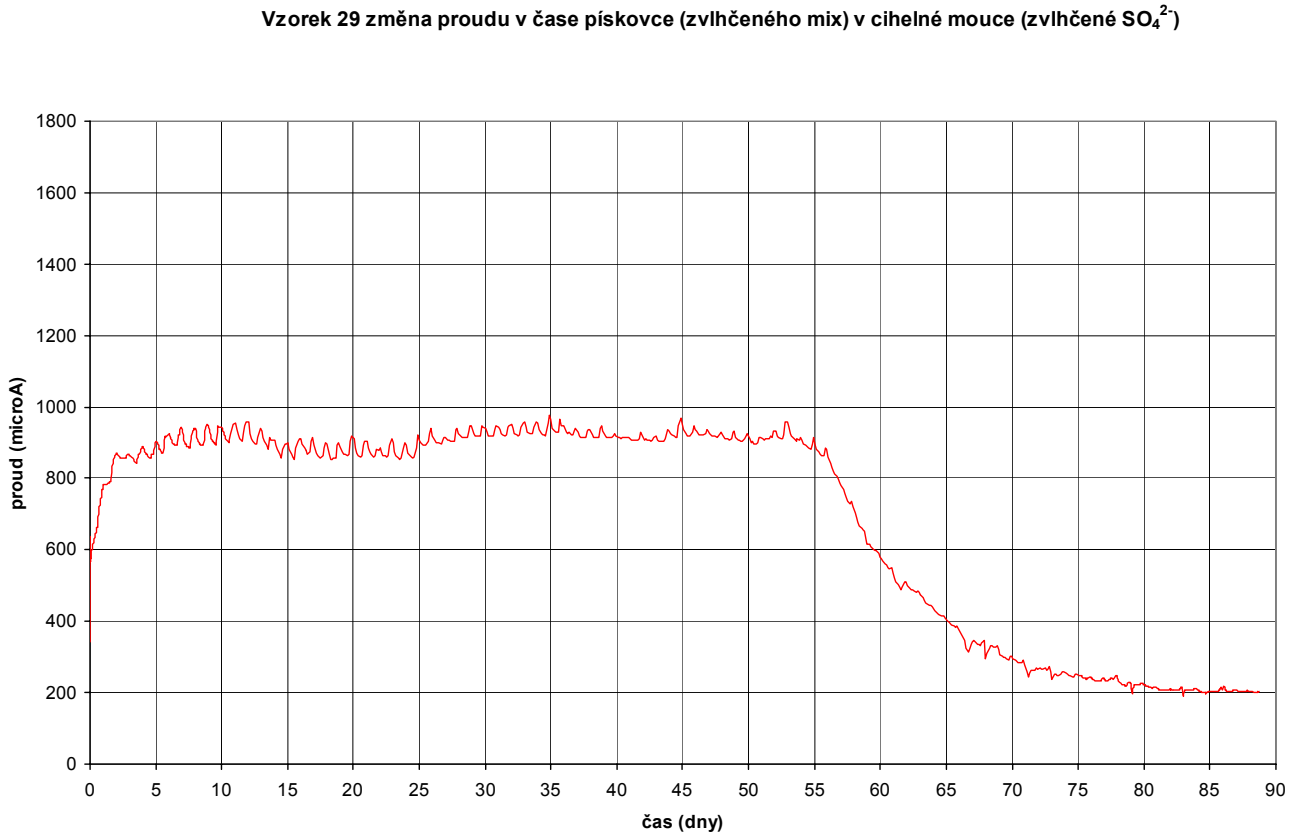

rozložení vlhkosti v místech měření vzorku pískovce v cihelné mouce 29.8. 2002 - 24.10. 2003, 1288,1hodin, 1387C
kanál 5
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
10,00
9,00
8,00
7,00
6,00
5,00
4,00
0,00
100,00
200,00
300,00
400,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

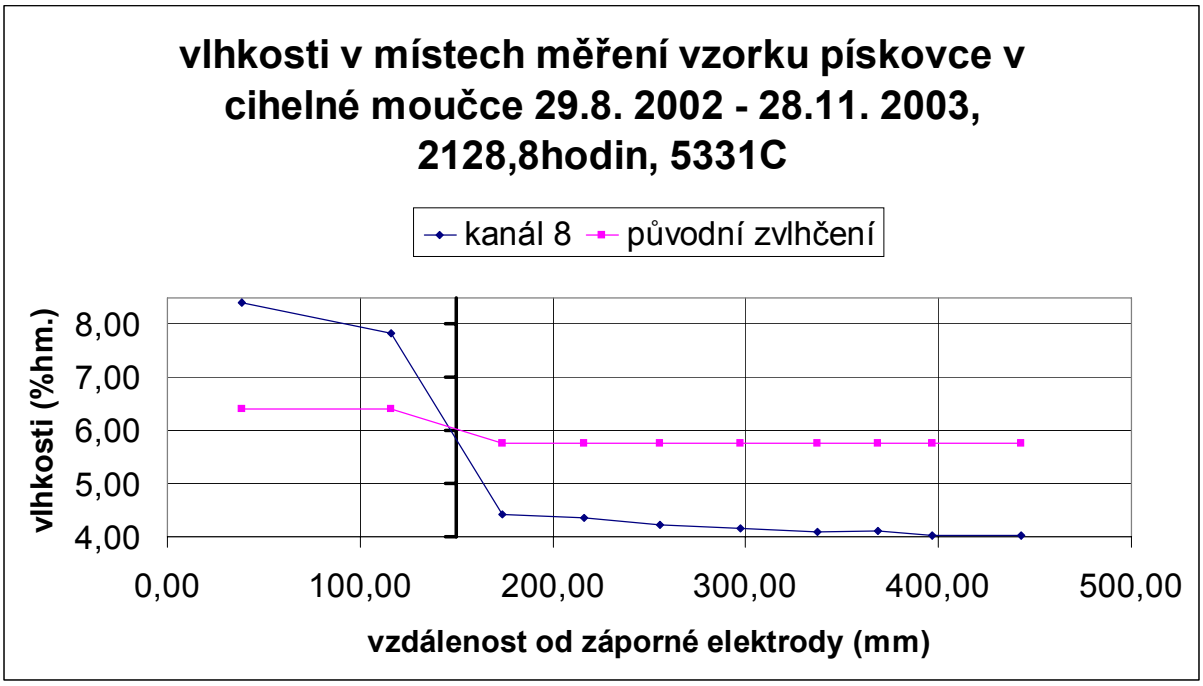
Příloha 4.28


Vzorek 28 změna proudu v čase pískovce (zvlhčeného Cl⁻) v cihelné mouce (zvlhčené SO4 2-)
kanál 7
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85
čas (dny)

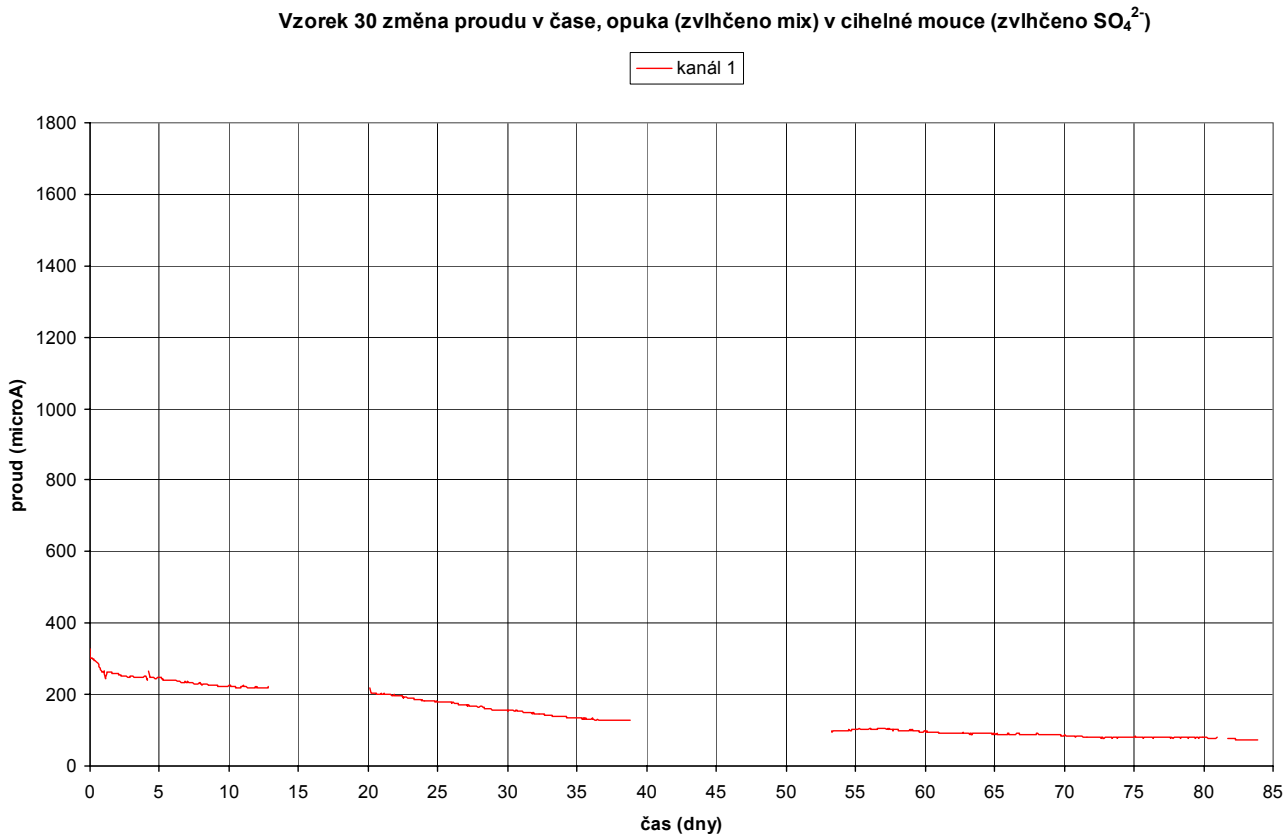

vlhkosti v místech měření vzorku pískovce v cihelné mouce 29.8. 2002 - 28.11. 2002, 2037,4hodin, 4061,12C
kanál 7
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
8,00
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
0,00 100,00 200,00 300,00 400,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

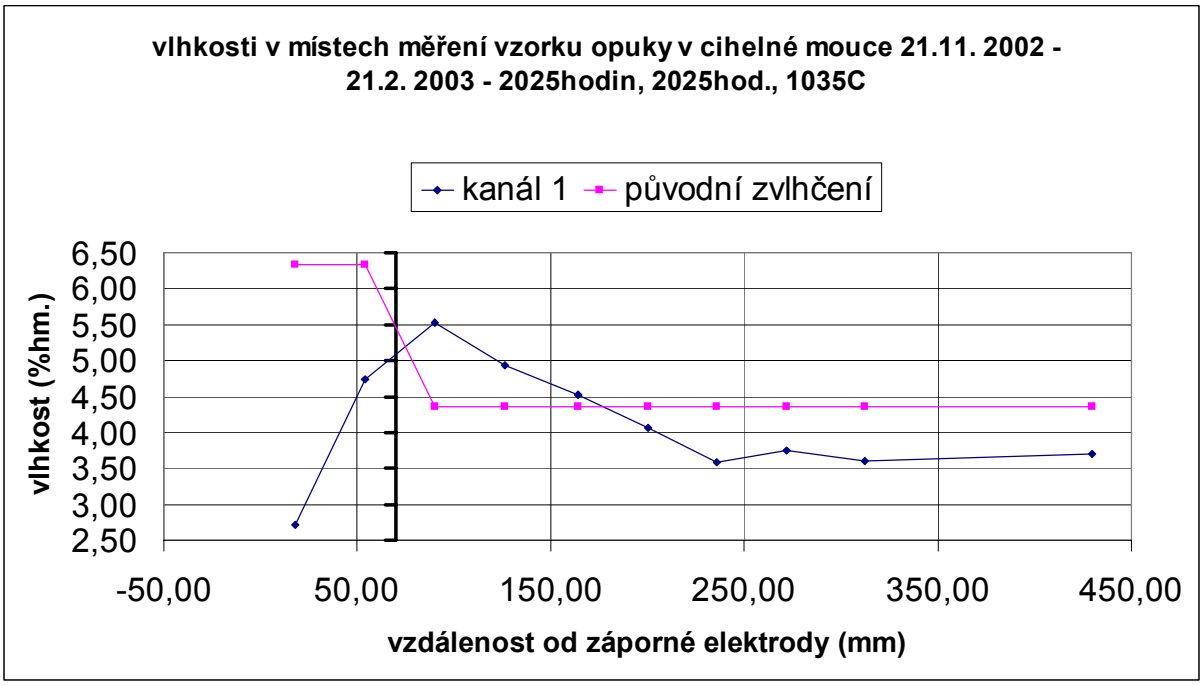
Příloha 4.29


Vzorek 29 změna proudu v čase pískovce (zvlhčeného mix) v cihelné mouce (zvlhčené SO_4^{2-})
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90
čas (dny)

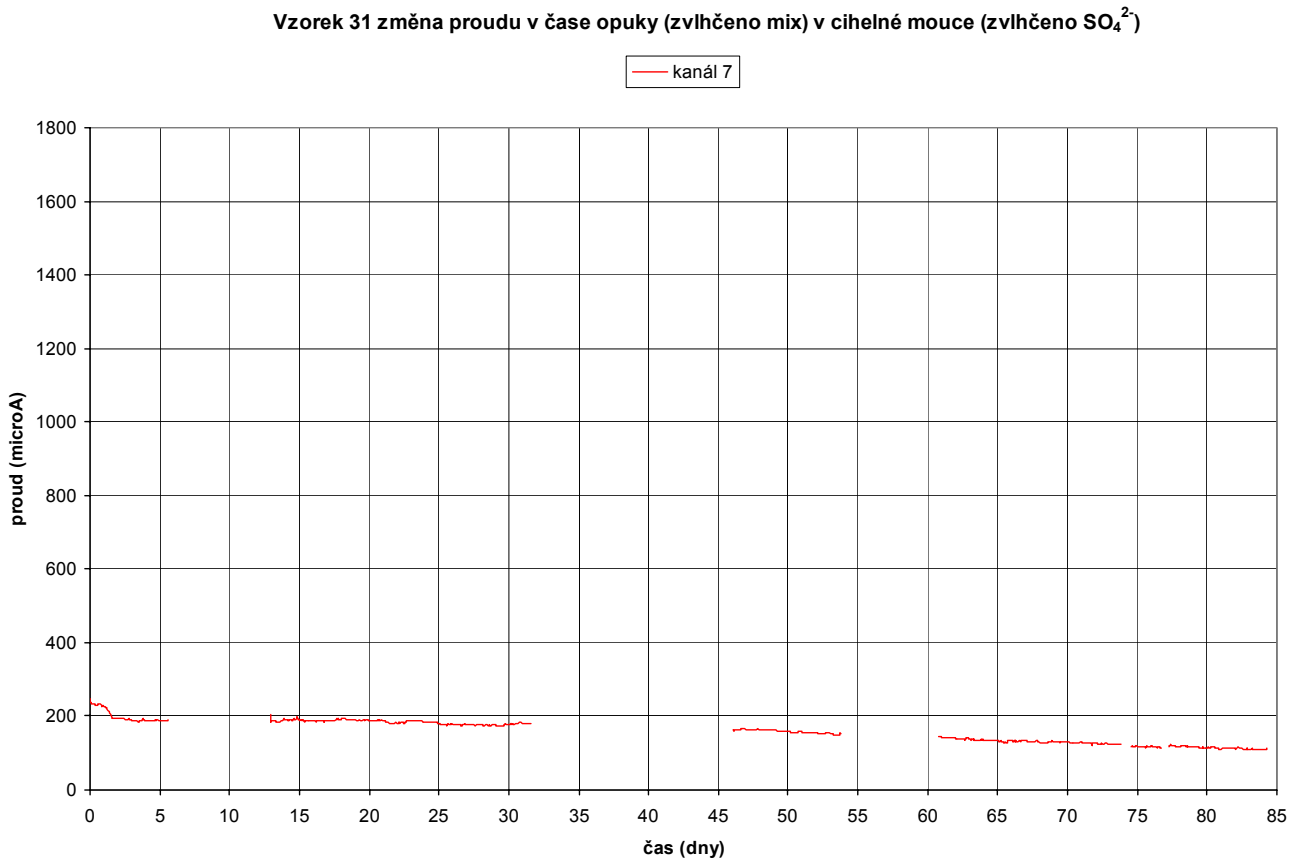

vlhkosti v místech měření vzorku pískovce v cihelné moučce 29.8. 2002 - 28.11. 2003, 2128,8hodin, 5331C
kanál 8
původní zvlhčení
vlhkosti (%hm.)
8,00
7,00
6,00
5,00
4,00
0,00 100,00 200,00 300,00 400,00 500,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

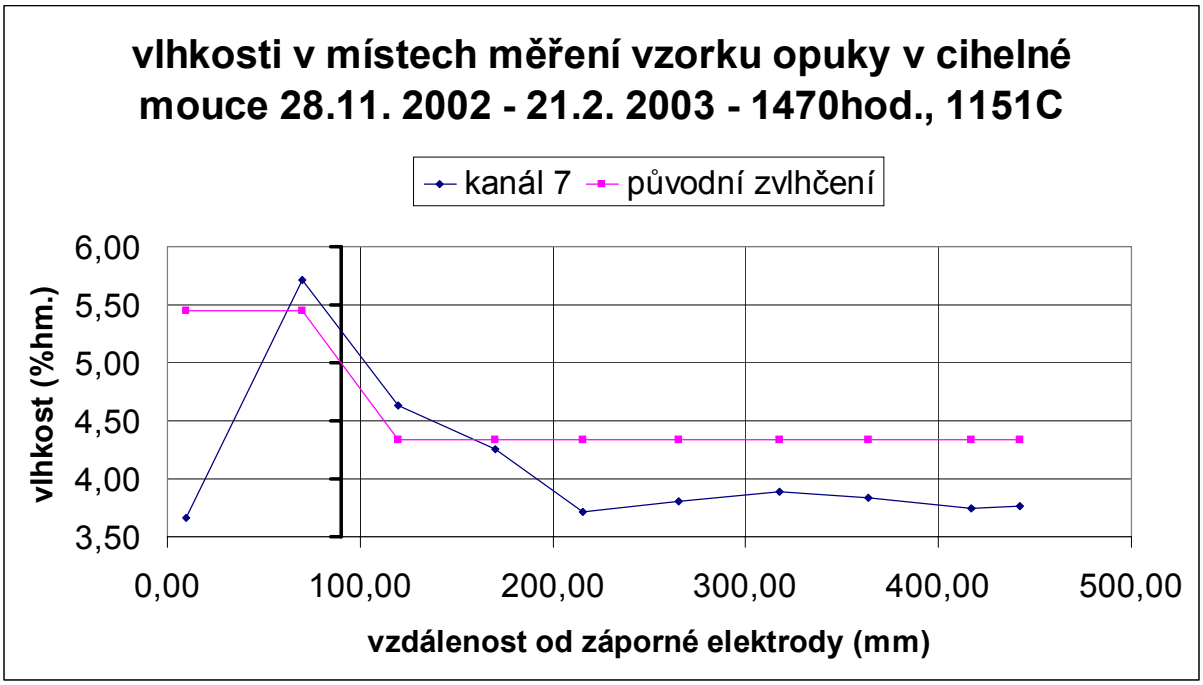
Příloha 4.30


Vzorek 30 změna proudu v čase, opuka (zvlhčeno mix) v cihelné mouce (zvlhčeno SO_4^{2-})
kanál 1
proud (microA)
čas (dny)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85

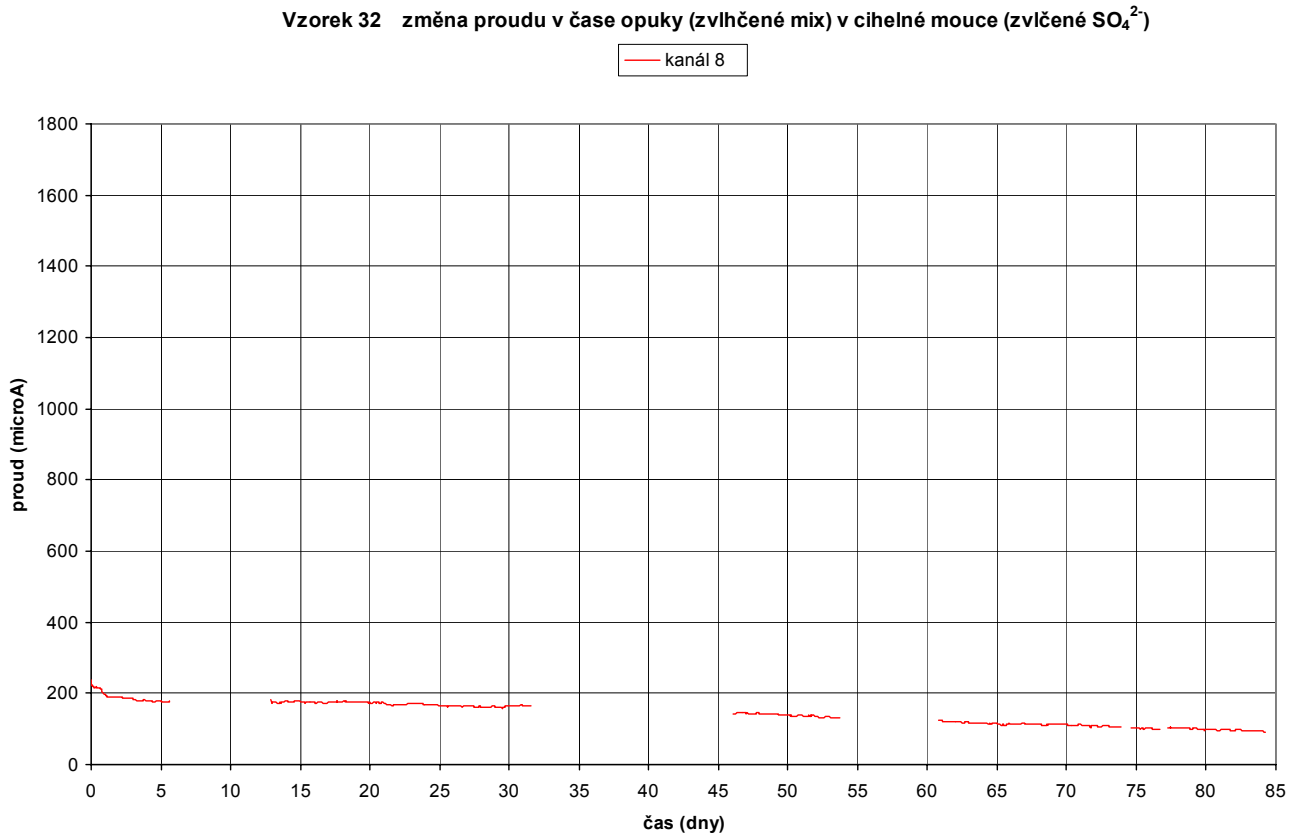

vlhkosti v místech měření vzorku opuky v cihelné mouce 21.11. 2002 - 21.2. 2003 - 2025hodin, 2025hod., 1035C
kanál 1
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
6,50
6,00
5,50
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
-50,00 50,00 150,00 250,00 350,00 450,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

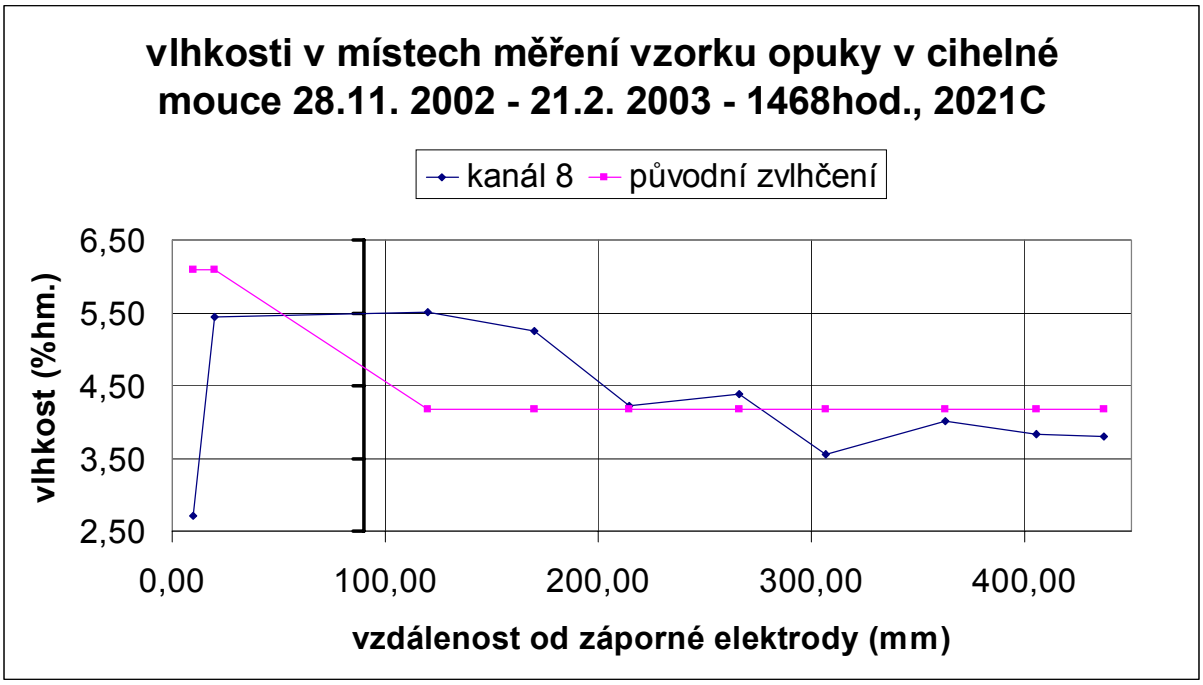
Příloha 4.31


Vzorek 31 změna proudu v čase opuky (zvlhčeno mix) v cihelné mouce (zvlhčeno SO_4^{2-})
kanál 7
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85
čas (dny)

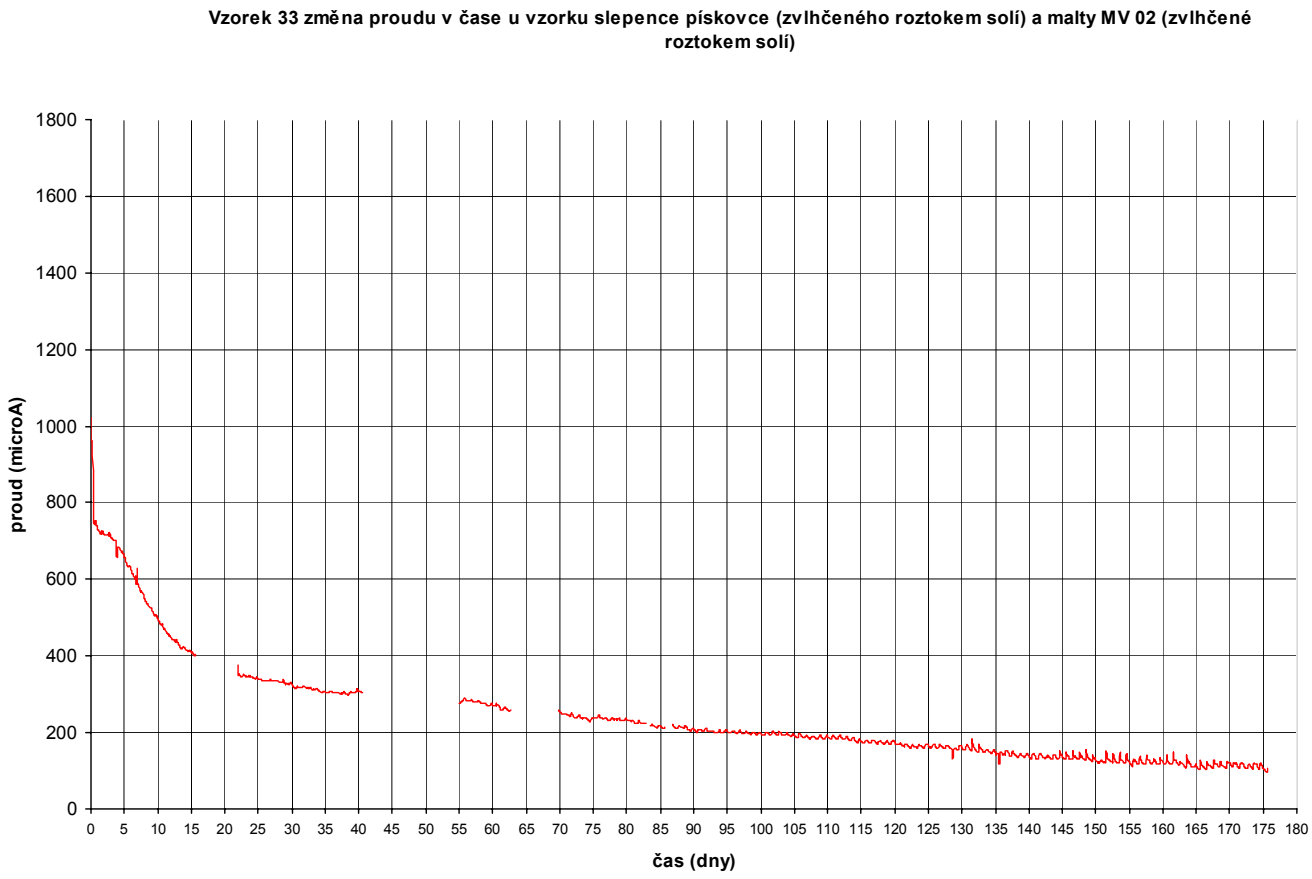

vlhkosti v místech měření vzorku opuky v cihelné mouce 28.11. 2002 - 21.2. 2003 - 1470hod., 1151C
kanál 7
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
6,00
5,50
5,00
4,50
4,00
3,50
0,00 100,00 200,00 300,00 400,00 500,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

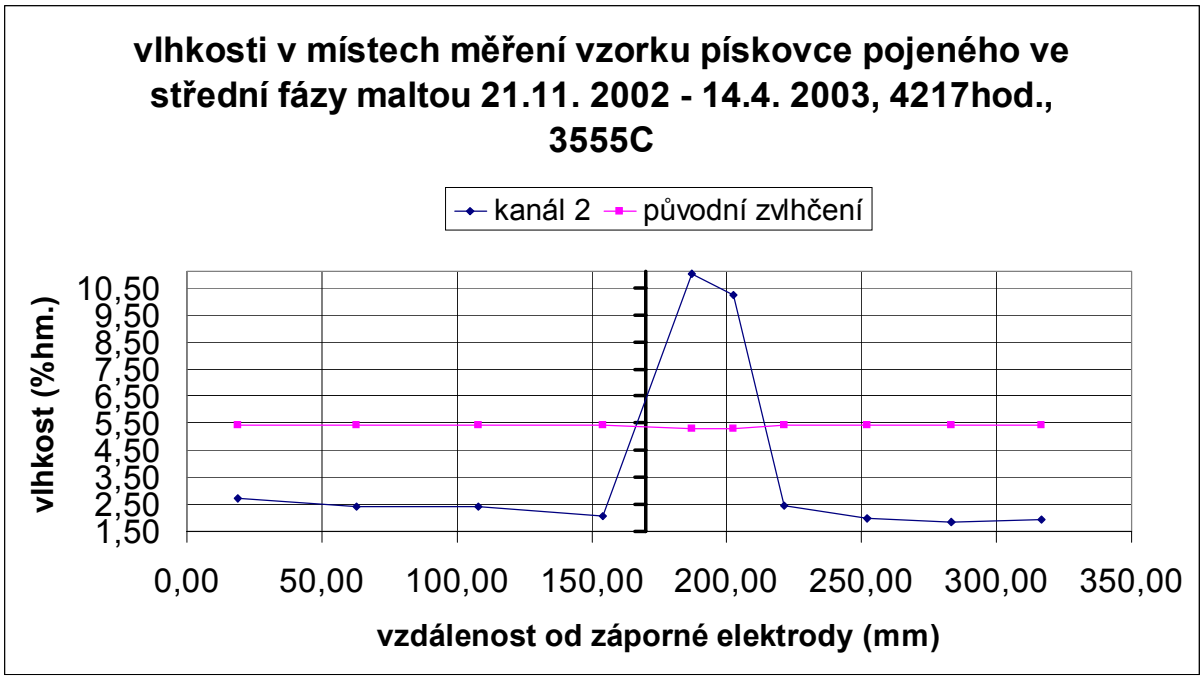
Příloha 4.32


Vzorek 32 změna proudu v čase opuky (zvlhčené mix) v cihelné mouce (zvlčené SO_4^{2-})
kanál 8
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85
čas (dny)

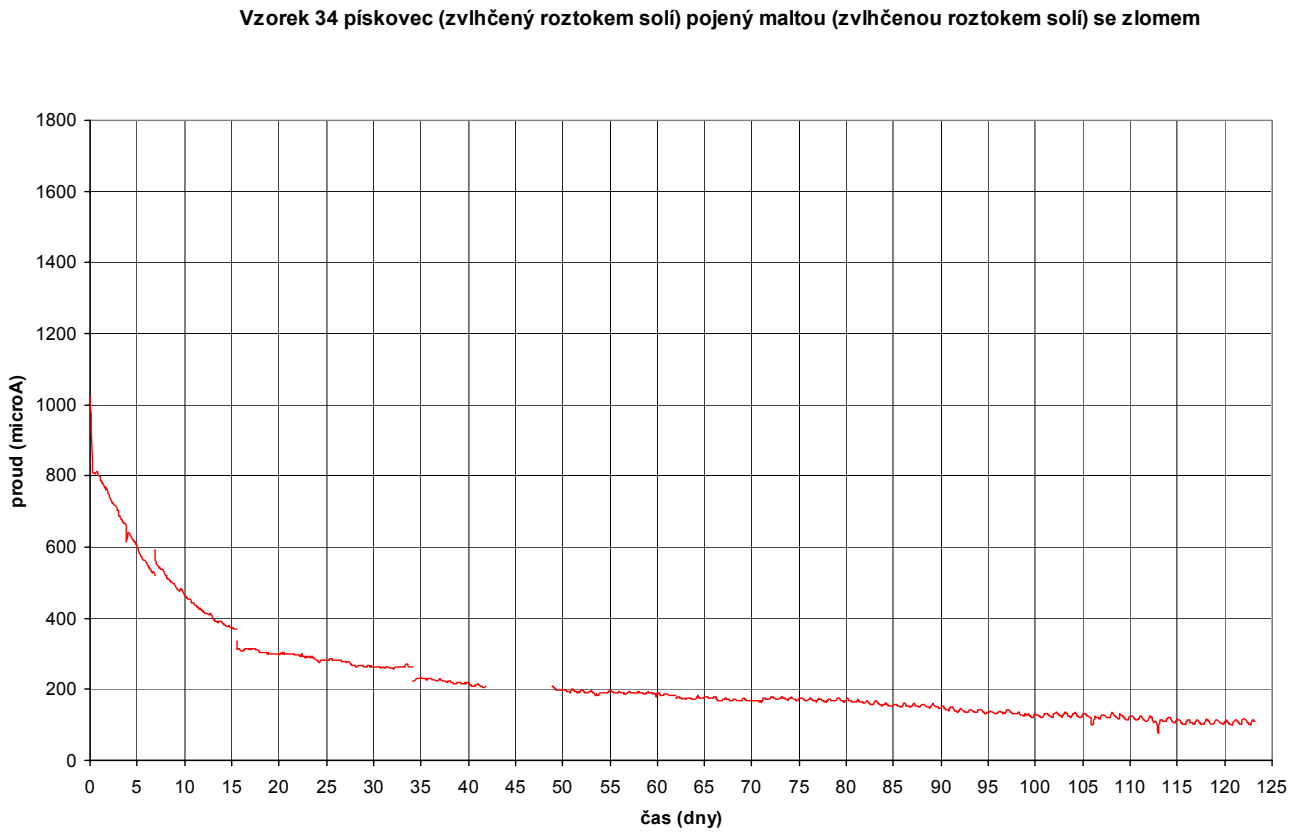

vlhkosti v místech měření vzorku opuky v cihelné mouce 28.11. 2002 - 21.2. 2003 - 1468hod., 2021C
kanál 8
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
6,50
5,50
4,50
3,50
2,50
0,00 100,00 200,00 300,00 400,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

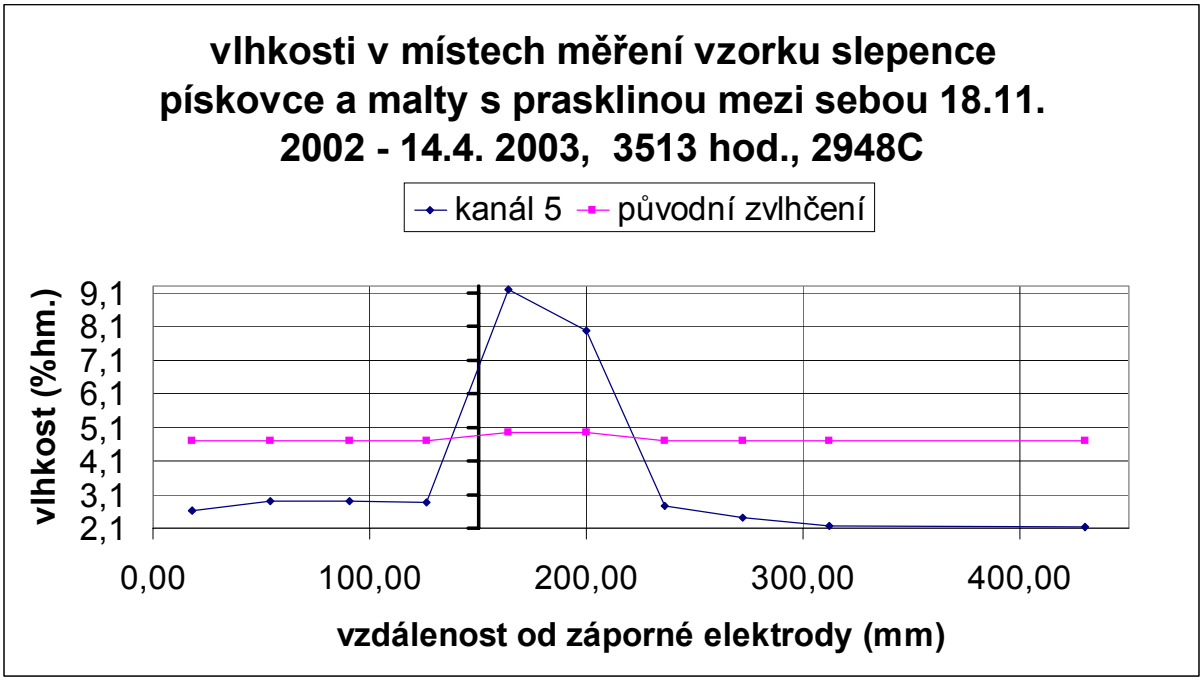
Příloha 4.33


Vzorek 33 změna proudu v čase u vzorku slepence pískovce (zvlhčeného roztokem solí) a malty MV 02 (zvlhčené roztokem solí)
proud (microA)
čas (dny)

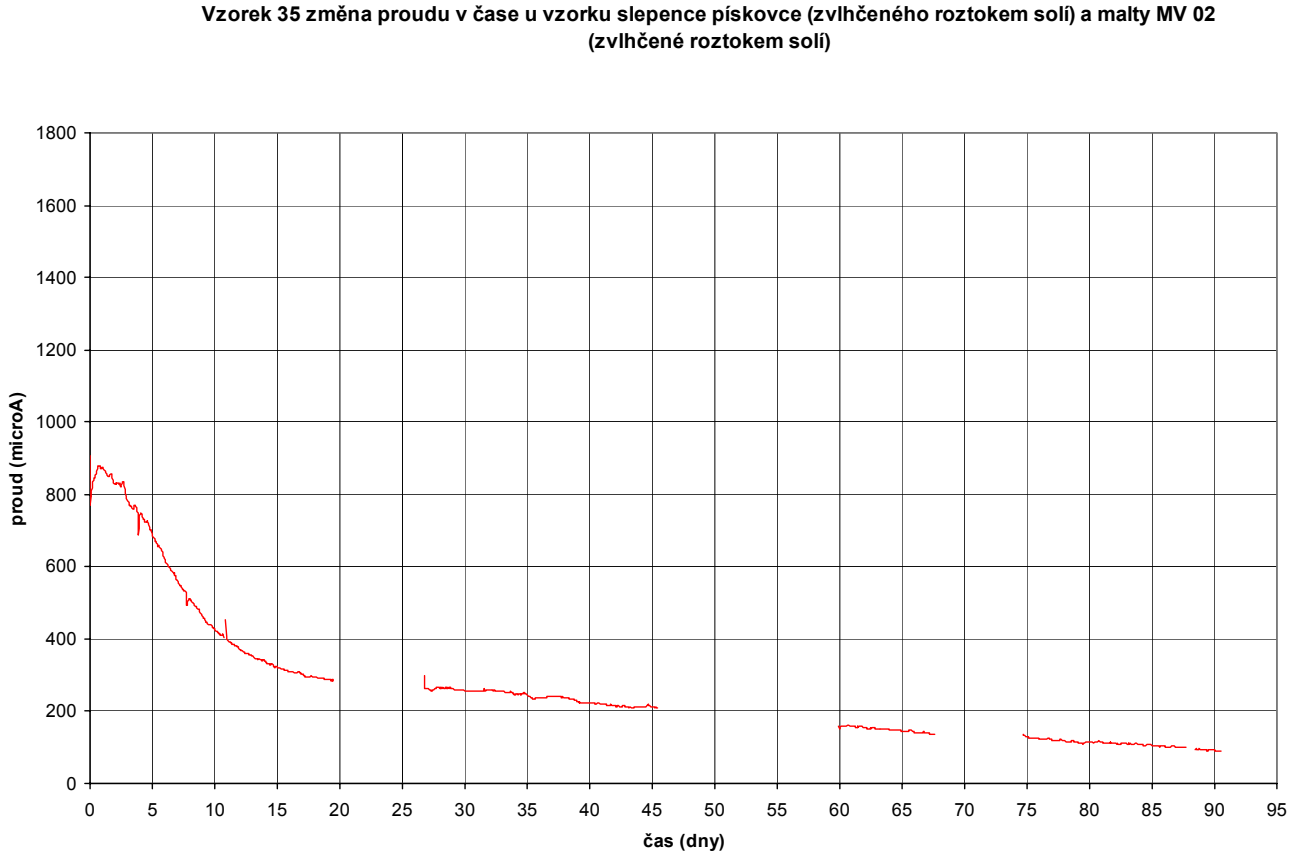

vlhkosti v místech měření vzorku pískovce pojeného ve střední fázy maltou 21.11. 2002 - 14.4. 2003, 4217hod., 3555C
kanál 2
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

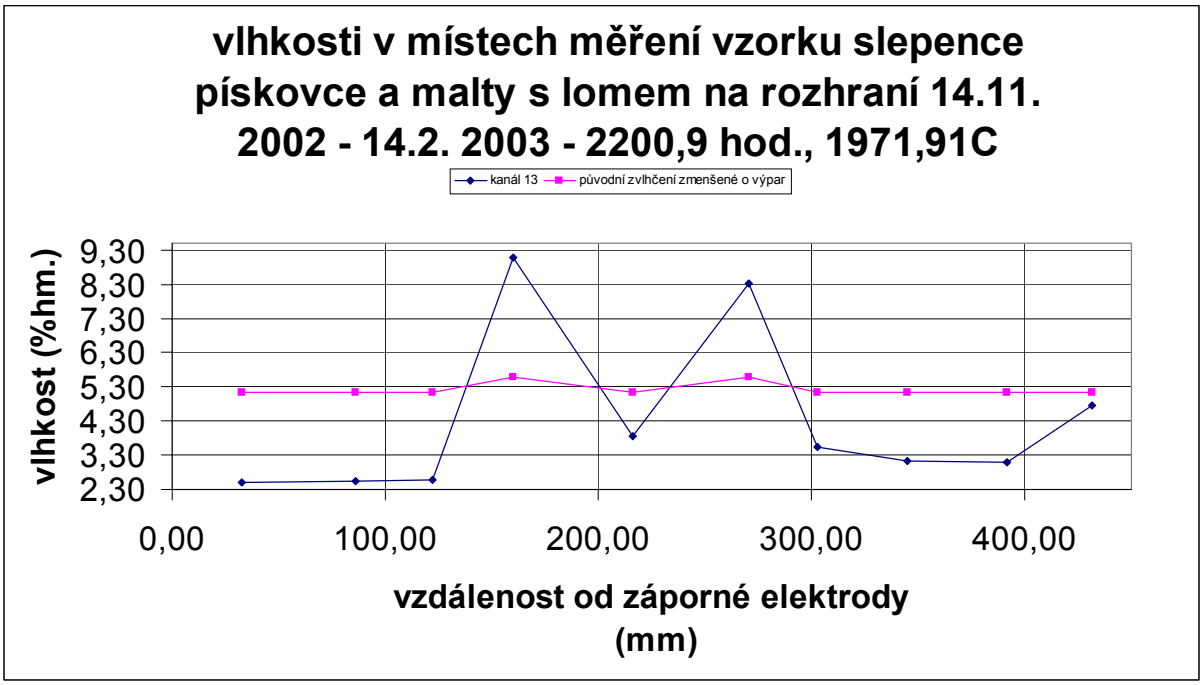
Příloha 4.34


Vzorek 34 pískovec (zvlhčený roztokem solí) pojený maltou (zvlhčenou roztokem solí) se zlomem
proud (microA)
čas (dny)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125

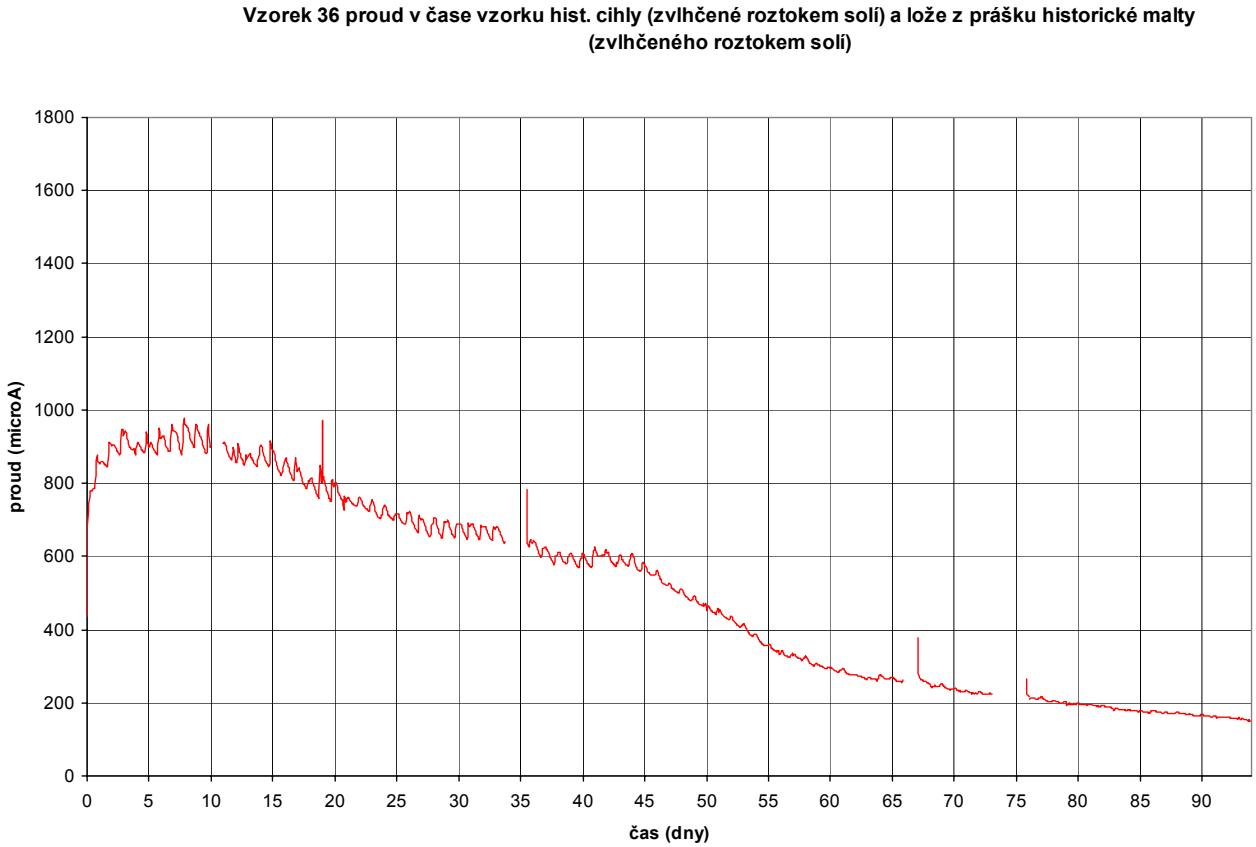

vlhkosti v místech měření vzorku slepence pískovce a malty s prasklinou mezi sebou 18.11. 2002 - 14.4. 2003, 3513 hod., 2948C
kanál 5
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
9,1
8,1
7,1
6,1
5,1
4,1
3,1
2,1
0,00
100,00
200,00
300,00
400,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

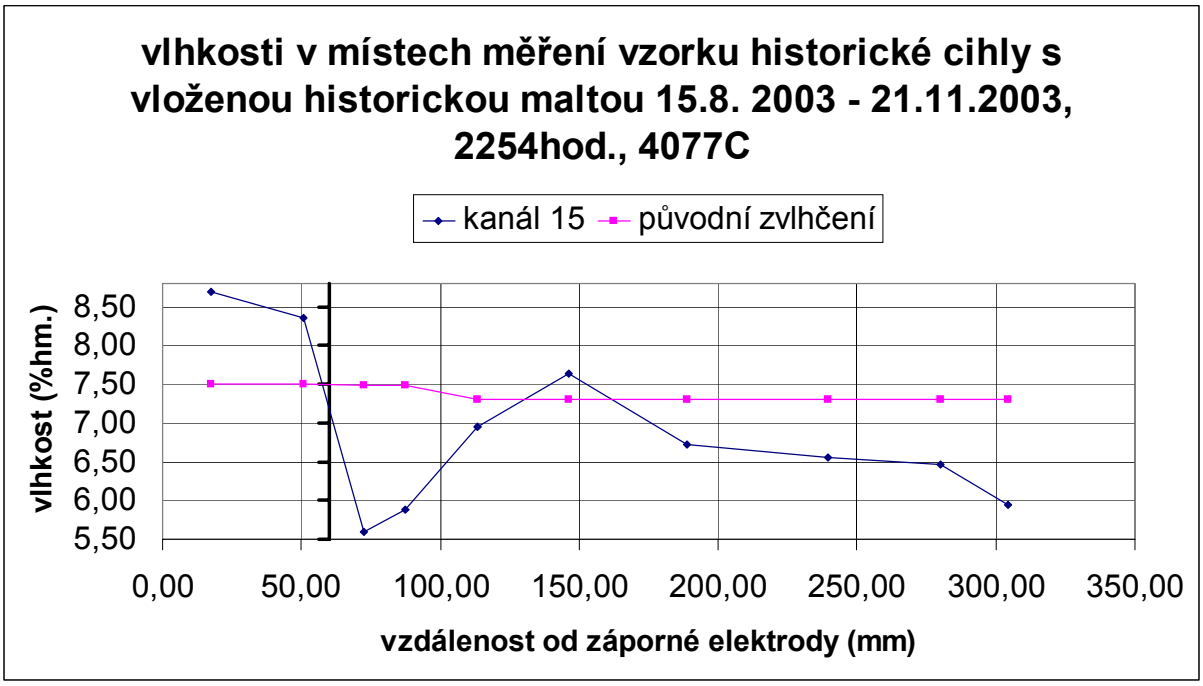
Příloha 4.35


Vzorek 35 změna proudu v čase u vzorku slepence pískovce (zvlhčeného roztokem solí) a malty MV 02 (zvlhčené roztokem solí)
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95
čas (dny)


vlhkosti v místech měření vzorku slepence pískovce a malty s lomem na rozhraní 14.11. 2002 - 14.2. 2003 - 2200,9 hod., 1971,91C
kanál 13
původní zvlhčení zmenšené o výpar
vlhkost (%hm.)
9,30
8,30
7,30
6,30
5,30
4,30
3,30
2,30
0,00 100,00 200,00 300,00 400,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

Příloha 4.36


Vzorek 36 proud v čase vzorku hist. cihly (zvlhčené roztokem solí) a lože z prášku historické malty (zvlhčeného roztokem solí)
proud (microA)
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90
čas (dny)


vlhkosti v místech měření vzorku historické cihly s vloženou historickou maltou 15.8. 2003 - 21.11.2003, 2254hod., 4077C
kanál 15
původní zvlhčení
vlhkost (%hm.)
8,50
8,00
7,50
7,00
6,50
6,00
5,50
0,00 50,00 100,00 150,00 200,00 250,00 300,00 350,00
vzdálenost od záporné elektrody (mm)

Příloha 5.1

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.1 - pískovce

zkoušený materiál	kanál	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí		doba	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	8	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti absolutní	změna vlhkosti relativní	úbytek z pevné fáze		Střední hodnota proudu					před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	%	%	g	V	MikroA	h	g	g	C				
PÍSKOVEC	1 katoda	3,6	0,08	1,97	3,60	5	1026,0	2470,6	0,85	2,75	8854,7	7,55	1,81	záporné hodnoty znamenají pokles pH	
	2		0,12	2,77											
	3		-0,31	-7,19											
	4		-0,30	-7,07											
	5		-0,46	-10,83								7,55	2,12		
	6		-0,30	-7,09											
	7		-0,29	-6,72											
	8		-0,32	-7,43											
	9		-0,59	-13,89											
	10 anoda		-1,01	-23,81								7,55	-4,52		

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků v	7,16
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků	0,30
dtto bez krajních hodnot	4,44
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného v:	0,30
dtto bez krajních hodnot	0,19

relativní	původní vlhkosti	konečné vlhkosti	vzdálenost
1,97	4,25	4,34	18,09325246
2,77	4,25	4,37	48,93479909
-7,19	4,25	3,95	72,05458681
-7,07	4,25	3,95	102,5663381
-10,83	4,25	3,79	137,3995451
-7,09	4,25	3,95	173,6770281
-6,72	4,25	3,97	209,3062926
-7,43	4,25	3,94	243,570887
-13,89	4,25	3,66	270,9325246
-23,81	4,25	3,24	287,8999242

gradient vlhkosti	
relativní všechny	-63,55
bez krajních hodnot	-38,70
konečn všechny	-2,70
bez krajních hodnot	-1,65

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	56,1
celková voda vložená (g)	56,1
voda vypařená (g)	2,748823466
voda rozložená (g)	0,851176534
odpařená a rozložená voda	3,6
voda vložená -(odpařená+rozložená)	52,5
voda v soust. po působení	52,19159808
bilance vody	0,308401922
voda přesunutá z pevné fáze (g)	3,44

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.2 - opuky

zkoušený materiál	kanál	VLHKOST			VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE							pH			
						napětí							pevná fáze		sypká fáze	
	14	rozklad a výpar	změna vlhkosti		úbytek z pevné fáze		Střední hodnota proudu	ková doba elektroosmotického působ		elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		v soustavě	absolutní	relativní												
		g	%	%	g	V	MikroA	h	s	g	g	C				
OPUKA	1 katoda	5,28	1,18	26,98	5,28	5	542,2	2570,4	9253533	0,47	4,81	4924,2	8,11	2,16	záporné hodnoty znamenají pokles pH	
	2		-0,02	0,53												
	3		-0,39	9,02												
	4		-0,57	12,93												
	5		-0,83	18,96									8,11	0,26		
	6		-0,51	11,58												
	7		-0,64	14,76												
	8		-0,64	14,72												
	9		-0,83	19,02												
	10 anoda		-0,84	19,27									8,11	-1,47		

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí cihly nové	6,74
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí cihly nové	0,58
dtto bez krajních hodnot	5,59
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,58
dtto bez krajních hodnot	0,24

relatvní změ	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenost
26,98	4,37	5,55	16,25600442
0,53	4,37	4,35	58,51332204
9,02	4,37	3,98	103,0307219
12,93	4,37	3,80	125,3619933
18,96	4,37	3,54	152,3067353
11,58	4,37	3,86	179,9979265
14,76	4,37	3,72	199,3122991
14,72	4,37	3,73	236,0438193
19,02	4,37	3,54	264,7613782
19,27	4,37	3,53	278,2596676

gradient vlhkosti			
	relativní	všechny	0,014037352	14,04
		bez krajních hodnot	0,067907928	67,91
	konečn	všechny	-0,005636022	-5,64
		bez krajních hodnot	-0,002967194	-2,97

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	63,03
celková voda vložená (g)	63,03
voda vypařená (g)	4,81
voda rozložená (g)	0,47
odpařená a rozložená voda	5,28
voda vložená -(odpařená+rozložená)	57,75
voda v soust. po působení	58,11333156
bilance vody	-0,36
voda přesunutá z pevné fáze (g)	3,44

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.3 - historické cihly

zkoušený materiál	kanál	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY DO SYPKÉ FÁZE	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	11	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti		úbytek z pevné fáze / přírůstek v sypké fázi	napětí	Střední hodnota proudu	ba elektroosmotické	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
			absolutní	relativní											
		g	%	%	g	V	MikroA	h	g	g	C				
HISTORICKÁ CIHLA	1 katoda	7,60	-0,50	-6,15	7,60	5	388,2	2811,4	0,37	7,23	3797,9	sypká fáze záporné hodnoty znamenají pokles pH		8,13	1,64
	2		-0,90	-11,01											
	3		-0,95	-11,62											
	4		-0,80	-9,78											
	5		-1,22	-14,91										8,13	1,64
	6		-1,17	-14,35											
	7		-1,07	-13,11											
	8		-1,29	-15,87											
	9anoda		-1,24	-15,24										8,13	-3,86
														8,13	-3,86

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	2,96				
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,24	gradient	relativní	-0,03159	-31,59
dtto bez krajních hodnot	2,08	vlhkosti		-0,025654	-25,65
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,24		konečné	-0,002575	-2,57
dtto bez krajních hodnot	0,17			-0,002091	-2,09

relativní	vlhkosti původní	konečné	vzdálenost
-6,15	8,15	7,65	21,72
-11,01	8,15	7,25	62,35
-11,62	8,15	7,20	100,80
-9,78	8,15	7,35	136,20
-14,91	8,15	6,94	170,65
-14,35	8,15	6,98	200,98
-13,11	8,15	7,08	221,10
-15,87	8,15	6,86	247,73
-15,24	8,15	6,91	279,18

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	63,10
celková voda vložená (g)	63,10
voda vypařená (g)	7,23
voda rozložená (g)	0,37
odpařená a rozložená voda	7,60
voda vložená -(odpařená+rozložená)	55,50
voda v soust. po působení	55,458405
bilance vody	0,04
voda přesunutá z pevné fáze (g)	3,44

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.4 - historické cihly

zkoušený materiál	kanál 10	VLHKOST rozklad a výpar v soustavě g	VLHKOST změna vlhkosti absolutní %	VLHKOST změna vlhkosti relativní %	PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR úbytek z pevné fáze g	ELEKTRICKÉ POLE napětí V	ELEKTRICKÉ POLE Střední hodnota proudu MikroA	ELEKTRICKÉ POLE doba elektroosmotického h	ELEKTRICKÉ POLE elektrolytický rozklad H_2O g	ELEKTRICKÉ POLE výpar g	ELEKTRICKÉ POLE přenesený náboj C	pH pevná fáze před měř.	pH pevná fáze delta pH	pH sypká fáze před měř.	pH sypká fáze delta pH
HISTORICKÁ CIHLA	1 katoda		6,24	93,09										8,13	2,85
	2		-0,80	-11,92								záporné hodnoty znamenají pokles pH			
	3		-3,09	-46,14											
	4		-3,11	-46,37											
	5		-0,74	-11,04										8,13	0,65
	6	7,19	-0,44	-6,53	7,19	5	224	2826,8	0,21	6,98	2237				
	7		-1,76	-26,19											
	8		-3,13	-46,73											
	9		0,44	6,53											
	10 anoda		6,88	102,54										8,13	-2,96

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	51,65
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	3,46
dtto bez krajních hodnot	19,56
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	3,46
dtto bez krajních hodnot	1,31

	VLHKOSTI		
RELATIVNÍ	PŮVODN	KONEČNÁ	VZDÁLENOSTI
93,09	6,70	12,95	8,66
-11,92	6,70	5,91	27,14
-46,14	6,70	3,61	59,44
-46,37	6,70	3,60	104,51
-11,04	6,70	5,96	142,32
-6,53	6,70	6,27	171,74
-26,19	6,70	4,95	201,16
-46,73	6,70	3,57	232,09
6,53	6,70	7,14	261,59
102,54	6,70	13,58	274,12

GRADIENT VLHKOSTI		
všechny	0,034081437	34,08
bez krajních hodnot	0,06808227	68,08
všechny	0,002285143	2,29
bez krajních hodnot	0,004564883	4,56

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	50,79
celková voda vložená (g)	50,79
voda vypařená (g)	6,98
voda rozložená (g)	0,21
odpařená a rozložená voda	7,19
voda vložená -(odpařená+rozložená)	43,60
voda v soust. po působení	43,67794784
bilance vody	-0,08
voda přesunutá z pevné fáze (g)	7,63

Příloha 5.5

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.5 - historické cihly označené 2 REISER

zkoušený materiál	kanál 12	VLHKOST rozklad a výpar v soustavě g	VLHKOST změna vlhkosti absolutní %	VLHKOST změna vlhkosti relativní %	PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR úbytek z pevné fáze g	ELEKTRICKÉ POLE napětí V	ELEKTRICKÉ POLE Střední hodnota proudu MikroA	ELEKTRICKÉ POLE oba elektroosmotického h	ELEKTRICKÉ POLE elektrolytický rozklad H_2O g	ELEKTRICKÉ POLE výpar g	ELEKTRICKÉ POLE přenesený náboj C	pH pevná fáze před měř.	pH pevná fáze delta pH	pH sypká fáze před měř.	pH sypká fáze delta pH
HISTORICKÁ CIHLA	1 katoda	7,50	0,19	2,15	7,50	5	480	3236,0	0,52	6,98	5510	záporné hodnoty znamenají pokles pH		8,32	2,55
	2		0,03	0,35											
	3		-0,22	-2,44											
	4		-0,28	-3,10											
	5		-0,97	-10,85										8,32	1,67
	6		-1,21	-13,53											
	7		-1,66	-18,46											
	8		-1,44	-16,02											
	9		-1,45	-16,20											
	10 anoda													8,32	-3,67

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	7,48
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,67
dtto bez krajních hodnot	6,81
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,65
dtto bez krajních hodnot	3,25

lineární regrese	všechny	-0,085119895	-85,12
	bez krajních hodnot	-0,102366717	-102,37
	všechny	-0,007638664	-7,64
	bez krajních hodnot	-0,007507007	-7,51

relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
2,15	8,97	9,17	17,01990804
0,35	8,97	9,01	49,32887479
-2,44	8,97	8,76	77,86294161
-3,10	8,97	8,70	102,9188255
-10,85	8,97	8,00	127,8758037
-13,53	8,97	7,76	160,9100788
-18,46	8,97	7,32	199,565493
-16,02	8,97	7,54	239,8693352
-16,20	8,97	7,52	272,9036102
	8,97		

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	78,02
celková voda vložená (g)	78,02
voda vypařená (g)	6,98
voda rozložená (g)	0,52
odpařená a rozložená voda	7,50
voda vložená -(odpařená+rozložená)	70,52
voda v soust. po působení	70,98501726
bilance vody	-0,47
voda přesunutá z pevné fáze (g)	7,63

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.6 - historické cihly 1

zkoušený materiál	kanál	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY DO SYPKÉ FÁZE	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	16	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze / přírůstek v sypké fázi g	napětí V	Střední hodnota proudu MikroA	oba elektroosmotického h	elektrolytický rozklad H_2O g	výpar g	přenesený náboj C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
HISTORICKÁ CIHLA	1 katoda		-1,36	-0,11										7,94	2,89
	2		-1,48	-0,11								záporné hodnoty znamenají pokles pH			
	3		-0,51	-0,04											
	4		0,79	0,06											
	5		0,08	0,01	8,25	5	275	3522,4	0,32	7,93	3462			7,94	-0,18
	6	8,25	-1,31	-0,10											
	7		-0,71	-0,05											
	8		-1,78	-0,14											
	9		-1,72	-0,13											
	10 anoda		-0,87	-0,07										7,94	-2,83

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,06
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,78
dtto bez krajních hodnot	0,07
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,78
dtto bez krajních hodnot	0,86

gradient vlhkosti			
	všechny	-0,000179132	-0,18
	bez krajních hodnot	-0,000491894	-0,49
	všechny	-0,002300869	-2,30
	bez krajních hodnot	-0,006318163	-6,32

vlhkosti relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
-0,11	12,84	11,49	16,23
-0,11	12,84	11,37	41,86
-0,04	12,84	12,33	66,73
0,06	12,84	13,64	90,57
0,01	12,84	12,92	113,7
-0,10	12,84	11,54	140,2
-0,05	12,84	12,14	170,8
-0,14	12,84	11,06	206,9
-0,13	12,84	11,12	246,2
-0,07	12,84	11,98	279,5

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	103,54
celková voda vložená (g)	103,54
voda vypařená (g)	7,93
voda rozložená (g)	0,32
odpařená a rozložená voda - ubytá	8,25
voda vložená -ubytá	95,29
voda v soust. po působení	95,405
bilance vody	-0,12
voda přesunutá z pevné fáze (g)	2,4

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.7 - nové cihly ozn. 71

zkoušený materiál	kanál	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí		oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	5	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	V	Střední hodnota proudu MikroA	h	H_2O g	g	C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
NOVÁ CIHLA	1 katoda	6,20	0,15	2,04	6,20	5	342	4540,0	0,52	5,68	5551	záporné hodnoty znamenají pokles pH		9,99	0,93
	2		-0,22	-3,14											
	3		-0,11	-1,55											
	4		-0,32	-4,57											
	5		-0,62	-8,76										9,99	-0,38
	6		-0,54	-7,63											
	7		-0,62	-8,67											
	8		-0,98	-13,72											
	9		-1,18	-16,59											
	10 anoda		-1,77	-24,91										9,99	-4,84

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí	7,52
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,53
dtto bez krajních hodnot	4,80
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,53
dtto bez krajních hodnot	0,34

gradient vlhkosti	všechny	-0,0709	-70,90
	bez krajních hodnot	-0,0539	-53,85
	všechny	-0,005	-5,04
	bez krajních hodnot	-0,0038	-3,83

vlhkosti relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
2,04	7,11	7,25	9,076
-3,14	7,11	6,89	27,72
-1,55	7,11	7,00	54,3
-4,57	7,11	6,78	90,97
-8,76	7,11	6,49	126,8
-7,63	7,11	6,57	165,9
-8,67	7,11	6,49	207,4
-13,72	7,11	6,13	246,2
-16,59	7,11	5,93	276,2
-24,91	7,11	5,34	294,8

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	69,28
celková voda vložená (g)	69,28
voda vypařená (g)	5,68
voda rozložená (g)	0,52
odpařená a rozložená voda	6,20
voda vložená -(odpařená+rozložená)	63,08
voda v soust. po působení	63,1
bilance vody	-0,02
voda přesunutá z pevné fáze (g)	11,2

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.8 - nové cihly ozn.70

zkoušený materiál	kanál	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
		rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti		úbytek z pevné fáze	napětí	Střední hodnota proudu	oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
	1	g	absolutní %	relativní %	g	V	MikroA	h	g	g	C				
NOVÁ CIHLA	1 katoda	6,17	-0,05	-0,86	6,17	5	351	1984,2	0,23	5,94	2611				
	2		-0,17	-2,79											
	3		-0,37	-6,19											
	4		-0,51	-8,60											
	5		-0,51	-8,60											
	6		-0,61	-10,27											
	7		-0,69	-11,56											
	8		-0,65	-10,89											
	9		-0,81	-13,59											
	10		-1,08	-18,18											

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	4,79
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,29
dtto bez krajních hodnot	3,15
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,29
dtto bez krajních hodnot	0,19

gradient vlhkosti	všechny	-0,047215078	-47,22
	bez krajních hodnot	-0,036670365	-36,67
	všechny	-0,002809951	-2,81
	bez krajních hodnot	-0,002182394	-2,18

relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
-0,86	5,95	5,90	10,39201381
-2,79	5,95	5,79	32,19794899
-6,19	5,95	5,58	59,66367989
-8,60	5,95	5,44	93,05647465
-8,60	5,95	5,44	125,4116402
-10,27	5,95	5,34	161,6343328
-11,56	5,95	5,26	199,4449126
-10,89	5,95	5,30	238,6704412
-13,59	5,95	5,14	274,5315358
-18,18	5,95	4,87	296,6519041

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	58,27
celková voda vložená (g)	58,27
voda vypařená (g)	5,94
voda rozložená (g)	0,23
odpařená a rozložená voda	6,17
voda vložená -(odpařená+rozložená)	52,10
voda v soust. po působení	51,9
bilance vody	0,20
voda přesunutá z pevné fáze (g)	11,2

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.9 - nové cihly ozn. 68

zkoušený materiál	kanál	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí		oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	2	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	V	Střední hodnota proudu MikroA	h	H_2O g	g	C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
NOVÁ CIHLA	1 katoda	2,60	0,32	4,43	2,60	5	501	1940,3	0,33	2,27	3670				
	2		0,15	2,09											
	3		0,02	0,25											
	4		-0,37	-5,21											
	5		-0,27	-3,82											
	6		-0,43	-5,97											
	7		-0,36	-5,07											
	8		-0,31	-4,39											
	9		-0,57	-7,97											
	10		-0,45	-6,37											
	11 anoda		-0,28	-3,95											

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	3,67
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,26
dtto bez krajních hodnot	2,88
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,26
dtto bez krajních hodnot	0,22

relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenost
4,43	7,13	7,45	10,37379676
2,09	7,13	7,28	32,22498569
0,25	7,13	7,15	62,66845309
-5,21	7,13	6,76	98,66142879
-3,82	7,13	6,86	135,9156564
-5,97	7,13	6,71	178,0099381
-5,07	7,13	6,77	216,1785733
-4,39	7,13	6,82	245,6603361
-7,97	7,13	6,56	263,8854259
-6,37	7,13	6,68	268,993496
-3,95	7,13	6,85	275,8357875

gradient vlhkosti	všechny	-0,032177014	-32,18
	bez krajních hodnot	-0,030347864	-30,35
	všechny	-0,002294558	-2,29
	bez krajních hodnot	-0,00216412	-2,16

voda vložená do sypké fáze (g)	0,00
vložená voda do pevné fáze (g)	69,00
celková voda vložená (g)	69,00
voda vypařená (g)	2,27
voda rozložená (g)	0,33
odpařená a rozložená voda	2,60
voda vložená -(odpařená+rozložená)	66,40
voda v soust. po působení	66,42140155
bilance vody	-0,02
voda přesunutá z pevné fáze (g)	1,23

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.10 - nové cihly ozn. 67

zkoušený materiál	kanál	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí		oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	3	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	V	Střední hodnota proudu MikroA	h	g	g	C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
NOVÁ CIHLA	1 katoda	3,48	-0,14	-2,33	3,48	5	403	1946,2	0,26	3,22	2946				
	2		0,10	1,68											
	3		-0,07	-1,20											
	4		-0,42	-6,86											
	5		-0,45	-7,30											
	6		-0,41	-6,68											
	7		-0,35	-5,77											
	8		-0,43	-6,98											
	9		-0,43	-7,04											
	10		0,19	3,06											

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze 3,74

směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze 0,23
dtto bez krajních hodnot 3,15
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení 0,23
dtto bez krajních hodnot 0,19

gradient vlhkosti	všechny	-0,024319847	-24,32
	bez krajních hodnot	-0,031480867	-31,48
	všechny	-0,001483331	-1,48
	bez krajních hodnot	-0,0019201	-1,92

relativní vlkosti	původní vlkosti	konečné vlkosti	vzdálenost
-2,33	6,10	5,96	11,78375192
1,68	6,10	6,20	34,40668114
-1,20	6,10	6,03	65,26315256
-6,86	6,10	5,68	107,5804628
-7,30	6,10	5,65	149,220828
-6,68	6,10	5,69	187,2245808
-5,77	6,10	5,75	227,1174828
-6,98	6,10	5,67	266,7899842
-7,04	6,10	5,67	295,0803612
3,06	6,10		

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	59,48
celková voda vložená (g)	59,48
voda vypařená (g)	3,22
voda rozložená (g)	0,26
odpařená a rozložená voda	3,48
voda vložená -(odpařená+rozložená)	56,00
voda v soust. po působení	56,06034618
bilance vody	-0,06
voda přesunutá z pevné fáze (g)	8,6

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.11

zkoušený materiál	kanál	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí		doba elektroosmotického	elektrolytický rozklad	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	2	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti absolutní	změna vlhkosti relativní	úbytek z pevné fáze		Střední hodnota proudu		H_2O			před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	%	%	g	V	MikroA	h	g	g	C				
MALTA VC	1 katoda mínus	2,35	-1,91	-23,83	2,24	5	109	1562,413	0,06	2,29	425				
	2		-1,20	-14,98											
	3		-0,77	-9,62											
	4		-0,29	-3,63											
	5		-0,11	-1,39										12,44	-0,7
	6		0,28	3,47											
	7		0,31	3,85											
	8		0,64	7,96											
	9		0,83	10,33											
	10 anoda plus		0,91	11,33										12,44	-0,95

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	10,94
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,88
dtto bez krajních hodnot	8,12
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,88
dtto bez krajních hodnot	0,65

relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenost
-23,83	8,02	6,11	13
-14,98	8,02	6,82	37
-9,62	8,02	7,25	84
-3,63	8,02	7,73	142
-1,39	8,02	7,91	192
3,47	8,02	8,3	243
3,85	8,02	8,33	290
7,96	8,02	8,66	328
10,33	8,02	8,85	351
11,33	8,02	8,93	375

gradient vlhkosti	všechny	0,08476259	84,76
	bez krajních hodnot	0,07483419	74,83
	všechny	0,00679912	6,80
	bez krajních hodnot	0,00600273	6,00

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	104,35
celková voda vložená (g)	104,35
voda vypařená (g)	2,29
voda rozložená (g)	0,06
odpařená a rozložená voda	2,35
voda vložená -(odpařená+rozložená)	102,00
voda v soust. po působení	102,039512
bilance vody	-0,04
voda přesunutá z pevné fáze (g)	4,76

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.12

zkoušený materiál	kanál	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	9	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	napětí V	Střední hodnota proudu MikroA	oba elektroosmotického h	elektrolytický rozklad H_2O g	výpar g	přenesený náboj C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
MALTA VC	1 katoda mínus		-0,07	-0,67										11,62	0,35
	2		0,09	0,78											
	3		0,73	6,56											
	4		0,24	2,13											
	5		-0,03	-0,31										11,62	0,4
	6	3,71	-0,13	-1,21	4,52	5	114,93	2085,165	0,08	3,63	822,24				
	7		-0,10	-0,94											
	8		-0,42	-3,83											
	9		-0,39	-3,56											
	10 anoda plus		-2,72	-24,62										11,62	0,36

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze 7,87
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí 0,87
dtto bez krajních hodnot 3,12

směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení 0,87
dtto bez krajních hodnot 0,35

relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenost
-0,67	11,06	10,99	20
0,78	11,06	11,15	54
6,56	11,06	11,79	86
2,13	11,06	11,3	122
-0,31	11,06	11,03	161
-1,21	11,06	10,93	207
-0,94	11,06	10,96	250
-3,83	11,06	10,64	285
-3,56	11,06	10,67	321
-24,62	11,06	8,34	363

gradient vlhkosti	všechny	-0,0490101	-49,01
	bez krajních hodnot	-0,0283338	-28,33
	všechny	-0,0054226	-5,42
	bez krajních hodnot	-0,0031349	-3,13

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	133,49
celková voda vložená (g)	133,49
voda vypařená (g)	3,63
voda rozložená (g)	0,08
odpařená a rozložená voda	3,71
voda vložená -(odpařená+rozložená)	129,78
voda v soust. po působení	129,962304
bilance vody	-0,18
voda přesunutá z pevné fáze (g)	

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.13 - nové cihly ozn. 78

zkoušený materiál	kanál	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí		oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	1	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti absolutní	změna vlhkosti relativní	úbytek z pevné fáze		Střední hodnota proudu		H_2O			před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	%	%	g	V	MikroA	h	g	g	C				
NOVÁ CIHLA	1 katoda	11,20	-1,37	-14,45	11,20	5	107	4511,5	0,16	11,04	1737	sypká fáze záporné hodnoty znamenají pokles pH		9,72	0,19
	2		-0,96	-10,11											
	3		-1,06	-11,26											
	4		-0,91	-9,61											
	5		-0,87	-9,18										9,72	-1,4
	6		-0,71	-7,53											
	7		-0,77	-8,15											
	8		-0,93	-9,81											
	9		-1,20	-12,67											
	10 anoda		-2,47	-26,16										9,72	-3,27

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí	5,14
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,49
dtto bez krajních hodnot	1,53
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,49
dtto bez krajních hodnot	0,14

gradient vlhkosti	všechny	-0,017137825	-17,14
	bez krajních hodnot	-0,000549855	-0,55
	všechny	-0,001619894	-1,62
	bez krajních hodnot	-5,19732E-05	-0,05

vlhkosti relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
-14,45	9,45	8,09	15,422496
-10,11	9,45	8,50	38,090566
-11,26	9,45	8,39	64,720812
-9,61	9,45	8,54	103,50594
-9,18	9,45	8,58	139,6391
-7,53	9,45	8,74	180,93413
-8,15	9,45	8,68	220,2244
-9,81	9,45	8,52	251,43246
-12,67	9,45	8,25	274,60567
-26,16	9,45	6,98	293,05899

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	91,96
celková voda vložená (g)	91,96
voda vypařená (g)	11,04
voda rozložená (g)	0,16
odpařená a rozložená voda	11,20
voda vložená -(odpařená+rozložená)	80,76
voda v soust. po působení	81
bilance vody	-0,24
voda přesunutá z pevné fáze (g)	11,2

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.14 - nové cihly

zkoušený materiál	kanál	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí		oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	3	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti absolutní	změna vlhkosti relativní	úbytek z pevné fáze		Střední hodnota proudu		H_2O			před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	%	%	g	V	MikroA	h	g	g	C				
NOVÁ CIHLA	1 katoda	8,60	-1,72	-15,96	8,60	5	138	4470,7	0,21	8,39	2239	záporné hodnoty znamenají pokles pH		9,99	0,3
	2		-0,75	-6,98											
	3		-0,99	-9,17											
	4		-0,88	-8,20											
	5		-0,78	-7,30										9,99	-1,04
	6		-0,73	-6,83											
	7		-0,69	-6,38											
	8		-0,73	-6,81											
	9		-1,05	-9,78											
	10 anoda		-1,39	-12,96										9,99	-4,95

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí	2,98
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,32
dtto bez krajních hodnot	1,16
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,32
dtto bez krajních hodnot	0,12

lineární regrese	všechny	0,0047	4,73
	bez krajních hodnot	-0,0002	-0,18
	všechny	0,0005	0,51
	bez krajních hodnot	-2E-05	-0,02

relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
-15,96	10,75	9,03	12,48024474
-6,98	10,75	10,00	34,19931557
-9,17	10,75	9,76	62,68308618
-8,20	10,75	9,87	100,9694079
-7,30	10,75	9,97	137,9247122
-6,83	10,75	10,02	175,694286
-6,38	10,75	10,06	212,6652494
-6,81	10,75	10,02	247,6005393
-9,78	10,75	9,70	277,3683501
-12,96	10,75	9,36	294,6715752

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	103,94
celková voda vložená (g)	103,94
voda vypařená (g)	8,39
voda rozložená (g)	0,21
odpařená a rozložená voda	8,60
voda vložená -(odpařená+rozložená)	95,34
voda v soust. po působení	94,2
bilance vody	1,14
voda přesunutá z pevné fáze (g)	8,6

zkoušený materiál	kanál	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	1	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	napětí V	Střední hodnota proudu MikroA	ová doba elektroosmotického působ h	elektrolytický rozklad H_2O g	výpar g	přenesený náboj C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
PÍSKOVEC	1 katoda		0,98	15,55								sypká fáze		8,695	1,325
	2		-0,39	-6,22	sypká							záporné hodnoty znamenají pokles pH			
	3		-0,46	-9,03	pevná							pevná fáze			
	4		-0,18	-3,49											
	5		-0,36	-7,05	**14,37**	**5**	**543,449**	**1441,715556**	**0,26**	**5,59**	**2796,6**				
	6	**5,85**	-0,57	-11,20	**8,52**										
	7		-0,57	-11,20											
	8		-0,68	-13,38											
	9		-0,86	-16,94											
	10 anoda		-0,81	-15,95										7,55	-4,40

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	4,20
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,21
dtto bez krajních hodnot	4,32
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,21
dtto bez krajních hodnot	0,22

relativní	původní	vlhkost konečná	vzdálenost	
-9,03	5,06	4,6	170,0901398	
-3,49	5,06	4,88	204,3206535	
-7,05	5,06	4,7	243,0494005	
-11,20	5,06	4,49	280,9752152	
-11,20	5,06	4,49	310,8399964	
-13,38	5,06	4,38	347,9379639	
-16,94	5,06	4,2	390,3167125	
-15,95	5,06	4,25	435,1269079	
gradient vlhkosti	relativní	všechny	-0,043088336	-43,09
		bez krajních hodnot	-0,068043584	-68,04
	konečné	všechny	-0,00217879	-2,18
		bez krajních hodnot	-0,003440669	-3,44

voda vložená do sypké fáze (g)	35,2		
vložená voda do pevné fáze (g)	66,9	voda v sypké	
celková voda vložená (g)	102,1	vloženo	35,1739591
voda vypařená (g)	5,6	konečný stav	36,8204719
voda rozložená (g)	0,3	rozdíl	1,64651275
odpařená a rozložená voda - ubytá	5,8		
voda vložená -ubytá	96,2	výpar	5,58689736
voda v soust. po působení	96,2	chci kladné	7,23341011
bilance vody	0,0		
voda přesunutá z pevné	8,52-14,37		

Příloha 5.15

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.3 - pískovce v křemenné mouce

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí		oba elektroosmotického	trolytický roz	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	3	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	V	Střední hodnota proudu MikroA	h	H_2O g	g	C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
PÍSKOVEC	1 katoda		0,36	5,67								sypká fáze		8,70	0,95
	2		-0,98	-15,43	sypká							záporné hodnoty znamenají pokles pH			
	3		0,25	6,39	pevná							pevná fáze			
	4		0,17	4,35											
	5		0,06	1,56	10,90	5	495	2037,417	0,34	3,53	1989				
	6	3,87	0,07	1,82	7,03										
	7		-0,13	-3,26											
	8		-0,35	-8,85											
	9		-0,21	-5,29											
	10 anoda		-0,40	-10,12										7,55	-4,31

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	5,73
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,23
dtto bez krajních hodnot	4,58
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,23
dtto bez krajních hodnot	0,18

relativní	původní	vlhkosti konečné	vzdálenost					
6,39	3,94	4,19	169,5458647					
4,35	3,94	4,11	202,5503759					
1,56	3,94	4,00	239,8045113		voda vložená do sypké fáze (g)	46,5999		
1,82	3,94	4,01	277,8526316		vložená voda do pevné fáze (g)	52,37	voda v sypké	
-3,26	3,94	3,81	310,5909774		celková voda vložená (g)	98,9699	vloženo	46,6
-8,85	3,94	3,59	346,5830827		voda vypařená (g)	3,53133	konečný stav	44,356
-5,29	3,94	3,73	386,7018797		voda rozložená (g)	0,33867	rozdíl	2,2441
-10,12	3,94	3,54	435,5229323		odpařená a rozložená voda - ubytá	3,87		
gradient relativní		všechny	-0,063403838	-63,40	voda vložená - ubytá	95,0999	výpar	3,53
		bez krajních hodnot	-0,065626534	-65,63	voda v soust. po působení	95,096	chci kladné	1,29
	konečné	všechny	-0,002497149	-2,50	bilance vody	0,00391		
		bez krajních hodnot	-0,002584689	-2,58	voda přesunutá z pevné fáze (g)	7,03-10,9		

Příloha 5.16

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.4 opuky v křemenné mouce

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí		doba elektroosmotického	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	4	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	V	Střední hodnota proudu MikroA	h	g	g	C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
OPUKA	1 katoda	14,1	-2,40	37,97	9,41 -4,69	5	134	2878,92	0,13	13,97	1565			8,65	1,82
	2		-2,41	38,13	sypká							zápomé hodnoty znamenají pokles pH		8,65	1,24
	3		-2,35	48,43	pevná							pevná fáze		8,11	0,12
	4		0,99	20,46										8,11	-0,03
	5		0,50	10,35										8,11	0,05
	6		-0,04	0,79											
	7		-0,55	11,31											
	8		-1,08	22,24										8,11	-0,21
	9		-1,18	-24,30										8,11	-0,17
	10 anoda		-1,13	23,27										8,11	-0,72

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí	19,50
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	1,00
dtto bez krajních hodnot	15,61
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	1,00
dtto bez krajních hodnot	0,79

relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
48,43	4,85	2,5	150,8616954
20,46	4,85	5,84	177,8395459
10,35	4,85	5,35	222,8287976
0,79	4,85	4,81	270,1311738
11,31	4,85	4,3	305,0700013
22,24	4,85	3,77	346,093282
-24,30	4,85	3,67	396,906747
23,27	4,85	3,72	430,0367992

gradient vlhkosti	relativní	všechny	-0,103660587	-103,66
		bez krajních hodnot	-0,125465261	-125,47
	konečné	všechny	-0,002560892	-2,56
		bez krajních hodnot	-0,010667064	-10,67

voda vložená do sypké fáze (g)	22,6256		
vložená voda do pevné fáze (g)	68,47	voda v sypké	
celková voda vložená (g)	91,0956	vloženo	22,6256
voda vypařená (g)	13,97045454	konečný stav	14,025232
voda rozložená (g)	0,129545461	rozdíl	8,6003676
odpařená a rozložená voda - ubytá	14,1		
voda vložená - ubytá	76,9956	výpar	13,97
voda v soust. po působení	77,00568107	chci kladné	5,37
bilance vody	-0,010081068		
voda přesunutá z pevné fáze (g)	minus4,69-9,41		

Příloha 5.17

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.18

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí		doba elektroosmotického	elektrolytický rozklad	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	18	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti absolutní	změna vlhkosti relativní	úbytek z pevné fáze		Střední hodnota proudu		H_2O			před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	%	%	g	V	MikroA	h	g	g	C				
OPUKA V KŘEMENNÉ MOUCE	1 katoda		-0,34	-5,37										8,65	1,65
	2		-1,68	-26,54								záporné hodnoty znamenají pokles pH			
	3		-2,66	-42,02	sypká							pevná fáze		8,65	1,24
	4		0,09	1,90	pevná									8,11	-0,03
	5		-0,10	-2,17	12,77	5	157	4158,46	0,22	10,27	2454				
	6	10,49	-1,17	-25,07	2,28										
	7		-0,47	-10,09											
	8		-0,54	-11,58											
	9		0,34	7,25											
	10 anoda		-1,31	-28,07										8,11	-4,96

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí	12,28
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,57
dtto bez krajních hodnot	10,72
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,57
dtto bez krajních hodnot	0,50

relativní	původní	vlhkosti konečná	vzdálenosti
1,90	4,67	4,76	169,401169
-2,17	4,67	4,57	207,9715567
-25,07	4,67	3,5	256,8330452
-10,09	4,67	4,2	314,4068555
-11,58	4,67	4,13	354,8195105
7,25	4,67	5,01	390,6399405
-28,07	4,67	3,36	427,12178

gradient vlhkosti	relativní	všechny	-0,044663327	-44,66
		bez krajních hodnot	0,063043487	63,04
	konečné	všechny	-0,002086288	-2,09
		bez krajních hodnot	0,002944852	2,94

voda vložená do sypké fáze (g)	10,669848		
vložená voda do pevné fáze (g)	65,24	voda v sypké	
celková voda vložená (g)	75,909848	vloženo	10,669848
voda vypařená (g)	10,27076037	konečný stav	7,407712
voda rozložená (g)	0,219239634	rozdíl	3,262136
odpařená a rozložená voda - ubytá	10,49		
voda vložená - ubytá	65,419848	výpar	10,27
voda v soust. po působení	65,41486012	chci kladné	7,01
bilance vody	0,004987884		
voda přesunutá z pevné fáze (g)	2,28-12,77		

Příloha 5.19

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.19 - historické cihly v křemenné mouce

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY DO SYPKÉ FÁZE A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
			změna vlhkosti			napětí		oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad	výpar	přenesený náboj				
	19	rozklad a výpar v soustavě	absolutní	relativní	úbytek z pevné fáze		Střední hodnota proudu		H_2O			před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	%	%	g	V	MikroA	h	g	g	C				
HISTORICKÁ CIHLA	1 katoda		-0,81	-16,23								sypká fáze záporné hodnoty znamenají pokles pH		8,78	1,16
	2		-0,70	-13,92											
	3		-0,43	-8,52											
	4		-0,34	-6,80											
	5		-0,36	-7,16	63,60										
	5,5	10,43	-0,52	-10,39	53,17	5	36,6	2426,0	0,00	10,43	324,3			8,78	-1,26
	6		-1,56	-24,92	sypká pevná									8,13	-0,24
	7		-1,31	-20,88											
	8		-1,31	-21,02											
	9		-1,07	-17,04											
	10		-0,82	-13,16											
	11		-1,08	-17,32											
	12		-0,97	-15,44											
	13 anoda		-0,80	-12,72										8,13	-1,81

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	3,94
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,25
dtto bez krajních hodnot	2,80
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,25
dtto bez krajních hodnot	0,18

relativn	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
-24,92	6,25	4,69	193,8073995
-20,88	6,25	4,95	241,0024296
-21,02	6,25	4,94	279,46252
-17,04	6,25	5,19	312,7833031
-13,16	6,25	5,43	353,1823995
-17,32	6,25	5,17	384,5453513
-15,44	6,25	5,29	407,5686947
-12,72	6,25	5,46	434,8653814

gradient vlhkosti	relativní	všechny	0,045114461	45,11
		bez krajních hodnot	0,036504217	36,50
	konečné	všechny	0,002820747	2,82
		bez krajních hodnot	0,002282398	2,28

voda vložená do sypké fáze (g)	16,88		
vložená voda do pevné fáze (g)	48,36	voda v sypké	
celková voda vložená (g)	65,24	vloženo	16,88
voda vypařená (g)	10,42999171	konečný stav	15,2172
voda rozložená (g)	8,28748E-06	rozdíl	1,66277
odpařená a rozložená voda - ubytá	10,43		
voda vložená - ubytá	54,81	výpar	10,43
voda v soust. po působení	54,60713894	chci kladné	8,77
bilance vody	0,202861059		
voda přesunutá z pevné fáze (g)	minus6,81-1,7		

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.20 - nová cihla v křemenné mouce

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	20	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti		úbytek z pevné fáze	napětí	Střední hodnota proudu	oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	absolutní %	relativní %	g	V	MikroA	h	g	g	C				
NOVÁ CIHLA	1 katoda	8,51	-0,47	-5,45	1,70	5	129,3	4005,7	0,17	8,34	1844,5	záporné hodnoty znamenají pokles pH		9,72	0,12
	2		-0,20	-2,27											
	3		0,21	2,42											
	4		0,06	0,70											
	5		0,30	3,46											
	6		0,34	3,91											
	7		0,37	4,27											
	8	pevná	0,36	4,21										9,72	-2,01
	9	sypká	-2,27	-44,57										8,78	-1,06
	10		-2,44	-47,90											
	11		-2,92	-57,29											
	12		-3,83	-75,18											
	13		-3,16	-61,90											
	14 anoda		-2,84	-55,72										8,78	0

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí cihly	3,33
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,29
dtto bez krajních hodnot	2,27
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,29
dtto bez krajních hodnot	0,20

gradient vlhkosti			
relativní		všechny	0,033764
		bez krajních hodnot	0,03014
	konečné	všechny	0,002921
		bez krajních hodnot	0,002608

vlhkosti

relativní	původní	konečné	vzdálenost
-5,45	8,65	8,18	26,71
-2,27	8,65	8,46	66,24
2,42	8,65	8,86	94,68
0,70	8,65	8,71	130
3,46	8,65	8,95	174,2
3,91	8,65	8,99	210,2
4,27	8,65	9,02	248,5
4,21	8,65	9,02	289

voda vložená do sypké fáze (g)	15,88548			
vložená voda do pevné fáze (g)	84,69	voda v sypké		33,76
celková voda vložená (g)	100,57548	vloženo	15,88548	30,14
voda vypařená (g)	8,336112011	konečný stav	6,554924134	2,92
voda rozložená (g)	0,173887989	rozdíl	9,330555866	2,61
odpařená a rozložená voda - ubytá	8,51			
voda vložená - ubytá	92,06548	výpar	8,34	
voda v soust. po působení	91,48404838	chci kladné	-0,99	
bilance vody	0,581431623			
voda přesunutá z pevné fáze (g)	minus6,81-1,7			

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.21 - nová cihla ozn. 73

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	21	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	napětí V	Střední hodnota proudu MikroA	celková doba elektroosmotického působení h	elektrolytický rozklad H_2O g	výpar g	přenesený náboj C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
NOVÁ CIHLA	1 katoda	8,94	-0,31	-8,15	10,90	5	189,1	4175,2	0,27	8,67	2824,5	sypká fáze záporné hodnoty znamenají pokles pH		8,78	1,66
	2		0,19	5,06											
	3		0,10	2,66											
	4		0,18	4,71											
	5		-0,03	-0,70											
	6		-0,18	-4,81	sypká									8,78	-0,61
	7		-0,58	-10,31	pevná										
	8		-0,63	-11,20											
	9		-0,72	-12,97											
	10		-0,91	-16,25											
	11		-0,99	-17,72											
	12		-1,09	-19,52											
	13		-1,22	-21,93											
	14		-1,31	-23,44										9,99	-2,43

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí cihly nové	4,57		
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí cihly nové	0,26		
dtto bez krajních hodnot	3,67		
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,26		
dtto bez krajních hodnot	0,20		
gradient vlhkosti	všechny	-0,053298656	-53,30
	bez krajních hodnot	-0,057735745	-57,74
	všechny	-0,002977271	-2,98
	bez krajních hodnot	-0,003225127	-3,23

vlhkosti relativní	počátečn	konečné	vzdálenosti
-10,31	5,59	5,01	167,1
-11,20	5,59	4,96	206,2
-12,97	5,59	4,86	243,1
-16,25	5,59	4,68	280,2
-17,72	5,59	4,60	317,6
-19,52	5,59	4,50	354,5
-21,93	5,59	4,36	390,8
-23,44	5,59	4,28	428,7

voda vložená do sypké fáze (g)	10,76926
vložená voda do pevné fáze (g)	54
celková voda vložená (g)	64,76926
voda vypařená (g)	8,6748313
voda rozložená (g)	0,2651687
odpařená a rozložená voda	8,94
voda vložená -(odpařená+rozložená)	55,82926
voda v soust. po působení	55,597351
bilance vody	0,2319086
voda přesunutá z pevné fáze (g)	1,66-10,6

voda v sypké	
vloženo	10,76926
konečný stav	10,79735
rozdíl	-0,02809
výpar	8,67
chci kladné	8,70

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.22 malty v křemenné mouce

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí			elektrolytický rozklad	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	22	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	V	Střední hodnota proudu MikroA	doba elektroosmotického pů h	H_2O g	g	C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
MALTA VC	1 katoda		-2,04	-33,44								sypká fáze			
	2		-0,88	-14,43								záporné hodnoty znamenají pokles pH			
	3		0,54	4,91								pevná fáze			
	4		0,25	2,29											
	5		0,12	1,11											
	6	3,88	-0,20	-1,78	4,16	5	495	1529,63056	0,25	3,63	2725,8				
	7		-0,35	-3,13											
	8		-0,11	-0,97											
	9		0,09	0,84											
	10 anoda		-0,52	-4,67											

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	2,89
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,32
dtto bez krajních hodnot	1,86
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,32
dtto bez krajních hodnot	0,21

gradient vlhkosti			
	všechny	-0,0259317	-25,93
	bez krajních hodnot	-0,0109277	-10,93
	všechny	-0,0028698	-2,87
	bez krajních hodnot	-0,0012094	-1,21

	vlhkosti relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
	4,91	11,07	11,61	168,7
	2,29	11,07	11,32	207,9
	1,11	11,07	11,19	247,9
	-1,78	11,07	10,87	287
	-3,13	11,07	10,72	320,8
	-0,97	11,07	10,96	357,9
	0,84	11,07	11,16	400,8
	-4,67	11,07	10,55	424,7

voda vložená do sypké fáze (g)	17,995
vložená voda do pevné fáze (g)	109,67
celková voda vložená (g)	127,665
voda vypařená (g)	3,62573948
voda rozložená (g)	0,25426052
odpařená a rozložená voda	3,88
voda vložená -(odpařená+rozložená)	123,785
voda v soust. po působení	123,502109
bilance vody	0,28289113
voda přesunutá z pevné fáze (g)	0,28-4,16

voda v sypké	
vloženo	17,995
konečný stav	13,68677
rozdíl	4,308227
výpar	3,63
chci kladné	-0,68

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.23 malty v křemenné mouce

zkoušený materiál	č. vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí		oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	1	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	V	Střední hodnota proudu MikroA	h	g	g	C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
MALTA	1 katoda		-3,33	-52,70								sypká fáze		8,65	
	2		-3,27	-51,75								záporné hodnoty znamenají pokles pH			
	3		-2,90	-45,90											
	4	sypká	-2,85	-45,11								pevná fáze			
	5	pevná	-0,45	-5,54	-0,78	5	43,7	1002,1	0,01	5,94	157,65				
	6	5,95	-0,16	-1,99											
	7		-0,06	-0,76											
	8		0,05	0,58											
	9		0,04	0,46											
	10		0,25	3,03											
	11		0,27	3,27											
	12 anoda		0,16	1,93										12,34	-0,68

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	2,72
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,22
dtto bez krajních hodnot	1,89
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,22
dtto bez krajních hodnot	0,15

gradient vlhkosti	všechny	0,03180103	31,80		
	bez krajních hodnot	0,02862003	28,62		
	všechny	0,00259891	2,60		
	bez krajních hodnot	0,00233894	2,34		

vlhkosti relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
-5,54	8,17	7,72	212,2
-1,99	8,17	8,01	254,61
-0,76	8,17	8,11	296,27
0,58	8,17	8,22	344,65
0,46	8,17	8,21	388,65
3,03	8,17	8,42	415,33
3,27	8,17	8,44	426,94
1,93	8,17	8,33	444,95

voda vložená do sypké fáze (g)	12,0835632
vložená voda do pevné fáze (g)	88,777
celková voda vložená (g)	100,860563
voda vypařená (g)	5,93529485
voda rozložená (g)	0,01470515
odpařená a rozložená voda	5,95
voda vložená -(odpařená+rozložená)	94,9105632
voda v soust. po působení	95,070108
bilance vody	-0,15954478
voda přesunutá z pevné fáze (g)	9,14-15,88

voda v sypké	
vloženo	12,08356
konečný stav	13,08253
rozdíl	-0,99896
výpar	5,94
chci kladné	6,93

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.24 - pískovce v křemenné mouce

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY DO SYPKÉ FÁZE	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	24	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze / přírůstek v sypké fázi g	napětí V	Střední hodnota proudu MikroA	oba elektroosmotického h	elektrolytický rozklad H_2O g	výpar g	přenesený náboj C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
PÍSKOVEC	1 katoda		2,57	51,40										8,70	1,17
	2		0,98	19,60	sypká							záporné hodnoty znamenají pokles pH			
	3		-1,32	-21,87	pevná							pevná fáze			
	4		-1,21	-20,04											
	5		-1,12	-18,54	15,88										
	6	6,74	-1,28	-21,20	9,14	5	495	1440,355	0,24	6,50	2945				
	7		-1,37	-22,70											
	8		-1,45	-24,03											
	9		-1,40	-23,20											
	10 anoda		-1,69	-28,02										7,55	-3,59

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fá	2,67
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné f	0,16
dtto bez krajních hodnot	1,90
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působe	0,16
dtto bez krajních hodnot	0,11

-14,63	4,7	167,79
-12,63	4,81	206,23
-11,00	4,9	246,19
-13,91	4,74	282,29
-15,54	4,65	322,06
-16,99	4,57	357,24
-16,09	4,62	384,91
-21,35	4,33	441,91

lineární regres	relativní	všechny	-0,026780904	-26,78
		bez krajních hodnot	-0,029335195	-29,34
	konečné	všechny	-0,00147445	-1,47
		bez krajních hodnot	-0,001615079	-1,62

voda vložená do sypké fáze (g)	32,507		
vložená voda do pevné fáze (g)	79,00	voda v sypké	
celková voda vložená (g)	111,51	vloženo	32,507
voda vypařená (g)	6,50	konečný stav	39,8768426
voda rozložená (g)	0,24	rozdíl	-7,36984265
odpařená a rozložená voda	6,74		
voda vložená -(odpařená+rozložená)	104,77	výpar	6,50
voda v soust. po působení	105,0572908	chci kladné	13,87
bilance vody	-0,29		
voda přesunutá z pevné fáze (g)	9,14-15,88		

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.25 malty křemenné mouce

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	25	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti		úbytek z pevné fáze	napětí	Střední hodnota proudu	oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	absolutní %	relativní %	g	V	MikroA	h	g	g	C				
MALTA	1 katoda		-2,86	-46,73								sypká fáze		8,74	0,98
	2		-2,94	-48,04								zápomé hodnoty znamenají pokles pH			
	3		-3,09	-50,49											
	4	sypká	-2,62	-42,81									sypká fáze		
	5	pevná fáze	-0,19	-2,39	-0,28	5	51,7	1002,079	0,02	7,91	187		pevná fáze		
	6	7,93	0,27	3,33											
	7		0,42	5,20											
	8		0,05	0,60											
	9		0,27	3,33										12,34	-0,98
	10		0,41	5,08											
	11		0,71	8,81											
	12 anoda		-0,04	-0,52										12,34	-0,67

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	3,36
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,27
dtto bez krajních hodnot	2,49
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,27
dtto bez krajních hodnot	0,20

	vlhkosti		
relativní	počáteční	konečné	vzdálenost
-2,39	8,03	7,84	179
3,33	8,03	8,3	218
5,20	8,03	8,45	253
0,60	8,03	8,08	289
3,33	8,03	8,3	318
5,08	8,03	8,44	353
8,81	8,03	8,74	391
-0,52	8,03	7,99	426

gradient vlhkosti	relativní	všechny	0,01475281	14,75
		bez krajních hodnot	0,025013154	25,01
	konečné	všechny	0,001184966	1,18
		bez krajních hodnot	0,002009091	2,01

voda vložená do sypké fáze (g)	21,7871863		
vložená voda do pevné fáze (g)	83,78	voda v sypké	
celková voda vložená (g)	105,5671863	vloženo	21,7871863
voda vypařená (g)	7,912602789	konečný stav	0
voda rozložená (g)	0,017397211	rozdíl	21,7871863
odpařená a rozložená voda	7,93		
voda vložená -(odpařená+rozložená)	97,6371863	výpar	7,91
voda v soust. po působení	97,643425	chci kladné	-13,87
bilance vody	-0,006238697		
voda přesunutá z pevné fáze (g)	přibráno0,28 ažpřibráno8,21		

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.26 pískovce v křemenné mouce

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	26	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti		úbytek z pevné fáze	napětí	Střední hodnota proudu	doba elektroosmotického	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	absolutní %	relativní %	g	V	MikroA	h	g	g	C				
PÍSKOVEC	1 katoda		2,11	42,20	sypká pevná 6,46	5	303,3	1312,534	0,13	6,33	1130,4	sypká fáze záporné hodnoty znamenají pokles pH			
	2		1,70	34,00											
	3	6,46	-1,33	-23,03								pevná fáze			
	4		-1,29	-22,34											
	5		-1,19	-20,61											
	6 anoda		-1,18	-20,44											

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	1,11
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,06
dtto bez krajních hodnot	0,86
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,06
dtto bez krajních hodnot	0,05

relativní	původní vlhkosti	konečné vlhkosti	vzdálenosti
-23,03	5,79	4,46	185,17
-22,34	5,79	4,5	265,38
-20,61	5,79	4,6	334,03
-20,44	5,79	4,61	404,49

gradient vlhkosti	relativní	všechny	0,013029459	13,03
		bez krajních hodnot		0,00
	konečné	všechny	0,000754971	0,75
		bez krajních hodnot		0,00

voda vložená do sypké fáze (g)	26,67
vložená voda do pevné fáze (g)	75,98
celková voda vložená (g)	102,65
voda vypařená (g)	6,32631887
voda rozložená (g)	0,13368113
odpařená a rozložená voda	6,46
voda vložená -(odpařená+rozložená)	96,19
voda v soust. po působení	96,3225046
bilance vody	-0,13250463
voda přesunutá z pevné fáze (g)	

voda v sypké	
vloženo	26,67
konečný stav	36,8452476
rozdíl	-10,175248
výpar	6,33
chci kladné	16,50

Příloha 5.27

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.27 - pískovce v cihelné mouce

zkoušený materiál	č. vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	27	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	napětí V	Střední hodnota proudu MikroA	oba elektroosmotického h	elektrolytický rozklad H_2O g	výpar g	přenesený náboj C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
PÍSKOVEC	1 katoda		3,82	68,46								sypká fáze		7,95	1,91
	2		2,43	43,55	sypká							záporné hodnoty znamenají pokles pH			
	3		-1,45	-25,12	pevná										
	4		-1,32	-22,87											
	5		-1,19	-20,63											
	6	**4,84**	-1,41	-24,43	**9,68**	**5**	**339,1**	**1288,4**	**0,15**	**4,69**	**1387,0**				
	7		-1,41	-24,43											
	8		-1,57	-27,20											
	9		-1,46	-25,30											
	10 anoda		-1,62	-28,06										7,55	-3,63

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	2,18
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,13
dtto bez krajních hodnot	2,03
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,13
dtto bez krajních hodnot	0,12

relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenost
-25,12	5,78	4,33	171,5868963
-22,87	5,78	4,46	207,2769
-20,63	5,78	4,59	242,3671284
-24,43	5,78	4,37	278,3266941
-24,43	5,78	4,37	318,7486335
-27,20	5,78	4,21	360,2297267
-25,30	5,78	4,32	395,4603519
-28,06	5,78	4,16	435,2836391

gradient vlhkosti	relativní	všechny	-0,016796634	-16,80
		bez krajních hodnot	-0,024075719	-24,08
	konečné	všechny	-0,000971319	-0,97
		bez krajních hodnot	-0,001392255	-1,39

voda vložená do sypké fáze (g)	25,5564
vložená voda do pevné fáze (g)	76,52
celková voda vložená (g)	102,0764
voda vypařená (g)	4,6932899
voda rozložená (g)	0,1467101
odpařená a rozložená voda	4,84
voda vložená -(odpařená+rozložená)	97,2364
voda v soust. po působení	97,185056
bilance vody	0,0513444
voda přesunutá z pevné fáze (g)	9,68-4,84

voda v sypké	
vloženo	25,5564
konečný stav	39,87684
rozdíl	-14,3204
výpar	4,69
chci kladné	19,01

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.28 pískovce v cihelné mouce

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	28	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	napětí V	Střední hodnota proudu MikroA	oba elektroosmotického h	elektrolytický rozklad H_2O g	výpar g	přenesený náboj C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
PÍSKOVEC	1 katoda		2,21	37,84										7,95	2,57
	2		1,87	32,02	sypká							zápomé hodnoty znamenají pokles pH		7,95	2,51
	3		-1,55	-26,72	pevná							pevná fáze		7,55	2,44
	4		-1,78	-30,68											
	5		-1,90	-32,74											
	6	13,19	-2,04	-35,15	25,73	5	553,69	2037,417	0,38	12,81	4061,12				
	7		-2,13	-36,70							4465,1				
	8		-2,07	-35,67											
	9		-1,95	-33,60											
	10 anoda		-2,30	-39,62										7,55	-4,70

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	3,68
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,21
dtto bez krajních hodnot	2,00
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,21
dtto bez krajních hodnot	0,12

relativní	původní	vlhkosti konečná	vzdálenosti
-26,72	5,81	4,26	172,6955386
-30,68	5,81	4,03	212,9542424
-32,74	5,81	3,91	253,0414669
-35,15	5,81	3,77	288,6668844
-36,70	5,81	3,68	324,2188108
-35,67	5,81	3,74	358,9400638
-33,60	5,81	3,86	390,788479
-39,62	5,81	3,51	438,3885086

gradient vlhkosti	relativní	všechny	-0,037872673	-37,87
		bez krajních hodnot	-0,020840525	-20,84
	konečné	všechny	-0,002201684	-2,20
		bez krajních hodnot	-0,00121154	-1,21

voda vložená do sypké fáze (g)	37,376
vložená voda do pevné fáze (g)	77,15
celková voda vložená (g)	114,526
voda vypařená (g)	12,811179
voda rozložená (g)	0,3788207
odpařená a rozložená voda	13,19
voda vložená -(odpařená+rozložená)	101,336
voda v soust. po působení	101,30243
bilance vody	0,0335652
voda přesunutá z pevné fáze (g)	25,73-12,54

voda v sypké	
vloženo	37,376
konečný stav	41,75713
rozdíl	-4,38113
výpar	12,81
chci kladné	17,19

Příloha 5.29

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.29 pískovce v cihelné mouce

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	29	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti absolutní	změna vlhkosti relativní	úbytek z pevné fáze	napětí	Střední hodnota proudu	pa elektroosmotické	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	%	%	g	V	MikroA	h	g	g	C				
PÍSKOVEC	1 katoda		2,01	31,41								sypká fáze		7,95	2,47
	2		1,44	22,50	sypká							záporné hodnoty znamenají pokles pH		7,95	2,32
	3		-1,32	-23,02	pevná							pevná fáze			
	4		-1,39	-24,24											
	5		-1,54	-26,84											
	6	11,67	-1,59	-27,71	20,95	5	630,2	2128,8	0,5	11,2	5331,7				
	7		-1,66	-28,93											
	8		-1,63	-28,41											
	9		-1,73	-30,14											
	10 anoda		-1,73	-30,14										7,5525	-3,9025

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	2,45	
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,14	
dtto bez krajních hodnot	1,86	
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,14	
směrnice trendu konečných vlhkostí	-0,06	-0,06

relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
-23,02	5,75	4,43	174,1
-24,24	5,75	4,36	216,1
-26,84	5,75	4,21	255,6
-27,71	5,75	4,16	297,4
-28,93	5,75	4,09	337,3
-28,41	5,75	4,12	368,8
-30,14	5,75	4,02	396,8
-30,14	5,75	4,02	442,9

gradient vlhkosti	relativní	všechny	-0,027	-27,13
		bez krajních hodnot	-0,028	-27,85
	konečné	všechny	-0,002	-1,56
		bez krajních hodnot	-0,002	-1,60

voda vložená do sypké fáze (g)	32,8832
vložená voda do pevné fáze (g)	75,44
celková voda vložená (g)	108,3232
voda vypařená (g)	11,219496
voda rozložená (g)	0,4505037
odpařená a rozložená voda	11,67
voda vložená -(odpařená+rozložená)	96,6532
voda v soust. po působení	96,655
bilance vody	-0,0018
voda přesunutá z pevné fáze (g)	20,95-9,28

voda v sypké	
vloženo	32,8832
konečný stav	41,75713
rozdíl	-8,87393
výpar	11,22
chci kladné	20,09

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.30 opuka v cihelné mouce

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí		oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	30	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti absolutní	změna vlhkosti relativní	úbytek z pevné fáze		Střední hodnota proudu		H_2O			před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	%	%	g	V	MikroA	h	g	g	C				
OPUKA	1 katoda		-3,62	57,08											
														8,65	0,99
	2		-1,60	25,18								záporné hodnoty znamenají			
					sypká							pokles pH			
	3		1,17	26,82	pevná										
												pevná fáze			
	4		0,59	13,48											
	5		0,16	3,75	**6,00**	**5**	**141**	**2025**	**0,10**	**10,18**	**1035,4**				
	6	**10,28**	-0,29	6,69											
	7		-0,78	17,83											
	8		-0,61	13,94											
	9		-0,76	17,43											
	10 anoda		-0,65	15,03											
														8,11	-0,74

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	6,61
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,67
dtto bez krajních hodnot	5,25
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,67
dtto bez krajních hodnot	0,51

relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
26,82	4,36	5,52	90,4
13,48	4,36	4,94	126
3,75	4,36	4,52	164
6,69	4,36	4,06	200
17,83	4,36	3,58	236
13,94	4,36	3,75	272
17,43	4,36	3,60	312
15,03	4,36	3,70	430

gradient vlhkosti				
	relativní	všechny	-0,003912287	-3,91
		bez krajních hodnot	0,047257669	47,26
	konečné	všechny	-0,005363737	-5,36
		bez krajních hodnot	-0,007365022	-7,37

voda vložená do sypké fáze (g)	21,443584
vložená voda do pevné fáze (g)	62,6
celková voda vložená (g)	84,043584
voda vypařená (g)	
voda rozložená (g)	10,298063
odpařená a rozložená voda	10,183827
voda vložená -(odpařená+rozložená)	
voda v soust. po působení	
bilance vody	0,0180633
voda přesunutá z pevné fáze (g)	0,0002149

- voda vložená do sypké fáze (g)
- vložená voda do pevné fáze (g)
- celková voda (g)
- bilance vody přesunuté (g)
- voda vypařená (g)
- voda rozložená (g)
- celková bilance (g)
- celková bilance (%)
- voda přesunutá (g)

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.30 opuka v cihelné mouce

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	30	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti		úbytek z pevné fáze	napětí	Střední hodnota proudu	oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
			absolutní	relativní											
		g	%	%	g	V	MikroA	h	g	g	C				
OPUKA	1 katoda		-3,62	57,08											
														8,65	0,99
	2		-1,60	25,18								záporné hodnoty znamenají			
					sypká							pokles pH			
	3		1,17	26,82	pevná										
												pevná fáze			
	4		0,59	13,48											
	5		0,16	3,75	6,00	5	141	2025	0,10	10,18	1035,4				
	6	10,28	-0,29	6,69											
	7		-0,78	17,83											
	8		-0,61	13,94											
	9		-0,76	17,43											
	10 anoda		-0,65	15,03										8,11	-0,74

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	6,61
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,67
dtto bez krajních hodnot	5,25
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,67
dtto bez krajních hodnot	0,51

relativní	původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
26,82	4,36	5,52	90,4
13,48	4,36	4,94	126
3,75	4,36	4,52	164
6,69	4,36	4,06	200
17,83	4,36	3,58	236
13,94	4,36	3,75	272
17,43	4,36	3,60	312
15,03	4,36	3,70	430

gradient vlhkosti				
	relativní	všechny	-0,003912287	-3,91
		bez krajních hodnot	0,047257669	47,26
	konečné	všechny	-0,005363737	-5,36
		bez krajních hodnot	-0,007365022	-7,37

voda vložená do sypké fáze (g)	21,443584
vložená voda do pevné fáze (g)	62,6
celková voda vložená (g)	84,043584
voda vypařená (g)	
voda rozložená (g)	10,298063
odpařená a rozložená voda	10,183827
voda vložená -(odpařená+rozložená)	
voda v soust. po působení	
bilance vody	0,0180633
voda přesunutá z pevné fáze (g)	0,0002149

voda vložená do sypké fáze (g)
vložená voda do pevné fáze (g)
celková voda (g)
bilance vody přesunuté (g)
voda vypařená (g)
voda rozložená (g)
celková bilance (g)
celková bilance (%)
voda přesunutá (g)

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.32 opuky v cihelné mouce

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			DO SYPKÉ FÁZE A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	32	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	napětí V	Střední hodnota proudu MikroA	ová doba elektroosmotického působ h	elektrolytický rozklad H_2O g	výpar g	přenesený náboj C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
opuka	1 katoda		-3,39	-55,58								sypká fáze		~~7,95~~	2,75
	2		-0,66	-10,84	sypká							záporné hodnoty znamenají pokles pH		7,95	2,32
	3		1,33	31,71	pevná							pevná fáze		8,11	0,1
	4		1,07	25,52										0	0
	5		0,04	1,06	**7,39**	**5**	**136**	**2021**	**0,09**	**6,08**	**1033,1**			0	0
	6	**6,17**	0,21	5,02										0	0
	7		-0,62	-14,79										0	0
	8		-0,17	-4,01										0	0
	9		-0,35	-8,40										0	0
	10 anoda		-0,38	-8,98										~~8,11~~	-0,5

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	15,72
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,66
dtto bez krajních hodnot	12,31
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,66
dtto bez krajních hodnot	0,53

relativní	počáteční	vlhkosti konečné	vzdálenosti
31,71	4,18	5,51	120
25,52	4,18	5,25	170
1,06	4,18	4,23	214,4613233
5,02	4,18	4,39	266,1481444
-14,79	4,18	3,56	306,693147
-4,01	4,18	4,01	362,9792073
-8,40	4,18	3,83	405,4874851
-8,98	4,18	3,81	436,9444511

gradient vlhkosti	relativní	všechny	-0,12624998	**-126,25**
		bez krajních hodnot	-0,120290558	**-120,29**
	konečné	všechny	-0,005279925	**-5,28**
		bez krajních hodnot	-0,005030695	**-5,03**

voda vložená do sypké fáze (g)	23,40082
vložená voda do pevné fáze (g)	60,78
celková voda vložená (g)	84,18
voda vypařená (g)	6,08
voda rozložená (g)	0,09
odpařená a rozložená voda	6,17
voda vložená -(odpařená+rozložená)	78,01
voda v soust. po působení	78,051045
bilance vody	-0,04
voda přesunutá z pevné fáze (g)	1,22-7,39

voda v sypké vloženo	23,40082
konečný stav	15,62903
rozdíl	7,771787
výpar	6,08
chci kladné	-1,69

Příloha 5.32

Příloha 5.33

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.33 slepence pískovce a malty

zkoušený materiál	č.kanálu	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
						napětí		oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad	výpar	přenesený náboj	pevná fáze		sypká fáze	
	33	rozklad a výpar v soustavě g	změna vlhkosti absolutní %	změna vlhkosti relativní %	úbytek z pevné fáze g	V	Střední hodnota proudu MikroA	h	H_2O g	g	C	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
SLEPENEC PÍSKOVCE A MALTY	1 katoda	35,33	-2,72	-49,89	0,00	5	234,13	4217,42	0,33	35,00	3555	záporné hodnoty znamenají pokles pH		7,55	-3,59
	2		-3,05	-55,95											
	3		-3,05	-55,95											
	4		-3,37	-61,82											
	5		5,70	107,55										malta 12,34	-0,61
	6		4,92	92,83										malta 12,34	-0,10
	7		-2,97	-54,48											
	8		-3,47	-63,66											
	9		-3,62	-66,41											
	10 anoda		-3,52	-64,58											

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze 5,45
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze 0,30
dtto bez krajních hodnot 4,48
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení 0,30
dtto bez krajních hodnot 0,24

vlhkosti relativní	vlhkosti původní	vlhkosti konečné	vzdálenosti
-49,89	5,45	2,73	18,9271519
-55,95	5,45	2,4	62,97534455
-55,95	5,45	2,4	107,8635871
-61,82	5,45	2,08	153,9633945
-54,48	5,45	2,48	221,4608103
-63,66	5,45	1,98	252,1936209
-66,41	5,45	1,83	283,2458871
-64,58	5,45	1,93	316,5260601

gradient vlhkosti	relativní	všechny	-0,07954046	-79,54	
		bez krajních hodnot		0,00	
	konečné	všechny	-0,004333595	-4,33	
		bez krajních hodnot		0,00	
				0,00	
gradient vlhkosti	relativní	všechny		-0,103063641	-103,06
		bez krajních hodnot			0,00
	konečné	všechny		-0,005615206	-5,62
		bez krajních hodnot			

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	78,39
celková voda vložená (g)	78,39
voda vypařená (g)	35,00
voda rozložená (g)	0,33
odpařená a rozložená voda	35,33
voda vložená -(odpařená+rozložená)	43,06
voda v soust. po působení	43,1112624
bilance vody	-0,05
voda přesunutá z pevné fáze (g)	

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č. 34

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	34	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti		úbytek z pevné fáze	napětí	Střední hodnota proudu	oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	absolutní %	relativní %	g	V	MikroA	h	g	g	C				
SLEPENEC PÍSKOVCE A MALTY	1 katoda	21,24	-2,08	-44,40		5	226	3513	0,27	20,97	2948	sypká fáze		7,55	2,31
	2		-1,78	-38,01								záporné hodnoty znamenají pokles pH		7,55	1,81
	3		-1,79	-38,22								pevná fáze		7,55	0,46
	4		-1,82	-38,86										7,55	0,02
	5		4,27	86,61									malta	12,34	-1,05
	6		3,02	61,26									malta	12,34	-0,10
	7		-1,93	-41,20										7,55	1,53
	8		-2,27	-48,45										7,55	1,17
	9		-2,51	-53,56										7,55	-3,00
	10 anoda		-2,54	-54,20										7,55	-3,77

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	6,28
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,29
dtto bez krajních hodnot	5,91
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,29
dtto bez krajních hodnot	0,28

relativní	vlhkosti počáteční	vlhkosti konečné	vzdálenosti
-44,40	4,69	2,61	18
-38,01	4,69	2,91	54
-38,22	4,69	2,9	90,4
-38,86	4,69	2,87	126
-41,20	4,69	2,76	236
-48,45	4,69	2,42	272
-53,56	4,69	2,18	312
-54,20	4,69	2,15	430

gradient vlhkosti	relativní	všechny	0,045564224	45,56
		bez krajních hodnot		0,00
	konečné	všechny	0,00213888	2,14
		bez krajních hodnot		0,00
				0,00
gradient vlhkosti	relativní	všechny	-0,05762539	-57,63
		bez krajních hodnot		0,00
	konečné	všechny	-0,002705057	-2,71
		bez krajních hodnot		

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	70,40
celková voda vložená (g)	70,40
voda vypařená (g)	20,97
voda rozložená (g)	0,27
odpařená a rozložená voda	21,24
voda vložená -(odpařená+rozložená)	49,16
voda v soust. po působení	49,8520355
bilance vody	-0,69
voda přesunutá z pevné fáze (g)	

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č. 35

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			PŘEVEDENÍ VODY A ODPAR	ELEKTRICKÉ POLE						pH			
												pevná fáze		sypká fáze	
	35	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti		úbytek z pevné fáze	napětí	Střední hodnota proudu	oba elektroosmotického	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	absolutní %	relativní %	g	V	MikroA	h	g	g	C				
HISTORICKÁ CIHLA S HISTORICKOU MALTOU	1 katoda		-2,63	-51,09										7,5525	2,6475
	2		-2,61	-50,70								záporné hodnoty znamenají pokles pH			
	3		-2,57	-49,92											
					pískovec							pevná fáze		7,5525	1,2275
	4		3,48	62,14	malta										
														12,34	-0,16
	5		-1,30	-25,27	18,79	5	262,52	2200,88	0,19	18,60	1971,9				
														7,5525	2,5675
	6	18,79	2,71	48,39											
					malta									12,34	-0,06
	7		-1,60	-31,09	pískovec										
														7,5525	3,0175
	8		-2,02	-39,25											
														7,5525	1,9375
	9		-2,05	-39,83											
	10 anoda		-2,19	-42,55										7,5525	-2,2825

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	8,86
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,46
dtto bez krajních hodnot	8,29
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,46
dtto bez krajních hodnot	0,47

	vlhkosti		
relativní	počáteční	konečné	vzdálenosti
-51,09	5,15	2,52	33,03618755
-50,70	5,15	2,54	85,90415238
-49,92	5,15	2,58	122,1121382
-25,27	5,15	3,85	216,1555723
-31,09	5,15	3,55	303,0430889
-39,25	5,15	3,13	345,0732608
-39,83	5,15	3,1	391,7388152
-42,55	5,15	2,96	431,4554894

gradient vlhkosti	relativní	všechny	0,012655266	12,66
		bez krajních hodnot		0,00
	konečné	všechny	0,000651982	0,65
		bez krajních hodnot		0,00
				0,00
gradient vlhkosti	relativní	všechny	-0,080559864	-80,56
		bez krajních hodnot		0,00
	konečné	všechny	-0,004150336	-4,15
		bez krajních hodnot		0,00
				0,00
gradient vlhkosti	relativní	všechny	0,031792808	31,79
		bez krajních hodnot	0,040942295	40,94
	konečné	všechny	0,001637923	1,64
		bez krajních hodnot	0,002109292	2,11

voda vložená do sypké fáze (g)	0
vložená voda do pevné fáze (g)	80,06
celková voda vložená (g)	80,06
voda vypařená (g)	18,60
voda rozložená (g)	0,19
odpařená a rozložená voda	18,79
voda vložená -(odpařená+rozložená)	61,27
voda v soust. po působení	61,2104
bilance vody	0,06
voda přesunutá z pevné fáze (g)	

Příloha 5.35

Vyhodnocení parametrů elektroosmotického působení u vzorku č.36 - historické cihly s vloženou historickou maltou

zkoušený materiál	č.vzorku	VLHKOST			ELEKTRICKÉ POLE						pH			
											pevná fáze		sypká fáze	
	36	rozklad a výpar v soustavě	změna vlhkosti absolutní	změna vlhkosti relativní	napětí	Střední hodnota proudu	ba elektroosmotické	elektrolytický rozklad H_2O	výpar	přenesený náboj	před měř.	delta pH	před měř.	delta pH
		g	%	%	V	MikroA	h	g	g	C				
HISTORICKÁ CIHLA S HISTORICKOU MALTOU	1 katoda		1,20	0,16	5	173	2254,5	0,13	3,69	4077	sypká fáze zápomé hodnoty znamenají pokles pH		7,8	2,04
	2		0,85	0,11										
	3		1,88	0,25										
	4	sypká	1,60	0,21									9,54	-1,75
	5	pevná 3,82	-0,35	-0,05									7,8	0,72
	6		0,35	0,05										
	7		-0,58	-0,08										
	8		-0,74	-0,10										
	9		-0,84	-0,11										
	10 anoda		-1,36	-0,19									7,8	-3,04

směrodatná odchylka relativních hodnot úbytků vlhkostí pevné fáze	0,11
směrodatná odchylka absolutních hodnot úbytků vlhkostí	0,83
dtto bez krajních hodnot	0,08
směrodatná odchylka hodnot vlhkostí pevného vzorku po působení	0,91
dtto bez krajních hodnot	0,67

vlhkosti

relativní	původní	konečné	vzdálenosti
0,16	7,50	8,70	17,4883881
0,11	7,50	8,35	50,84695223
-0,05	7,30	6,95	113,3852176
0,05	7,30	7,65	146,1015749
-0,08	7,30	6,72	188,6952824
-0,10	7,30	6,56	239,3876603
-0,11	7,30	6,46	280,0134666
-0,19	7,30	5,94	304,3473217

gradient vlhkosti	relativní	všechny	-0,00085316	-0,85
		bez krajních hodnot	-0,001117781	-1,12
	konečné	všechny	-0,006228068	-6,23
		bez krajních hodnot	-0,008159801	-8,16
				0,00
gradient vlhkosti	relativní	všechny	-0,001084522	-1,08
		bez krajních hodnot	-0,000941187	-0,94
	konečné	všechny	-0,008711596	-8,71
		bez krajních hodnot	-0,007622221	-7,62

voda vložená do sypké fáze (g)	10,50192		
vložená voda do pevné fáze (g)	55,99	voda v sypké	
celková voda vložená (g)	66,49	vloženo	10,50192
voda vypařená (g)	3,69	konečný stav	8,09515791
voda rozložená (g)	0,13	rozdíl	2,40676209
odpařená a rozložená voda - ubytá	3,82		
voda vložená - ubytá	62,67	výpar	3,69
voda v soust. po působení	62,74305339	chci kladné	1,28
bilance vody	-0,07		
voda přesunutá z pevné fáze (g)			

Příloha 6.1.1- opuka

opuka

PAGE 1

```
SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /298
OPERATOR: ing.Sedlarova                                  LP 15:26:57 12/11/03 HP
SAMPLE ID: opuka, ing. Bali k, CVUT                      16:01:59  12/11/03  REP
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha                               16:02:00 12/11/03


PENETROMETER  NUMBER: 08-0850          ADVANCING  CONTACT  ANGLE:  130.0
PENETROMETER  CONSTANT: 10.79 pL/pF    RECEDING  CONTACT  ANGLE:  130.0
PENETROMETER  WEIGHT: 70.9049 g        MERCURY SURFACE TENSION: 485.0
STEM VOLUME:            0.3920 mL      MERCURY  DENSITY:        13.5403
MAXIMUM HEAD  PRESSURE: 0.0310 MPa     SAMPLE WEIGHT:           1.2184
PENETROMETER  VOLUME: 4.9973 mL        SAMPLE+PEN+Hg WEIGHT: 132.8249


LOW PRESSURE:
       MERCURY FILLING PRESSURE: 0.0095 MPa LAST
       LOW PRESSURE POINT: 0.1260 MPa

HIGH PRESSURE:
       RUN TYPE:                 AUTOMATIC
       RUN METHOD:               EQUILIBRATED
       EQUILIBRATION TIME:           10 seconds


                 INTRUSION DATA SUMMARY
          (FROM  RADIUS    0.0030 TO 100.0000 pm)

              TOTAL INTRUSION VOLUME =    0.0490 mL/g
                   TOTAL PORE AREA =      5.366 sq-m/g
         MEDIAN PORE RADIUS (VOLUME) =   0.0505   pm
          MEDIAN PORE RADIUS (AREA) =    0.0063   pm
         AVERAGE PORE RADIUS (4V/A) =    0.0183 pm
                      BULK DENSITY =     2.3692   g/mL
       APPARENT (SKELETAL) DENSITY =     2.6801 g/mL
                         POROSITY =      11. 60 %
                   STEM VOLUME USED =        15 % ****
```

Příloha 6.1.2 - opuka

opuka

PORESIZER 9320 V2.07 PAGE 2

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /298
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 15:26:57 12/11/03 HP
SAMPLE ID: opuka, ing.Balik, CVUT 16:01:59 12/11/03 REP
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha 16:02:00 12/11/03

PRESSURE MPa	PORE RADIUS pm	INCREMENTAL VOLUME mL/g	CUMULATIVE VOLUME mL/g	CUMULATIVE AREA sq-m/g	LOG DIFF. PORE VOL dV/dlogR mL/g
0.0095	65.3959	0.0000	0.0000	0.000	1.462E-03
0.0201	31.0797	0.0005	0.0005	0.000	1.530E-03
0.0303	20.5573	0.0003	0.0008	0.000	1.686E-03
0.0401	15.5497	0.0002	0.0010	0.000	1.557E-03
0.0503	12.3899	0.0001	0.0011	0.000	1.465E-03
0.0751	8.3032	0.0002	0.0014	0.000	1.307E-03
0.1002	6.2212	0.0001	0.0015	0.000	1.082E-03
0.1260	4.9468	0.0001	0.0016	0.000	7.640E-04
0.1515	4.1156	0.0000	0.0017	0.000	1.965E-04
0.1756	3.5500	0.0000	0.0017	0.000	8.131E-05
0.2021	3.0857	0.0000	0.0017	0.000	5.001E-04
0.2492	2.5024	0.0001	0.0017	0.000	7.796E-04
0.3020	2.0644	0.0001	0.0018	0.000	1.043E-03
0.4043	1.5423	0.0002	0.0020	0.001	1.366E-03
0.4973	1.2537	0.0001	0.0021	0.001	1.455E-03
0.7478	0.8338	0.0003	0.0024	0.001	1.574E-03
0.9995	0.6238	0.0002	0.0026	0.002	1.417E-03
1. 2534	0.4974	0.0001	0.0027	0.002	1.819E-03
1.5028	0.4149	0.0002	0.0029	0.003	2.175E-03
1.7567	0.3549	0.0001	0.0030	0.004	2.234E-03
2.0015	0.3115	0.0001	0.0032	0.005	2.551E-03
2.5047	0.2489	0.0003	0.0034	0.006	3.031E-03
3.0000	0.2078	0.0003	0.0037	0.009	4.701E-03
4.0261	0.1549	0.0009	0.0046	0.019	9.988E-03
4.9935	0.1249	0.0016	0.0062	0.042	3.210E-02
7.4829	0.0833	0.0081	0.0144	0.199	5.037E-02
9.9609	0.0626	0.0063	0.0207	0.371	4.718E-02
15.0003	0.0416	0.0069	0.0276	0.636	3.161E-02
19.9700	0.0312	0.0034	0.0310	0.824	2.399E-02
29.9521	0.0208	0.0037	0.0347	1.111	1.845E-02
39.8999	0.0156	0.0021	0.0368	1. 339	1.505E-02
49.9006	0.0125	0.0014	0.0382	1.534	1.313E-02
59.9658	0.0104	0.0010	0.0392	1.709	1.399E-02
79.9374	0.0078	0.0021	0.0413	2.165	1.834E-02
99.9217	0.0062	0.0019	0.0431	2.695	1.999E-02
119.8532	0.0052	0.0016	0.0447	3.259	2.012E-02
139.8732	0.0045	0.0013	0.0461	3.809	1.956E-02
159.8449	0.0039	0.0011	0.0472	4.346	1.898E-02
179.8339	0.0035	0.0010	0.0481	4.864	1.838E-02
199.7	0.0031	0.0008	0.0490	5.366	1.814E-02
965	0.0062	-0.0003	0.0487	5.248	1.879E-03
99.9154	0.0125	-0.0008	0.0478	5.067	3.379E-03
49.9698	0.0622	-0.0033	0.0446	4.891	8.555E-03
10.0218	0.6201	-0.0087	0.0359	4.840	8.700E-03
1.0055					

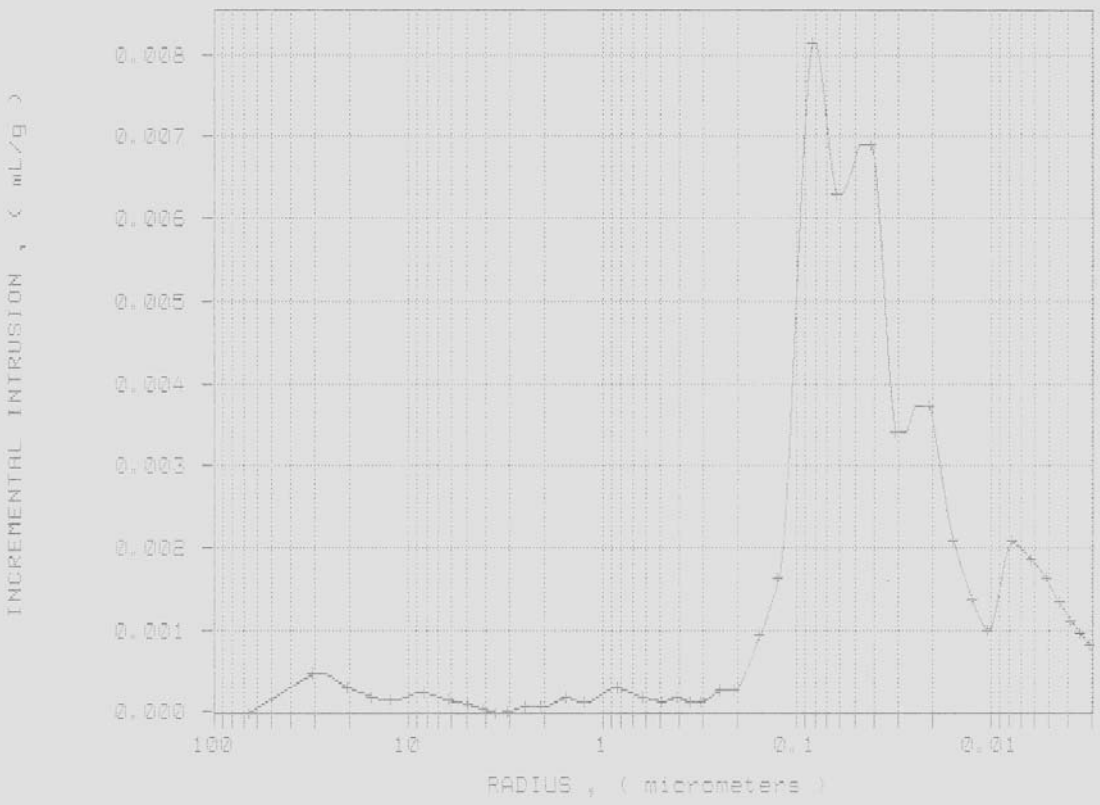
Příloha 6.1.3 - opuka

opuka

PORESIZER 9320 V2.07 PAGE 3

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /298
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 15:26:57 12/11/03
SAMPLE ID: opuka, ing.Balik, CVUT HP 16:01:59 12/11/03
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha REP 16:02:00 12/11/03

INCREMENTAL INTRUSION vs RADIUS



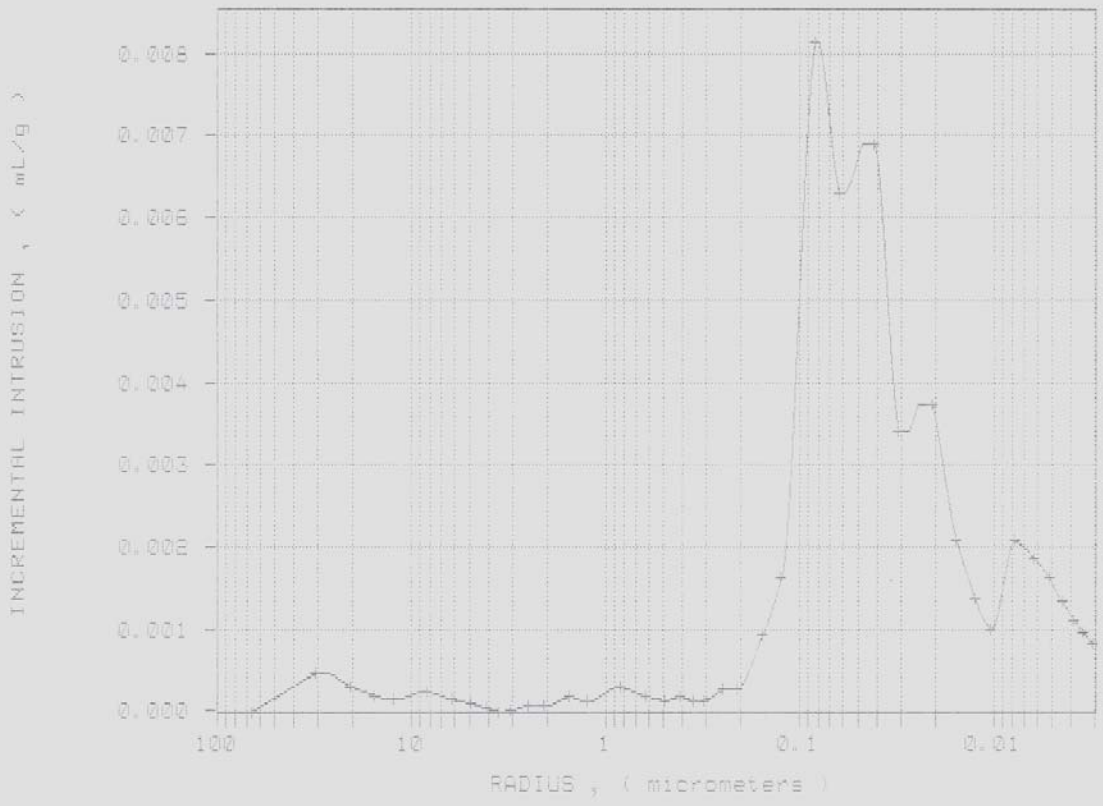
Příloha 6.1.4 - opuka

opuka

PORESIZER 9320 V2.07 PAGE 3

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /298
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 15:26:57 12/11/03
SAMPLE ID: opuka, ing.Balik, CVUT HP 16:01:59 12/11/03
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha REP 16:02:00 12/11/03

INCREMENTAL INTRUSION vs RADIUS



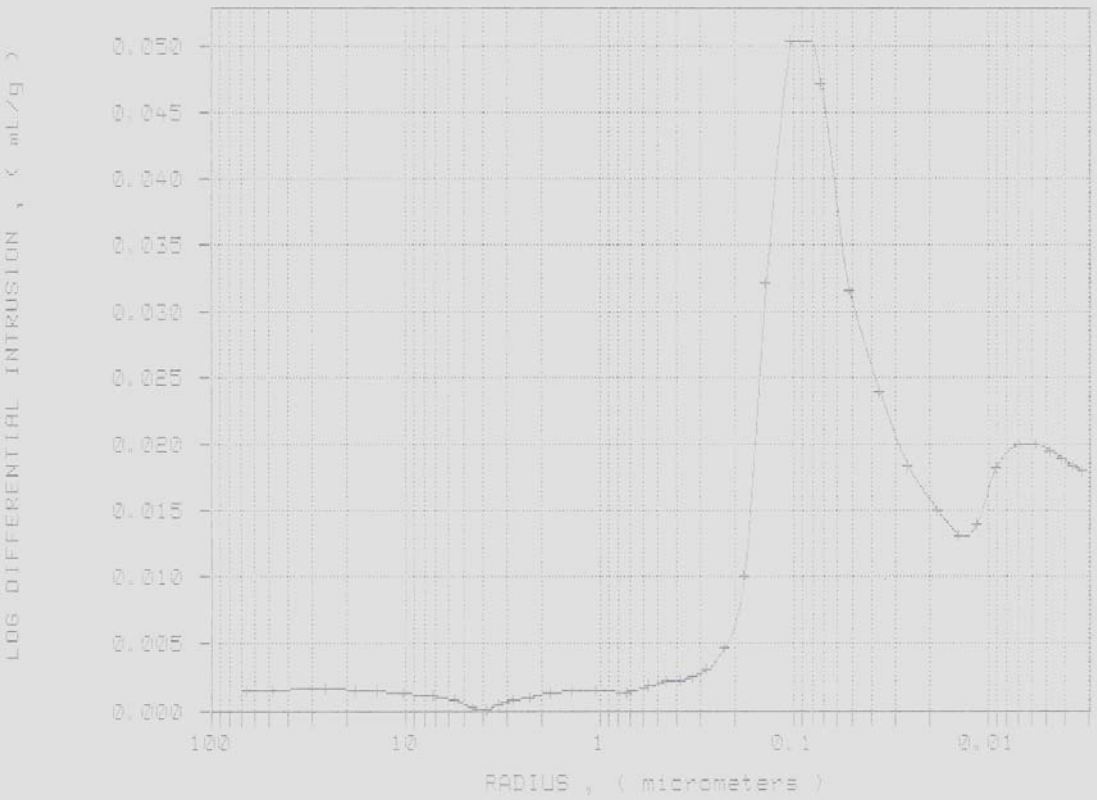
Příloha 6.1.5 - opuka

opuka

POREZIZER 9320 V2.07 PAGE 5

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /298
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 15:26:57 12/11/03
SAMPLE ID: opuka, ing.Balik, CVUT HP 16:01:59 12/11/03
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha REP 16:02:00 12/11/03

LOG DIFFERENTIAL INTRUSION vs RADIUS



Příloha 6.2.1 – historická cihla K 11

```
                                        K 11

PORESIZER 9320 V2.07          45 %                                          PAGE   1

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /294
OPERATOR: ing.Sedlarova                                     LP 11:53:44 12/10/03 HP
SAMPLE ID: K 11, ing.Balik, CVUT SUBMITTER:                 12:29:14  12/10/03  REP
UAT VSCHT Praha                                             12:29:14 12/10/03


PENETROMETER  NUMBER: 08-0016 CONSTANT:  ADVANCING  CONTACT  ANGLE:  130.0
PENETROMETER  10.79 pL/pF WEIGHT: 70.7332 RECEDING  CONTACT  ANGLE:  130.0
PENETROMETER  9                          MERCURY SURFACE TENSION: 485.0
STEM VOLUME:             0.3920 mL       MERCURY  DENSITY:         13.5411
MAXIMUM HEAD PRESSURE: 0.0310 MPa        SAMPLE WEIGHT:            1.2283
PENETROMETER VOLUME: 5.2846 mL           SAMPLE+PEN+Hg WEIGHT: 134.7505


LOW PRESSURE:
       MERCURY FILLING PRESSURE: 0.0100 MPa LAST
       LOW PRESSURE POINT: 0.1250 MPa

HIGH PRESSURE:
       RUN TYPE:                  AUTOMATIC
       RUN METHOD:                EQUILIBRATED
       EQUILIBRATION TIME:            10 seconds


                     INTRUSION DATA SUMMARY
              (FROM  RADIUS    0.0030 TO 100.0000 pm)

                  TOTAL INTRUSION VOLUME =    0.1439 mL/g
                         TOTAL PORE AREA =     7.676 sq-m/g
              MEDIAN PORE RADIUS (VOLUME) =  0.2760   pm
              MED lAN PORE RADIUS (AREA) =   0.0067   pm
              AVERAGE PORE RADIUS (4V/A) =   0.0375 pm
                           BUL K DENSITY =   1.8965   g/mL
            APPARENT (SKELETAL) DENSITY =    2.6081 g/mL
                                 POROSITY =    27.29 %
                        STEM VOLUME USED =
```

Příloha 6.2.2 historická cihla K 11

K 11

PORESIZER 9320 V2.07 PAGE 2

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /294
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 11:53:44 12/10/03 HP
SAMPLE ID: K 11, ing.Balik, CVUT SUBMITTER: 12:29:14 12/10/03 REP
UAT VSCHT Praha 12:29:14 12/10/03

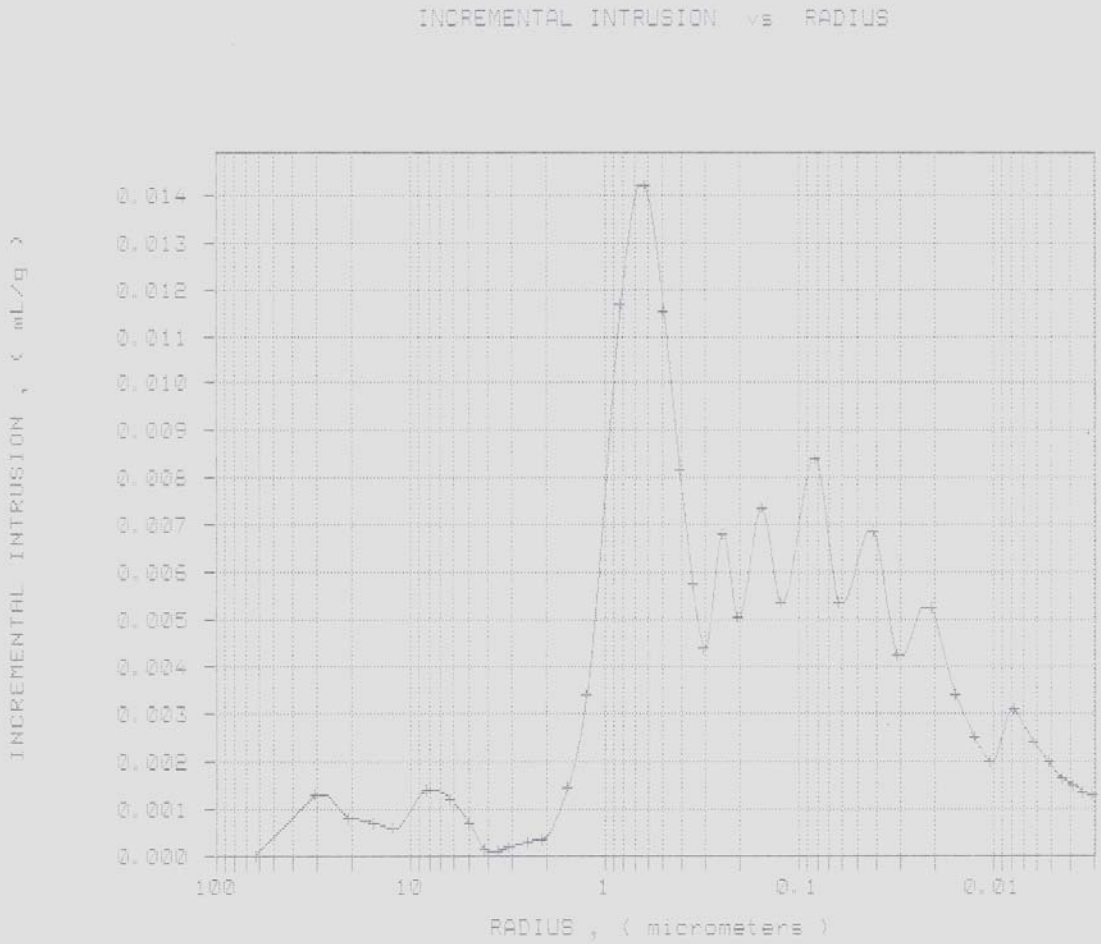
PRESSURE MPa	PORE RADIUS pm	INCREMENTAL VOLUME mL/g	CUMULATIVE VOLUME mL/g	CUMULATIVE PORE AREA sq-m/g	VOL mL/g	LOG DIFF. dV/dlogR
0.0100	62.6402	0.0000	0.0000	0.000		4.203E-03
0.0202	30.9274	0.0013	0.0013	0.000		4.234E-03
0.0300	20.7610	0.0008	0.0021	0.000		5.285E-03
0.0400	15.5702	0.0007	0.0028	0.000		5.584E-03
0.0503	12.3955	0.0006	0.0033	0.000		6.211E-03
0.0751	8.3035	0.0014	0.0047	0.001		9.120E-03
0.1000	6.2327	0.0012	0.0059	0.001		9.144E-03
0.1250	4.9892	0.0007	0.0066	0.001		3.551E-03
0.1510	4.1290	0.0001	0.0067	0.001		1.359E-03
0.1751	3.5603	0.0001	0.0068	0.001		2.252E-03
0.1992	3.1294	0.0002	0.0070	0.001		2.869E-03
0.2509	2.4848	0.0003	0.0073	0.002		3.587E-03
0.2980	2.0922	0.0003	0.0076	0.002		6.594E-03
0.4001	1.5582	0.0014	0.0090	0.003		2.161E-02
0.4998	1. 2475	0.0034	0.0125	0.008		4.562E-02
0.7457	0.8361	0.0117	0.0241	0.031		9.913E-02
0.9971	0.6253	0.0142	0.0384	0.070		1.178E-O1
1.2465	0.5002	0.0115	0.0499	0.111		1.109E-O1
1.5043	0.4145	0.0082	0.0580	0.146		9.124E-02
1.7565	0.3550	0.0058	0.0638	0.176		8.206E-02
1.9963	0.3123	0.0044	0.0682	0.203		7.451E-02
2.5162	0.2478	0.0068	0.0750	0.251		6.486E-02
3.0201	0.2064	0.0050	0.0801	0.296		6.234E-02
3.9939	0.1561	0.0073	0.0874	0.377		5.749E-02
5.0184	0.1242	0.0053	0.0928	0.453		5.094E-02
7.5135	0.0830	0.0084	0.1012	0.615		4.523E-02
9.9870	0.0624	0.0053	0.1065	0.762		4.111E-02
14.9989	0.0416	0.0068	0.1133	1.025		3.620E-02
19.9719	0.0312	0.0042	0.1176	1.257		3.185E-02
29.9274	0.0208	0.0053	0.1228	1.661		2.827E-02
39.8820	0.0156	0.0034	0.1262	2.034		2.622E-02
49.9033	0.0125	0.0025	0.1287	2.388		2.508E-02
59.9844	0.0104	0.0020	0.1307	2.734		2.469E-02
79.9445	0.0078	0.0031	0.1338	3.410		2.475E-02
99.8908	0.0062	0.0024	0.1362	4.094		2.480E-02
119.8763	0.0052	0.0020	0.1381	4.780		2.462E-02
139.8664	0.0045	0.0016	0.1398	5.459		2.502E-02
159.8473	0.0039	0.0015	0.1413	6.169		2.603E-02
179.7845	0.0035	0.0013	0.1426	6.900		2.718E-02
199.7	0.0031	0.0013	0.1439	7.676		2.773E-02
539	0.0062	-0.0007	0.1432	7.392		3.445E-03
99.8649	0.0125	-0.0016	0.1417	7.059		6.027E-03
49.9067	0.0621	-0.0069	0.1347	6.688		2.151E-02
10.0418	0.6299	-0.0221	0.1127	6.561		2.195E-02
0.9899						

Příloha 6.2.3 – historická cihla K 11

K 11

POREZIZER 9320 V2.07 PAGE 3

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /294
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 11:53:44 12/10/03
SAMPLE ID: K 11, ing.Balik, CVUT HP 12:29:14 12/10/03
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha REP 12:29:14 12/10/03



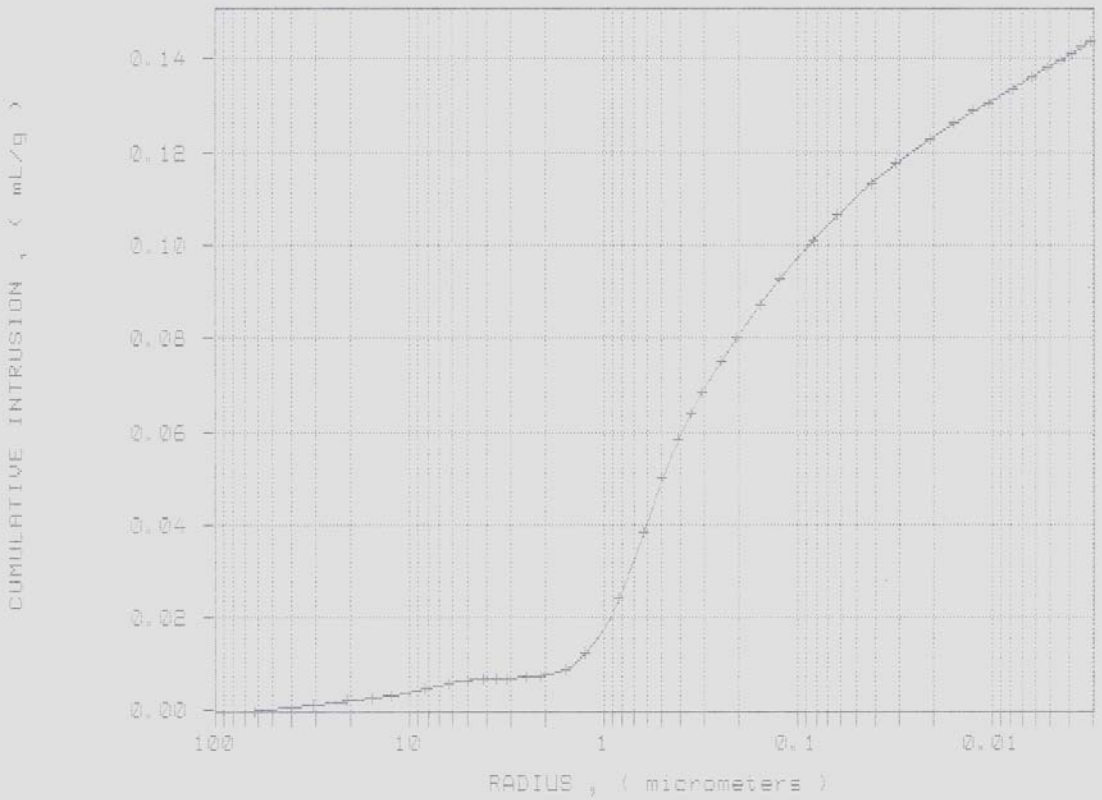
Příloha 6.2.4

K 11

PORESIZER 9320 V2.07 PAGE 4

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /294
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 11:53:44 12/10/03
SAMPLE ID: K 11, ing.Balik, CVUT HP 12:29:14 12/10/03
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha REP 12:29:14 12/10/03

CUMULATIVE INTRUSION vs RADIUS
+ intrusion, * extrusion



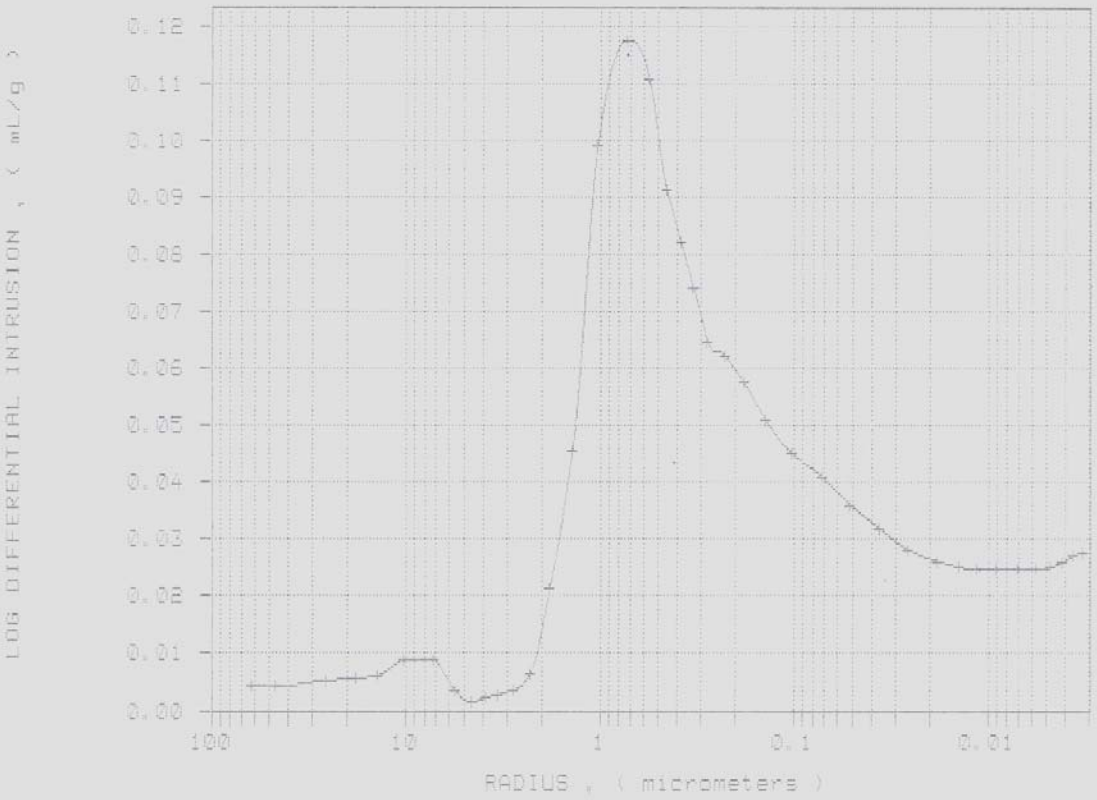
Příloha 6.2.5 historická cihla K 11

K 11

POREZIZER 9320 V2.07 PAGE 5

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /294
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 11:53:44 12/10/03
SAMPLE ID: K 11, ing.Balik, CVUT HP 12:29:14 12/10/03
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha REP 12:29:14 12/10/03

LOG DIFFERENTIAL INTRUSION vs RADIUS



Příloha 6.3.1 - historická cihla K 15

```
PORESIZER 9320 V2.07                                                    PAGE  1

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /295
OPERATOR: ing.Sedlarova                                   LP  11:53:44  12/10/03
SAMPLE ID: K 15, ing.Balik, CVUT SUBMITTER:               HP  14:09:26  12/10/03
UAT VSCHT Praha                                           REP 14:09:27 12/10/03


PENETROMETER  NUMBER: 08-0905          ADVANCING  CONTACT  ANGLE:  130.0deg
PENETROMETER  CONSTANT: 10.79 pL/pF    RECEDING   CONTACT  ANGLE:  130.0deg
PENETROMETER  WEIGHT: 70.4668 9        MERCURY SURFACE TENSION: 485.0    dyn/cm
STEM VOLUME:            0.3920 mL      MERCURY  DENSITY:        13.5411  g/mL 9
MAXIMUM HEAD PRESSURE: 0.0310 MPa      SAMPLE  WEIGHT:           1.2116 9
PENETROMETER VOLUME: 5.3149 mL         SAMPLE+PEN+Hg WEIGHT: 135.5483


LOW PRESSURE:
       MERCURY FILLING PRESSURE: 0.0100 MPa LAST
       LOW PRESSURE POINT: 0.1250 MPa

HIGH PRESSURE:
       RUN TYPE:                  AUTOMATIC
       RUN METHOD:                EQUILIBRATED
       EQUILIBRATION TIME:            10 seconds


                 INTRUSION DATA SUMMARY
          (FROM  RADIUS    0.0030 TO 100.0000 pm)

              TOTAL INTRUSION VOLUME =    0.0879 mL/g
                        TOTAL PORE AREA =     3.326 sq-m/g
           MEDIAN PORE RADIUS (VOLUME) =   1.3470 pm 0.0046
            MEDIAN PORE RADIUS (AREA) =    pm 0.0529 pm
           AVERAGE PORE RADIUS (4V/A) =    2.0256 g/mL
                          BULK DENSITY =   2.4645 g/mL
         APPARENT (SKELETAL) DENSITY =      17.81 %
                               POROSITY =        27 %
                     STEM VOLUME USED =
```

Příloha 6.3.2 - historická cihla K 15

PORESIZER 9320 V2.07 4.132E-03 5.301E-03 1.342E-02 1.278E-02 1.080E-02 PAGE 2
2.164E-02 2.985E-02 1.658E-02
SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /295 4.731E-03
OPERATOR: ing.Sedlarova 1.213E-02 LP 11:53:44 12/10/03 HP
SAMPLE ID: K 15, ing.Balik, CVUT SUBMITTER: 1.898E-02 14:09:26 12/10/03 REP
UAT VSCHT Praha 3.378E-02 14:09:27 12/10/03
8.554E-02 1.154E-Ol 7.744E-02 4.149E-02 3.014E-02 2.732E-02 2.531E-02
2.263E-02

PRESSURE MPa	PORE RADIUS pm	INCREMENTAL VOLUME mL/g	CUMULATIVE VOLUME mL/g	CUMULATIVE PORE AREA sq-m/g	LOG DIFF. VOL dV/dlogR mL/g
	2.133E-02	1.854E-02			
0.0100	62.6402	0.0000	0.0000	0.000	
0.0202	30.9274	0.0013	0.0013	0.000	
0.0300	20.7610	0.0017	0.0029	0.000	
0.0400	15.5702	0.0018	0.0048	0.000	
0.0503	12.3955	0.0011	0.0059	0.001	
0.0751	8.3035	0.0023	0.0082	0.001	
0.1000	6.2327	0.0034	0.0116	0.002	
0.1250	4.9892	0.0028	0.0145	0.003	
0.1514	4.1184	0.0003	0.0147	0.003	
0.1755	3.5533	0.0006	0.0153	0.003	
0.1995	3.1250	0.0008	0.0162	0.004	
0.2498	2.4956	0.0025	0.0186	0.006	
0.3012	2.0702	0.0039	0.0225	0.009	
0.3986	1.5644	0.0151	0.0376	0.026	
0.5022	1.2415	0.0096	0.0472	0.039	
0.7507	0.8306	0.0097	0.0568	0.058	
0.9961	0.6259	0.0044	0.0612	0.070	
1.2636	0.4934	0.0028	0.0641	0.080	
1.4956	0.4169	0.0020	0.0661	0.089	
1.7436	0.3576	0.0016	0.0676	0.097	
1.9963	0.3123	0.0013	0.0689	0.105	
2.5017	0.2492	0.0020	0.0709	0.119	
3.0267	0.2060	0.0014	0.0723	0.131	
4.0033	0.1557	0.0018	0.0741	0.151	
5.0260	0.1241	0.0011	0.0752	0.167	
7.5160	0.0830	0.0016	0.0768	0.199	
10.0152	0.0623	0.0009	0.0777	0.224	
14.9725	0.0416	0.0010	0.0788	0.264	
19.9826	0.0312	0.0006	0.0794	0.296	
29.9386	0.0208	0.0007	0.0800	0.346	
39.9406	0.0156	0.0004	0.0804	0.391	
49.8989	0.0125	0.0003	0.0807	0.435	
60.0146	0.0104	0.0003	0.0810	0.480	
79.9381	0.0078	0.0009	0.0820	0.689	
99.9363	0.0062	0.0011	0.0830	0.991	
119.8908	0.0052	0.0010	0.0840	1.347	
139.9063	0.0045	0.0010	0.0851	1.781	
159.8435	0.0039	0.0010	0.0860	2.241	
179.8360	0.0035	0.0010	0.0870	2.767	
199.7871	0.0031	0.0009	0.0879	3.326	
99.8853	0.0062	-0.0005	0.0874	3.110	
49.9098	0.0125	-0.0005	0.0869	3.000	
10.0512	0.0620	-0.0007	0.0862	2.961	
1.0009	0.6229	-0.0028	0.0834	2.945	

1.599E-02 1.293E-02
1.053E-02 8.123E-03 6.556E-03 5.250E-03 4.102E-03 3.441E-03 3.220E-03
3.183E-03 4.495E-03 9.919E-03 1.191E-02 1.439E-02 1.618E-02 1.781E-02
1.947E-02 2.003E-02 1.682E-03 1.634E-03 2.706E-03 2.795E-03

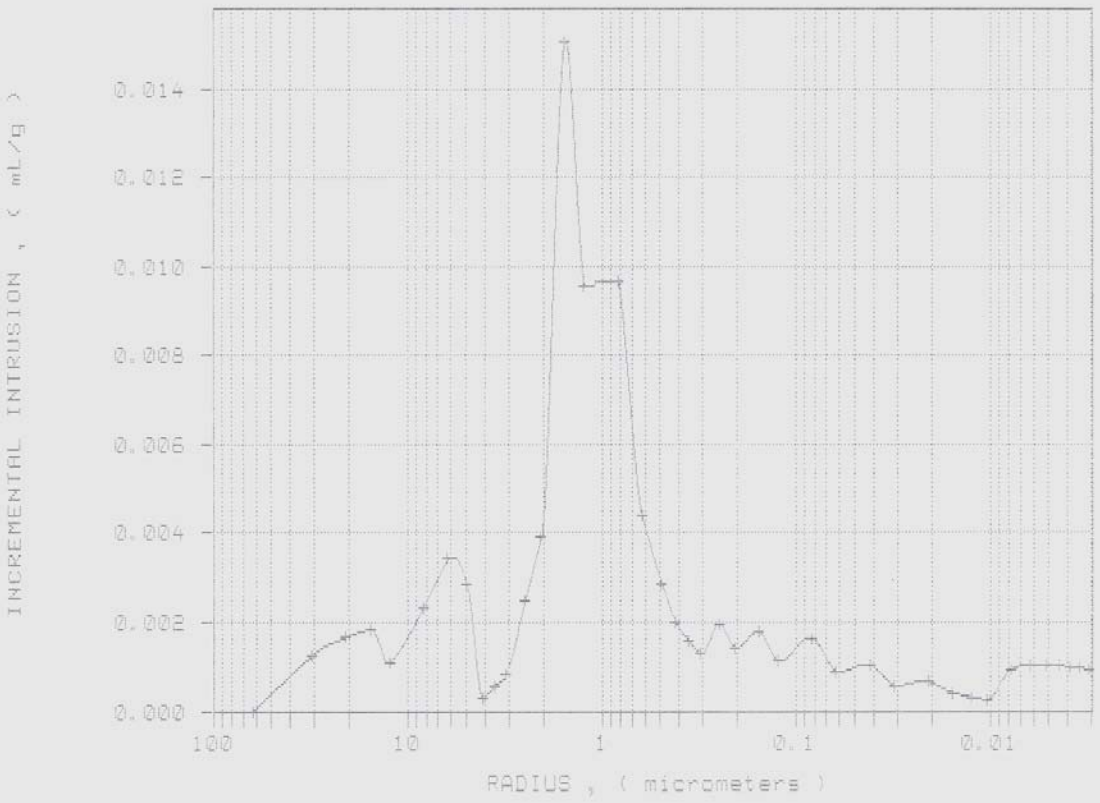
Příloha 6.3.3 - historická cihla K 15

K 15

PORESIZER 9320 V2.07 PAGE 3

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /295
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 11:53:44 12/10/03
SAMPLE ID: K 15, ing.Balik, CVUT HP 14:09:26 12/10/03
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha REP 14:09:27 12/10/03

INCREMENTAL INTRUSION vs RADIUS



Příloha 6.3.4 - historická cihla K 15

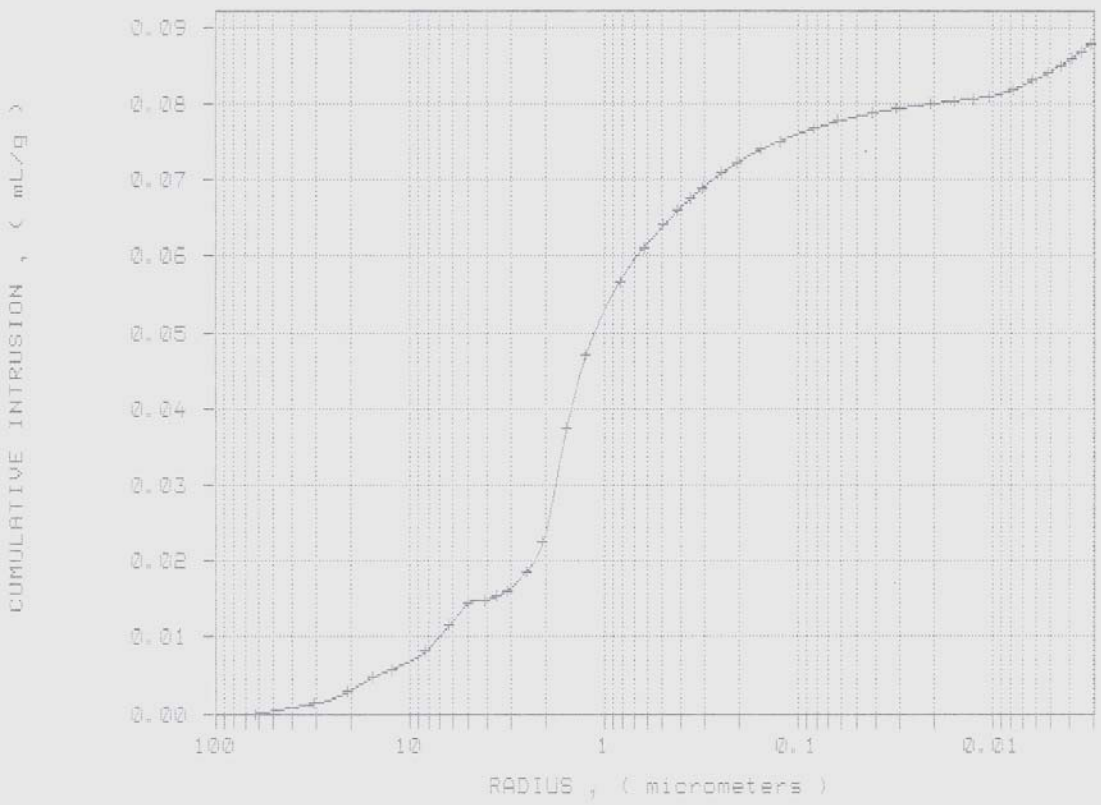
K 15

PORESIZER 9320 V2.07 PAGE 4

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /295
OPERATOR: ing.Sedlarova
SAMPLE ID: K 15, ing.Balik, CVUT
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha

LP 11:53:44 12/10/03
HP 14:09:26 12/10/03
REP 14:09:27 12/10/03

CUMULATIVE INTRUSION vs RADIUS
+ intrusion, * extrusion



Příloha 6.3.5 - historická cihla K 15

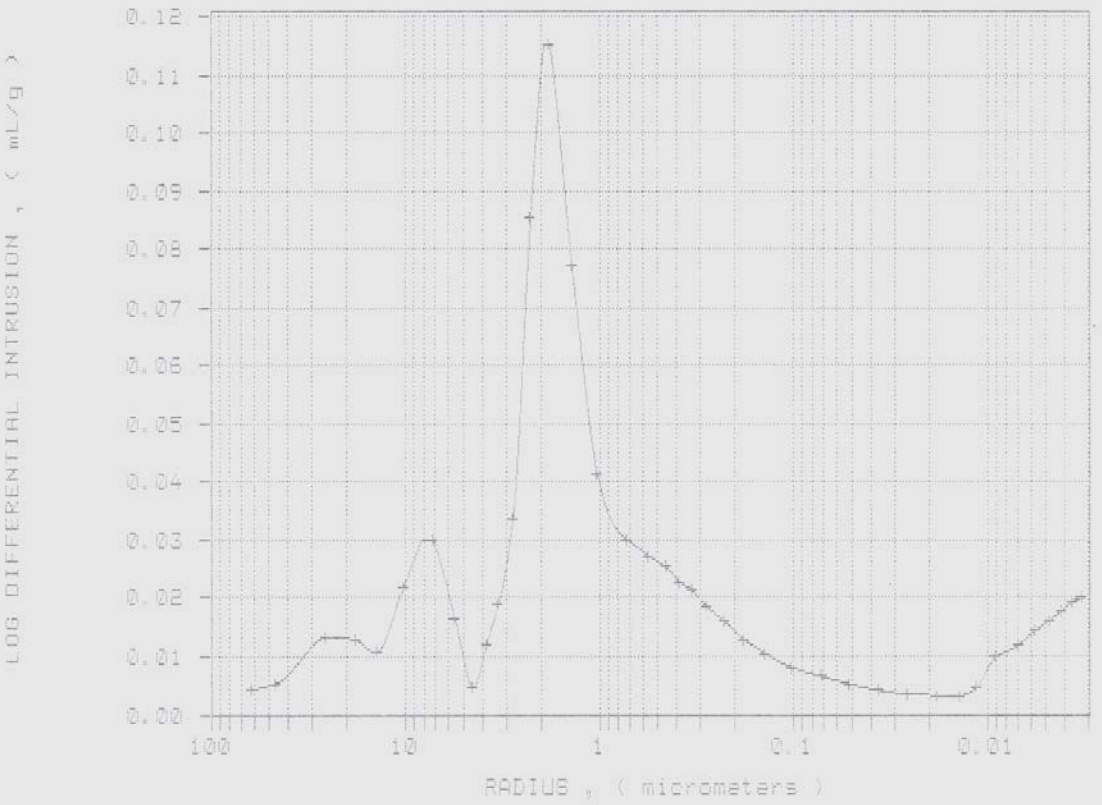
K 15

POREZIZER 9320 V2.07 PAGE 5

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /295
OPERATOR: ing.Sedlarova
SAMPLE ID: K 15, ing.Balik, CVUT
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha

LP 11:53:44 12/10/03
HP 14:09:26 12/10/03
REP 14:09:27 12/10/03

LOG DIFFERENTIAL INTRUSION vs RADIUS



Příloha 6.4.1 - nová cihla

```
                                   nova cihla

PORESIZER 9320 V2.07                                                    PAGE  1

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /296
OPERATOR: ing.Sedlarova                                   LP 11:26:53 12/11/03 HP
SAMPLE ID: nova cihla, ing.Balik, CVUT                    12:12:28   12/11/03   REP
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha                                12:12:29 12/11/03


PENETROMETER  NUMBER: 08-0998 CONSTANT:  ADVANCING  CONTACT  ANGLE:  130.0
PENETROMETER  10.90 pL/pF WEIGHT: 70.2724 RECEDING  CONTACT  ANGLE:  130.0
PENETROMETER  9                          MERCURY SURFACE TENSION: 485.0
STEM VOLUME:            0.3920 mL        MERCURY  DENSITY:        13.5403
MAXIMUM HEAD  PRESSURE: 0.0310 MPa       SAMPLE  WEIGHT:           1.2098
PENETROMETER  VOLUME: 5.2263 mL          SAMPLE+PEN+Hg WEIGHT: 132.7378


LOW PRESSURE:
       MERCURY FILLING PRESSURE: 0.0103 MPa LAST
       LOW PRESSURE POINT: 0.1258 MPa

HIGH PRESSURE:
       RUN TYPE:                  AUTOMATIC
       RUN METHOD:                EQUILIBRATED
       EQUILIBRATION TIME:            10 seconds


                     INTRUSION DATA SUMMARY
            (FROM  RADIUS    0.0030 TO 100.0000 pm)

                 TOTAL INTRUSION VOLUME =    0.1633 mL/g
                        TOTAL PORE AREA =     4.289 sq-m/g
          MEDIAN PORE RADIUS (VOLUME) =    0.3929 ],1m 0.0077
              MEDIAN PORE RADIUS (AREA) =    pm 0.0762 pm
            AVERAGE PORE RADIUS (4V/A) =    1.7225 g/mL
                          BULK DENSITY =    2.3969 g/mL
         APPARENT (SKELETAL) DENSITY =     28.14 %
                             POROSITY =        50 %
                       STEM VOLUME USED =
```

Příloha 6.4.2 - nová cihla

nova cihla

PORESIZER 9320 V2.07 PAGE 2

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /296
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 11:26:53 12/11/03 HP
SAMPLE ID: nova cihla, ing.Balik, CVUT 12:12:28 12/11/03 REP
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha 12:12:29 12/11/03

PRESSURE MPa	PORE RADIUS 11m	INCREMENTAL VOLUME mL/g	CUMULATIVE VOLUME mL/g	CUMULATIVE PORE AREA sq-m/g	VOL mL/g	LOG DIFF. dV/dlogR
0.0103	60.3145	0.0000	0.0000	0.000		9.312E-03
0.0206	30.3140	0.0028	0.0028	0.000		1.169E-02
0.0302	20.6614	0.0031	0.0059	0.000		2.189E-02
0.0403	15.4549	0.0030	0.0089	0.001		2.793E-02
0.0500	12.4647	0.0029	0.0117	0.001		3.103E-02
0.0750	8.3117	0.0056	0.0174	0.002		3.775E-02
0.1002	6.2214	0.0058	0.0232	0.004		5.712E-02
0.1258	4.9575	0.0054	0.0286	0.006		2.311E-02
0.1512	4.1231	0.0000	0.0286	0.006		3.978E-04
0.1753	3.5558	0.0001	0.0286	0.006		4.053E-04
0.2006	3.1077	0.0000	0.0286	0.006		8.827E-04
0.2512	2.4824	0.0002	0.0289	0.006		4.288E-03
0.3005	2.0746	0.0005	0.0293	0.006		7.145E-03
0.4003	1.5575	0.0018	0.0312	0.008		4.149E-02
0.4997	1. 2479	0.0068	0.0379	0.018		8.335E-02
0.7510	0.8302	0.0152	0.0531	0.047		8.388E-02
0.9960	0.6260	0.0102	0.0633	0.075		8.475E-02
1.2445	0.5010	0.0085	0.0717	0.105		9.068E-02
1.5046	0.4144	0.0077	0.0794	0.139		9.640E-02
1.7625	0.3538	0.0068	0.0863	0.174		1.041E-Ol
2.0021	0.3114	0.0060	0.0922	0.210		1.087E-Ol
2.4907	0.2503	0.0104	0.1026	0.284		1.078E-Ol
3.0276	0.2059	0.0089	0.1116	0.363		1.028E-Ol
3.9998	0.1559	0.0119	0.1234	0.494		8.917E-02
5.0034	0.1246	0.0075	0.1309	0.601		6.601E-02
7.5064	0.0831	0.0094	0.1403	0.782		4.151E-02
9.9881	0.0624	0.0043	0.1446	0.900		2.966E-02
15.0048	0.0416	0.0045	0.1491	1.072		2.041E-02
19.9734	0.0312	0.0022	0.1513	1.191		1.520E-02
29.9258	0.0208	0.0024	0.1537	1.374		1.196E-02
39.9139	0.0156	0.0014	0.1550	1. 526		1.028E-02
49.8860	0.0125	0.0010	0.1560	1.662		9.667E-03
59.9729	0.0104	0.0008	0.1568	1.797		1.070E-02
79.9481	0.0078	0.0015	0.1583	2.125		1.188E-02
99.9336	0.0062	0.0011	0.1594	2.447		1.192E-02
119.8675	0.0052	0.0010	0.1603	2.783		1.226E-02
139.8484	0.0045	0.0008	0.1612	3.127		1.323E-02
159.8271	0.0039	0.0008	0.1620	3.515		1.400E-02
179.8276	0.0035	0.0007	0.1627	3.906		1.394E-02
199.7	0.0031	0.0006	0.1633	4.289		1.385E-02
684	0.0062	-0.0000	0.1633	4.284		6.690E-04
99.9195	0.0125	-0.0005	0.1629	4.186		5.054E-04
49.9393	0.0622	0.0000	0.1629	4.186		8.275E-04
10.0277	0.6190	-0.0017	0.1612	4.176		1.654E-03
1.0073						

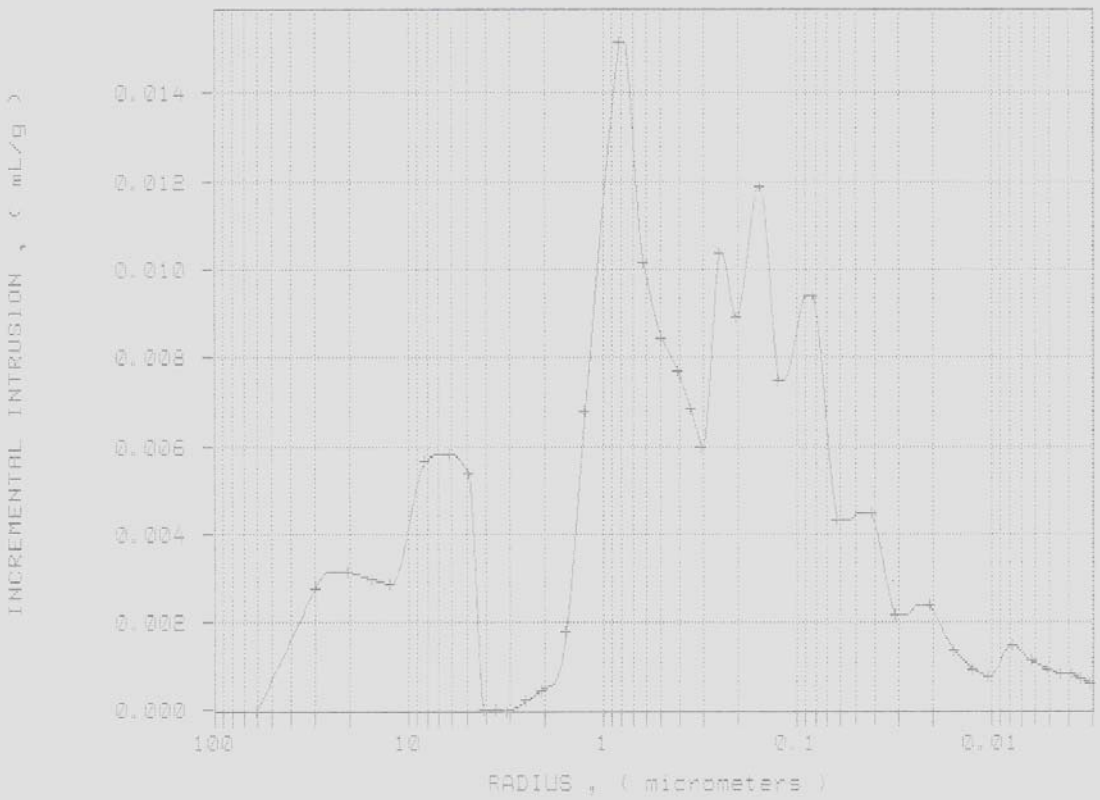
Příloha 6.4.3 - nová cihla

nova cihla

PORESIZER 9320 V2.07 PAGE 3

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /296
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 11:26:53 12/11/03
SAMPLE ID: nova cihla, ing.Balik, CVUT HP 12:12:28 12/11/03
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha REP 12:12:29 12/11/03

INCREMENTAL INTRUSION vs RADIUS



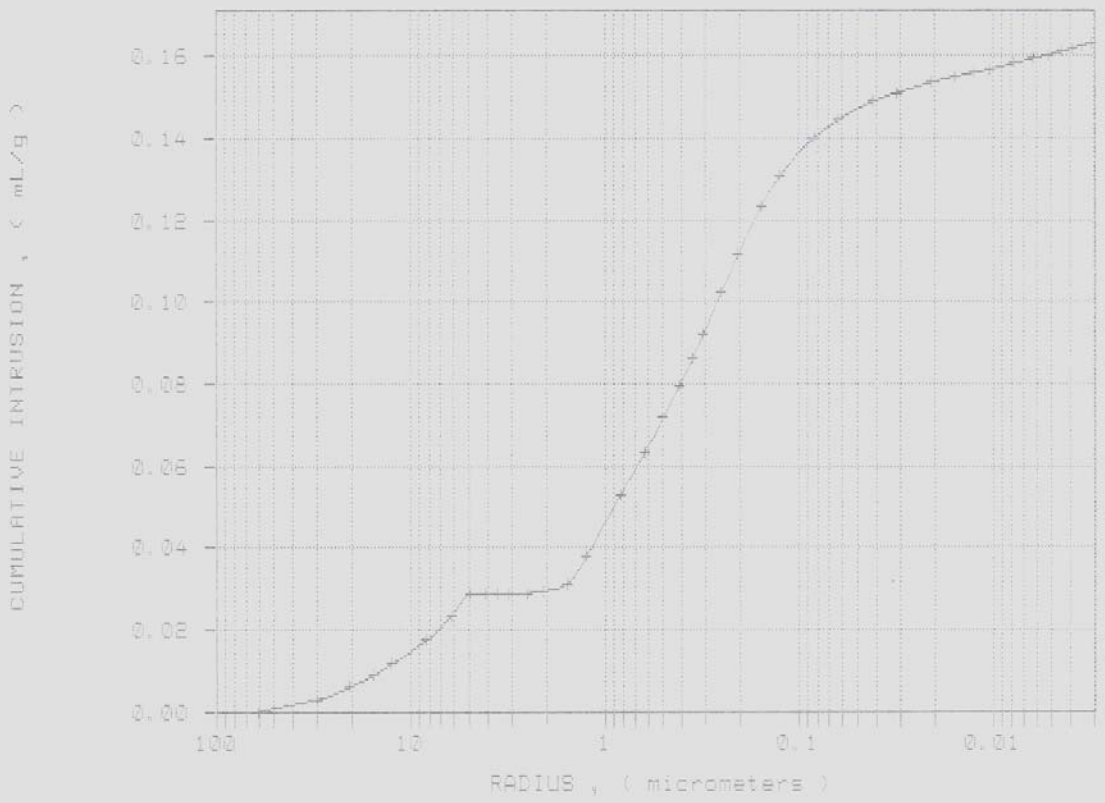
Příloha 6.4.4 - nová cihla

nova cihla

PORESIZER 9320 V2.07 PAGE 4

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /296
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 11:26:53 12/11/03
SAMPLE ID: nova cihla, ing.Balik, CVUT HP 12:12:28 12/11/03
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha REP 12:12:29 12/11/03

CUMULATIVE INTRUSION vs RADIUS
+ intrusion, * extrusion



Příloha 6.4.5 - nová cihla

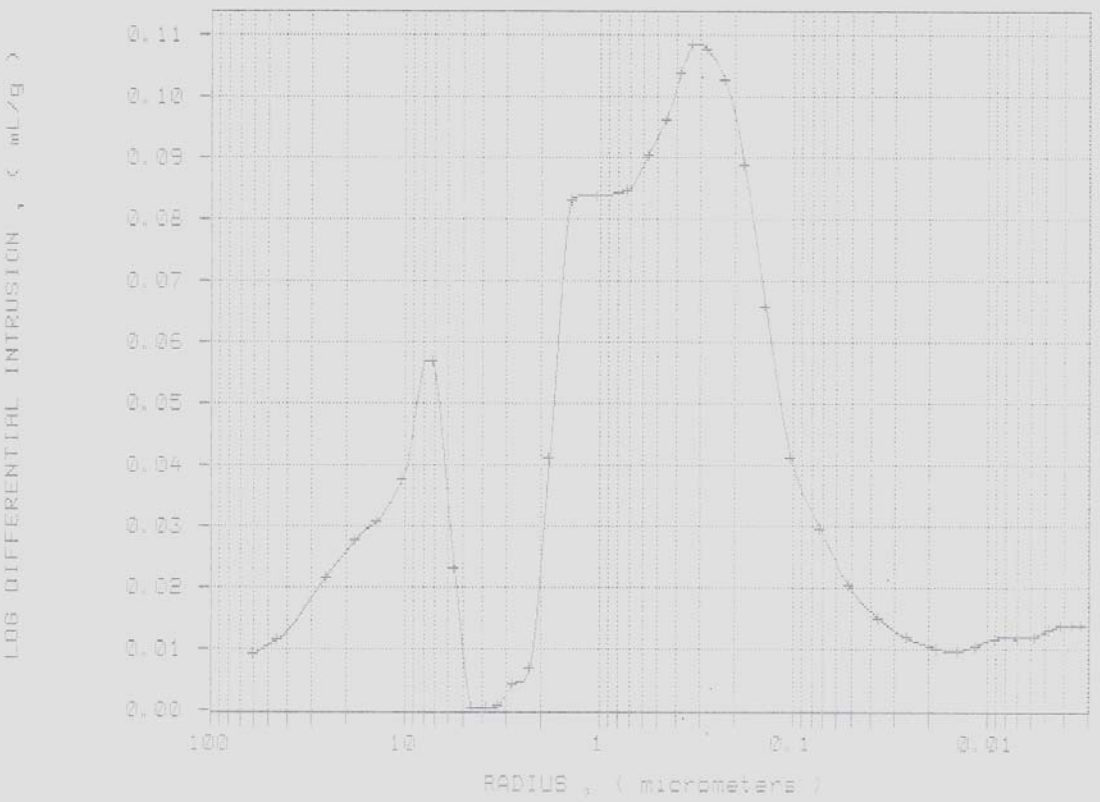
nova cihla

POREZIZER 9320 V2.07 PAGE 5

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /296
OPERATOR: ing.Sedlarova
SAMPLE ID: nova cihla, ing.Balik, CVUT
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha

LP 11:26:53 12/11/03
HP 12:12:28 12/11/03
REP 12:12:29 12/11/03

LOG DIFFERENTIAL INTRUSION vs RADIUS



Příloha 6.5.1 - pískovec

piskovec

```
PORESIZER 9320 V2.07                                                    PAGE  1

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /299
OPERATOR: ing.Sedlarova                                  LP 11:21:39 12/12/03 HP
SAMPLE ID: piskovec, ing.Balik, CVUT                     11:59:46  12/12/03  REP
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha                               11:59:47 12/12/03


PENETROMETER  NUMBER: 08-0466 CONSTANT:  ADVANCING  CONTACT  ANGLE:  130.0deg
PENETROMETER  10.79 pL/pF WEIGHT: 70.7398 RECEDING  CONTACT  ANGLE:  130.0deg
PENETROMETER  9                          MERCURY SURFACE TENSION: 485.0    dyn/cm
STEM VOLUME:            0.3920 mL        MERCURY  DENSITY:        13.5426 g/mL 9
MAXIMUM HEAD  PRESSURE: 0.0310 MPa       SAMPLE WEIGHT:           1.2744 9
PENETROMETER  VOLUME: 5.3155 mL          SAMPLE+PEN+Hg WEIGHT: 135.6928


LOW PRESSURE:
       MERCURY FILLING PRESSURE: 0.0074 MPa LAST
       LOW PRESSURE POINT: 0.1310 MPa

HIGH PRESSURE:
       RUN TYPE:                 AUTOMATIC
       RUN METHOD:               EQUILIBRATED
       EQUILIBRATION TIME:            10 seconds


                    INTRUSION DATA SUMMARY
             (FROM  RADIUS    0.0030 TO 100.0000 pm)

                                          0.0921 mL/g sq-
          TOTAL INTRUSION VOLUME =         3.505 m/g
                  TOTAL PORE AREA =       0.9454 pm
       MEDIAN PORE RADIUS (VOLUME) =      0.0053 pm
        MEDIAN PORE RADIUS (AREA) =       0.0526 pm
       AVERAGE PORE RADIUS (4V/A) =       2.0776 g/mL
                     BULK DENSITY =       2.5694 g/mL
      APPARENT (SKELETAL) DENSITY =        19.14 %
                         POROSITY =           30 %
                 STEM VOLUME USED =
```

Příloha 6.5.2 - pískovec

piskovec

PORESIZER 9320 V2.07 PAGE 2

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /299
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 11:21:39 12/12/03 HP
SAMPLE ID: piskovec, ing.Balik, CVUT 11:59:46 12/12/03 REP
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha 11:59:47 12/12/03

PRESSURE MPa	PORE RADIUS pm	INCREMENTAL VOLUME mL/g	CUMULATIVE VOLUME mL/g	CUMULATIVE AREA sq-m/g	LOG DIFF. PORE VOL dV/dlogR mL/g
0.0074	84.5287	0.0000	0.0000	0.000	3.512E-03
0.0102	60.9583	0.0005	0.0005	0.000	4.279E-03
0.0205	30.4040	0.0028	0.0033	0.000	1.319E-02
0.0304	20.5045	0.0026	0.0059	0.000	1.736E-02
0.0403	15.4769	0.0024	0.0083	0.001	2.240E-02
0.0503	12.4043	0.0026	0.0109	0.001	3.332E-02
0.0602	10.3641	0.0031	0.0139	0.002	4.478E-02
0.0700	8.9082	0.0032	0.0172	0.002	5.666E-02
0.0801	7.7884	0.0037	0.0209	0.003	5.950E-02
0.0901	6.9240	0.0028	0.0237	0.004	5.824E-02
0.1002	6.2241	0.0027	0.0264	0.005	6.074E-02
0.1101	5.6646	0.0027	0.0291	0.006	6.405E-02
0.1202	5.1874	0.0022	0.0314	0.006	5.356E-02
0.1310	4.7592	0.0026	0.0339	0.007	3.277E-02
0.1402	4.4475	0.0000	0.0339	0.007	1.601E-02
0.1494	4.1739	0.0000	0.0340	0.007	3.261E-03
0.1747	3.5699	0.0001	0.0341	0.007	1.442E-03
0.1999	3.1187	0.0001	0.0342	0.008	2.583E-03
0.2527	2.4669	0.0004	0.0345	0.008	5.148E-03
0.2998	2.0797	0.0005	0.0350	0.008	9.233E-03
0.3973	1.5695	0.0023	0.0373	0.011	3.377E-02
0.4991	1.2492	0.0041	0.0414	0.017	4.060E-02
0.7535	0.8275	0.0069	0.0484	0.030	3.741E-02
0.9944	0.6270	0.0043	0.0526	0.042	3.309E-02
1.2526	0.4978	0.0032	0.0558	0.053	3.234E-02
1.5006	0.4155	0.0026	0.0584	0.064	3.235E-02
1.7440	0.3575	0.0021	0.0605	0.075	3.186E-02
1.9909	0.3132	0.0018	0.0623	0.086	3.169E-02
2.5192	0.2475	0.0032	0.0656	0.109	3.085E-02
3.0153	0.2068	0.0023	0.0679	0.130	2.937E-02
3.9952	0.1561	0.0035	0.0714	0.168	2.645E-02
4.9970	0.1248	0.0023	0.0737	0.201	2.227E-02
7.4891	0.0833	0.0034	0.0772	0.268	1.632E-02
9.9940	0.0624	0.0018	0.0789	0.316	1.266E-02
14.9765	0.0416	0.0020	0.0809	0.393	9.936E-03
19.9590	0.0312	0.0011	0.0820	0.454	8.006E-03
29.9137	0.0208	0.0013	0.0833	0.553	6.588E-03
39.9007	0.0156	0.0008	0.0841	0.640	6.239E-03
49.9073	0.0125	0.0006	0.0847	0.725	6.481E-03
59.9908	0.0104	0.0006	0.0853	0.825	8.806E-03
79.9350	0.0078	0.0013	0.0866	1.117	1.120E-02
99.8584	0.0062	0.0011	0.0877	1.431	1.199E-02
119.8428	0.0052	0.0010	0.0887	1.786	1.386E-02
139.8560	0.0045	0.0010	0.0897	2.191	1.455E-02
159.7932	0.0039	0.0008	0.0905	2.591	1.509E-02

PORESIZER 9320 V2.07 1.640E-02 1.704E-02 3.331E-03 3.639E-03 7.756E-03 PAGE 3
7.994E-03

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /299
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 11:21:39 12/12/03 HP
SAMPLE ID: piskovec, ing.Balik, CVUT 11:59:46 12/12/03 REP
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha 11:59:47 12/12/03

PRESSURE MPa	PORE RADIUS pm	INCREMENTAL VOLUME mL/g	CUMULATIVE VOLUME mL/g	CUMULATIVE PORE AREA sq-m/g	LOG DIFF. VOL dV/dlogR mL/g
179.8236	0.0035	0.0008	0.0913	3.025	
199.7862	0.0031	0.0008	0.0921	3.505	
99.8776	0.0062	-0.0006	0.0915	3.228	
49.8780	0.0125	-0.0012	0.0903	2.969	
10.0471	0.0621	-0.0020	0.0883	2.861	
1.0043	0.6209	-0.0080	0.0803	2.814	

Příloha 6.5.3 - pískovec

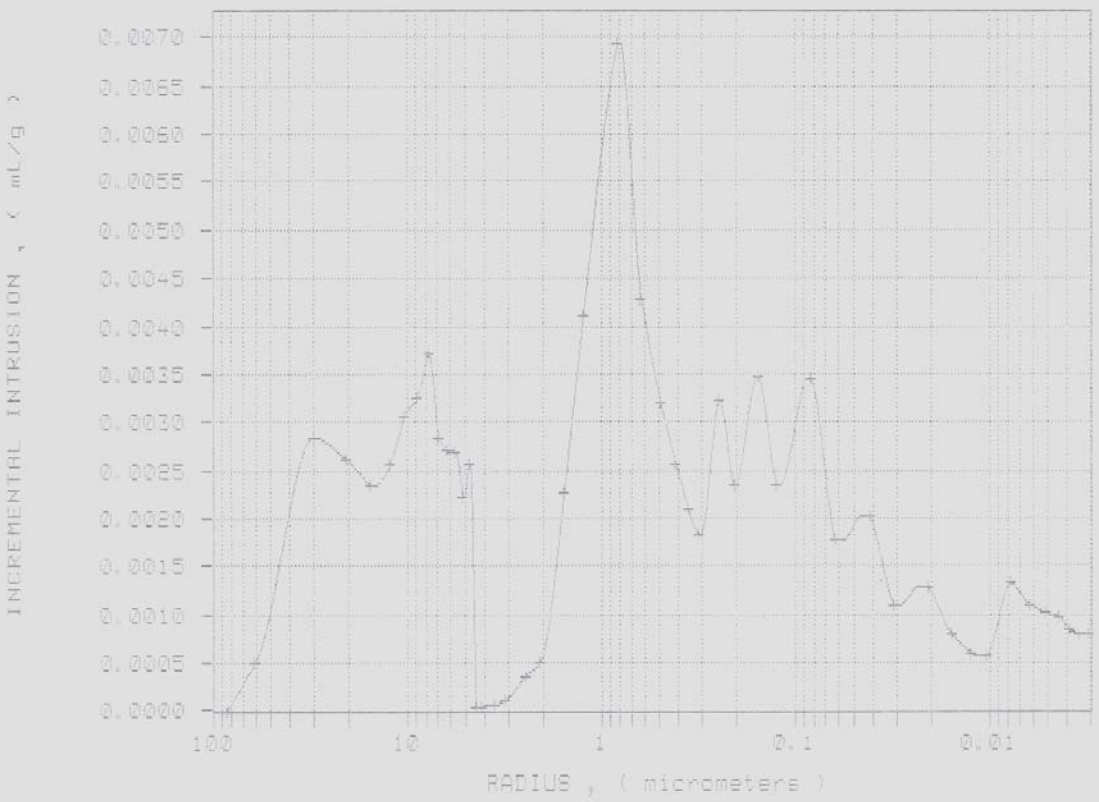
piskovec

POREZIZER 9320 V2.07 PAGE 4

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /299
OPERATOR: ing.Sedlarova
SAMPLE ID: piskovec, ing.Balik, CVUT
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha

LP 11:21:39 12/12/03
HP 11:59:46 12/12/03
REP 11:59:47 12/12/03

INCREMENTAL INTRUSION vs RADIUS



Příloha 6.5.4 - pískovec

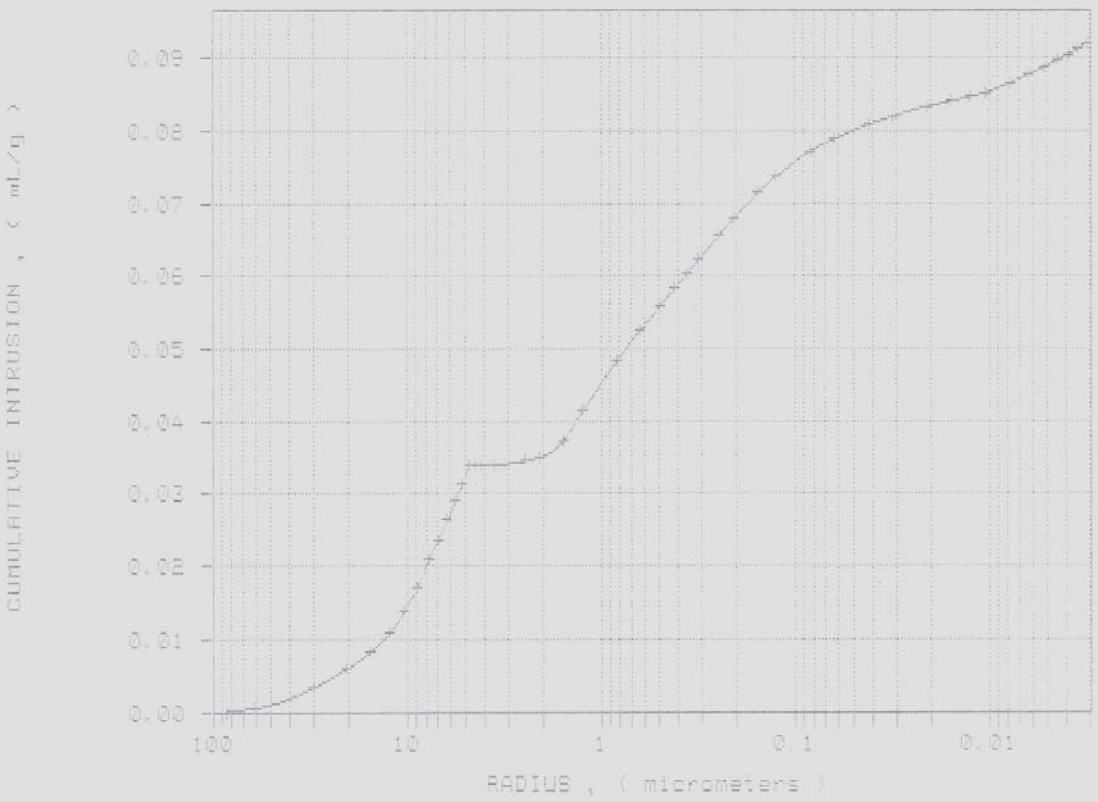
piskovec

POREZIZER 9320 V2.07 PAGE 5

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /299
OPERATOR: ing.Sedlarova
SAMPLE ID: piskovec, ing.Balik, CVUT
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha

LP 11:21:39 12/12/03
HP 11:59:46 12/12/03
REP 11:59:47 12/12/03

CUMULATIVE INTRUSION vs RADIUS
+ intrusion, * extrusion



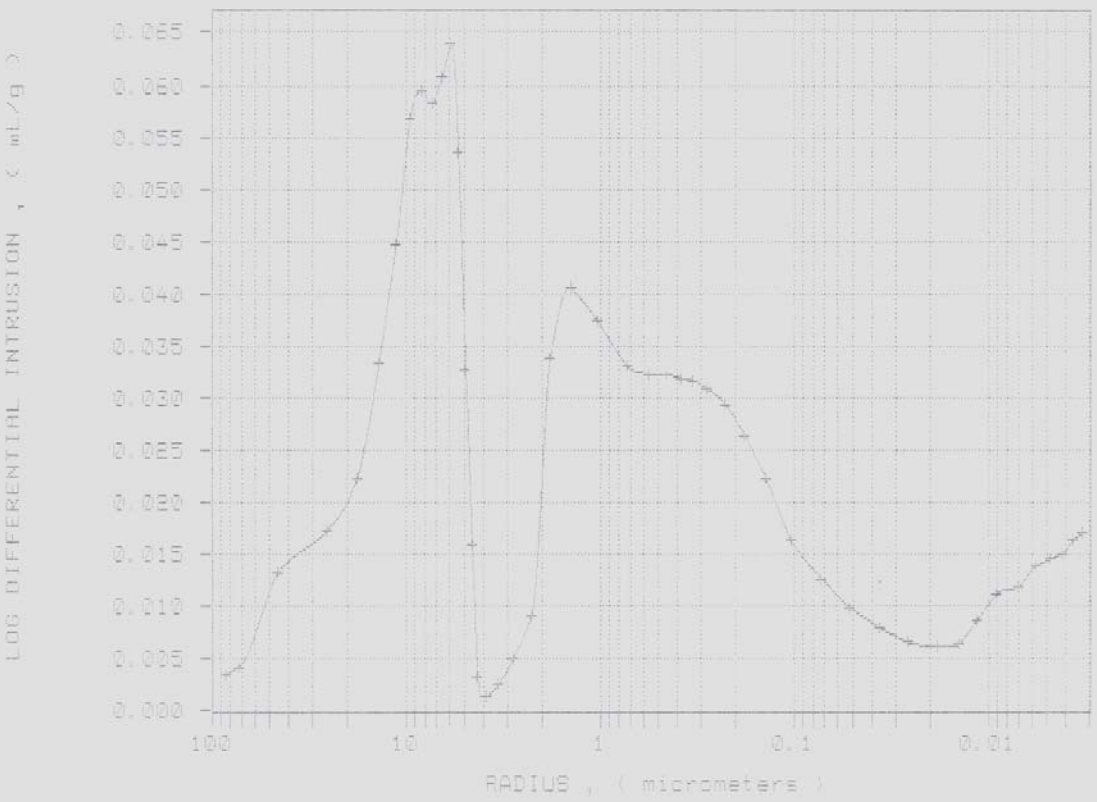
Příloha 6.5.5 - pískovec

piskovec

PORESIZER 9320 V2.07 PAGE 6

SAMPLE DIRECTORY/NUMBER: DATA2 /299
OPERATOR: ing.Sedlarova LP 11:21:39 12/12/03
SAMPLE ID: piskovec, ing.Balik, CVUT HP 11:59:46 12/12/03
SUBMITTER: UAT VSCHT Praha REP 11:59:47 12/12/03

LOG DIFFERENTIAL INTRUSION vs RADIUS



Příloha 7.1

číslo měření	popis	vložený roztok do pevné fáze	elektroosmotického působení	prošlý náboj	rozklad z obou fází	úbytek z pevné fáze	odhad přesunu	(odpar + rozklad)/(vložený roztok)
		g	hod.	C	g	g	g	%
26.	**pískovec v křp**	75,98	1312	1130	6,46			
27.	**pískovec v cihle**	76,52	1288	1387	4,84	9,68	7,2	6,3
15.	**pískovec v křp**	66,9	1441	2796	5,9	14,37	11,4	8,8
24.	**pískovec v křp**	79	1440	2945	6,74	15,88	12,51	8,5
16.	**pískovec v křp**	52	2037	1989	3,87	10,9	8,56	7,4
28.	**pískovec v cihle**	77,15	2037	4061	13,19	25,73	19,14	17,1
29.	**pískovec v cihle**	75,44	2128	5331	11,67	20,95	15,12	15,5
22.	**malta v křp**	109,67	1529	749	3,88	4,16	2,22	3,5
35.	**slepenec pískovce a 2xmalty**	80,06	2200	1971	18,79	18,79	5,68	23,5
30.	**opuka v cihle**	62,6	2025	1035	10,28	6	0,86	16,4
31.	**opuka v cihle**	62,01	2023	1151	6,88	8,14	4,7	11,1
32.	**opuka v cihle**	60,78	2021	1033	6,17	7,39	4,31	10,2
23.	**malta v křp**	88,78	1002	157	5,95	-0,78	-3,76	6,7
25.	**malta v křp**	83,78	1529	2725	7,93	-0,28	-4,245	9,5
34.	**slepenec pískovce a malty s prasklinou**	70,4	3513	2948	21,24	21,91	8,47	30,2
17.	**opuka v křp**	68,47	2878	1565	14,1	7,41	2,36	20,6
18.	**opuka v křp**	65,24	4158	2454	10,49	12,77	7,525	16,1
33.	**slepenec pískovce a nové malty**	78,39	4217	3555	35,33	36,6	10,18	45,1
11.	**nová malta**	104,35	1562	425	2,35	2,24	4,76	2,3
12.	**nová malta**	133,49	2085	822	3,71	4,52	3,63	2,8
3.	**hist. c 3**	63,1	2811	3797	7,6	7,6	0,87	12,0
4.	**hist. c.4**	50,79	2826	2237	7,19	7,19	7,63	14,2

Příloha 7.2

1.	**pískovec**	56,1	2470	8854	3,6	3,6	1,6	6,4
20.	**nová c. 72 v křp**	84,69	4005	1844	8,51	1,7	-2,56	10,0
19.	**hist. c 5 v křp**	48,36	2426	324	10,43			
13.	**nová c.78**	91,96	4511	1737	11,2	11,2	1,64	12,2
14.	**nová c. 76**	103,94	4770	2239	8,6	8,6	0,94	8,3
21.	**nová c. 73 v křp**	54	4175	2824	8,94	10,9	6,43	16,6
5.	**hist. c.2**	78,02	3236	5510	7,5	7,5	2,55	9,6
7.	**nová c. 71**	69,28	4541	5551	6,2	6,2	1,63	8,9
2.	**opuka**	63,03	2585	5064	5,28	5,28	3,44	8,4
36.	**hist. c. 6a, 6b s hist. maltou**	55,99	2254	4077	3,82	3,82	3,06	6,8
6.	**hist. c.1**	103,54	3522	3462	8,25	8,25	2,4	8,0
8.	**nová c.70**	58,27	1984	2610	6,17	6,17	1,17	10,6
9.	**nová c. 68**	69	1940	3670	2,6	2,6	1,23	3,8
10.	**nová c. 67**	59,48	1946	2945	3,48	3,48	0,67	5,9