

# **Modelování procesu konzervace surových kůží**

Process modeling of raw hide conservation

Bc. Petr Pluskal, DiS.

---

Diplomová práce  
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav řízení procesů  
akademický rok: 2007/2008

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Petr PLUSKAL, DiS.  
Studijní program: N 2807 Chemické a procesní inženýrství  
Studijní obor: Automatizace a řídicí technika  
Téma práce: Modelování procesu konzervace surových kůží

### Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studie týkající se způsobu konzervace surových kůží.
2. Matematicky popište rozložení konzervační látky v surovině.
3. Navržený difúzní model řešte analyticky.
4. Úlohu řešte též numericky v programovém prostředí FEMLAB a obě řešení porovnejte.
5. Na základě provedených výpočtů proveďte experimentální měření zejména difúzního koeficientu konzervační látky v surovině v laboratorních podmínkách.
6. Dosažené výsledky zhodnoťte v diskusi a závěru práce.



Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. MRAZÍK M. a kol.: Koželužství, SNTL Praha 1976.
2. KOLOMAZNÍK, K.: Modelování zpracovatelských procesů, VUT Brno, FT Zlin, I. vydání, 1990.
3. KOLOMAZNÍK, SEDLÁŘ J.: Teorie technologických procesů pro technologii kůže, plastů a pryže, VUT Brno, FT Zlin, I. vydání, 1983.
4. PILAŘ, A. a kol.: Chemické inženýrství II, SNTL Praha, 1964.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Dagmar Janáčková, CSc.  
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

22. února 2008

Termín odevzdání diplomové práce:

21. května 2008

Ve Zlíně dne 22. února 2008

  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
ředitel



  
prof. Ing. Petr Doostál, CSc.  
ředitel ústavu

## **ABSTRAKT**

V diplomové práci se zabývám modelováním procesu konzervace surových kůží. Práce je rozdělena do několika částí. V literární studii jsem popsal základní principy konzervace surových kůží a jejich vad. V teoretické části jsem navrhl difúzní model se vztahy použitými pro výpočet difúzního koeficientu. V praktické části jsem pro navržený difúzní model využil své praktické znalosti získané v programovém prostředí FEMLAB, kde jsem úlohu modeloval a provedl simulaci. Pro řešení bylo nutné v laboratorních podmínkách změřit hodnotu difúzního koeficientu a využít jej pro simulaci ve FEMLABu.

Klíčová slova:

Surová kůže, konzervace, difúze, osmotický tlak, FEMLAB

## **ABSTRACT**

This Master thesis deals with process modeling of raw hide conservation. It is divided into three main sections. The first is recherche. In this part I described the main principles of conservation and material defects of rawhide. In theoretical part I mathematically described conservation process. It is diffusion and osmosis. Practical part contains analytical and numerical methods of raw hide conservation. The third part is experimental. This part contains description of raw hide conservation in laboratories. I calculate diffusion coefficient needed for simulation of this problem in FEMLAB. In the end of this master thesis is evaluation of all methods of research.

Keywords:

Raw hide, conservation, diffusion, osmosis, FEMLAB

Rád bych touto cestou chtěl především poděkovat doc. Ing. Dagmar Janáčové, CSc., vedoucí mojí diplomové práce, za odborné vedení, trpělivost, ochotně poskytnuté rady a pomoc během celého mého studia. Také bych rád poděkoval mým rodičům, kteří mě během studia podporovali.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně dne 21. 5. 2008

.....

podpis

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I LITERÁRNÍ STUDIE</b> .....	<b>9</b>
1.1 ZPŮSOBY KONZERVACE.....	11
1.2 SKLADOVÁNÍ KŮŽÍ.....	14
1.3 KONZERVOVÁNÍ SUROVÝCH KŮŽÍ PEVNOU SOLÍ .....	15
1.4 VADY SUROVÝCH KŮŽÍ.....	15
<b>II TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>19</b>
<b>2 KONZERVACE – DIFÚZNÍ PROCES</b> .....	<b>20</b>
2.1 DIFÚZNÍ MODEL NEVÁZANÉ SLOŽKY .....	21
<b>III VÝPOČTOVÁ ČÁST</b> .....	<b>25</b>
<b>3 MODELOVÁNÍ PROCESU KONZERVACE V PROSTŘEDÍ FEMLAB</b> .....	<b>26</b>
3.1 VOLBA FYZIKÁLNÍCH PARAMETRŮ KONKRÉTNÍ SIMULACI .....	26
3.2 DEFINOVÁNÍ PRACOVNÍ PLOCHY .....	27
3.3 GEOMETRIE OBJEKTU .....	27
3.4 DEFINOVÁNÍ POČÁTEČNÍCH PODMÍNEK A VLASTNOSTÍ OBJEKTU.....	29
3.5 DEFINOVÁNÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK .....	30
3.6 NASTAVENÍ SÍTĚ.....	31
3.7 ŘEŠENÍ PROBLÉMU A ČASOVÁ ZÁVISLOST.....	32
3.8 ROZBOR PROBLÉMU.....	33
3.9 VÝSLEDKY SIMULACE.....	35
3.10 PŘIBLIŽNÝ NÁVRH OPTIMÁLNÍ KONZERVACE.....	35
3.11 VÝSLEDKY SIMULACE.....	36
<b>IV EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>38</b>
3.12 KONDUKTOMETRICKÉ MĚŘENÍ.....	39
3.12.1 Vodivost roztoků elektrolytů.....	39
3.12.2 Měření vodivosti .....	41
3.13 MĚŘÍCÍ SYSTÉM.....	41
3.13.1 Měřicí modul .....	42
3.13.2 Terminál 740 .....	42
3.14 VLASTNÍ MĚŘENÍ .....	43
3.14.1 Příprava vzorku .....	43
3.14.2 Kalibrace přístroje .....	44
3.14.3 Kalibrační křivka.....	44
3.14.4 Měření č. 1.....	46
3.14.5 Měření č. 2.....	46
3.14.6 Měření č. 3.....	47

3.14.7	Měření č. 4.....	47
3.14.8	Měření č. 5.....	48
3.14.9	Výsledné hodnoty měření.....	48
3.15	STANOVENÍ DIFÚZNÍHO KOEFICIENTU .....	49
	STANOVENÉ DIFÚZNÍ KOEFICIENTY .....	52
	<b>ZÁVĚR A DISKUZE.....</b>	<b>53</b>
	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>61</b>

## ÚVOD

V dnešní době se stále zvyšujícím se výkonem informačních technologií a výpočetní techniky, které jsou již neodmyslitelnou součástí jak soukromé sféry, tak především různých průmyslových odvětví, je možnost díky simulacím provádět složité výpočty, které jsou jinak analyticky velmi náročné, jak časově tak výpočetně. Proto jsou kladeny nároky na zrychlení, zpřesnění a celkové zefektivňování průmyslové výroby. S tím samozřejmě souvisí i růst životní úrovně.

U koželužské výroby jsou nároky na kvalitu velmi vysoké, jelikož operací od surové kůže k hotovému výrobku je velké množství a všechny musejí probíhat správně, jelikož každá sebemenší vada se projeví na kvalitě hotového výrobku. V dnešní době je surová kůže jakožto surovina velmi drahá!

Před několika lety se zjistilo, že nemalý vliv na kvalitu usní, má osmotický tlak, jelikož soli použité ke konzervaci je značné množství tudíž má vysokou koncentraci a tlak působící na kolagenová vlákna díky vysokému koncentračnímu spádu může dokonce poškodit surovinu, což je z hlediska počátečního procesu výroby finálních produktů, kterým je useň, závažné.

Konzervací se rozumí úprava prodlužující skladovatelnost surových kůží déle, než dovoluje přirozené uskladnění. Konzervací se odstraňuje přebytečná voda, která snižuje hmotnost surových kůží, a proto je možné kůže skladovat déle a ve větším množství. Dále se pak konzervací zabraňuje rozkládání surových kůží díky napadení různých druhů mikroorganismů či rozkladu kolagenu. Konzervace se provádí buď fyzikálně, například sušením, nebo chemicky (konzervovadly). [2]

Pro problém konzervace surových kůží navrhnu deterministický model, na jehož základě provedu simulaci v prostředí FEMLAB. Je jím koncentrační pole a napjatost. V případě napjatosti navrhnu rozložení sil tak, aby co nejlépe odpovídaly skutečnosti.

Základní matematická struktura programu FEMLAB je orientována na systém partiálních diferenciálních rovnic (PDE). Ve FEMLABu můžeme tyto jevy modelovat virtuálně i samotné rovnice jako takové podle zákonů vědy. Pokud zrovna běží modelování v nějakém čase, mohu průběh zastavit v kterémkoli bodě, zhodnotit postup a metodiku a buď použít standardní postup a nebo odbočit k jinému náhledu na problém.



## **I. LITERÁRNÍ STUDIE**

Výrobky z usně jsou nedílnou součástí našeho každodenního oblékání a obouvání. Ať jsou to boty, nějaký druh oděvu či doplňky. Proto je třeba již při samotném počátku zpracování dbát na správné technologické postupy aby usňový výrobek byl co nejlepší kvality, aby dobře vypadal, aby vydržel co možná nejdéle a hlavně aby se v ní spotřebitel dobře cítil a hlavně aby byl výrobek zdravotně nezávadný

Jen zřídka mohou být čerstvě stažené kůže bezprostředně dále zpracovávány na useň nebo kožešinu. Většinou uplyne mezi stažením a zpracováním určitá doba, potřebná pro utřídění dodávky, dopravu a předzásobení koželužny. V této době enzymatický systém kožních kapalin a mikrobiální činnost vedou k rozkladu surových kůží.

Hlavní součástí kůže jsou bílkoviny a voda. Bílkoviny jako organické látky, které velmi snadno podléhají rozkladu a hnilí. Proto se musí všechny surové kůže před hnilobou chránit, a to hned po stažení ze zvířete, ještě než přijdou do koželužen. [1]

Příčinou hniloby jsou mikroorganismy a jejich enzymy. Bývají 0,0001 až 0,01 mm velké a podle tvaru se dělí na tři základní skupiny, jako jsou bakterie, kvasinky a plísně.

Mikroorganismy mohou žít jen za určitých podmínek, z nichž nejdůležitější je přítomnost vody v látce na které žijí. Sluneční světlo a teplota nad 70°C je usmrcuje. Naopak nízké teploty zpomalují nebo zastavují jejich vývoj. Některé mikroorganismy žijí ve slabě kyselém, jiné v mírně alkalicky reagujícím prostředí. Rozeznáváme mikroorganismy aerobní (kyslíkumilovné), anaerobní (kyslík nesnášející) a fakultativní, jež mohou žít bez kyslíku, ale jeho přítomnost jim nevadí. [2]

Mikroorganismy jsou přítomny ve špíně, v okolním prostředí i surové kůži. Za života zvířete jsou tyto mikroorganismy a kožní enzymy kontrolovány jeho metabolickým obranným systémem. Jakmile je však zvíře usmrceno, proces rozkladu okamžitě začíná. Rozklad nenastává ve všech místech stejně rychle. Nejdříve podléhají rozkladu části s nejvyšší metabolickou aktivitou a části obsahující rozpustné bílkoviny. Krevní plazma v cévkách a měkké bílkoviny ve chlupových kořincích jsou nejdříve postiženy hnilobným procesem, který se projevuje tzv. pouštěním srsti, snadným uvolňováním chlupů, někdy i s epidermální vrstvou kůže. Tento jev je nežádoucí, neboť kožešnickou surovinu zcela znehodnocuje. Zahnilé kůže zapáchají, provedením opožděné reakce však zápach nemusí být patrný. [1,2]

Další změny v kůži vyvolávají metabolické enzymy, které se vyskytují v biochemickém systému samotné kůže. Enzymy se obvykle po přerušení životních pochodů aktivují a ně-

kteří z nich, zejména latentní kolagenáza, mohou vyvolávat hluboký rozklad kůže i v jinak sterilních podmínkách. [1]

Konzervací se zabráňuje hnilobnému rozkladu čerstvé kůže tak, že se buď odstraní část vody nutné pro vývin hnilobných bakterií, nebo se přidají dezinfekční prostředky, které jejich činnost znemožňují.

Odstraněním vody se téměř při všech způsobech konzervování zmenší celková hmotnost kůže, čímž se zohospodární a usnadní jejich doprava. Někdy klesá obsah vody ze 70 až na 10%.

Kůže pak lze snáze dopravovat z krajů z vyspělým chovem dobytka do středisek kožedělného průmyslu. V dnešní době čím dál více vzrůstajícího objemu přepravy a s tím rostoucími náklady je tato přepravní položka důležitá.

Konzervovaný materiál se také může déle skladovat a nashromáždit ve větším množství, takže pak z něj lze vytřídit vhodnou surovinu pro určitý druh výrobků.

Kůže musí být před konzervováním očištěna od krve, masa i tuku a z lícové strany od bláta a ostatních nečistot. Jenom tak lze zaručit, že konzervování bude úspěšné a že se surovina před zpracováním nepoškodí. [2]

## 1.1 Způsoby konzervace

Způsobů konzervace je několik druhů. Některé jsou používané více, některé méně. Některé jsou již nepoužívané, či se používají pouze v některých zemích, kde je například mnohem větší sluneční svit, proto je výhodnější konzervovat surové kůže sušením. Některé uvedu více méně pro ilustraci. Jedním z nich je konzervování surových kůží sušením.

Kůže určené k sušení musí být co nejčistší. Voda se při sušení musí odpařovat rychleji, než jak se mohou rozmnožovat bakterie, ale zároveň se musí dbát, aby voda z vnitřku kůže měla čas difundovat k povrchu, který by jinak zaschnul, to by bránilo vysychání středních vrstev, které by mohly zahnívat či opačně klišovatět, čímž by došlo ke znehodnocení materiálu.

Při sušení vzduchem by teplota neměla přesáhnout 40°C, samozřejmě s ohledem na směr větru a jestli se sušení provádí na slunci či ve stínu. Kůže by měly být mírně napnuté, jeli-

kož v záhybech zůstávají dlouho vlhké. V těchto místech se pak často kazí a často jsou stopy po záhybech poznat i na hotových výrobcích.

Způsoby sušení se v jednotlivých oblastech liší podle místních klimatických podmínek a dostupnosti pomocných přípravků. Nejjednodušší sušení kůží je na latích. častěji se kůže suší pověšené na tyčích nebo provazech, neboť se zvýší proudění vzduchu a sušení je stejnoměrnější. Nejrozšířenější je však sušení kůží v napnutém stavu, a to většinou na dřevěných rámech. V horkém podnebí je vhodnější sušení ve stínu, nejlépe v přístřešcích s otevřenými stěnami, kde jsou kůže chráněny i před deštěm. Sušení na přímém slunci je nežádoucí zvláště tehdy, dosáhne-li teplota kůže vyšší hodnoty než 53°C. [2]

Pak nastává koagulace (sražení) albuminových bílkovin a kůže se obtížně rozmáčejí a zpracovávají v kožedělném procesu. Při sušení se kůže vypínají na vyrovnávací ploše. V oblastech s přírodním výskytem solí se kůže před sušením ponořují do solného roztoku. Obsah solí brání zahnívání během sušení a vede k menšímu slepení vláken kožního vaziva.

Jsou-li kůže před balením přehýbány, musí se to provádět dříve, než jsou úplně usušeny, jinak může nastat polámání líce a popraskání kůže během ohybu. Bylo také navrženo použití přísad kapalných látek, které mají vysoký bod varu a mohou vytvářet vodíkové vazby mezi bílkoviny, jako jsou polyethylenglykoly nebo glycerol. Bílkoviny se rozpouštějí v hydratační vodě v kůži, při sušení se neodpařují a změkčují usušenou surovinu tak, že je ohebná a neláme se. Tento postup umožňuje ideální konzervaci i z koželužského hlediska, protože se kůže velmi snadno rozmáčejí a zpracovávají. Tyto metody však nejsou moc rozšířeny pro vysoké náklady na použité prostředky.

U nás se v dnešní době sušení používá spíše u menších domestikovaných zvířat (králíčiny).

Dobře usušené kůže vydrží i dlouhou řadu let, aniž se kazí. Nepoškodí se lesk ani pevnost chlupů, což je důležité u kožešin. Hmotnost kůží se značně zmenší, což je výhodné pro dopravu.

Sušením klesne obsah vody v surových kůžích na 15 až 12%. Výhodou sice je, že je tento způsob o něco levnější, než konzervace nasyceným solným roztokem avšak v dnešní době nároků na poptávku po materiálu je výhodnější v zemích s větším slunečním svitem.

Nevýhodou sušených kůží je, že se obtížněji rozmáčejí, neboť kožní vlákna jsou slepena vláknitými bílkovinami. Jestliže kůže při sušení zahnije na rozhraní papilární a retikulární vrstvy dochází k tzv. loupání líce. Kůže lze chránit tím, že se před sušením na několik minut namočí do alkalického roztoku. Další nevýhodou sušených kůží je, že mohou přenášet některé infekce. [1,2]

Konzervace pevnou solí trvá déle než ostatní metody konzervace. Zrychlení se dosáhne použitím nasyceného solného roztoku. Tento způsob je velmi rozšířený. Obvykle se postupuje tak, že se kůže dopravují z porážecí linky přes prací zařízení, ve kterém se zbavují nečistot. Dále se ochladí na teplotu, při níž má tuk pevnou konzistenci. Potom se kůže v celku omízdí a vhazují se do nasyceného solného roztoku v kontinuálních míchačkových sudech nebo jiných nádobách, které umožňují míchání. Proces se považuje za ukončený při úplném prosycení kůže solným roztokem. Pak se kůže vytahují z roztoku, zbaví se přebytečné kapaliny ždímáním, vytřídí se a před balením se ještě posypávají malým množstvím pevné soli. [1]

Ukázalo se, že při tomto způsobu konzervace dochází k vysokým osmotickým tlakům, které mohou snižovat pevnost usní, což je nežádoucí.

Konzervace solným roztokem má poněkud menší účinnost než konzervace pevnou solí. Za normálních podmínek lze skladovat kůže asi šest měsíců nebo i o něco déle, takže konzervace solným roztokem obvykle dostačuje. [1,3]

Zde bych se pro informaci okrajově zmínil o dalších méně či skoro nepoužívaných způsobů konzervování, či způsobů, které se používaly spíše v minulosti.

Jedná se například o konzervování kůží piklováním. Piklování je proces, v němž se působí na kožní hmotu roztokem solí a kyselin. Kyselé prostředí potlačuje rozvoj většiny mikroorganismů a zároveň připravuje kůže pro činění. [1]

U tuzemských kůží lze častou vhodnou organizací sběru, třídění a zásobování dosáhnout zkrácení doby mezi porážkou a zpracování kůže v kožedělném závodě. Nároky na konzervování jsou pak menší, a proto se projevují snahy o jednoduché, krátkodobé metody konzervace, při nichž se pak používají látky brzdící růst mikroorganismů, tzv. bakteriostatika,

a látky snižující aktivitu proteolytických enzymů, inhibitory proteas. Přijatelné by byly metody, které by zajistily alespoň čtyřtýdenní bezpečné skladování při nízkých teplotách. Dá se však očekávat, že tyto požadavky budou splněny a krátkodobá konzervace se bude stále více uplatňovat v kožedělné praxi, protože může významně snížit konzervační náklady a zmenšit znečištění odpadních vod koželužen a jatek solemi. [1,2]

V některých případech navazuje koželužské nebo kožešnické zpracování bezprostředně na místní jatka, takže konzervování surových kůží není nutné. Tato návaznost je velmi výhodná, nejen proto, že snižuje náklady na ošetřování a dopravu, ale vede také k významnému zlepšení kvality vyráběných usní nebo kožešin. Tento způsob se převážně používá pouze u jehnětin, protože se odstraňuje riziko pouštění srsti vlivem nesprávné konzervace. Další výhodou jsou úspory na chemikáliích a odstranění důležitého zdroje znečišťování odpadních vod.

Surové kůže se také mohou krátkodobě skladovat chlazením. Chladem jsou kůže dokonale chráněny před hnilobou. Prakticky se toho však může využít jen v ojedinělých případech. Kůže se však mohou snadno poškodit při přeměně vody v led, který potrhá kožní vlákna; kůže je pak houbovitá. V našich podmínkách je to způsob nákladný.

Některé druhy kůží se po odchlupení začíňují tříslovinou, např. sumachem. Takto konzervované kůže se však nehodí pro chromočinění.

Tento způsob patří již výlučně do venkovských oblastí severského pásu. V moderní technologicky vyspělé civilizaci se nepoužívá. Kůže se tak konzervují jednak vysušením, jednak působením fenolických látek obsažených v kouři.

## 1.2 Skladování kůží

Kůže se uskladňují různě, podle toho, o jaký druh suroviny jde a jak byla konzervována. Solené hověziny je nejlépe uskladňovat v tmavých, chladných místnostech, kde je mírný průvan a stálá teplota. Většinou se ukládají do 1,5m vysokých balíků dobře prosypaných



solí. Měla by se občas zkontrolovat teplota aby nedošlo k zapaření. Solené vepřovice se většinou skladují v chladárnách s teplotou +4 až +8°C. Občas se přesolují.

### 1.3 Konzervování surových kůží pevnou solí

Tento způsob konzervace je velmi rozšířený, proto se jím budu zabývat.

Tento způsob se ve většině případu používá pro konzervace těžkých a kůží větších tlouštěk surových kůží. Sůl, které se ke konzervování používá, je technický chlorid sodný (NaCl). Kůže se po stažení z poraženého zvířete nechá vychladnout a pak se konzervuje obvykle v oddělené místnosti. Zde se rozprostírá naplocho, posype se rovnoměrně od rubu vrstvou soli a okraje kůže se přehnou dovnitř, aby ztráta vlhkosti byla co nejmenší. Další kůže se kladou na sebe, takže vytvářejí asi 1 až 1,5 m vysokou hromadu ve tvaru balíku. V prostoru, kde se kůže solí, by mělo být chladno. Ve velkých jatkách se kůže ukládají do balíků o délce 6 až 8m. V jednom balíku je přibližně 2000 kůží.

Správně nasolené kůže mají rub stejnoměrně matný, suchý a tuhý, bez lesklých a vlhkých míst. Žádná část nesmí vysušením zatvrdnout. Vysolené kůže, sbalené obvykle chlupem navrch se ukládají do skladišť.

Poté bývají kůže tříděny a odebírány k dalšímu zpracování. Nasolené kůže se balí do balíků. Správně nasolené a ošetřené kůže lze při mírných teplotách uchovávat po dobu jednoho roku.

### 1.4 Vady surových kůží

S konzervováním souvisejí i vady surových kůží. V dnešní době jsou surové kůže jako surovina velmi drahá, proto je třeba vady co nejvíce eliminovat, jak již za života zvířete, tak správnými procesy při výrobě. Na zvířecích kůžích se často vyskytují různé vady, které surovou kůži jako surovinu koželužského průmyslu velmi znehodnocují. Některé jsou dokonce tak vážné, že poškozené kůže vyžadují zcela odlišné způsoby zpracování při výrobě.

Část těchto vad vzniká za života zvířete, jiné vady vznikají důsledkem nesprávného porážení, stahování, konzervací, dopravě či skladování. Konkrétněji tyto vady budou rozebrány níže. [1]

Definici jednotlivých vad a jejich a jejich správnou terminologii v hlavních jazycích uvádí ČSN 79 0009. Tato norma rozeznává celkem 232 druhů vad, z nichž 120 se vyskytuje u surových kůží. Počet a rozsah jednotlivých vad jsou základním údajem pro zařazení kůží do kvalitativních tříd. Hospodářsky nejdůležitější vady, které vedou k největším ztrátám využitelné plochy kůží, jsou otvory po larvách střečka hovězího, poškozující nejlepší jaderné části mnoha hovězin. Další závažnou vadou jsou poškození výpalky po značkování dobytka. Určité zlepšení přináší použití silně podchlazených značkovacích želez (kapalným vzduchem nebo tuhým CO<sub>2</sub>.) namísto žhavého značkovadla. Podchlazení sice způsobuje ztrátu vytvářet pigmenty v Malpighiově vrstvě pokožky, takže značka je tvořena bezbarvou srstí, ale škára kůže není poškozena. Poškození vzniká různými cizopasníky nebo škrábanci a odřeninami se vyskytují hlavně u dobytka chovaného ve volné přírodě. Pořezání při stahování nebo vady konzervace se vyskytují v menší míře. Vzhledem ke stoupajícím cenám surových kůží se zlepšuje i úroveň ošetřování dobytka a rozsah poškození má všeobecně klesající tendenci. Přesto v současné době znehodnocují surovinové vady asi 10 až 15% plochy všech surových kůží, která se tak stává nevyužitelná. Zvýšená pozornost v této oblasti proto může významně přispět ke vzrůstu surovinových zdrojů.

Kůže na živém zvířeti může být poškozena z mnoha různých příčin. U chovných zvířat zavinuje nejzávažnější znehodnocení kůže prostředí, ve kterém zvíře žije, a člověk, který o ně pečuje!

Vady kůží se dají rozdělit do několika základních skupin jako jsou vady vzniklé za života zvířete, dále jsou to vady vzniklé při stahování a opracování kůže a nebo vady vzniklé nesprávným konzervováním či uskladněním. [2]

Mezi některé z vad patří poleptání a poškození výměšky zvířete. Tyto vady se řadí mezi vady vážné. Nejčastěji se vyskytují na kůžích zvířat ve stájích s nedostatečným ošetřováním, péčí o zvířata a špatným podestýláním. Nejčastěji se vyskytují u hovězin a teletin. Chlupy u jaderné části kůže, u obzby a zadních nožin bývají místy s největším výskytem poleptání. Pokud není zvíře delší dobu čištěno, dochází na těchto místech k zatvrdnutí ex-

krementů, které česáním nejdou odstranit, protože se utrhnou i s chlupy, a tím se značně poškozují líc. I když se odstraní ve vlažné vodě, zůstanou na líci kůže jejich otisky.

Tato místa jsou vhodným živným prostředím pro hnilobné mikroorganismy. Mohou tak způsobovat vlivem dráždění pokožky a opakovanými infekcemi vypadávání chlupů na lýtkách zadních nohou dospělého zvířete.

Na hotových usních se tato místa projevují matnými plochami. [2]

Další z vad může být poškrábání. Tato vada bývá způsobena nevhodným čištěním srsti zvířat. Jsou-li zoubky ručního nástroje pro čištění srsti příliš ostré, jemně rozřezávají povrch kůže. Tato zranění se velmi často infikují a zanítí. Po zahojení zůstávají v kůži čárkovité jizvy, které jsou pak znatelné na hotovém výrobku. Z takto poškozených kůží nelze zhotovovat výrobky s hladkým lícem. Pro výrobce bývá poškození skrytou vadou, patrnou až v holině, mnohdy teprve až v hotovém výrobku.

V dnešní době se používají plastová hřebílka, které jsou mnohem šetrnější. [2]

V minulosti patřily nejzávažnějším poškozením hovězích kůží výpalky. U nás se dobytek tímto způsobem neznačuje. Pokud je to nutné z chovatelských důvodů, vypaluje se malá značka na kopyto. Spíše se používají barevné značky, které obsahují měď, olovo a zanechávají zpravidla na kůži tmavé skvrny, občas patrné i na hotových výrobcích. Výpalky však stále občas objevují zejména u surových kůží, které k nám přicházejí na trh z Jižní Ameriky či Austrálie. Jedná se o značky vypálené do kůže zvířete značkovacím nástrojem z nějakého kovu. Bývají to různá čísla či písmena označující kupříkladu chov či majitele. Takové kůže nelze použít k výrobě svrškových usní.

Málo vyskytující se vadou na různých druzích kůží bývají škrábance. Mají několik příčin. Nejčastěji se vyskytují na obou stranách krku a bocích. Mohou být způsobeny například trnitými keři. Na dovážených kůžích z Jižní Ameriky především ostnatým drátek, kterým jsou obehnané dobytkařské ohrady. U nás se však používají hlavně elektrické ohradníky, které toto riziko eliminují. Kůži také znehodnocují jizvy, které zvířata utržila při soubojích na pastvinách či přepravě. Zvláště hluboké bývají trhliny od rohů, které jsou tím škodlivější,

čím méně byly v době porážky zahojeny. Při hromadném ustájení nebo společné dopravě zvířat na porážky jsou jizvy po soubojích častým a vážným poškozením, protože se již nezacelí a zůstávají otevřené.

Mezi další vady, které poškozují surové kůže patří různé druhy cizopasníků. [1,2]

## **II. TEORETICKÁ ČÁST**

## 2 KONZERVACE – DIFÚZNÍ PROCES

Při zpracování surovin na finální produkt žádoucích vlastností se výchozí látky podrobují řadě vlivů, přičemž ve velké části případů dochází k podstatné změně výchozího materiálu. Tyto změny mohou být fyzikální nebo chemické povahy, přičemž danou vlastnost ovlivňuje nejen samotná povaha přeměny, ale také rychlost, s jakou zpracováváný materiál této přeměně podléhá. Rychlost děje ovlivní nejen vlastnost výchozího produktu, ale přímo souvisí s ekonomikou daného procesu. Je tedy velmi účelné se zabývat zákonitostmi popisujícími kinetiku zpracovávání daných surovin a to nezávisle na tom, zda jde o přeměnu chemické nebo fyzikální povahy. Pro kvantitativní vyhodnocení dané operace je nutno probíhající přeměnu popsat elementárními ději. Říká se, že se musí znát mechanismus této přeměny. Čím přesněji se tento mechanismus stanoví, tím se lépe popíše daná operace a tím lépe se dá optimalizovat stávající zařízení nebo přesněji provést projekci daného procesu. Je velmi mnoho případů ve zpracovatelské praxi, kdy jednotlivé elementární děje vzájemně navazují, tj. že daná operace ve skutečnosti probíhá řadou následných dějů. Při ustalování výrobků v řadě odvětví kožedělného průmyslu se působí na daný povrch parou. Vlhkost se může povrchově adsorbovat, povrchovou difúzí se dostat k aktivním místům pnutí a zde relaxačně působit. Před vlastní adsorpcí vodní pára difunduje póry materiálu do vnitřního povrchu. Je možno uvést další případy ze zpracovatelské praxe, jako je tvrzení, příprava předpolymeru, vulkanizace, sušení, apretace, impregnace apod., kde zdánlivě jednoduchá operace je souhrnem elementárních dílčích pochodů, které určují konečný tvar a vlastnosti vyrobeného výrobku.

Z hlediska rychlosti dané operace pak rychlost určujícím krokem při následných přeměnách je ten elementární děj, jehož rychlost je nejpomalejší. Pracuje se v té oblasti, která je pro rychlost celé operace určující (kinetická, difúzní, oblast rozpouštění apod.). Jedním ze základních požadavků zvládnutí daného procesu je tuto oblast určit nebo alespoň tuto oblast odhadnout. To je velmi nutné k tomu aby bylo možno efektivně zasahovat do dané výrobní operace a to nejen k vytvoření potřebné kvality výrobku, ale zejména ovlivnit jeho ekonomiku. Pro ilustraci je opět možno uvést příklady. Sušení usní se podstatně urychlí vakuem v případě, kdy se odstraňuje volná nebo na vnějším povrchu vázaná voda. Jestliže dochází k odstraňování vlhkosti již z vnitřního povrchu póry usně, použití vakua při sušení k odstraňování vlhkosti již není tak efektivní. To bude případ, kdy rychlost určujícím krokem bude vnitřní difúze v pórech usně, kdy brzdící vliv srážek částic vodní páry a stěny



póru převládne nad brzdícím vlivem vzájemných srážek částic vypařující se z vody. Jinak řečeno, sušení bude probíhat v oblasti vnitřní difúze. Druhý případ může nastat při želatínaci pasty PVC, která probíhá měřitelnou rychlostí při vyšších teplotách. V řadě případů je rychlost při tomto procesu určena transportem tepla do želatinující se směsi. V tomto případě tedy vlastnostmi výrobku a rychlost celého děje jsou závislé na veličinách, které ovlivňují rychlost sdílení tepla a ne na veličinách mající vliv na vlastní elementární želatinační proces. Abychom mohli určit oblast průběhu dané operace, je třeba znát kvantitativní popis, tj. kinetiku elementárních dějů, jako je vlastní proces, vulkanizace, ustalování apod., což je náplní příslušných specializací.

K tomu, aby mezi různými látkami došlo k libovolné interakci, je nutné, aby se elementární částice těchto látek setkaly, tj. aby reagující částice hmoty byly neustále v kontaktu. Tohoto kontaktu se dosahuje různými způsoby, z nichž nejpoužívanější je nucený pohyb reagující směsi. V řadě technologií však není možné tento způsob použít a hnací silou v nehybném prostředí zůstává rozdílná koncentrace daných složek. Nastává tedy samovolný pohyb dané složky z oblasti vyšší koncentrace do oblasti nižší koncentrace. Při rozpouštění barevných krystalů solí je tento způsob možné pozorovat i vizuálně. Takto vyvolané sdílení hmoty se nazývá obyčejnou nebo také molekulární difúzí. Pohyb jednotlivých částí daných složek není stejný, a proto se musí za účelem definice místní rychlosti směsi jednotlivé rychlosti vhodným způsobem zprůměrnit. Jak bylo řečeno pohyb částic v daném systému nastává vlivem rozdílných koncentrací uvažovaných složek. Vedle takto vyvolaného transportu nastává sdílení hmoty také vlivem rozdílných teplot (termodifúze). V případě, že k vyrovnávání koncentrací dochází vlivem pohybu uvažovaných složek působením vnějších sil, se mluví o nucené (konvektivní) difúzi. [5]

## 2.1 Difúzní model nevázané složky

Pod pojmem difúzní modely se budou uvádět takové matematické modely, u kterých se předpokládá, že transport konzervované složky uvnitř pevné fáze se dá popsat difúzní rovnicí jejíž řešením je koncentrační pole uvnitř nové fáze a časová závislost konzervované složky v okolní kapalině. Model konzervace je pak následující:

$$D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial c}{\partial t}(x, t), \quad t \geq 0, \quad 0 \leq x \leq b \quad (1)$$

$$\frac{\partial c}{\partial x}(0, t) = 0 \quad (2)$$

$$c(b, t) = \varepsilon \cdot c_0(t) \quad (3)$$

$$-DS \frac{\partial c}{\partial x}(b, t) = V_0 \frac{\partial c_0}{\partial t}(t) \quad (4)$$

$$c(x, 0) = c_p \quad (5)$$

$$c_0(0) = 1, \quad (6)$$

kde:

$c_0, c$	je koncentrace konzervované složky a lázně
$x$	souřadnice
$t$	čas
$D$	efektivní difúzní koeficient konzervované složky v lázni
$b$	poloviční tloušťka konzervované složky
$\varepsilon$	porozita tuhé fáze
$S$	povrch tuhé fáze
$V_0$	objem okolí.

Rovnice (1) popisuje jednorozměrné koncentrační pole konzervované složky v tuhé fázi (předpokládá se, že vliv okrajů na difúzi uvnitř pevné fáze je zanedbatelný), rovnice (2) značí, že koncentrační pole v tuhé fázi je symetrické, v rovnici (3) je uveden předpoklad dokonalého míchání lázně (okrajová podmínka prvního druhu), rovnice (4) je bilanční vztah, podle kterého je rychlost sdílení hmoty konzervované složky na povrchu tuhé fáze rovna akumulaci této složky v lázni, rovnice (5) znamená, že na začátku konzervace je konstantní rozdělení koncentrace v tuhé fázi.[4]

Pro obecnější vyjádření a zjednodušení výpočtu si zavedeme bezrozměrné veličiny.

$$C = \frac{c}{c_p}, \quad C_0 = \frac{c_0}{c_p}, \quad F_o = \frac{Dt}{b^2}, \quad X = \frac{x}{b}, \quad Na = \frac{V_0}{V},$$

kde  $V=S \cdot b$  je objem tuhé fáze.

Aplikací bezrozměrných proměnných  $C$ ,  $C_0$ ,  $F_o$ ,  $X$ ,  $Na$  na rovnice (1-5) se obdrží matematický model konzervačního procesu v lánžnovém uspořádání v bezrozměrném stavu.

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}(X, F_o) = \frac{\partial C}{\partial F_o}(X, F_o) \quad 0 \leq X \leq 1, \quad F_o > 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial C}{\partial X}(0, F_o) = 0 \quad (8)$$

$$C(1, F_o) = \varepsilon \cdot C_0(F_o) \quad (9)$$

$$-\frac{\partial C}{\partial X}(1, F_o) = Na \frac{\partial C_0}{\partial F_o}(F_o) \quad (10)$$

$$C(X, 0) = 1 \quad (11)$$

$$C_0(0) = 1 \quad (12)$$

Řešení (7) za podmínek (8-12) se dále řeší Laplaceovou transformací.[4]

Bezrozměrné koncentrační pole v tuhé fázi:

$$C(X, F_o) = \frac{\varepsilon}{Na + \varepsilon} - 2Na \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(Xq_n) \cdot e^{-F_o q_n^2}}{\cos(q_n) \cdot \frac{-\varepsilon \sin(q_n)}{q_n} - q_n \cdot Na \cdot \sin(q_n)} \quad (13)$$

Časový průběh koncentrace konzervované složky v konzervační lázni, kde  $q_n$  jsou kořeny transcendentní rovnice:

$$\operatorname{tg}(q_n) = -\frac{Na \cdot q_n}{\varepsilon} \quad (14)$$

$$C(F_o) = \frac{Na}{Na + \varepsilon} + \frac{2Na}{\varepsilon} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-F_o q_n^2}}{\varepsilon + Na + \frac{Na^2 q_n^2}{\varepsilon}} \quad (15)$$

Stupeň konzervace ( $y$ ):

$$y = \frac{c_0 \cdot V_0}{c_p \cdot V} = C_o \cdot Na \quad (16)$$

Prakticky ustálený bezrozměrný čas můžeme považovat při  $F_o=1$  a odtud plyne pro čas  $t$ :

$$t = \frac{b^2}{D} \quad (17)$$

Pro malé hodnoty  $F_o$  (krátké časy) je možné zjednodušit z Crankova vztahu:

$$\frac{m_{(t)}}{m_{(\infty)}} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{1 + \alpha}{\alpha} \sqrt{\lambda t} \quad (18)$$

s tím je ekvivalentní vztah

$$\frac{c}{c_p} = \frac{2}{N_a} \sqrt{\frac{\lambda t}{\pi}} \quad (19)$$

### **III. VÝPOČTOVÁ ČÁST**

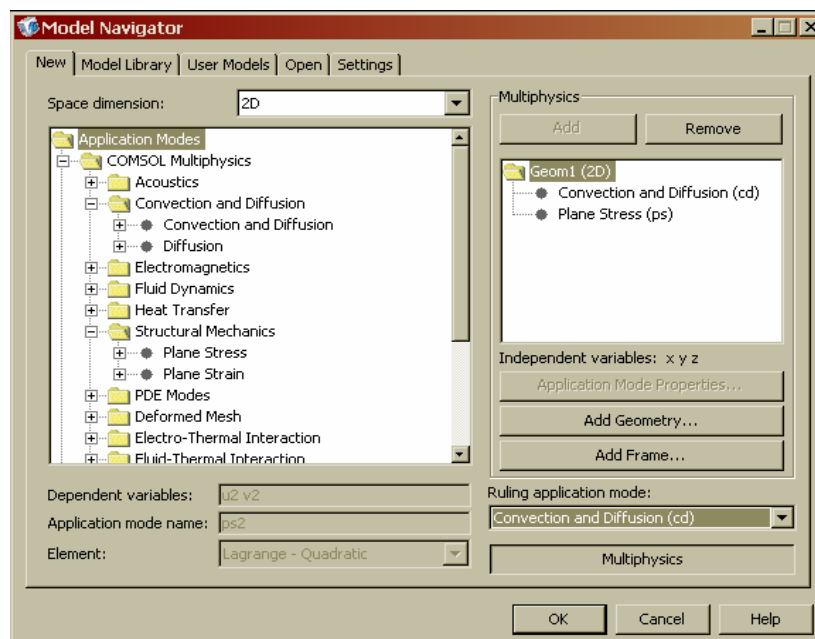
### 3 MODELOVÁNÍ PROCESU KONZERVACE V PROSTŘEDÍ FEMLAB

Starší verze FEMLABu pracovaly pouze jako nástavba programu MATLAB. Bylo proto potřeba nejprve spustit MATLAB a do příkazového řádku napsat příkaz

```
femlab
```

#### 3.1 Volba fyzikálních parametrů konkrétní simulaci

Verze mladší (od verze FEMLAB 3.0) již pracuje samostatně bez potřeby podpory MATLABu. Při spuštění FEMLABu se mi automaticky otevře okno s názvem **Model Navigator**. Zde si nastavím parametry FEMLABu tak, aby vyhovovaly co nejlépe mojí úloze. Jelikož se jedná o multifyzikální úlohu musím vybrat nejvhodnější fyzikální módy. Bude se jednat o difúzi a pnutí. Tuto úlohu budu modelovat ve 2D. V pravé dolní části **Model navigator** je tlačítko **Multiphysics**, kterým se přepnu do módu, ve kterém mohu kombinovat jednotlivé fyzikální jevy. Ze záložky **New** vyberu potřebné módy pro simulaci a tlačítkem **Add** je přidám. A jedná se o **Application Modes/COMSOL Multiphysics/Convection and Diffusion/Convection and Diffusion**. Dále pak **Application Modes/COMSOL Multiphysics/Structural Mechanics/Plane Stress**. Potvrdím tlačítkem **OK**.



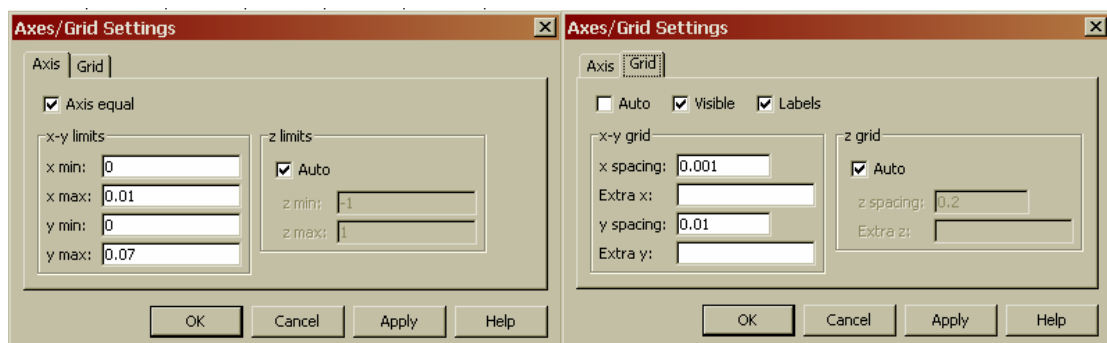
Obrázek 1: Nastavení módu pro difúzi a pnutí



### 3.2 Definování pracovní plochy

Dále je potřeba si nadefinovat osy a jejich maximálních a minimálních hodnot, jelikož každý objekt může mít jiný rozměr.

Nastavení os jsem si nadefinoval v menu **Options/Axes/Grid Settings**. Zde si mohu nastavit speciální osy pro přesně stanovené rozměry materiálu. Jelikož se však jedná o vzorek, který má jednoduchý tvar, není třeba zadávat speciální osy. Pro ukázkou jsem je však zadal. Jednalo se o rozdělení vnitřních vrstev objektu.



Obrázek 2: Nastavení rozmezí os a mřížky

**Pozn.:** Pro lepší znázornění si použitím symbolu lupy v horní nástrojové liště mohu plochu libovolně přibližovat či zvětšovat.

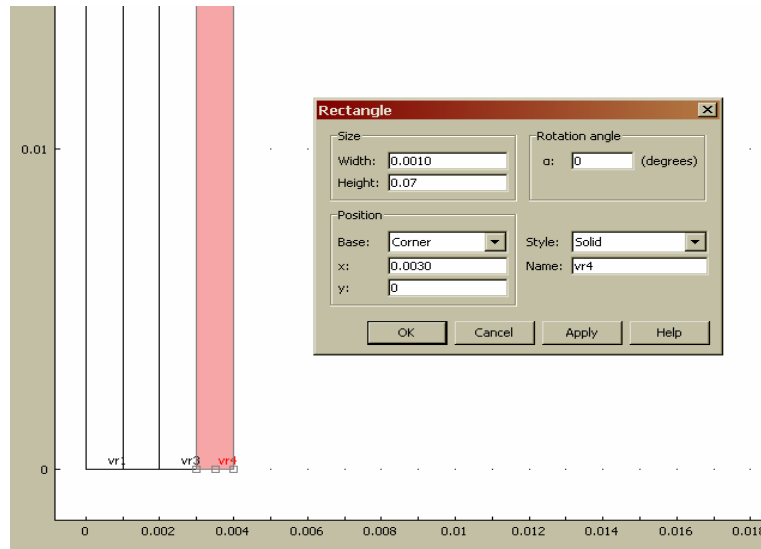


Obrázek 3: Nástrojová lišta

### 3.3 Geometrie objektu



Kůže se skládat z mnoha vrstev kolagenových vláken o různé hustotě. Objekt jsem složil ze čtyř vrstev. Délka vzorku je 0,07m, jeho šířka je 0,004m, tudíž každá jeho vrstva je široká 0,001m. Z nástrojové lišty na levé straně obrazovky je možno vybrat více způsobů pro nakreslení obdélníků mnou požadovaných rozměrů. Obdélník pro zadání rohových bodů nebo

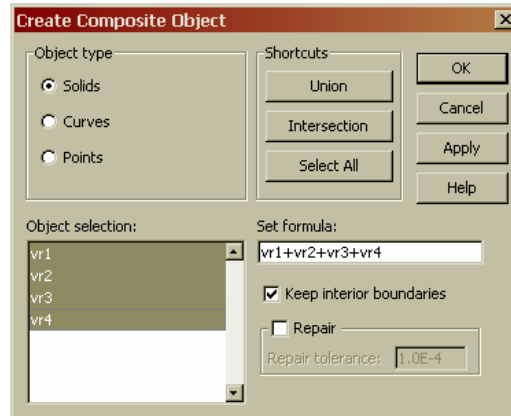
obdélník pro zadání středu. Pro tento příklad jsem použil například první z nich a nakreslím obdélníky o požadovaných rozměrech. Dvojklikem na objekt se otevře okno, kde jsem přesně zadal rozměry i umístění objektu na ose.



Obrázek 4: Nastavení přesných rozměrů dle zadání


Vrstvy si mohou libovolně pojmenovat pro lepší orientaci a práci s nimi. Já jsem si je pojmenoval *vr1* – *vr4*.

Dalším krokem je vytvoření jednoho objektu avšak při zachování jiných vlastností každé vrstvy uvnitř objektu. To mohu vytvořit dvěma způsoby. První z nich je označení všech čtyř objektů levým tlačítkem myši s přidržení klávesy **Ctrl** a použití ikony  **Unision** reprezentující sjednocení více objektů. Jiný způsob je vyvolání nabídky **Create composite object** taktéž z boční nástrojové lišty ikonou . V tomto dialogovém okně mohu zapsáním vzorce do kolonky **Set formula** přímo určit interakce mezi objekty. Jelikož každá vrstva bude mít specifické vlastnosti je třeba zachovat vnitřní hranice zaškrtnutím políčka **Keep interior boundaries**.

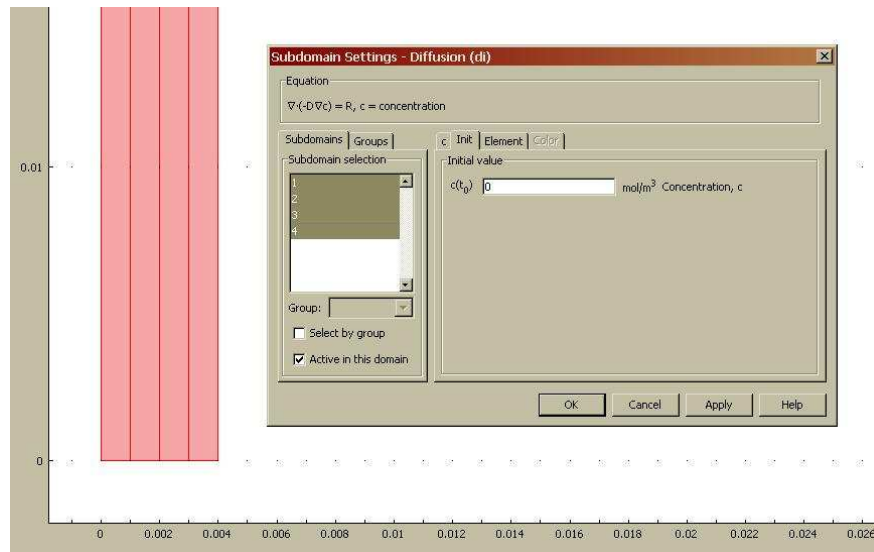


Obrázek 5: Sloučení objektů

### 3.4 Definování počátečních podmínek a vlastností objektu

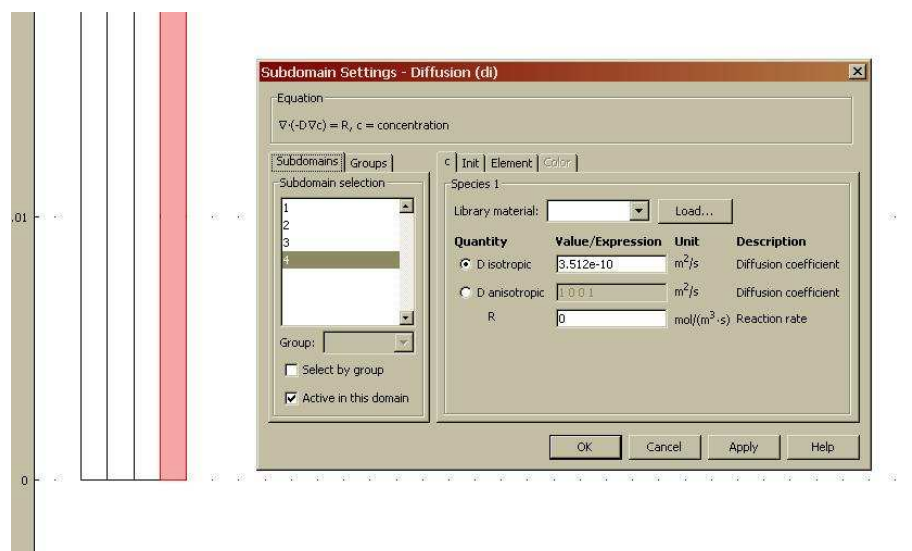
Další fází při modelování koncentračního pole je definice počátečních podmínek a vlastností materiálu. Nejprve jsem modeloval a simuloval koncentrační pole, proto jsem se přepnul do režimu difúze z menu **Multiphysics/Diffusion**. Opět mám na výběr z několika způsobů zadávání počátečních podmínek. Buď to z menu **Physics/Boundary Settings** nebo tlačítkem  z vrchní nástrojové lišty a následným poklepáním na objekt. Otevře se dialogové okno, kde jsem zadal vlastnosti surové kůže, jako jsou hustoty vrstev (v režimu pnutí), mnou vypočítaný difúzní koeficient, který jsem získal s experimentálního měření, dále pak počáteční koncentrace ve vzorku. Pokud by měly vrstvy (objekty) stejné vlastnosti, mohu si je sloučit do jedné skupiny (záložka **group**) pro snadnější zadávání společných podmínek.

Pokud pracuji s nějakým objektem, z některého ze standardních materiálů (např. ocel, dřevo apod.) mám možnost vybrat vlastnosti tohoto materiálu z knihovny dodané s programem. Surová kůže v knihovně není, ale je tu možnost si ji přidat pro pozdější jednodušší použití. Dále jsem zadal počáteční koncentraci vrstev. Jelikož surová kůže žádnou sůl neobsahuje, anebo jen v zanedbatelném množství, byla počáteční koncentrace nulová. Označil jsem všechny vrstvy, přepnul se do záložky **init** a do kolonky **initial value** zadal  $c(t_0)=0$ . Potvrdil jsem tlačítkem **apply**.



Obrázek 6: Zadání počáteční koncentrace


Dalším krokem je zadání mnou spočítaný difúzní koeficient. Přepnul jsem se do záložky **c** a do kolonky **D isotropic** zadal mnou spočítaný difúzní koeficient. Z pěti naměřených vzorků jsem spočítal průměr a dosadil jej. Jelikož má každá vrstva jinou hustotu, má i rozdílný difúzní koeficient, i když nepatrný, je to třeba brát v potaz a zahrnout do simulace.

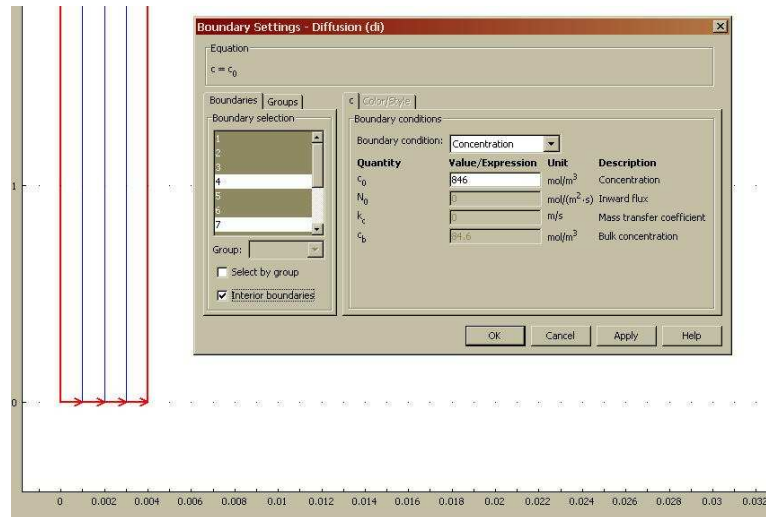


Obrázek 7: Zadání difúzního koeficientu

### 3.5 Definování okrajových podmínek

Další krok jsou okrajové podmínky. Zde jsem zadal koncentraci roztoku ve kterém vzorek surové kůže konzervuji. Okrajové podmínky jsem vybral z menu **Physics/Boundary Set-**


tings nebo ikonou  z vrchní nástrojové lišty a následným poklepáním na objekt se otevřelo příslušné dialogové okno. Zde jsem zadal koncentraci na povrchu vzorku. Jelikož FEMLAB počítá látkovou koncentraci a já jsem počítal koncentraci hmotnostní, musel jsem si koncentraci přepočítat. S přidržení klávesy **ctrl** jsem vybral, které okraje byly ponořeny v lázni. Je potřeba neopomenout vnitřní vrstvy, proto jsem zaškrtnul políčko **Interior boundaries**.

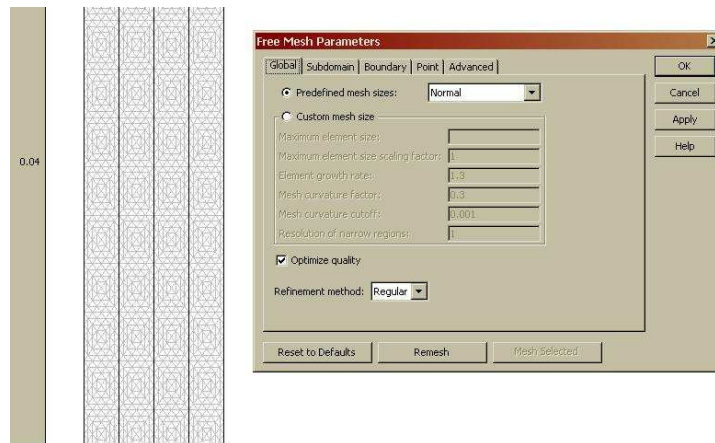


Obrázek 8: Zadání okrajových podmínek

### 3.6 Nastavení sítě

Síť udává počet polygonů které FEMLAB používá pro výpočet k renderování povrchů geometrie. Je to nastavení, které se týká pouze zobrazení a nekoresponduje s nastavením sítě pro řešení úlohy. [18]


Čím je síť jemnější, tím je zobrazení výsledku přesnější, avšak na úkor zatížení procesoru. Komplexní řešení problému pak trvá déle, i když je to ztelnější spíše u složitějších 3D objektů. Zjemnil jsem síť o dva stupně, jelikož jsem pracoval ve 2D režimu, proto nárok zatížení procesoru nebyl tak ztelný. Síť jsem si zjemnil, protože jsem řešil tloušťku surové kůže, která je 4mm, proto jsem chtěl mít vizualizaci co možná nejkvalitnější. Síť jsem zjemnil v dialogu **Mesh/Refine mesh** nebo tlačítkem  v horní nástrojové liště.



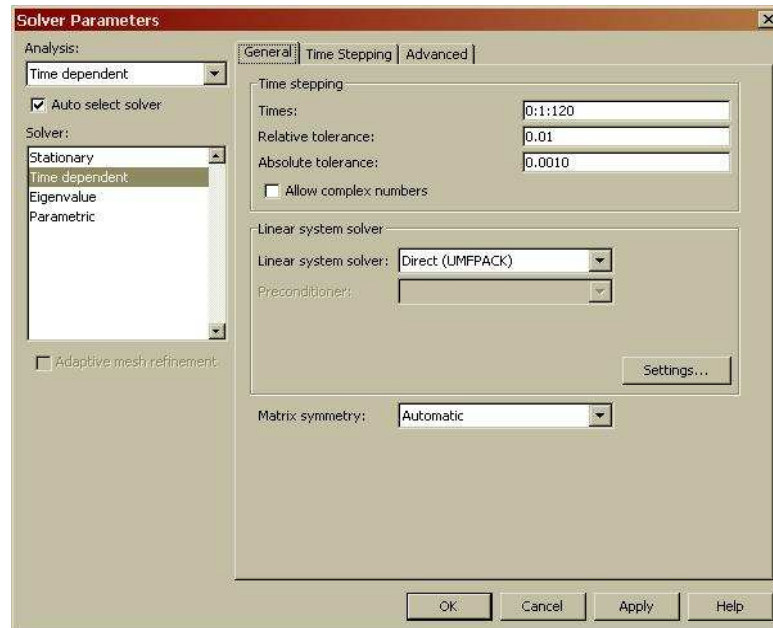
Obrázek 9: Generování sítě

### 3.7 Řešení problému a časová závislost

Nyní přejdu k důležité části kterou je řešení problému. Mám nastaveny počáteční podmínky, vlastnosti materiálu – to vše dle zadání a výsledků experimentální části. V této části budu simulovat čas potřebný ke konzervaci vzorku v 3% roztoku NaCl. Co nejvhodněji nastavím časy simulace, abych zjistil za jak dlouho bude vzorek dostatečně či nedostatečně konzervován. Jelikož konzervace probíhá velmi pomalu, budu časy sledovat řádově v hodinách.

V menu **Solve/Solver parameters** nebo tlačítkem  budu postupně nastavovat časové závislosti a na vykreslených grafech sledovat změny koncentračních polí.




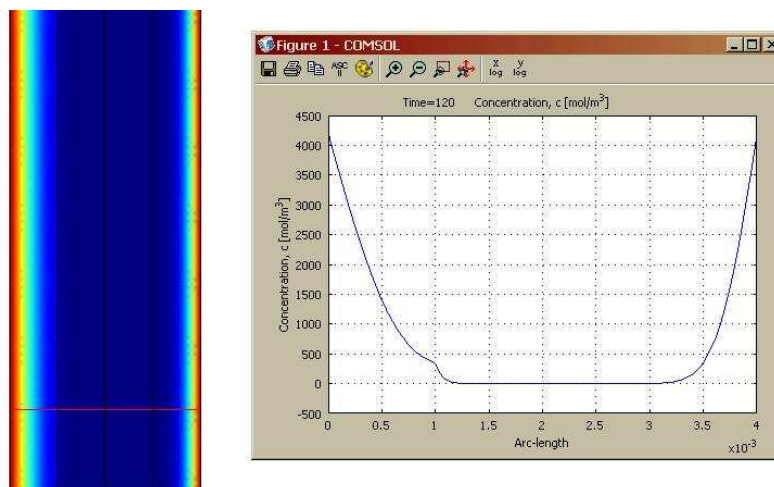


Obrázek 10: Nastavení časové závislosti řešitele

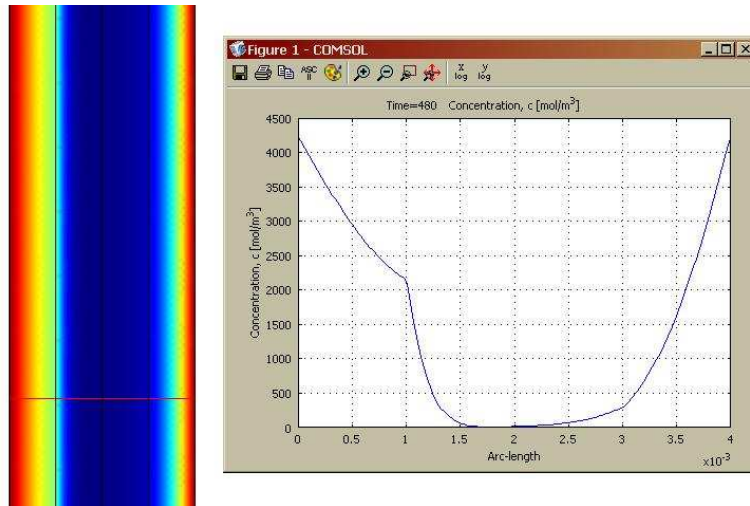
V záložce **General** si v nabídce **Solver** vyberu časovou závislost **Time dependent** a v kolonce **Times** budu postupně zadávat čas v minutách (*od:po kroku:do*).

### 3.8 Rozbor problému

Simulaci jsem prováděl v minutách, avšak v tomto případě již budu čas převádět na hodiny a dny. Na prvním obrázku je možno vidět průběh konzervace po dvou hodinách. Řez objektem se provádí na nástrojové liště na levé straně . Nastavení tohoto nástroje a jeho funkce upravuji a edituji v menu **Postprocessing/Gross-section Plot Parameters...**

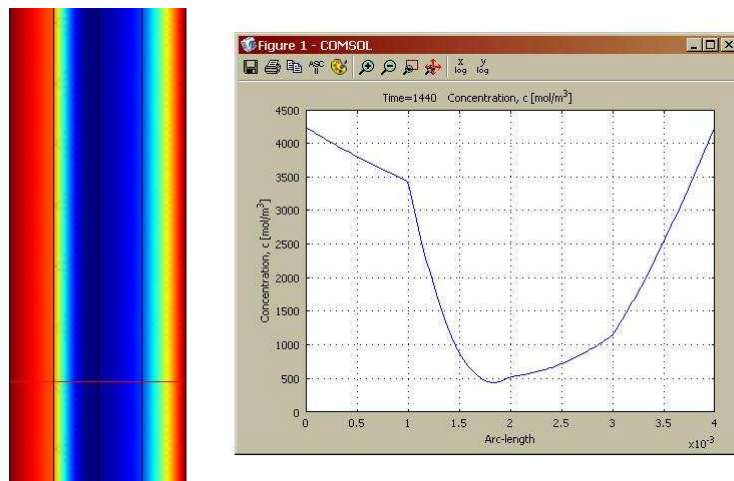


Obrázek 11: Konzervace ve vzorku po 2. hodinách (120min.)

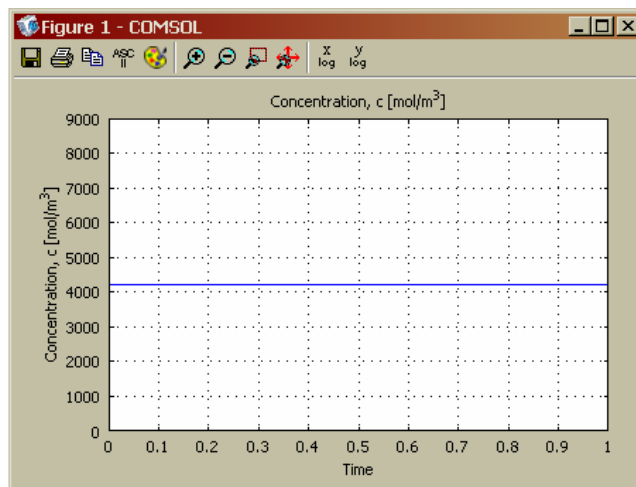


Obrázek 12: Konzervace ve vzorku po 8. hodinách (480min.)

I po osmi hodinách je vidět, že uprostřed vzorku je stále nulová koncentrace.



Obrázek 13: Konzervace ve vzorku po 24. hodinách (1440min.)



Obrázek 14: Konzervace ve vzorku po pěti dnech (7200min.)

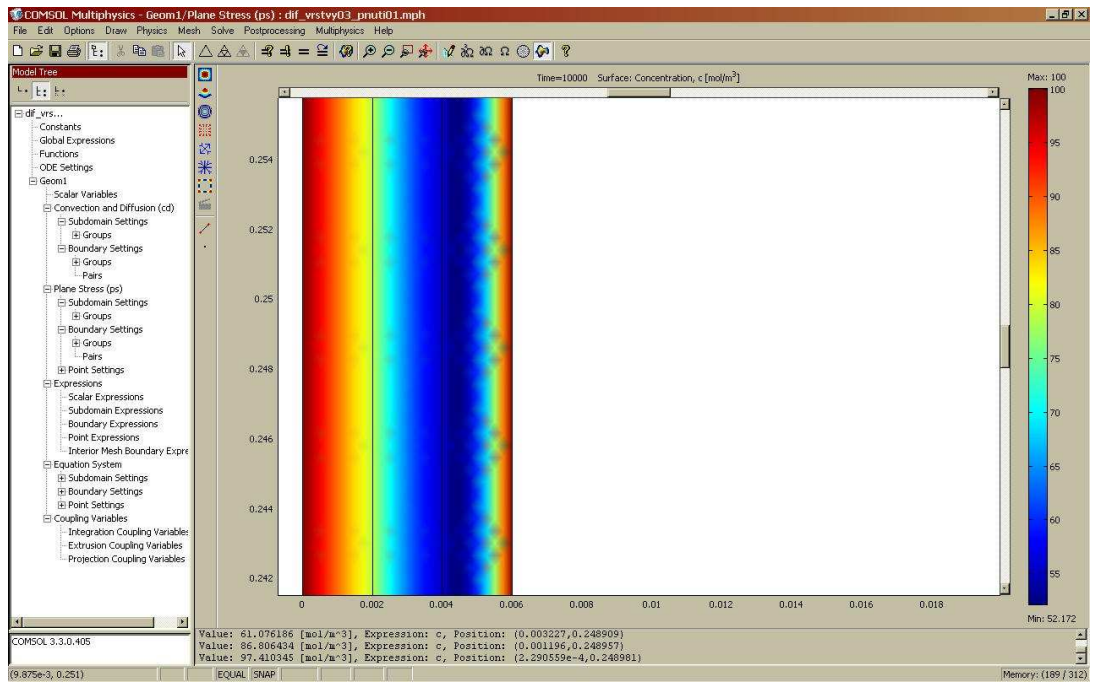
### 3.9 Výsledky simulace

Výsledky simulace ukazují, že 3% roztok NaCl je pro konzervaci velmi nedostačující, jelikož se koncentrace uvnitř vzorku ustálí na koncentraci lázně až po pěti dnech což je velice dlouhá doba, za kterou by vzorek v tak slabém roztoku jistě podlehl zkáze. Proto také osmotické tlaky působící na kolagenová vlákna by byly zcela nepatrné a spíš než porušení pevnosti usně by se, jak jsem již avizoval, surová kůže znehodnotila již v samém počátku výrobního procesu, kterým je konzervace. Proto jsem se v následné simulaci pokusil navrhnout optimální koncentraci, která by mohla vyhovovat potřebám technologické praxe, kde by se však již osmotické tlaky poškozující konzervovanou surovou kůži mohly vyskytnout a mít tak vliv na surovou kůži.

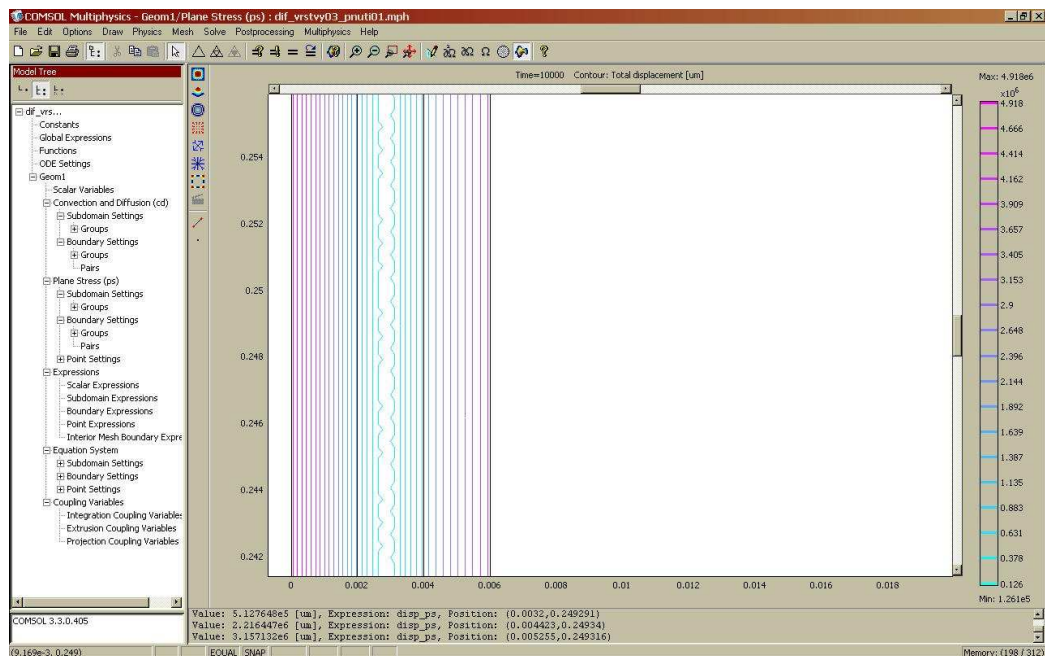
### 3.10 Přibližný návrh optimální konzervace

Analogicky jsem při tvorbě modelu a následné simulaci postupoval stejným způsobem jaký byl popsán výše, akorát s jinými okrajovými podmínkami pro koncentrační pole a pokusil se odhadnout i počáteční a okrajové podmínky pro pnutí uvnitř vzorku díky vysokému koncentračnímu spádu. Vyhodnotil jsem tedy pouze výsledky simulace. Opět jsem si v **Model Navigatoru** vybral **Diffusion** a **Plane Stress**.

### 3.11 Výsledky simulace



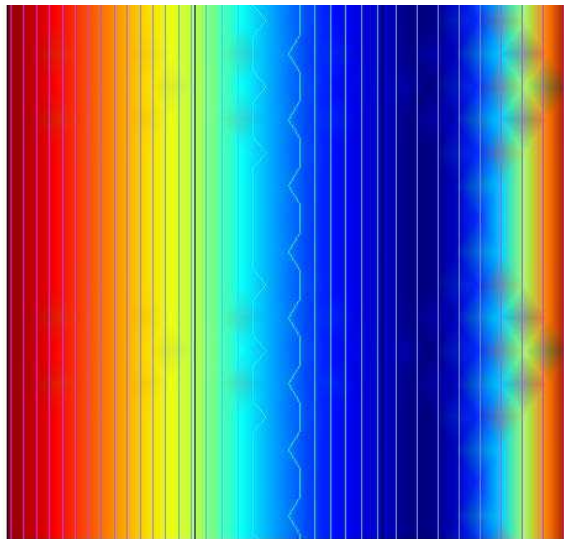
Obrázek 15: Rozložení koncentračního pole uvnitř vzorku



Obrázek 16: Rozložení sil uvnitř vzorku

Na prvním obrázku je možno vidět rozložení koncentračního pole uvnitř vzorku a na druhém mnou navržené rozložení sil. V počátečních podmínkách jsem přibližně navrhnul Youngův modul pružnosti pro každou vrstvu. V okrajových podmínkách jsem navrhnul

přibližné tlaky, které by mohly na vzorek ze surové kůže působit v závislosti na koncentračním spádu.



*Obrázek 17: Rozložení koncentračního pole a pnutí uvnitř vzorku*

Na obrázku je vizuálně zobrazena kombinace koncentračního pole uvnitř vzorku (barevné rozložení) a napjatost (kontury). Je patrné, že na lícové straně, kde jsou kolagenová vlákna jemnější je větší koncentrační spád a proto i kontury, reprezentující tlak je asi 10x větší než na straně vnitřní, kde je hustota vzorku větší, protože se skládá ze zbytků podkožního vaziva a tuků, a proto i koncentrační spád a osmotický tlak jsou o několik řádů menší.

## **IV. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST**

Cílem experimentální části bylo seznámit se s měřením koncentrace pomocí konduktometrie. Dále pak osvojit si některé metody měření. Hlavním cílem pak bylo na základě vyhodnocení měření stanovit difúzní koeficient, který jsem pak použil do vlastní simulace konzervace.

V experimentální části se nejprve seznámím s měřením pomocí konduktometrie a některými základními vztahy s ní související. Dále pak s měřícím systémem, se kterým jsem pracuji, jeho základními částmi a funkcemi. Po té budu zaznamenávat průběh měření, jeho výsledky, výpočty, vztahy mezi nimi a průběhy všech měření zároveň s mými poznatky.

### 3.12 Konduktometrické měření

Pomocí konduktometrického měření lze stanovit vodivost roztoků elektrolytů. Touto metodou jsem měřil, protože se mi zdá elegantní a dá se použít pro kontinuální měření, což je výhodné, a proto jsem tak měřil. V přímé konduktometrii se ze změřené vodivosti usuzuje obsah rozpuštěných elektrolytů nebo se zjišťují jiné veličiny, například stupeň disociace a disociační konstanty slabých elektrolytů, součin rozpustnosti silných elektrolytů apod.

Při konduktometrických titracích se sleduje závislost vodivosti elektrolytu na objemu přidávaného titračního činidla a vyhodnocuje se konduktometrickou křivkou.

#### 3.12.1 Vodivost roztoků elektrolytů

**Vodivost** (konduktance)  $G$  vyjadřuje schopnost elektrolytu vést elektrický proud. Je definována jako převrácená hodnota odporu (rezistance)  $R$ . Její jednotkou je *Siemens*  $S$ .

$$G = \frac{1}{R} \quad [S = \Omega^{-1}] \quad (20)$$

Princip instrumentálního měření vodivosti je jednoduchý. Například mám dvě vodivé desky umístěné v roztoku, na které je vloženo střídavé napětí  $U$  a je měřen elektrický proud  $I$ . Vodivost určím z Ohmova zákona.

$$G = \frac{I}{U} \quad (21)$$

Protože je vodivost závislá na geometrických vlastnostech vodiče (na ploše elektrod  $S$  a jejich vzdálenosti  $l$ ) zavádí se **měrná vodivost** (konduktivita)  $\kappa$ . Měrná vodivost je rovna vodivosti měřené v soustavě o jednotkovém poměru vzdálenosti a plochy elektrod.

$$\kappa = G \frac{l}{S} \quad [S.m^{-1}] \quad (22)$$

Měrná vodivost  $\kappa$  je převrácenou hodnotou **měrného odporu** (rezistivity) jehož jednotkou je  $\Omega m$ . Jednotka měrné vodivosti je  $S m^{-1}$ .

$$1 \mu S.cm^{-1} = 0,001 mS.cm^{-1} = 0,000001 S.cm^{-1} = 0,0001 S.m^{-1}$$

Tabulka 1: Měrná vodivost vody

Roztok	Měrná vodivost / $\mu S.cm^{-1}$
absolutně čistá voda	0,055
kvalitní redestilovaná voda	1
technická destilovaná voda	2 až 8
dobrá pitná voda	50
mořská voda	53000



### 3.12.2 Měření vodivosti

Vodivostní měření se provádí pomocí vodivostní cely (vodivostní nádoby), která je ponořena ve vodivostním roztoku. Obvykle jde o skleněnou či plastovou trubici, která je umístěna do měřeného roztoku tak hluboko, aby byly ponořeny elektrody. Elektrody uvnitř trubice jsou zhotoveny z platiny, titanu, pozlaceného niklu nebo grafitu. Běžně jsou obsaženy dvě elektrody. Nové typy cel se skládají ze čtyř elektrod ve tvaru kroužků. Jsou zapojeny do elektrického obvodu tak, aby proud procházející obvodem byl minimalizován a bylo tak bráněno polarizaci elektrod. [19]

### 3.13 Měřicí systém

Měřicí systém inoLab 740 je určen pro provoz s terminálem 740 (zobrazovací a nastavovací

modul) nebo pro provoz s PC (zobrazení a nastavení přes monitor PC). Terminál je lze použít s různými měřicími moduly 740. Tento návod popisuje obsluhu s měřicím modulem inoLab 740 pH/Cond.



Obrázek 18: Měřicí přístroj InoLab 740

### 3.13.1 Měřicí modul

Měřicí systém inoLab může zahrnovat následující aktivní multifunkční boy inoLab 740:

pH, pH/ION, Oxi, BSB/BOD, Cond (tento používám já ke svému měření), pH/Cond a Multi.

Každý modul disponuje vlastním nainstalovaným programem pro zpracování signálů čidel a pro komunikaci s terminálem nebo PC.



Obrázek 19: Měřicí modul inoLab 740

### 3.13.2 Terminál 740

Terminál je ovládací a zobrazovací jednotka. Parametry pro měření a zobrazení měřené hodnoty lze nastavit prostřednictvím menu na displeji. Terminál je možné navíc volitelně vybavit vestavěnou tiskárnou. Připojený měřicí modul inoLab 740 a k němu připojená elektroda jsou terminálem automaticky rozeznány. Displej terminálu zobrazuje:

- menu pro volbu měřených a zobrazovaných parametrů
- způsob měření teploty, tj. ručně zadaná nebo externí popř. vestavěné teplotní čidlo
- stavový řádek se zobrazením stavových znaků aktivních funkcí a nastavení
- funkce softwarových kláves

- aktuální teplota (měřená nebo nastavená)
- aktuální (na)měřená teplota
- navolená měřená veličina



Obrázek 20: Terminál inoLab 740

Zobrazená měřená teplota, aktivní funkce nebo nastavení a dostupné položky menu vždy odpovídají připojené aktivní elektrodě a zvolené měřené veličině.

Měřicí systém inoLab 740 je vybaven, jak na terminálu tak na měřícím modulu klávesnicovým polem. Pomocí tlačítek na terminálu se obsluhuje celkový měřicí systém.

Software (firmware) terminálu InoLab 740 lze aktualizovat. Přes připojené PC s nahraným programem pro update je možnost nainstalovat nejnovější verzi software pro terminál. [17]

### 3.14 Vlastní měření

#### 3.14.1 Příprava vzorku

Nejprve si potřebuji připravit vzorek. Ten jsem získal v divizi koželužny, která se zabývá konzervací surových kůží mokrosolením. Zde mi byl poskytnut vzorek hověziny. Vzorek jsem si rozdělil na menší části, kde každá z nich měla jinou tloušťku. Z těchto vzorků jsem jeden vybral nejvhodnější vzorek pro měření. Nejvhodnější proto, že měl po celé své ploše stejnou tloušťku. Nejdříve jsem z rubu vzorku odstranil tukovou vrstvu a podkožní vazivo. Z líce jsem opatrně odstranil srst tak, abych nepoškodil vrchní vrstvu, jelikož by difúze

probíhala v každých částech jinak a to by bylo pro mé měření a následnou simulaci nežádoucí. Poté jsem pak vzorek rozdělil na několik stejných částí o rozměrech

7cm x 4cm x 4mm a hmotnosti lišící se v řádech desetin gramů.



Obrázek 21: Vzorek surové kůže

### 3.14.2 Kalibrace přístroje

Dále je potřeba provést kalibraci měřícího přístroje. Výrobce k přístroji dodal kalibrační roztok. Jedná se o standardní kalibrační roztok pro měření konduktivity, 0.01 mol/l KCl.

Kalibrační hodnota při 25°C je 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Na obrázku je možno vidět získaný kalibrační protokol z vlastní tiskárny terminálu měřícího přístroje.

```
Calibration Conductivity
Cal date : 05.05.2008
Cal time : 17:07:49
Cal interval : 150 days
Cal standard: 0.01 mol/l KCL
Conductivity/Tref25:
1413 uS/cm
26.0 °C
Cell Const: 0.479 1/cm
Probe +++
```

Obrázek 22: Kalibrační protokol

### 3.14.3 Kalibrační křivka

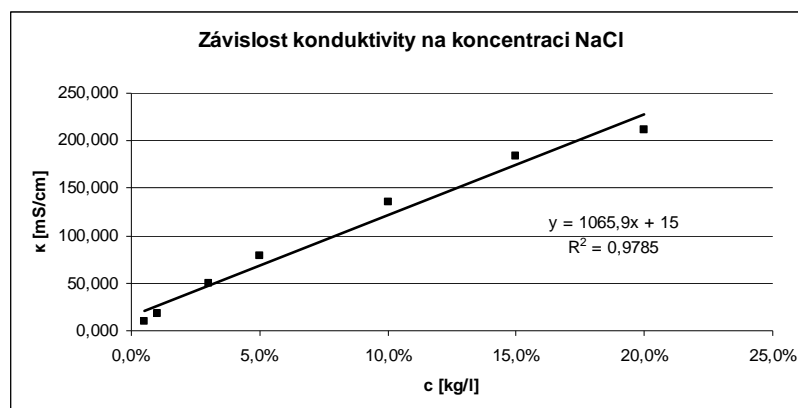
Po kalibraci měřící cely je třeba provést kalibrační křivku NaCl. Připravil jsem si jeden litr zásobního roztoku 20 % NaCl, tak že jsem si na přípravu navážku 200g NaCl a do litrové baňky doplnil 800ml destilované vody. Roztok jsem promíchal aby proběhla řádná disociace všech  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  iontů. Poté jsem spočítal a připravil konkrétní koncentrace roztoků po-

třebných pro určení kalibrační křivky. (100ml 0,5%, 1%, 3%, 5%, 10%, 15%, 20% roztoků). Měření jsem provedl třikrát pro každou koncentraci. Pro NaCl by měla být závislost koncentrace na vodivosti lineární. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce a grafu.

- $m_{20\%}=0,2\text{kg}$                        $c_{20\%}=0,2\text{kg/l}$
- $m_{15\%}=0,015\text{kg}$                        $c_{15\%}=0,15\text{kg/l}$
- $m_{10\%}=0,01\text{kg}$                        $c_{10\%}=0,1\text{kg/l}$
- $m_{5\%}=0,005\text{kg}$                        $c_{5\%}=0,05\text{kg/l}$
- $m_{3\%}=0,003\text{kg}$                        $c_{3\%}=0,03\text{kg/l}$
- $m_{1\%}=0,001\text{kg}$                        $c_{1\%}=0,01\text{kg/l}$
- $m_{0,5\%}=0,0005\text{kg}$                        $c_{0,5\%}=0,005\text{kg/l}$

Tabulka 2: Hodnoty kalibrační křivky č. 1

vodivost [mS/cm]	koncentrace NaCl [kg/l]						
	0,5%	1%	3%	5%	10%	15%	20%
1	9,27	17,32	49	78,3	135,4	184,2	212
2	9,3	17,39	49,1	78,3	135,5	184,3	212
3	9,32	17,39	49,3	78,3	135,4	184,6	212
<b>průměr</b>	9,297	17,367	49,133	78,300	135,433	184,367	212,000



Obrázek 23: Kalibrační křivka č. 1

Další fáze experimentu je slepý pokus. Jelikož se na povrchu surové kůže mohou nacházet vodivé ionty, které by mohly skreslit výsledek měření, provedl jsem tzv. slepý pokus tak, že jsem nejprve změřil vodivost vzorku, který byl ponořen v destilované vodě a výslednou kondukcí jsem odečetl od samotného výsledku měření vzorku v solném roztoku.

#### 3.14.4 Měření č. 1

Slepé měření u vzorku č. 1 o rozměrech 7cm x 4cm x 4mm a hmotnosti 10,58g jsem stanovil na 90  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Vzorek jsem z destilované vody vyjmul, řádně osušil savým papírem, aby mi zbylá destilovaná voda na vzorku nezředila roztok. Vzorek jsem ponořil do 300ml 20 % roztoku NaCl. Po určitých časových intervalech jsem měřil vodivost. Po dvou dnech se vodivost změnila pouze o jednotku, z čehož jsem usoudil, že koncentrace roztoku byla velmi veliká a vzorek příliš malý, proto z tak minimální změny vodivosti nelze přesně spočítat změnu koncentrace ve vzorku oproti změně koncentrace v roztoku a tudíž i difúzní koeficient. Proto jsem pro další měření a navrhl snížení objemu roztoku a snížení koncentrace roztoku.

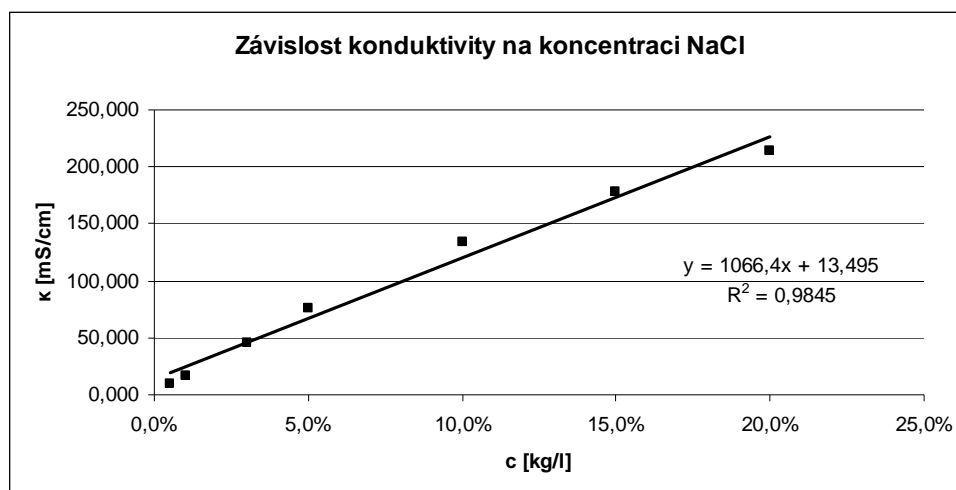
#### 3.14.5 Měření č. 2

Slepé měření u vzorku č. 2 o rozměrech 7cm x 4cm x 4mm o hmotnosti 10,95g jsem stanovil na 31,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Opět jsem vzorek osušil a vložil do 100ml 3% roztoku NaCl a opět měřil vodivost v závislosti na změně koncentrace po časových intervalech. Naměřené hodnoty jsem zapsal do tabulky.

Před měřením třetího vzorku jsem si připravil novou kalibrační křivku. Opět jsem si připravil roztok 1 litr 20% NaCl stejným způsobem jako předešlý zásobní roztok. Stejně tak kalibrační roztoky. Výsledky jsem opět uvedl v tabulce.

Tabulka 3: Hodnoty kalibrační křivky č. 2

vodivost [mS/cm]	koncentrace NaCl [kg/l]						
	0,5%	1%	3%	5%	10%	15%	20%
1	9,58	17,16	46	75,8	134	178,9	214
2	9,55	17,22	46,1	76	134	178,8	214
3	9,61	17,22	46,1	76,1	133,9	178,9	214
průměr	9,580	17,200	46,067	75,967	133,967	178,867	214,000



Obrázek 24: Kalibrační křivka č. 2

### 3.14.6 Měření č. 3

Slepé měření u vzorku č. 3 o rozměrech 7cm x 4cm x 4mm o hmotnosti 11,1g jsem stanovil na 31,4  $\mu$ S/cm. Opět jsem vzorek osušil a vložil do 100ml 3% roztoku NaCl a opět měřil vodivost v závislosti na změně koncentrace po časových intervalech. Naměřené hodnoty jsem zapsal do tabulky a grafu.

### 3.14.7 Měření č. 4

Vzorek je opět stejných rozměrů, lázni o stejné koncentraci, podroben stejnému měření jako v předchozích případech. Jeho hmotnost je 12,02g. Slepý pokus byl stanoven na 21,5  $\mu$ S/cm.

V předchozích případech byl vzorek pouze ponořen v roztoku NaCl. V tomto experimentálním měření jsem vzorek uchytil do horizontální polohy za dva konce drátkem, podrobil

stálému míchání a sledoval, jestli se měření mění. Měření však bylo téměř shodné. Předpokládám, že je to tím, že difúzní koeficient u surových kůží nabývá velmi malých hodnot.

### 3.14.8 Měření č. 5

Vzorek je opět stejných rozměrů, lázni o stejné koncentraci, podroben stejnému měření jako v předchozích případech. Jeho hmotnost je 12,02g. Slepý pokus byl stanoven na 41,5  $\mu\text{S/cm}$ .

Taktéž, jako v předchozím případě jsem vzorek podrobil míchání, sledoval a zapisoval průběh změny vodivosti na koncentraci.

### 3.14.9 Výsledné hodnoty měření

Tabulka 4: Hodnoty vzorku č. 2    Hodnoty vzorku č. 3    Hodnoty vzorku č. 4

t [min]	$\kappa$ [mS/cm]	t [min]	$\kappa$ [mS/cm]	t [min]	$\kappa$ [mS/cm]
0	49,2	0	45,2	0	46,6
1	49,1	1	45,2	1	46,5
2	48,7	2	45,2	2	46,4
4	48,6	4	45,1	4	46,3
9	48,4	9	44,9	9	46,1
16	48,3	16	44,8	16	45,9
25	48,1	25	44,7	25	45,7
36	48,1	36	44,6	36	45,7
49	48	49	44,5	49	45,5
64	48,1	64	44,5	64	44,5
81	48,4	81	44,6	81	45,7
100	42,2	100	44,7	100	46,1

Tabulka 5: Hodnoty vzorku č. 5    Hodnoty vzorku č. 6

t [min]	$\kappa$ [mS/cm]	t [min]	$\kappa$ [mS/cm]
0	49,1	0	49,2
1	49,1	1	49,1
2	49,1	2	49
4	48,9	4	48,7
9	48,8	9	48,6
16	48,5	16	48,4
25	48,2	25	48,2
36	48	36	48,1
49	47,9	49	48,1
64	47,9	64	48,1
81	48,2	81	48,3
100	48,4	100	48,9



Z výsledků měření mi vyšlo, že 3% roztok NaCl je příliš slabý, protože když jsem vzorek nechal v roztoku po několik dní, bylo patrné, že vzorek začíná podléhat rozkladu, z čehož jsem usoudil že došlo k nedostatečné konzervaci a bylo by proto potřeba koncentraci roztoku zvýšit.

```

15.05.2008 09:46:40
49.1 mS/cm 23.8 °C TP, ARns , +++
C=0.479 1/cm, Tref25 nLF
-----
15.05.2008 09:47:32
49.1 mS/cm 23.7 °C TP, ARns , +++
C=0.479 1/cm, Tref25 nLF
-----
15.05.2008 09:49:01
48.9 mS/cm 23.8 °C TP, ARns , +++
C=0.479 1/cm, Tref25 nLF
-----
15.05.2008 09:53:31
48.8 mS/cm 23.9 °C TP, ARns , +++
C=0.479 1/cm, Tref25 nLF
-----
15.05.2008 10:09:06
48.5 mS/cm 24.5 °C TP, ARns , +++
C=0.479 1/cm, Tref25 nLF
-----
15.05.2008 10:36:42
48.2 mS/cm 25.7 °C TP, ARns , +++
C=0.479 1/cm, Tref25 nLF
-----

```

Obrázek 25: Ukázka tisku hodnot měřícím terminálem

### 3.15 Stanovení difúzního koeficientu

Nejprve jsem se snažil připravit několik pokud možno shodných vzorků surové kůže. Skalpelem jsem odstranil vazivo a zbytky podkožního tuku. Na lícové straně jsem žiletkou odstranil veškeré chlupy. Dbal jsem však na to, abych nepoškodil pokožku, jelikož by pak mohla difúze probíhat nestejně a tím by mohly být zkresleny výsledky měření. Na ploše očištěného kusu jsem si vyznačil vzorky o stejných rozměrech. Ty jsem pak vyřízl skalpelem a nepřesnosti odstříhнул na přesně stanovený rozměr. Vzorky jsem dočistil a každý zvlášť zvážil a rozdělil do mikrotenových sáčků, kde jsem na každý z nich napsal hmotnost. Vzorky jsem uchovával v mrazničce.

*Rozměry vzorků:* 4cm x 7cm x 4mm = 0,04 x 0,07 x 0,004 m

Níže jsou jednotlivé hmotnosti vzorků. Spočítal jsem si i průměrnou hmotnost.

*Hmotnosti vzorků:*

$$m_1 = 0,01058\text{kg} \quad m_2 = 0,01095\text{kg} \quad m_3 = 0,01095\text{kg} \quad m_4 = 0,01095\text{kg}$$

$$m_5 = 0,01058\text{kg} \quad m_{st} = 0,010802\text{kg}$$

Další fází experimentu je příprava zásobního roztoku, ze kterého jsem si připravil roztoky o určitých koncentracích ve kterých jsem vzorky konzervoval. Do kádinky o objemu 600ml jsem si navážil 200g chloridu sodného (NaCl). Chlorid sodný jsem přemístil do litrové odměrné baňky a po rysku doplnil do jednoho litru destilovanou vodou. Zásobní roztok jsem řádně promíchal dokud neproběhla úplná disociace všech iontů  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ . Dále jsem si připravil 7 kádinek, každá o objemu 100ml. Připravil jsem si roztoky o následujících koncentracích: 0,5%, 1%, 3%, 5%, 10%, 15%, 20%.

zásobní roztok:  $200\text{g NaCl} + 1000\text{ml H}_2\text{O} = 1\text{l } 20\% \text{ roztok NaCl}$

lázeň:  $0,025\text{l } 20\% \text{ NaCl} = 0,003\text{kg NaCl}$

hmotnost soli v roztoku:  $m_{\text{NaCl}} = 0,003\text{kg}$

objem lázně:  $V = 100\text{ml H}_2\text{O}$

porozita surové kůže  $\varepsilon = 1$

Výpočet plochy vzorku surové kůže:

$$S = 0,04 \cdot 0,07 \quad S = 0,0028 \text{ m}^2$$

Výpočet objemu vzorku surové kůže

$$V_{vz} = S \cdot 2b \quad V_{vz} = 0,0028 \cdot 0,008 \quad V_{vz} = 2,24 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Výpočet počáteční koncentrace lázně ve které budu provádět konzervaci:

$$c_0 = \frac{m_{\text{NaCl}}}{V} = \frac{0,003}{0,1} = 0,03\text{kg / l}$$

Dále spočítám bezrozměrnou spotřebu Na:

$$Na = \frac{V}{V_{vz}} = \frac{0,1}{0,0224} = 4,46 \quad \alpha = Na, (\varepsilon = 1)$$

Tabulka 6: Naměřené a

vypočtené hodnoty

$\sqrt{t}$	$\kappa$ [mS/cm]	$c$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	$c/c(\infty)$
0	46,6	0,02964	0
1	46,5	0,02908	0,003036
1,41	46,4	0,02902	0,006072
2	46,3	0,02896	0,009446
3	46,1	0,02883	0,01585
4	45,9	0,02871	0,02192
5	45,7	0,02858	0,02834
6	45,7	0,02858	0,02834
7	45,5	0,02846	0,03475

Obrázek 26: Závislost  $c/c_{\infty}$  na  $\sqrt{t}$  pro počáteční fázi měřenísměrnice  $k = 0,0052$ Z Crankova vztahu (19) jsem si vyjádřil směrnici a vypočítal transportní parametr  $\lambda$ :

$$k = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1+Na}{Na} \cdot \sqrt{\lambda}$$

$$0,0052 = \frac{2}{1,772} \cdot \frac{1+4,46}{4,46} \cdot \sqrt{\lambda}$$

$$0,0052 = 1,3816 \cdot \sqrt{\lambda} / ^2$$

$$\lambda = 1,957 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

Ze vztahu (17) spočítám difúzní koeficient:

$$\lambda = \frac{D}{b^2} \Rightarrow D = \lambda \cdot b^2$$

$$D = 1,957 \cdot 10^{-5} \cdot 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\underline{\underline{D = 3,13 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}}}$$

Pro další vzorky již nebudu uvádět tabulky a grafy, ani výpočet difúzního koeficientu, jelikož se jedná o analogický postup u všech vzorků stejný, a proto uvedu výsledky výpočtu difúzního koeficientu pro všechny ostatní měřené vzorky.

### **Stanovené difúzní koeficienty**

$$D_2 = 2,87 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$D_3 = 1,94 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$D_4 = 3,13 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$D_5 = 5,38 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$D_6 = 4,24 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

Pro simulaci v prostředí FEMLAB si difúzní koeficienty naměřených vzorků zprůměrněji.

$$D_{\text{stř}} = 3,52 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

## ZÁVĚR A DISKUZE

První část diplomové práce je zaměřena na literární studii. Zde jsem se seznámil s problémem konzervace surových kůží jakožto počátečním stádiem pro mnoho dalších zpracovatelských operací při výrobě finálních výrobků s usní v kožedělném průmyslu. Nejprve jsem popsal několik ať již méně či více používaných metod konzervace, jejich výhody a nevýhody. V další fázi literární studie jsem popsal některé vady surových kůží s jejich následky pro další výrobní operace.

V teoretické části jsem aplikoval difúzní model konzervace se vztahy, které jsem dále využil v experimentální části pro výpočet difúzního koeficientu na jehož základě jsem modeloval proces konzervace v prostředí FEMLAB.

Ve výpočtové části jsem se zabýval modelováním procesu konzervace surové kůže mokrosolením. Při Simulaci jsem čerpal ze znalostí získaných z předmětu „Modelování dynamických systémů.“ a také ze zkušeností s řešením vzorových úloh, do zmíněného předmětu, týkající se transportních procesů tepla a hmoty, které jsem řešil v rámci pomocné studentské síly a dvakrát prezentoval na studentské odborné soutěži STOČ.

Proces konzervace surových kůží jsem řešil jako úlohu, kde jsem řešil jednak difúzní problém (diffusion) a osmotický tlak (plain stress), kde jsem vhodně nastavil počáteční a okrajové podmínky, zadal hodnotu difúzního koeficientu, který jsem experimentálně stanovil v laboratoři. Jak je patrné z obrázku rozložení koncentračního pole (Obrázek 15) a osmotického tlaku (Obrázek 16) ve vzorku, osmotický tlak silně závisí na změně koncentrace konzervační látky. Ukázalo se, že v daném místě se osmotický tlak zvýší několikanásobně, což má za následek lokální namáhání kožních vláken. Z toho lze usuzovat, že jemnější vlákna, která jsou zejména v lícové vrstvě jsou tímto způsobem velmi namáhána a může tudíž dojít i k jejich porušení.

V experimentální části jsem v laboratorních podmínkách stanovil konduktometrickým měřením difúzní koeficient chloridu sodného (NaCl), který vyšel přibližně  $D_{stř} = 3,52 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Naměřená hodnota difúzního koeficientu odpovídá publikovaným hodnotám [4,20].

Cílem diplomové práce bylo najít vztah mezi koncentračním polem a polem napjatosti ve vzorku surové kůže, upozornit na tento jev a zohlednit jej při důležité koželužské operaci, kterou je konzervování surových kůží.

## CONCLUSION

First part of my Master thesis contains recherche. I took up with principles of conservation of raw hide in this part. Conservation of raw hide is a first and very important operation in technological processes. At first I described well known or less known methods of conservation of raw hide. Also I described advantages and disadvantages of conservation of raw hide and its defects.

In theoretical part I suggested a mathematical model of conservation of raw hide. It is diffusion. This model I used to calculate to obtain appropriate result for modeling this problem in FEMLAB software. The main result is diffusion coefficient.

In practical part of this Master thesis is simulation of raw hide in FEMLAB software. I used my knowledge about this software and school subject called Modeling of dynamic systems. Also I used a guide of FEMLAB I compiled. My guide was published along with other solved examples presented at STOC competition.

Process modeling of raw hide conservation I solved as diffusion along with plain stress. I choose appropriate initial and boundary settings, diffusion coefficient which I calculated in experimentally part. As we can see on picture 15 and 16, the diffusion depends on osmosis. Those interactions may cause serious damage of raw hide.

In experimental part I measured the change of concentration by conductometry. By this operation I calculated the diffusion coefficient of Natrium Chloride (NaCl). The measured result corresponded with published values [4,20].

The point of this Master thesis was found out the relations between concentration field and plain stress in sample of raw hide because conservation of raw hide is first level of manufacturing of leather products, so it is very important process.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Mrazík M.: Koželužství, SNTL Praha, 1976, L22-C1-IV-31/84906
- [2] Tomíšek M.: Učebnice koželužství, SNTL Praha, 1959, L22-C2-3-II/8460
- [3] Blažej A.: Technologie kůže a kožešin, SNTL Praha, 1984, L22-C3-V-31f/88202
- [4] Kolomazník K.: Modelování zpracovatelských procesů, VUT Brno, 1990,  
ISBN: 80-214-0114-1
- [5] Kolomazník, K. a kol.: Teorie technologických procesů III, VUT Brno, FT Zlín, I.  
vydání, 1978
- [6] Janáčková, D.: Sdílení hmoty – Difúze, přednášky, UTB Zlín, 2003
- [7] FEMLAB 2.3, školení FEMLAB 2.3, 2002
- [8] FEMLAB Model Library, Comsol, Inc., 2000
- [9] Model galery,(poslední revize 5. 6. 2008),© 1997-2006 COMSOL, Inc. All Rights  
Reserved, dostupné z URL: <http://www.comsol.com/showroom/gallery/461.php>
- [10] Model galery, (poslední revize 8.6. 2008),© 1997-2008 COMSOL, Inc. All Rights  
Reserved, dostupné z URL: <http://www.femlab.com/showroom/gallery/465.php>
- [11] Diffusion, (poslední revize 11. 6. 2008), Humusoft, dostupné z URL:  
<http://www.humusoft.cz/femlab/moduly/htm.htm>
- [12] Kolat, P.: Přenos tepla a hmoty, FS, VŠB-TU Ostrava, 2001
- [13] Pilař, A. a kol.: Chemické inženýrství II, Státní nakladatelství technické literatu  
Praha, 1964
- [14] Míka V., Neužil L., Vlček J. a kol.: Chemicko-inženýrské výpočty I, VŠCHT Pra-  
ha, vydání 3, 1996
- [15] Kolomazník, K. Sedlář, J.: Teorie technologických procesů pro technologii kůže,  
plastů a pryže, VUT Brno, FT Zlín, I. vydání, 1983
- [16] Neužil, L., Míka, V., Chemické inženýrství IB, VŠCHT Praha, I. vydání, 1996



- [17] Manuál InoLab 740, © Weilheim 2004, WTW GmbH
- [18] Pluskal, P., Modelování vybraných úloh transportu tepla a hmoty v prostředí FEMLAB, Odborná práce, STOČ, FAI, UTB, 2008
- [19] Klouda, P., Moderní analytické metody, Nakladatelství Pavel Klouda, Ostrava, II. vydání, 2003
- [20] Kolomazník, K.; Janáčková, D.: Modeling of Raw Hide Soaking. Proceeding of WSEAS International Conference on Simulation, modeling and Optimization (SMO'05). 5(2), 5. CD ROM. 2005. Corfu, Řecko, Hellenic Naval Academy
- [21] Crank, J., The mathematics of diffusion, Second edition, Oxford science publications, 1979

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Symbol	Význam	Jednotka
$b$	Poloviční tloušťka	[m]
$c$	Koncentrace	[mol/l]
$c_0$	Počáteční koncentrace	[mol/l]
$D$	Difúzní koeficient	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$E$	Youngův model pružnosti	[Pa]
$F_0$	Fourierovo kritérium	[1]
$l$	Délka	[m]
$m$	Hmotnost	[kg]
$n$	Látkové množství	[mol]
$r$	Vnitřní poloměr	[m]
$A$	Plocha	[m <sup>2</sup> ]
$T$	Teplota	[K]
$t$	Teplota	[°C]
$t_{1p}$	Počáteční teplota	[°C]
$V$	Objem	[m <sup>3</sup> ]
$v$	Rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v$	Výška	[m]
$\varepsilon$	Porozita	[1]
$\beta$	Součinitel objemové teplotní roztažnosti	[K <sup>-1</sup> ]
$\kappa$	Vodivost	[Ω <sup>-1</sup> ]
$\rho$	Hustota	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\tau$	Čas	[s]

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obrázek 1: Nastavení módu pro difúzi a pnutí</i> .....	26
<i>Obrázek 2: Nastavení rozmezí os a mřížky</i> .....	27
<i>Obrázek 3: Nástrojová lišta</i> .....	27
<i>Obrázek 4: Nastavení přesných rozměrů dle zadání</i> .....	28
<i>Obrázek 5: Sloučení objektů</i> .....	29
<i>Obrázek 6: Zadání počáteční koncentrace</i> .....	30
<i>Obrázek 7: Zadání difúzního koeficientu</i> .....	30
<i>Obrázek 8: Zadání okrajových podmínek</i> .....	31
<i>Obrázek 9: Generování sítě</i> .....	32
<i>Obrázek 10: Nastavení časové závislosti řešitele</i> .....	33
<i>Obrázek 11: Konzervace ve vzorku po 2. hodinách (120min.)</i> .....	33
<i>Obrázek 12: Konzervace ve vzorku po 8. hodinách (480min.)</i> .....	34
<i>Obrázek 13: Konzervace ve vzorku po 24. hodinách (1440min.)</i> .....	34
<i>Obrázek 14: Konzervace ve vzorku po pěti dnech (7200min.)</i> .....	34
<i>Obrázek 15: Rozložení koncentračního pole uvnitř vzorku</i> .....	36
<i>Obrázek 16: Rozložení sil uvnitř vzorku</i> .....	36
<i>Obrázek 17: Rozložení koncentračního</i> .....	37
<i>Obrázek 18: Měřicí přístroj InoLab 740</i> .....	41
<i>Obrázek 19: Měřicí modul inoLab 740</i> .....	42
<i>Obrázek 20: Terminál inoLab 740</i> .....	43
<i>Obrázek 21: Vzorek surové kůže</i> .....	44
<i>Obrázek 22: Kalibrační protokol</i> .....	44
<i>Obrázek 23: Kalibrační křivka č. 1</i> .....	45
<i>Obrázek 24: Kalibrační křivka č. 2</i> .....	47
<i>Obrázek 25: Ukázka tisku hodnot měřícím terminálem</i> .....	49
<i>Obrázek 26: Závislost <math>c/c_{\infty}</math> na <math>\sqrt{t}</math> pro počáteční fázi měření</i> .....	51

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 1: Měrná vodivost vody.....</i>	40
<i>Tabulka 2: Hodnoty kalibrační křivky č. 1 .....</i>	45
<i>Tabulka 3: Hodnoty kalibrační křivky č. 2 .....</i>	47
<i>Tabulka 4: Hodnoty vzorku č. 2    Hodnoty vzorku č. 3        Hodnoty vzorku č. 4.....</i>	48
<i>Tabulka 5: Hodnoty vzorku č. 5    Hodnoty vzorku č. 6.....</i>	48
<i>Tabulka 6: Naměřené a vypočtené hodnoty.....</i>	51

## SEZNAM PŘÍLOH

P1: Jiná řešená úloha v prostředí FEMLAB


V této kapitole jsem modeloval tepelný směšovač. Jedná se o multifyzikální úlohu. Jde o kombinaci nestlačitelného Navier-Stokesovo proudění spolu se sdílením tepla.

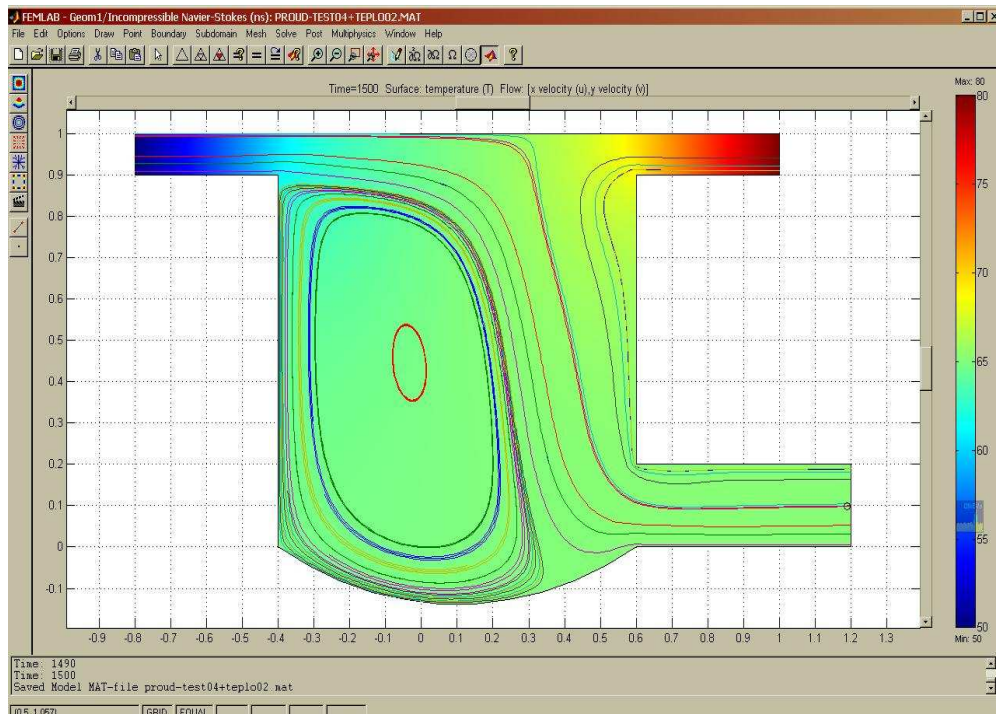
### Modelování tepelného směšovače v prostředí FEMLAB

Do tepelného směšovače se přivádí voda o rychlosti 0,15 m/s a teplotě 80°C a voda chladnější o teplotě 50°C a rychlosti 0,2 m/s. Měl jsem určit za jak dlouho a jaká bude teplota vody na výstupu po ustálení.

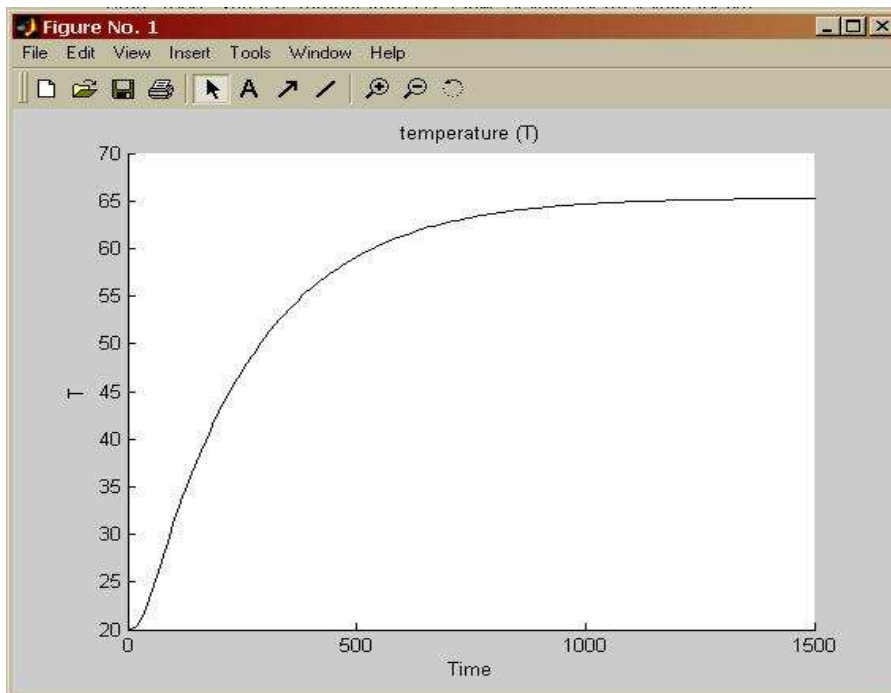
Po spuštění FEMLABu se automaticky otevře **Model Navigator**. V něm je několik záložek. Záložka **New** obsahuje základní fyzikální moduly z různých odvětví technologické praxe, jako například chemické inženýrství či elektromagnetismus. Záložky **Model library** a **User Models** obsahují již vyřešené příklady, do kterých občas nahlédnu, když si nejsem jistý správnou syntaxí. V záložce **Multiphysics** je možno kombinovat více fyzikálních zákonů na jednu dle typu řešeného příkladu. V tomto případě jsem kombinoval nestlačitelné Navier-Stokesovo proudění spolu s konvekcí a kondukcí, abych mohl simulovat tepelný směšovač. V rámečku **Dimension** je možno si zvolit v kolika rozměrech se bude pracovat. Jelikož některé výpočty trvají velmi dlouho, je lepší úlohu vyřešit nejdříve ve 2D a jestli funguje a časová závislost je optimalizovaná pak je možno ji převést do 3D. Nejprve jsem tedy tepelný směšovač řešil v dvojrozměrném režimu.

V záložce **Multiphysics** jsem vybral moduly, které byly potřebné pro vyřešení tepelného směšovače. A tím jsou: proudění - **Incompressible Navier-stokes**, tlačítkem přidat, které je situováno uprostřed mezi tabulkami jsem přidal tento fyzikální mód do řešeného příkladu, aby program zahrnul do řešení příslušné rovnice se kterými jsem pracoval. Dále bylo potřeba nastavit mód pro přenos tepla. Pro tento případ je to sdílení tepla vedením a sdílení tepla prouděním, proto byl přidán do řešitele další fyzikální mód – **Convection and conduction**. Nyní byly nadefinovány moduly se kterými jsem pracoval. Ještě se je však potřeba ujistit, že v rolovacím menu **Solver type** je vybráno **Time dependent**, protože se nejedná o stacionární úlohu. Mám nastaveno a potvrdím tlačítkem **OK**.

Nyní má v sobě program zahrnutý oba moduly (proudění a sdílení tepla). Přepnul jsem se do režimu kreslení, ikonou  nebo z menu **Draw/Draw Mode**. Jelikož má směšovač určené rozměry potřebuji nastavit mřížku os tak abych co nejsnadněji a samozřejmě přesně dle rozměrů nakreslil požadovaný objekt. Takže jsem si v menu **Options/Axes/Grid Settings**, v záložce **Axis** si nadeřinoval rozmezí os  $x, y$  podle velikosti objektu (setiny, desetiny, jednotky...). Dále v záložce **Grid**, odškrtnu políčko **Auto** a nadeřinuji jak má být mřížka hustá v kolonce **X spacing** a **Y spacing**. Mám optimálně nadeřinovanou plochu a mohu přistoupit k samotnému nakreslení tepelného směšovače, který má dva přítoky a jeden odtok. Mohu jej nakreslit více způsoby. Buďto složením z více objektů, které pak spojím funkcí **Create composite object** z menu **Draw** nebo si jej nakreslím použitím nástroje **Line** z menu **Draw**. Stačí však použít ikonu pro kreslení čáry z levé lišty nástrojů pro kreslení objektů. Nakreslil jsem objekt dle požadovaných rozměrů spojováním čar. Pokud je objekt nakreslen, přecházím k jeho vlastnostem, okrajovým podmínkám, řešiteli a rozboru problému. [18]



Obr. 2.17 Teplotní a rychlostní pole v tepelném směšovači



Obr. 2.18 Čas a teplota ustálení