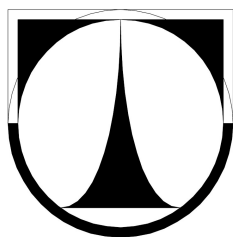


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**Fakulta mechatroniky, informatiky a
mezioborových inženýrských studií**



AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

Liberec 2008

Richard Charvát

Technická univerzita v Liberci

**Fakulta mechatroniky, informatiky a
mezioborových inženýrských studií**

Studijní program: P3901 Aplikované vědy v
inženýrství

**Počítačové modelování dýchajících fasád
s důrazem na vizualizaci**

Computer modelling of breathing facades
with a view to visualization

Autoreferát disertační práce

Autor:

Ing. Richard Charvát

Vedoucí práce:

Prof. RNDr. David Lukáš, CSc.

Konzultant:

Doc. Ing. Jan Krňanský, CSc.

Abstrakt

Multidisciplinárně zaměřená disertační práce nazvaná Počítačové modelování dýchajících fasád s důrazem na vizualizaci, se zabývá metodikou počítačového modelování transportních vlastností tzv. difuzně otevřených obalových stavebních konstrukcí s důrazem kladeným na vizualizaci a optimalizaci vědeckotechnických dat.

Nejprve klasickým fenomenologickým modelem transportu řešeným pomocí metody konečných prvků. Vizualizace dat probíhá v prostředí podobném herní aplikaci, takže zde lze využít pokročilých způsobů zobrazování v reálném čase. Výsledkem je testovací modul programu pro fyzikálně korektní návrh fasád a rovněž vizualizace, které pomohly lépe pochopit zejména jejich akumulární vlastnosti. Fasády typu diffu navrhované podle nové metodiky jsou v současné době již certifikovány a uvedeny do praxe.

Dále pak nástinem simulace konvekce plynu v pórézním prostředí pomocí metody buněčné automatizace. Nanovláknový materiál je zde uvažován vzhledem k případné možnosti využití jeho vlastností při navrhování dýchajících fasád. Je rovněž představeno otevřené programové prostředí pro vizuální prototypování simulací tohoto typu.

Abstract

Multidisciplinary oriented Computer modelling of breathing facades with a view to visualization deals with computer modelling of transport properties of breathing facades with a view to visualization and optimisation of scientific data.

In the beginning there's used finite element method solver and realtime environment like game engine for advanced visualization. Testing modul for facade prototyping was done and so helpful visualizations of its accumulation properties. Facades under the moniker diffu are certified and produced now.

In the next there's used discrete model based on the idea of cellular automaton. It's interesting think about material made from nanofibers in the context of breathing facades design in near future.

Úvod

Domy si stavíme či rekonstruujeme především proto, abychom si v nich zajistili pohodlné a trvale zdravotně nezávadné vnitřní prostředí. Vlastností, která může výrazně napomoci k zajištění kvalitního, zdravého prostředí v interiérech staveb, je určitá prodyšnost jejich obvodových stěn a konstrukcí podkroví. Hermeticky utěsněné objekty s malou nebo žádnou výměnou vzduchu jsou ze zdravotního hlediska značně rizikové. Vnitřní prostředí utěsněných staveb s malou výměnou vzduchu také obvykle obsahuje zvýšené koncentrace chemických látek, těkajících z předmětů a chemických prostředků používaných při provozu domácností. Stručně řečeno, hermeticky utěsněné a málo větrané objekty jsou v přímém rozporu s požadavky na zdravé prostředí v interiérech staveb. Ukazuje se, že slepá snaha po dosažení energeticky úsporných řešení staveb bez ohledu na kvalitu vnitřního prostředí může vést k velmi problémovým výsledkům. Aby bylo možné budovat domy se zdravým vnitřním prostředím, je nutné používat vhodné materiály a požadavku zdravého vnitřního prostředí podřídit návrh stavební konstrukce.

V zahraničí se touto problematikou zabývá více subjektů. Jednou ze známých institucí zaměřených na výzkum v této oblasti je Fraunhofer Institute für Bauphysik.

Stávající konstrukční koncept

Základní premisy, které stojí v pozadí navrhování, lze shrnout do následujících pravidel:

- a. Nelze připustit vstup vodní páry do konstrukce, z tohoto důvodu se ze strany interiéru do konstrukce vkládá parozábrana.
- b. Nosná stěna se konstruuje jako symetrická krabicová konstrukce.
- c. Co dříve požadavek (teplo, vlhkost, statika, akustika, estetika), to specializovaná vrstva.
- d. Co nejnižší cena konstrukce.

Tradiční nedostatky staveb:

- malá tepelná stabilita interiérů (léto),
- mizivá regenerace při vlhkostní havárii (parozábrana),
- konstrukčně nestabilní řešení (závislost spolehlivosti celé konstrukce na neporušení parozábrany),
- malá vlhkostní stabilita interiérů (parozábrana),
- nízká zvukoizolační schopnost (vzduchová neprůzvučnost),
- konkurenčně chabé požární vlastnosti (velké odstupové vzdálenosti objektů).

Nový konstrukční koncept

Vhodným řešením se ukazuje využití konstrukčního konceptu difúzně otevřených konstrukcí. Další ilustrace bude provedena na chráněném konstrukčním řešení typu diffuwall®.

Pro řešení difúzně otevřeného obvodového a střešního pláště byla zvolena následující východiska:

- Povolit v rozumné míře průběh „přirozených“ přenosových dějů na rozhraní interiér/exteriér, tj. především odstranit parozábranu.
- Důsledně využívat zdravotně nezávadné materiály
- Položit důraz na tepelně a vlhkostně akumulaci vlastnosti pláštů (stabilita vnitřního klimatu).
- Pro asymetrické prostředí působení obalových konstrukcí zvolit rovněž asymetrické řešení konstrukce.
- Maximálně zjednodušit konstrukci samu (minimalizace počtu vrstev a materiálových bází).

Problémy, které se dají od zvolených východisek očekávat, spočívají v oblasti materiálů.

Přehled dosažených technických vlastností

Nově navržená konstrukce prokázala, že je možné za současného stavu materiálové základny takové stavební pláště konstruovat.

Difuzní otevřenost

Skladby konstrukcí neobsahují žádné parozábrany, které by bránily prostupu vodních par a suchého vzduchu stěnou či střechou. Tento fakt pozitivně ovlivňuje kvalitu vnitřního mikroklimatu ze zdravotního hlediska a umožňuje určité „dýchání“ konstrukcí stěn a střešních pláštů.

Energetická úspornost

Vynikající tepelně izolační vlastnosti používaných materiálů umožňují vytvářet objekty a konstrukce s minimálními energetickými ztrátami. Podle volitelných variant tloušťek jednotlivých vrstev konstrukcí je možné dosáhnout parametrů nízkoenergetického až pasivního domu.

Tepelná stabilita

Díky užití desek, které mají značně vysokou tepelně akumulaci schopnost, nedochází k letnímu přehřívání objektů. Fázový posuv teplotního kmitu dosahuje hodnot 7 až 13 hodin.

Požární odolnost

Používané materiály mají značnou požární odolnost. Při hoření jejich povrch zuhelnatí a zamezí tak rychlému šíření požáru do nitra konstrukcí. Výsledkem je nadstandardní požární odolnost konstrukcí, která dosahuje hodnot 90 minut z interiéru a 120 minut z exteriéru.

Zvukoizolační schopnost

Plošná hmotnost konstrukcí v systémech „diffu“ je vlivem jejich skladeb a použitých materiálů vyšší, než je tomu u běžných dřevostaveb. Z toho plyne i vyšší zvukoizolační schopnost. Objekty proto lépe izolují proti hluku ve vnějším prostředí staveb.

Regenerační schopnost

Difúzně otevřená konstrukce má schopnost zbavit se případné nadměrné vlhkosti. Difúzně otevřená konstrukce v mrazivém počasí automaticky vysychá.

Ekologie

Konstrukce v systémech „diffu“ mohou být realizovány výhradně s použitím zdravotně nezávadných materiálů. Proto jsou tyto konstrukce šetrné k životnímu prostředí a vytvářejí zdravé prostředí uvnitř staveb.

Ověřená řešení a certifikace

Inovativní koncept konstrukce vyvolal paradoxně potřebu úplné certifikace především z toho důvodu, aby byla překonána nedůvěra projektantů a realizačních firem. V současnosti je to jediná certifikovaná difúzně otevřená konstrukce v ČR a je chráněna užitným vzorem a obchodní značkou diffuwall®.

Zjednodušení technologie výroby

Použití konceptu difúzně otevřené konstrukce vede na snížení počtu vrstev obalových konstrukcí. To má přirozeně dopad i do zmenšení počtu výrobních operací a tedy i snížení nákladů na výrobu.

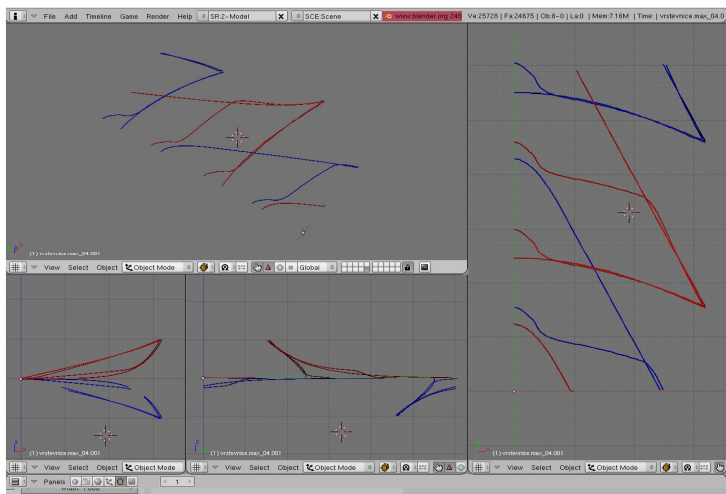
Odpadají zde dva technologické kroky, a to montáž vnější nosné desky a zejména problematická montáž (i funkce) parozábrany.

Chování konstrukce z pohledu počítačové grafiky

Vizualizace transportních jevů, které přímo souvisí s fyzikálně korektním návrhem fasád lze provádět s minimální odezvou vzhledem k reálnému času výpočtu, což vede ke zrychlení cyklu návrhu konstrukce.

Akumulace stěny

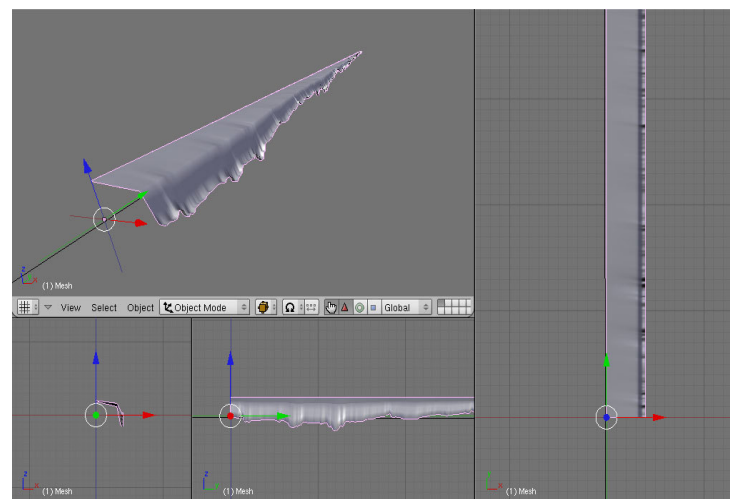
U stěn resp. podkroví se oproti běžné konstrukci stěny prodlouží fázový posuv běžně 2-2,5 krát, tj. na 10-12 hodin. Akumulační schopnost tak výrazně přispívá k teplotnímu komfortu v interiéru budovy zejména v extrémních klimatických situacích.



Obr.1. Zobrazení teplotních minim a maxim průchodu sinusové tepelné vlny obvodovým pláštěm

Celoroční bilance

Jako velmi zajímavé se jeví prostorové zobrazení teplotních či vlhkostních polí získaných na základě výpočtů zohledňujících dlouhodobě monitorovaná meteorologická data v dané stavební lokalitě. Tak je možné interaktivně ověřovat chování konstrukce v průběhu delších časových intervalů, tj. zaznamenat život fasády např. během celého kalendářního roku.



Obr.2. Roční bilance pro danou kontrolní oblast spočtenaná na základě dat z Českého hydrometeorologického ústavu

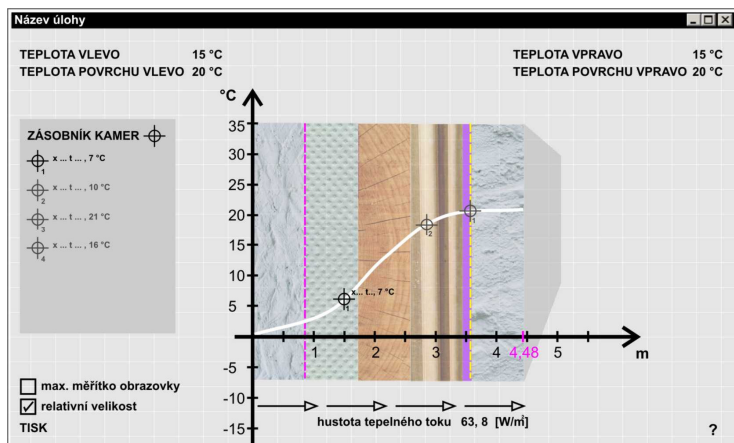
Metodika výpočtu a vizualizace chování fasády

Na základě úvah zpřístupnit návrhový systém diffu pro uživatele s potřebou řešit úlohy stavební fyziky, byl vytvořen testovací modul dle následujícího schematu:

Zadání úlohy

Řešič (Metoda konečných prvků)

Vizualizační modul (Herní prostředí)



Obr.3. Ilustrace vizualizace v reálném čase s možností interaktivního záznamu hodnot z grafu pomocí kamer

Údaje získané z „kamer“ mohou být zpětně načteny do části zadávání úlohy ke korekci návrhu.

Pro načtení dat z řešiče a následnou realtime vizualizaci byl zvolen volně šiřitelný 3D program se zabudovaným herním prostředím známý pod označením

Blender,

který využívá grafickou knihovnu *OpenGL* a jehož programovatelné rozhraní je obslouženo přes integrovaný interpreter volně šiřitelného programovacího jazyka, známého jako

Python.

Mocným nástrojem pro vizualizaci rozsáhlých souborů vědecko-technických dat je možnost propojení s dalším volně šiřitelným programovým řešením

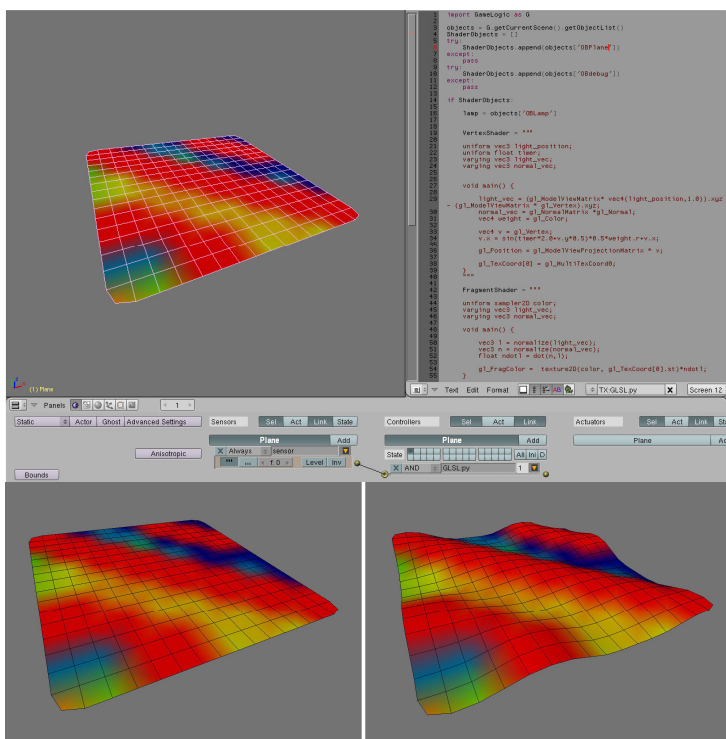
VTK (Vizualizační knihovny),

prostřednictvím pythonského modulu *VTKBlender* vytvořeného pro tento účel na University of Alberta k tvorbě fyzikálně korektních vizualizací.

Herní prostředí rovněž umožňuje využití pokročilých výpočtů na grafických akcelerátorech, zejména *nVidia*, pomocí python skriptů obsahujících kód pro volání vertex a pixel resp. fragment shader programů v jazyce *GLSL*.

Zápis vertex shaderu pro modelovou situaci s vážením pomocí sinusové vlny pak vypadá následovně:

```
vec4 v = gl_Vertex;  
vec4 weight = gl_Color;  
v.x = sin(timer)*weight.r+v.x;  
gl_Position = gl_ModelViewProjectionMatrix * v;
```



Obr.4. Ilustrace vizualizačního prostředí se zobrazením modelování nestacionárního skalárního pole pomocí vertexshaderu

Nanomateriál v konceptu dýchající fasády

Jednou z budoucích možných oblastí aplikací technologie nanovláken je bezesporu stavebnictví. Textilie na bázi nanovláken dokáží jak známo účinně regulovat toky plynů a par a do určité míry jsou rovněž schopné bránit průniku vody jako kapaliny.

Pro účely regulace průniku plynů a kapalin konstrukcemi se již dnes technické textilie (převážně netkané) ve stále větší míře využívají. Jde zejména o aplikace při tvorbě skladeb obvodových a střešních pláštíků budov a dále o geotechnické aplikace.

Je tedy nasnadě, že jednou z nadějných aplikací nanovláken ve stavebnictví je tvorba nové generace těchto textilních materiálů. Významnou aplikací netkaných textilií je zejména oblast dřevostaveb a oblast konstrukcí šikmých střech.

Podle funkce a vlastností se textilie používané ve stavebnictví označují různě: větrové (konvektivní) zábrany, parobrzdy, difúzní fólie, pojistné hydroizolace.

Typické aplikace ve stavebních konstrukcích

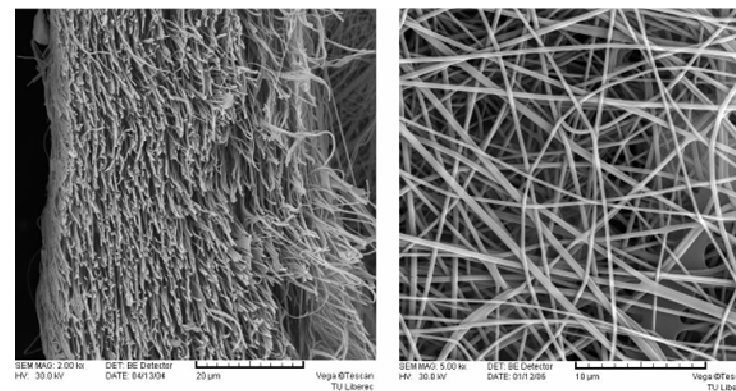
Konvektivní toky jsou v konstrukcích většinou nežádoucí, neboť vedou často na nekontrolovatelný transport vlhkosti do konstrukce nebo na vznik velkých tepelných ztrát objektů.

Difúzní toky často připouštíme, chceme však regulovat množství par vstupujících do konstrukce, abychom omezili vznik rizik spojených s vlhkostí, např. velkou kondenzací. Z těchto úvah vyplývají i hlavní typy textilních membrán používaných při tvorbě obvodových a střešních pláštů:

větrová zábrana: difúzně propustná membrána, která má za úkol zabránit proudění vzduchu v konstrukcích vlivem externího tlaku/sání větru. Důležitým parametrem větrové zábrany je její maximální difúzní propustnost a naopak co nejmenší propustnost pro konvekci. Někdy se požaduje rovněž hydrofobnost.

parobrzdá: difúzně propustná membrána, která má za úkol regulovat množství páry, která prochází konstrukcí. S ohledem na celoroční koncentrační profily vodní páry se umísťuje co nejvíce k líci interiéru. Důležitým parametrem parobrzdě je míra její propustnosti pro vodní páru.

podstřešní membrána: membrána, která se používá do šikmých střech, umísťuje se pod krytinu buď kontaktně nebo nekontaktně na tepelnou izolaci. V konstrukci musí plnit několik funkcí: musí propouštět páru, zamezit infiltraci vzduchu a musí zabránit pronikání vody do konstrukce střechy.



Obr.5. Na příčném řezu nanotextilií je vidět hustá paralelní struktura vláken, která je skutečným původcem bariérových efektů

Provedené experimenty ukazují na mimořádné konvektivní bariérové schopnosti a měkké difúzní vlastnosti nanotextilií. To je optimální kombinace například pro konstrukci staveb bez použití parozábran.

Textilie na bázi nanovláken se svým charakterem z pohledu stavebnictví řadí mezi vysoce difúzně otevřené membrány.

Dále se ukazuje, že v porovnání s podobnými materiály vykazují menší (řádově 10x) konvektivní permeabilitu. Tento fakt znamená, že materiály budou i při malých gramážích vysoce účinné jako větrové zábrany, a to při zachování vysoké difuzivity.

Materiály s takovými vlastnostmi lze použít pro všechny dříve zmíněné účely, jako větrové (konvektivní) zábrany, jako parobrzdy i jako podstřešní membrány:

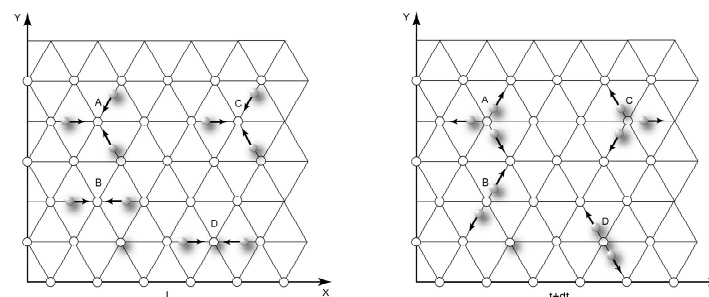
- sama účinná vrstva nanovláken může být extrémně tenká (malé gramáže), výrobně relativně laciná
- při vysoké difúzní permeabilitě má v porovnání se srovnatelnými materiály významně nižší konvektivní permeabilitu
- difúzní permeabilita jen málo závisí na gramáži nanovlákněné textilie.

Model transportních vlastností nanomateriálu

Metody buněčné automatizace jsou příkladem opačného přístupu, než jak tomu bylo u řešení pomocí metody konečných prvků. Zde začínáme s diskrétním mikroskopickým modelem, který svojí konstrukcí zachovává požadované kvantify. Tyto modely jsou bezpodmínečně stabilní. Derivace odpovídajících makroskopických rovnic ovšem vyžaduje škálování.

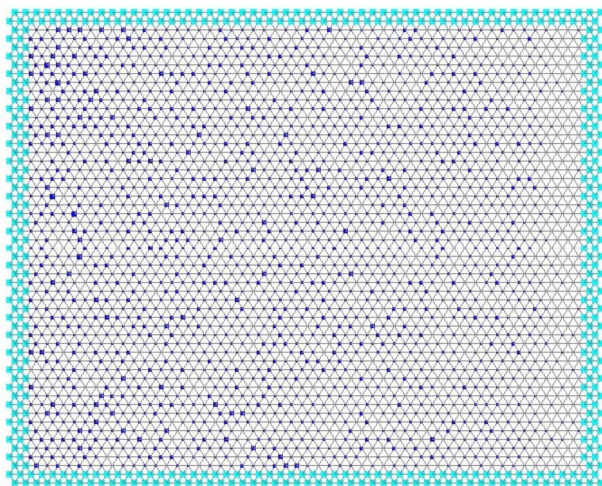
Mřížový plynový automat (LGA:lattice gas automaton)

Relativně nová metoda pro numerické řešení fyzikálních jevů tradičně popisovaných nelineárními parciálními diferenciálními rovnicemi. Vznik této metody se datuje do roku 1986 (Frisch, Hasslacher, Pomeau). Tito autoři ukázali, že jistý druh kulečnickové hry s kolizemi zachovávajícími hmotnost a hybnost v makroskopickém měřítku vede na parciální rovnice, pokud mříž vykazuje dostatečnou symetrii (hexagonální ve 2D).



Obr.6. Typické dvou a tříčásticové kolize u modelu FHP-1

Mřížový plynový automat se podřizuje zákonům zachování a obnova je rozdělena na lokální kolize a propagace nejbližších sousedů. Toto rozdělení činí snadnějším konstrukci modelu s požadovanými makroskopickými vlastnostmi.



Obr.7. Simulační oblast - síť plynového automatu s uzly a pevnými okrajovými podmínkami danými ohraničením

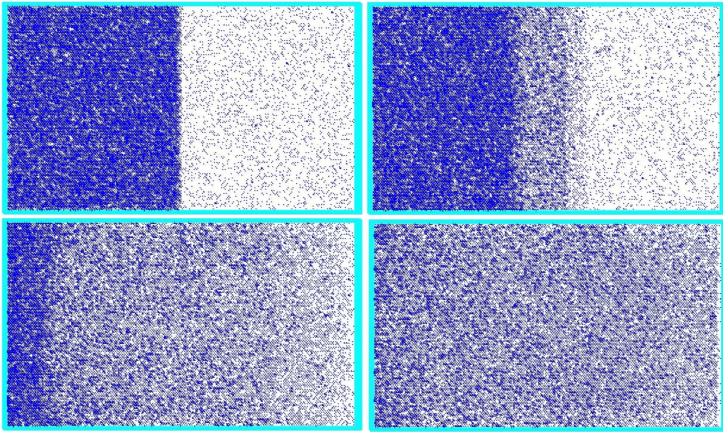
Simulační experiment s mřížovým modelem plynu

Na základě podkladů poskytnutých pro algoritmicizaci mřížového modelu plynu FHP-1 byl pro testovací účely kód prototypován. Na rozdíl od předchozího schematu u *Metody konečných prvků*, zde vše probíhá v jednom cyklu interpretováno s odezvou v reálném, či téměř v reálném čase podle velikosti sítě a počtu uzlů v ní obsažených.

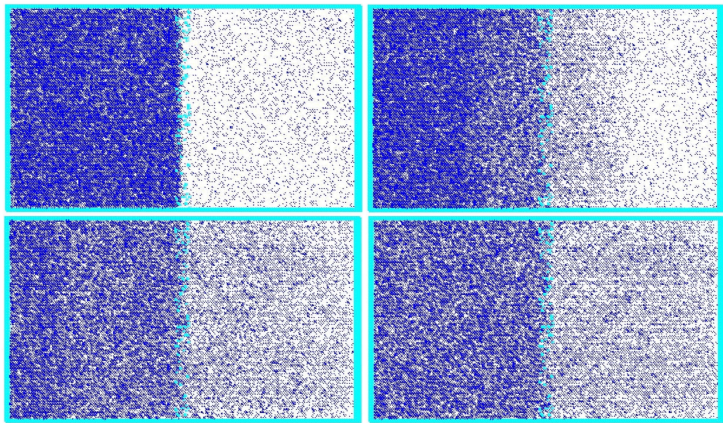
Prototypování aplikace

Zde použité prototypovací programovací prostředí známé jako Processing je rovněž distribuováno v rámci otevřené license. Processing byl vytvořen zejména pro použití v oblasti multimédií a interaktivních instalací.

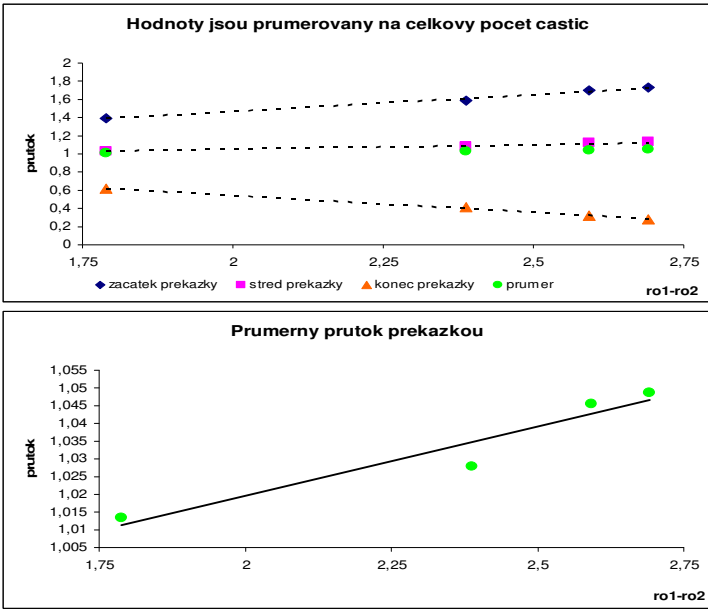
Vykreslení stavu simulace na obrazovku probíhá spolu s výpočtem v jednom cyklu a zároveň jsou některá data potřebná pro analýzu ukládána do souborů pro další statistické vyhodnocení.



Obr.8. Časový vývoj modelu plynového automatu FHP-1 v prostředí bez pórzní překážky



Obr.9. Časový vývoj modelu plynového automatu FHP-1 v prostředí s pseudonáhodně generovanou pórzní překážkou



Obr.10. Střední průtoky částic v různých místech pseudonáhodně generované překážky a celkový průměrný průtok pórzní překážkou

Závěr

V multidisciplinárně zaměřené disertační práci nazvané Počítačové modelování dýchajících fasád s důrazem na vizualizaci, je nahlíženo na téma počítačového modelování difuzně otevřených fasád z pohledu vymezení fyzikálně-stavební problematiky a metodického využití výpočetních modelů schopných popisu transportních vlastností dýchající konstrukcí v běžném i nano měřítku a především pak způsoby jak efektivně tyto procesy vizualizovat.

fenomenologický model -> diskretizace

Metoda konečných prvků a její modifikace jsou v současnosti již klasickými metodami používanými široce v inženýrské praxi.

diskrétní model -> škálování

Metoda buněčných automatů a její varianty jsou oproti tomu relativně novými metodami, vhodnými svojí podstatou pro simulace v molekulárním měřítku.

Hlavním přínosem práce je vypracování nové metodiky progresivní vizualizace dat ve spojitosti s problematikou návrhu difuzně otevřených obalových stavebních konstrukcí.

Výsledkem první fáze vizualizace, založené na výpočtu pomocí modifikace *Metody konečných prvků*, je testovací modul programu pro fyzikálně korektní návrh fasád a rovněž vizualizace, které pomohly lépe pochopit zejména jejich akumulární chování. Fasády typu diffu navrhované podle nové metodiky jsou v současné době již certifikovány a uvedeny do praxe.

Výsledkem druhé fáze vizualizace, založené na výpočtu pomocí modifikace *Mřížového plynového automatu*, je diskrétní model pro vizualizaci transportu média v nanovlákněném prostředí. Dále jsou zde zmíněny možnosti optimalizace simulačního a vizualizačního modelu v rámci jednoho prototypu spolu s diskusí o pravděpodobných možnostech začlenění nanomateriálu do kontextu návrhu dýchající fasády.

Vzhledem k tomu, že lze tuto metodiku vizualizace vědeckých dat využít pro široký rozsah úloh s relativně pružnou modifikovatelností, je jejím volným pokračováním právě probíhající spolupráce v rámci týmu zabývajícího se vývojem pro firmu Cummins, zaměřená převážně na modelování filtračních vlastností nanovlákněných materiálů.

Všechna zvolená programová prostředí použitá v průběhu celé práce byla založena na bázi otevřené license.

Literatura

L.Očeretna,P:Mikeš,R.Charvát,D.Lukáš: Multi Scale Modeling of Fluid Transport in Fibrous Materials, Computational Fluid and Solid Mechanics, 1st Cummins Filtration Workshop, Warsaw, Poland, September 21 - 23, 2008.

C.Reas,B.Fry:Processing A Programming Handbook for Visual Designers and Artists, 2007.

J.Krňanský: Nano aplikace ve stavebním průmyslu, příspěvek: konference ITW, Praha, 2007.

J.Krňanský,P.Kubů: Difuzně otevřené konstrukce dřevostaveb, příspěvek: seminář Dřevostavby, Volyně, 2007.

N.Pan,P.Gibson: Thermal and Moisture Transport in Fibrous Media, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, 2006 (D.Lukáš, L.Ocheretna: The Cellular Automata Lattice Gas Approach for Fluid Flows in Porous Media).

W.Schroeder,K.Martin,B.Lorensen: VTK An Object-Oriented Approach to 3D Graphics, Kitware Publishing, Colombia, 2006.

R.Charvát: série článků Architektura z Mixéru, odborný časopis Fórum architektury a stavitelství, ročník 2003.

R.Charvát: Architektura coby herní aplikace, příspěvek: konference Visions In Design, Praha, 2003.

T.Roosendaal,C.Wartmann: Blender Gamekit, Stichting Foundation, Netherlands, 2002.

S.Wolfram: A New Kind of Science, Wolfram Media, 2002.

Franz J.Vesely: Computational Physics, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York-London, 2001.

Dieter A.Wolf-Gladrow: Lattice-Gas Cellular Automata and Lattice Boltzmann Models, Springer, Berlin, 2000.

O.Jirsák,D.Lukáš,R.Charvát: A 2-dimensional model of the mechanical properties of textiles. In: J.Text.Institute, 1993.