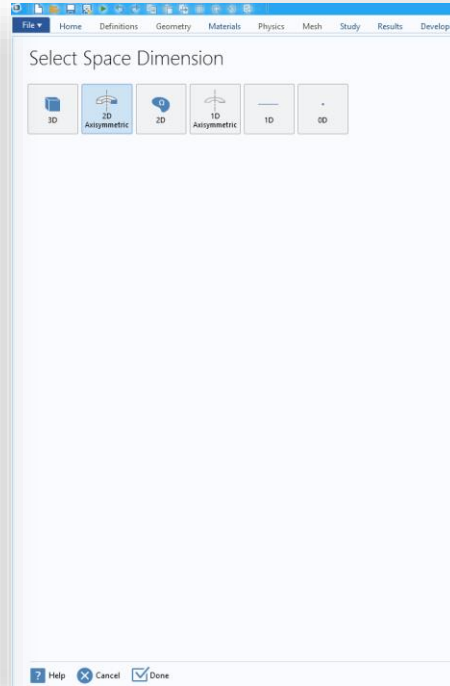
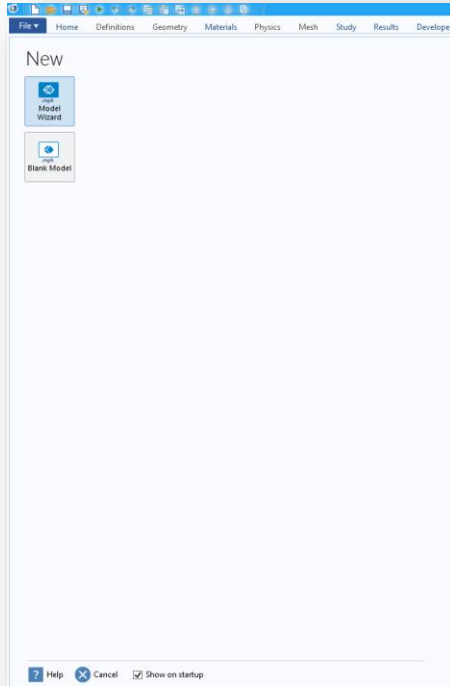


Simulace proudění piva syceného dusíkem a nalitého ve sklenici

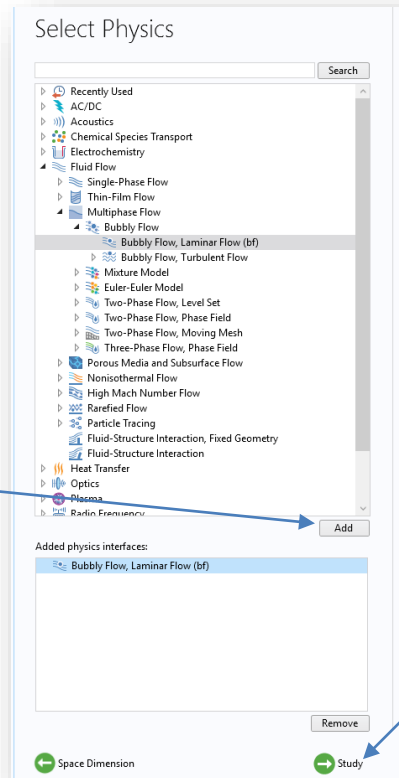
Martin Kožíšek
kozisek@humusoft.cz
+420 284 011 745

1) Model Wizard / 2D Axisymmetric



2) Fluid Flow / Multiphase Flow / Bubbly Flow / Bubbly Flow, Laminar Flow (bf)

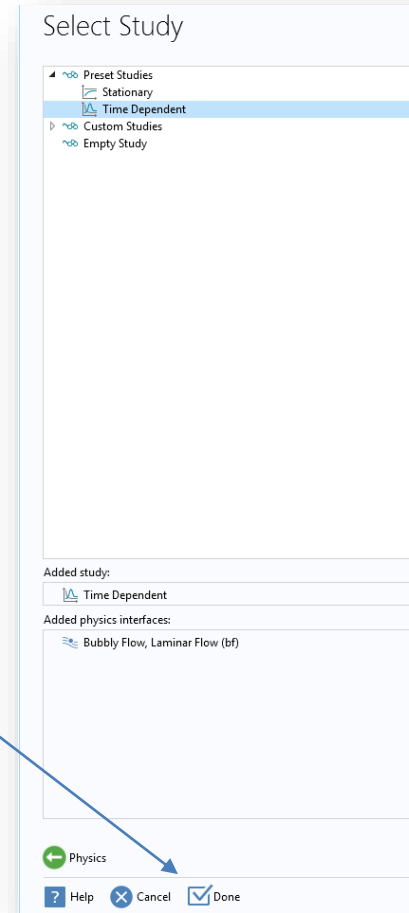
Fyzikální rozhraní se přidá kliknutím na „Add“



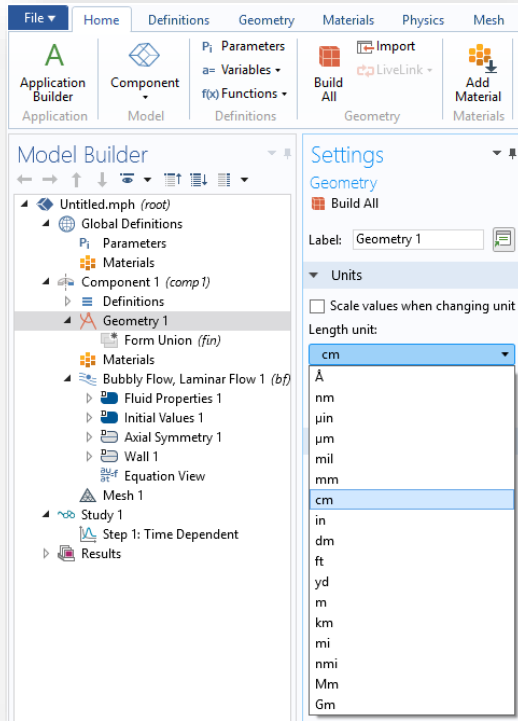
Přejít k výběru studie

3) Select Study -> Time Dependent

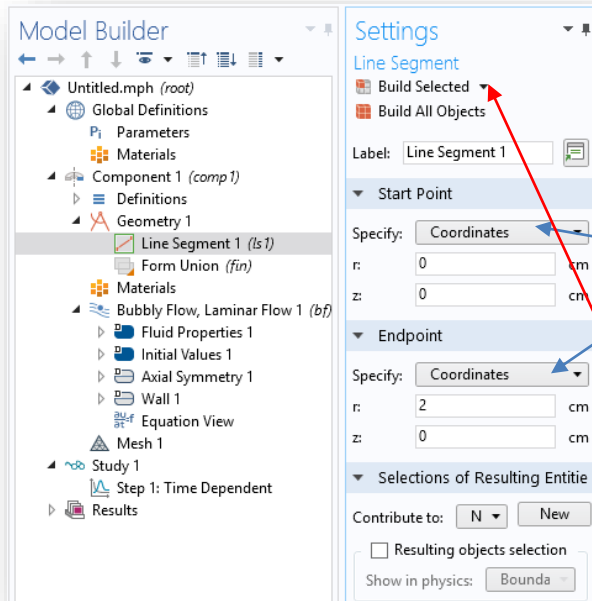
Dokončit základní nastavení
Model Wizard



4) Component 1 / Geometry 1 / Length unit: cm



5) Component 1 / Geometry 1 / Line Segment 1



Uzel (Line Segment 1) se přidává kliknutím pravým tlačítkem na nejbližší nadřazený uzel (Geometry 1)

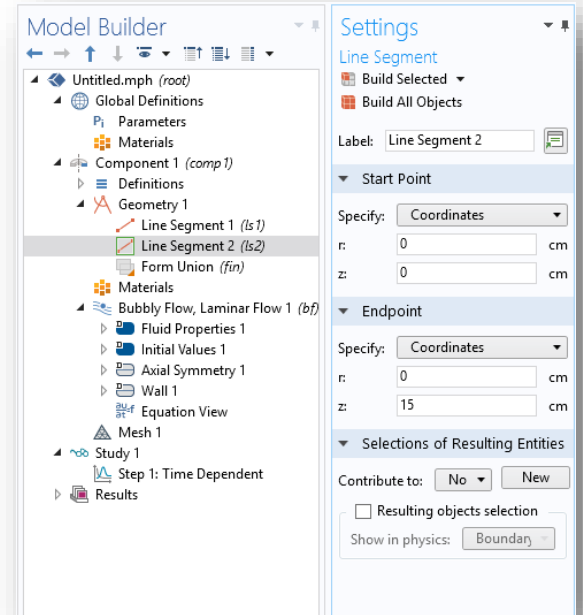
Úsečka lze zadat kliknutím na dva existující body, nebo souřadnicemi. Zadáme pomocí souřadnic:
A [0 ; 0]
B [2; 0]

Operace v uzlu se provede stiskem „Build Selected“!

6) Component 1 / Geometry 1 / Line Segment 2

Tip: Line Segment 2 můžete vytvořit duplikováním Uzlu Line Segment 1. Proveďte se to stiskem pravého tlačítka na Line Segment 1 a volbou Duplikovat.

Body druhé úsečky:
A [0 ; 0]
B [0; 15]



7) Component 1 / Geometry 1 / Line Segment 3

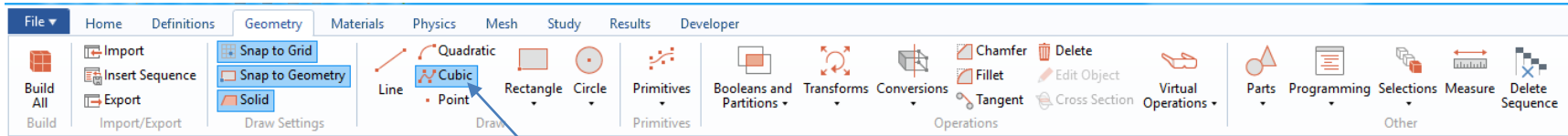
The screenshot displays the COMSOL Model Builder interface. On the left, the 'Model Builder' tree shows the hierarchy: Untitled.mph (root) > Global Definitions > Parameters > Materials > Component 1 (comp 1) > Definitions > Geometry 1 > Line Segment 3 (ls3). The 'Line Segment 3 (ls3)' entity is selected and highlighted. On the right, the 'Settings' panel for 'Line Segment' is visible. It includes options for 'Build Selected' and 'Build All Objects'. The 'Label' is set to 'Line Segment 3'. Under 'Start Point', the 'Specify' method is 'Coordinates', with 'r' set to 4 cm and 'z' set to 15 cm. Under 'Endpoint', the 'Specify' method is also 'Coordinates', with 'r' set to 0 cm and 'z' set to 15 cm. The 'Contribute to' section has 'No' selected. The 'Resulting objects selection' checkbox is unchecked, and 'Show in physics' is set to 'Boundary'.

Body třetí úsečky:

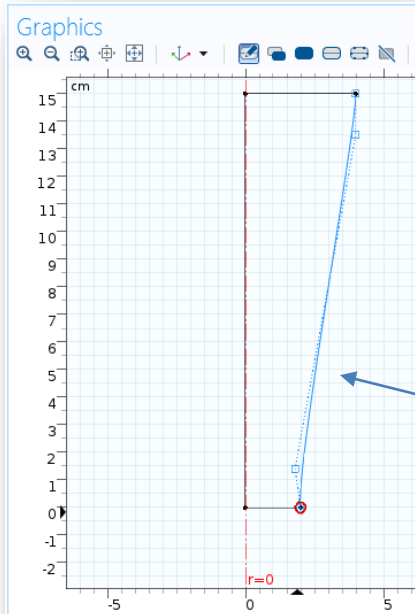
A [4 ; 15]

B [0; 15]

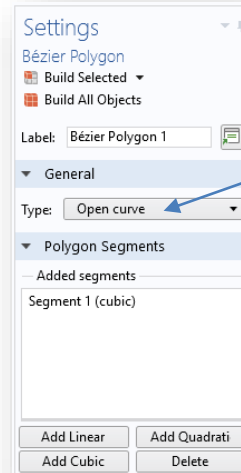
8) Component 1 / Geometry 1 / Cubic



Výběrem Cubic z tzv. Ribon Bar panelu nástrojů se aktivuje zadávání řídicích bodů Bézierova Polygonu pomocí myši.



Myši zadejte 4 řídicí body z nichž dva jsou okrajové na volných koncích úseček. Režim klikání bodů ukončíte pravým tlačítkem myši. Efekt „klesání bublinek“ se objeví ve sklenici s rozšiřujícím se hrdlem.



Zatím uvažujeme pouze otevřenou křivku, je potřeba přepnout na „Open curve“

9) Component 1 / Geometry 1 / Conversions / Convert to Solid

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface. On the left is the 'Model Builder' tree, showing a hierarchy from 'Untitled.mph (root)' down to 'Convert to Solid 1 (csol1)'. The 'Settings' panel in the center shows the 'Convert to Solid' dialog with 'Label: Convert to Solid 1', 'Input objects' (Is1, Is2, Is3, b1), and 'Active' checked. The 'Graphics' window on the right shows a 2D plot with a grid, a vertical red dashed line at $r=0$, and a blue polygonal shape representing the geometry to be converted.

Těleso sestavíme z hranic, které označíme v geometrii. Vybírání objektů se aktivuje tímto „tlačítkem“.

10) Bubbly Flow /

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a "Bubbly Flow, Laminar Flow" simulation. The Model Builder on the left shows the hierarchy: Untitled.mph (root) > Global Definitions > Parameters > Materials > Component 1 (comp1) > Definitions > Geometry 1 > Line Segment 1 (ls1), Line Segment 2 (ls2), Line Segment 3 (ls3), Bézier Polygon 1 (b1), Convert to Solid 1 (csol1), Form Union (fn) > Materials > Bubbly Flow, Laminar Flow 1 (bf) > Fluid Properties 1 > Initial Values 1 > Axial Symmetry 1 > Wall 1 > Mesh 1 > Study 1 > Step 1: Time Dependent > Results.

The Settings window for "Bubbly Flow, Laminar Flow 1" shows the following configuration:

- Label: Bubbly Flow, Laminar Flow 1
- Name: bf
- Domain Selection: Selection: All domains, Active: 1
- Equation form: Study controlled
- Show equation assuming: Study 1, Time Dependent
- Equations:
$$\phi_l \rho_l \frac{\partial \mathbf{u}_l}{\partial t} + \phi_l \rho_l (\mathbf{u}_l \cdot \nabla) \mathbf{u}_l = \nabla \cdot [-p \mathbf{l} + \phi_l \mu_l (\nabla \mathbf{u}_l + (\nabla \mathbf{u}_l)^T)]$$
$$\rho_l \nabla \cdot (\mathbf{u}_l) = 0, \quad \mathbf{u}_l = \mathbf{u}$$
$$\frac{\partial \phi_g \rho_g}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{N}_{\rho_g \phi_g} = -m_{gl}, \quad \phi_g \rho_g = \rho_{h0} \text{eff}$$
$$\mathbf{N}_{\rho_g \phi_g} = \phi_g \rho_g \mathbf{u}_g, \quad \mathbf{u}_g = \mathbf{u}_l + \mathbf{u}_{slip}$$
- Physical Model:
 - Low gas concentration
 - Solve for interfacial area
 - Swirl flow
 - Reference pressure level: $p_{ref} = 1[\text{atm}]$ Pa

The Graphics window shows a 2D plot of the domain, which is a blue trapezoidal shape. The vertical axis is labeled "cm" and ranges from -2 to 16. The horizontal axis ranges from -5 to 5. A vertical red dashed line is drawn at $r=0$, indicating axial symmetry.

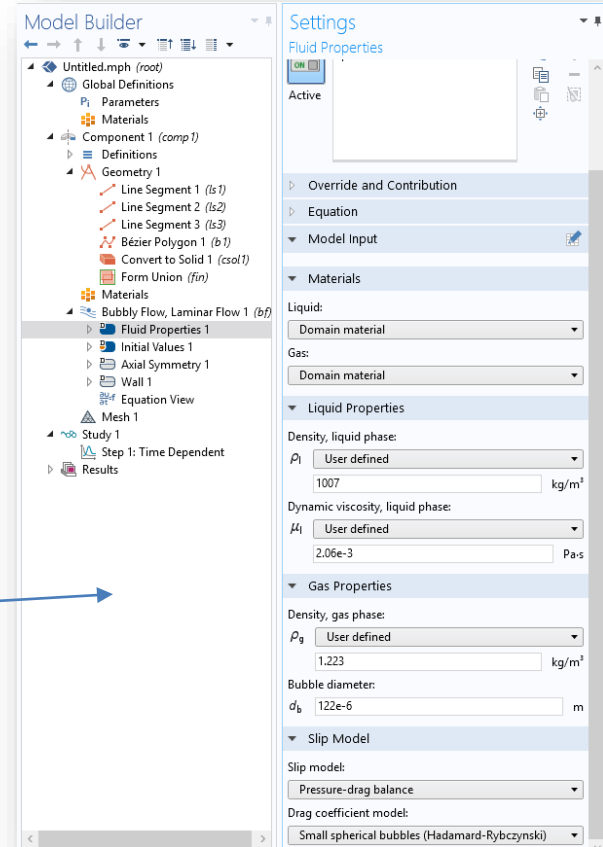
The Messages window shows the following text:

```
COMSOL Multiphysics 5.3.1.229
Your COMSOL 5.3a installation is up to date.
Finalized geometry is empty.
Finalized geometry has 1 boundary and 2 vertices.
Finalized geometry has 1 domain, 4 boundaries, and 4 vertices.
```

Základní fyzikální nastavení výpočetní oblasti. Zde je oblast jediná a nic se nenastavuje. Za povšimnutí ale stojí rovnice pro kapalinu a plyn.

11) Bubbly Flow / Fluid Properties

Protože se v materiálové knihovně COMSOL zatím nenachází pivo, zadáváme hodnoty ručně. Je proto třeba změnit vstup z „From material“ na „User Defined“ a zadat hodnoty dle obrázku



12) Bubbly Flow / Initial Values 1

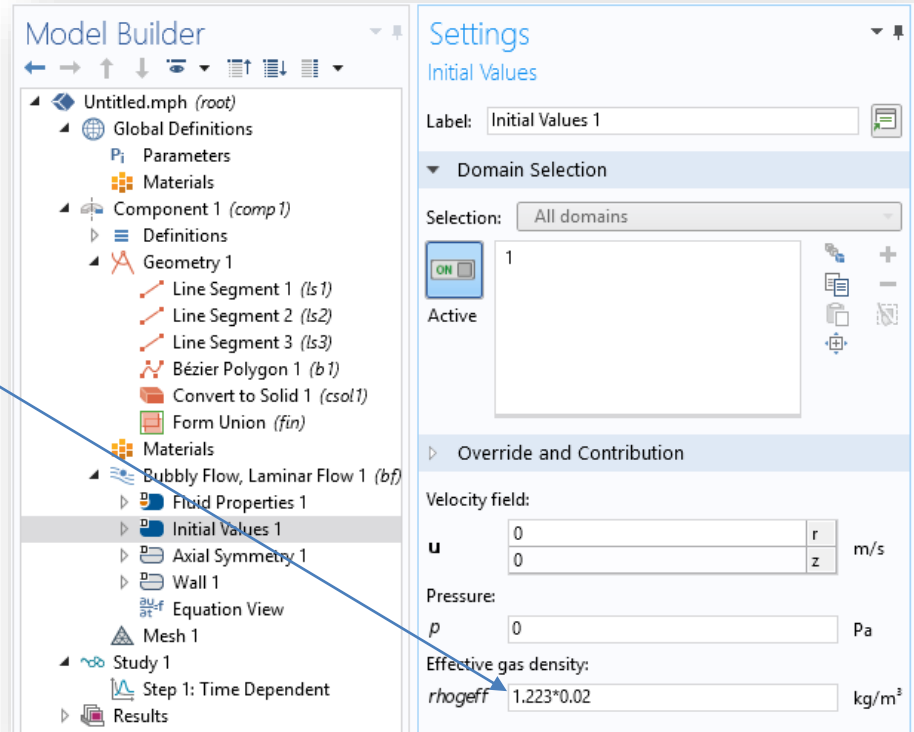
Počáteční podmínky:

a) Pivo je nalité (rychlost nulová)

b) Nulový rozdíl tlaku od atmosféry

Pozn.: v dalším časovém kroku se
dopočte hydrostatický tlak

c) V kapalině jsou 2% plynu



13) Bubbly Flow / Wall 2

Model Builder

Settings

Wall

Label: Wall 2

Boundary Selection

Selection: Manual

3

Active

Override and Contribution

Equation

Liquid Boundary Condition

Liquid boundary condition: Slip

Gas Boundary Condition

Gas boundary condition: Gas outlet

Wall Movement

Graphics

16 cm

15

14

13

12

11

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

0

-1

-2

-5

0

5

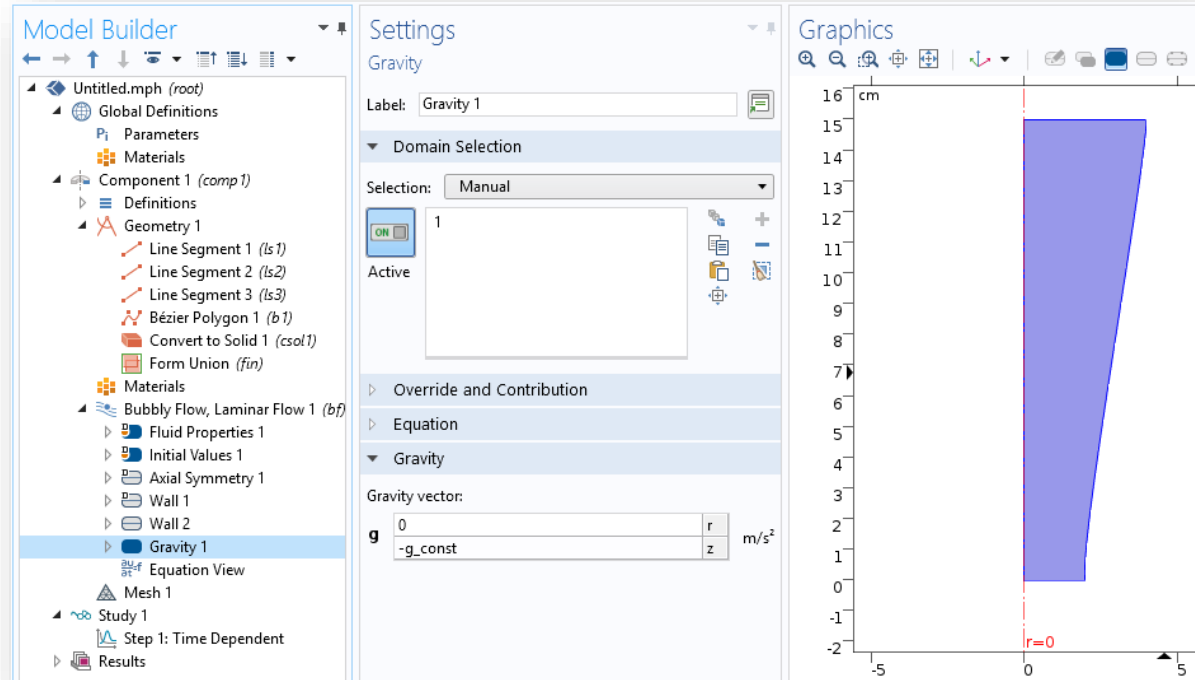
$r=0$

Přidáme uzel Wall 2 a budeme simulovat hladinu pod pěnou.

- Vybereme hranici č. 3
- Kapalina neprochází skrz hladinu, ale „klouže“ po ní. To odpovídá okrajové podmínce typu „slip“
- Plyn hladinou odchází. Nastavit se musí „Gas outlet“

14) Bubbly Flow / Gravity 1

Důležité je zahrnout vliv gravitace. Přidá se uzel Gravity 1. Gravitační zrychlení je přednastavené. Označit se musí jen výpočetní oblast, na kterou gravitace působí.



The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a simulation. The **Model Builder** pane on the left shows the model tree with the following structure:

- Untitled.mph (root)
 - Global Definitions
 - Parameters
 - Materials
 - Component 1 (comp 1)
 - Definitions
 - Geometry 1
 - Line Segment 1 (ls 1)
 - Line Segment 2 (ls 2)
 - Line Segment 3 (ls 3)
 - Bézier Polygon 1 (b 1)
 - Convert to Solid 1 (csol 1)
 - Form Union (fin)
 - Materials
 - Bubbly Flow, Laminar Flow 1 (bf)
 - Fluid Properties 1
 - Initial Values 1
 - Axial Symmetry 1
 - Wall 1
 - Wall 2
 - Gravity 1
 - Equation View
 - Mesh 1
 - Study 1
 - Step 1: Time Dependent
 - Results

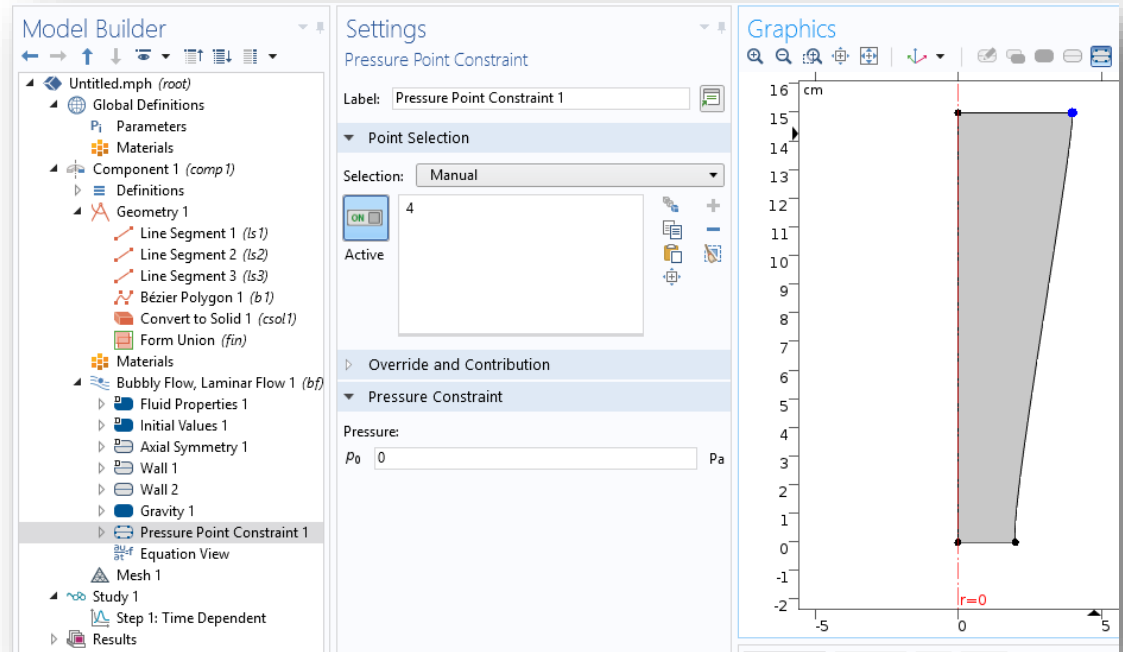
The **Settings** pane for the **Gravity 1** node is shown in the middle. The **Label** is "Gravity 1". Under **Domain Selection**, the **Selection** is set to "Manual" and domain "1" is listed as **Active**. The **Gravity vector** is defined as:

g	r	z	m/s^2
0			
-g_const			

The **Graphics** pane on the right shows a 2D plot of the domain. The vertical axis is labeled "cm" and ranges from -2 to 16. The horizontal axis ranges from -5 to 5. A blue trapezoidal domain is plotted, with its top edge at approximately 15.2 cm and its bottom edge at approximately 0.5 cm. The right edge is at 5 cm, and the left edge is at 0 cm, which is labeled "r=0".

15) Bubbly Flow / Pressure Point Constraint 1

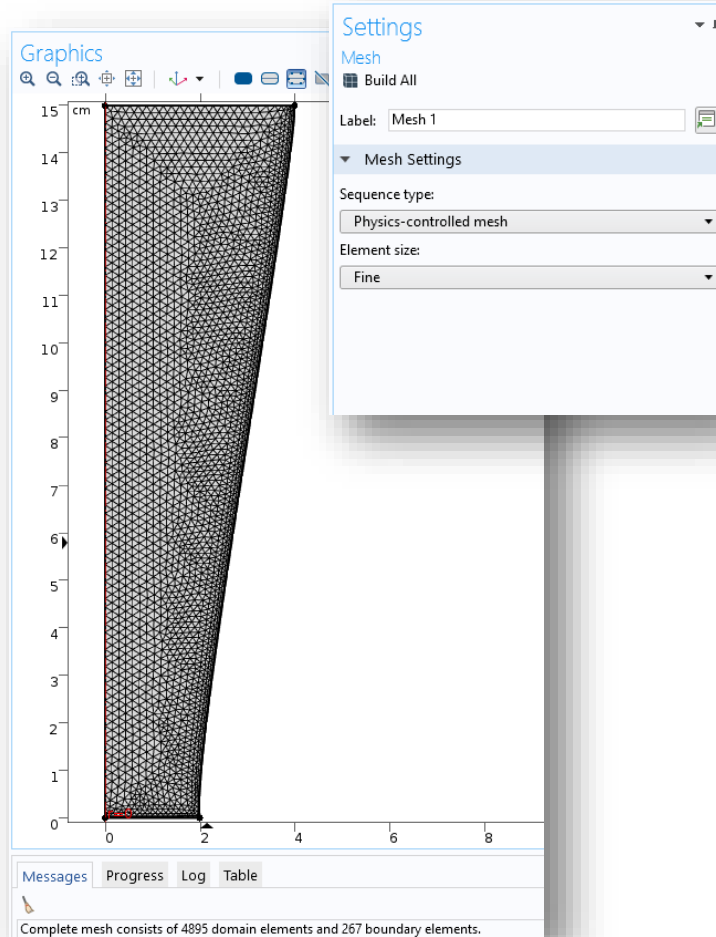
Rovnice laminárního nestlačitelného proudění obsahují pouze člen s tlakovým gradientem. Musíme do výpočtu zadat „nějakou“ hodnotu tlaku v jednom bodu, od kterého se gradient vypočítá. Nehodí se k tomu bod na symetrii. Vybereme např.:



16) Component 1 / Mesh

Síť lze vytvořit strukturovanou nebo automaticky generovanou nestrukturovanou. Postačí nám automatická síť.

Síť je u stěny typu „No Slip“ zjemněná. Na stěně je totiž nulová rychlost proudění (díky tření o stěnu) a tak je ve vrstvě u stěny velký rychlostní gradient. U CFD úloh se proto používá zjemnění u stěny.



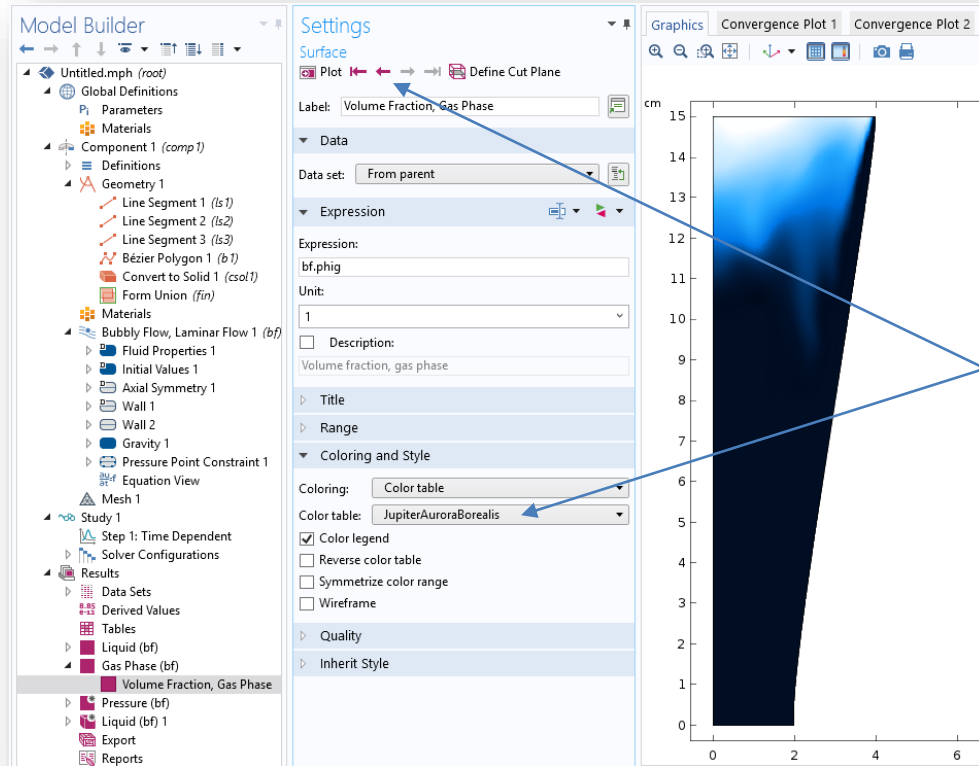
17) Study 1 / Step 1: Time Dependent

The screenshot shows the COMSOL Model Builder interface. On the left is the 'Model Builder' tree, and on the right is the 'Settings' panel for 'Study 1 / Step 1: Time Dependent'. The 'Settings' panel includes a 'Label' field set to 'Time Dependent', a 'Study Settings' section with 'Time unit' set to 's' and 'Times' set to 'range(0,0.1,20)', and a 'Physics and Variables Selection' table. The table has columns for 'Physics interface', 'Solve for', and 'Discretization'. The row for 'Bubbly Flow, Lamina...' has a checkmark in the 'Solve for' column. A blue arrow points to the 'Times' field.

Zde stačí zadat, že se má simulace provést pro časy od 0 do 20 sekund s krokem 0,1 s. Vše ostatní si zde COMSOL nastaví sám.

Výpočet spusťte tlačítkem „Compute“!

18) Results / Gas Phase (bf) / Volume Fraction, Gas Phase



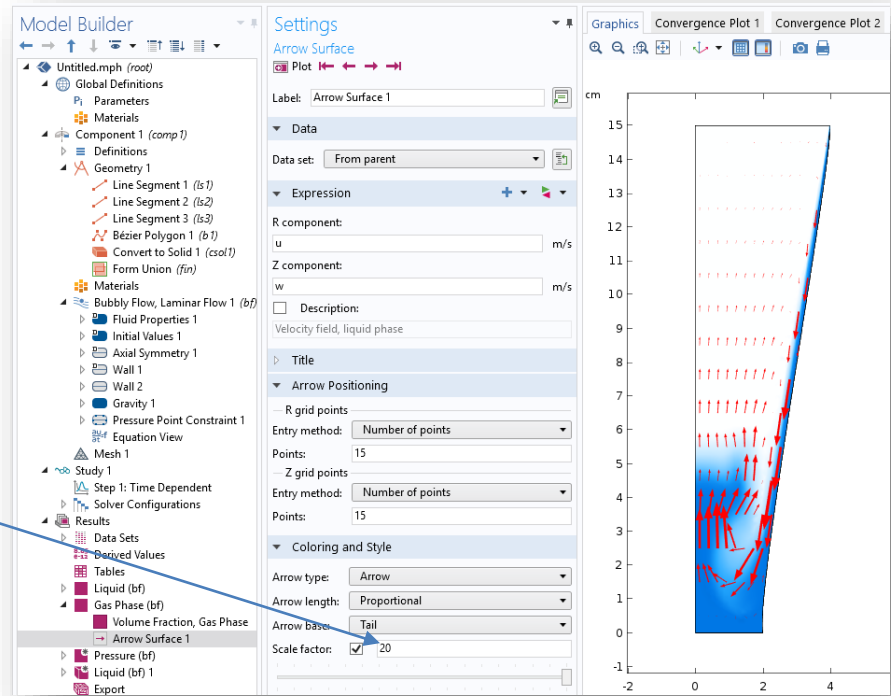
Software předpřipravil defaultní grafy. Zajímat nás bude graf objemového podílu plynné fáze:

- Nastavíme Color table JupiterAuroraBorealis
- Šipkami můžeme vykreslovat různé časy
- Pro čas $t = 0s$ vidíme, že koncentrace odpovídá počátečnímu podílu 2%

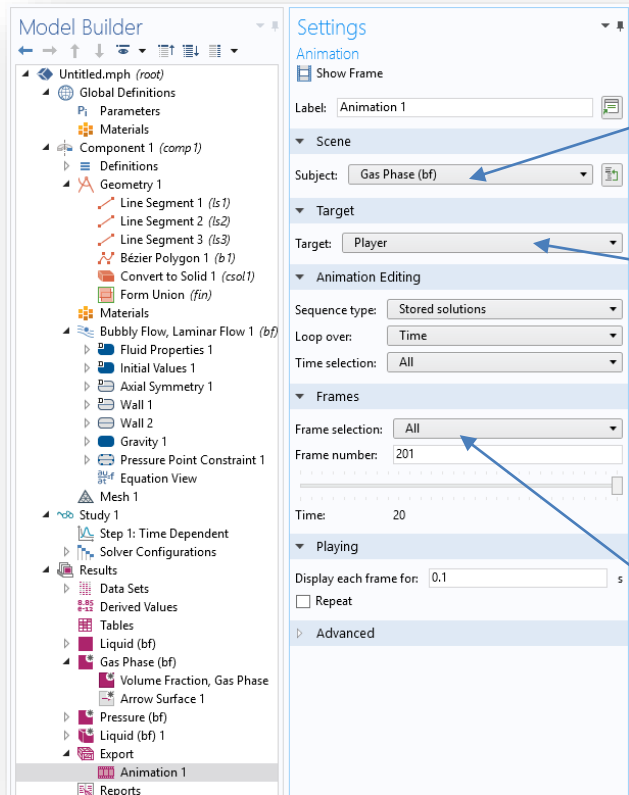
19) Results / Gas Phase (bf) / Arrow Surface 1

Do grafu Gas Phase tímto přidáme směr a velikost rychlosti proudění kapaliny.

Velikost šipek můžeme „škálovat“ zde



20) Results / Export / Animation 1 - player



Vykreslovat chceme graf
Gas Phase (bf)

Zvolíme animaci do
vestavěného přehrávače v
COMSOL Multiphysics, ale
můžeme zvolit také export
do videa nebo populárního
*.gif souboru.

Nastavíme, že se do videa
použije každý vypočtený
stav.

Na zdraví !

- Model vytvořen dle článku na blogu, který se vyplatí sledovat 😊 :

www.comsol.com/blogs/model-how-the-bubbles-in-a-glass-of-stout-beer-sink-not-rise/

