

**U14.7** V nepřetržitě pracující patrové rektifikační koloně s rovnovážným vařákem a totálním kondenzátorem se má získávat destilát obsahující 92 % (mol.) heptanu a zbytek obsahující 6 mol. procent heptanu. V nástřiku je 52 % (mol.) heptanu a 48 % (mol.) oktanu a přivádí se do kolony při svém bodu varu. Proces probíhá při normálním tlaku. Určete:

- množství heptanu (v %) přešlé z nástřiku do destilátu,
- minimální počet rovnovážných stupňů kolony a minimální poměr zpětného toku,
- potřebný počet rovnovážných stupňů kolony a nástřikový stupeň pro dvojnásobek minimálního poměru zpětného toku

**Řešení:**

- Podíl heptanu přešlý do destilátu je

$$\frac{\text{heptan v destilátu}}{\text{heptan v nástřiku}} = \frac{n_D x_{A,D}}{n_F x_{A,F}} = ?$$

Vyřešíme soustavu rovnic (celková bilance a bilance heptanu). Zvolíme si základ výpočtu  $n_F$  například 10 mol/s

$$n_F = n_D + n_W \text{ a } x_{A,F} n_F = x_{A,D} n_D + x_{A,W} n_W$$

$$10 = n_D + n_W \text{ a } 0,52 \cdot 10 = 0,92 n_D + 0,06 n_W$$

Z bilance heptanu eliminujeme  $n_W$  a dopočítáme  $n_D$

$$0,52 \cdot 10 = 0,92 n_D + 0,06(10 - n_D) \rightarrow n_D = 5,349 \text{ mol/s}$$

Určíme podíl heptanu přešlý do destilátu

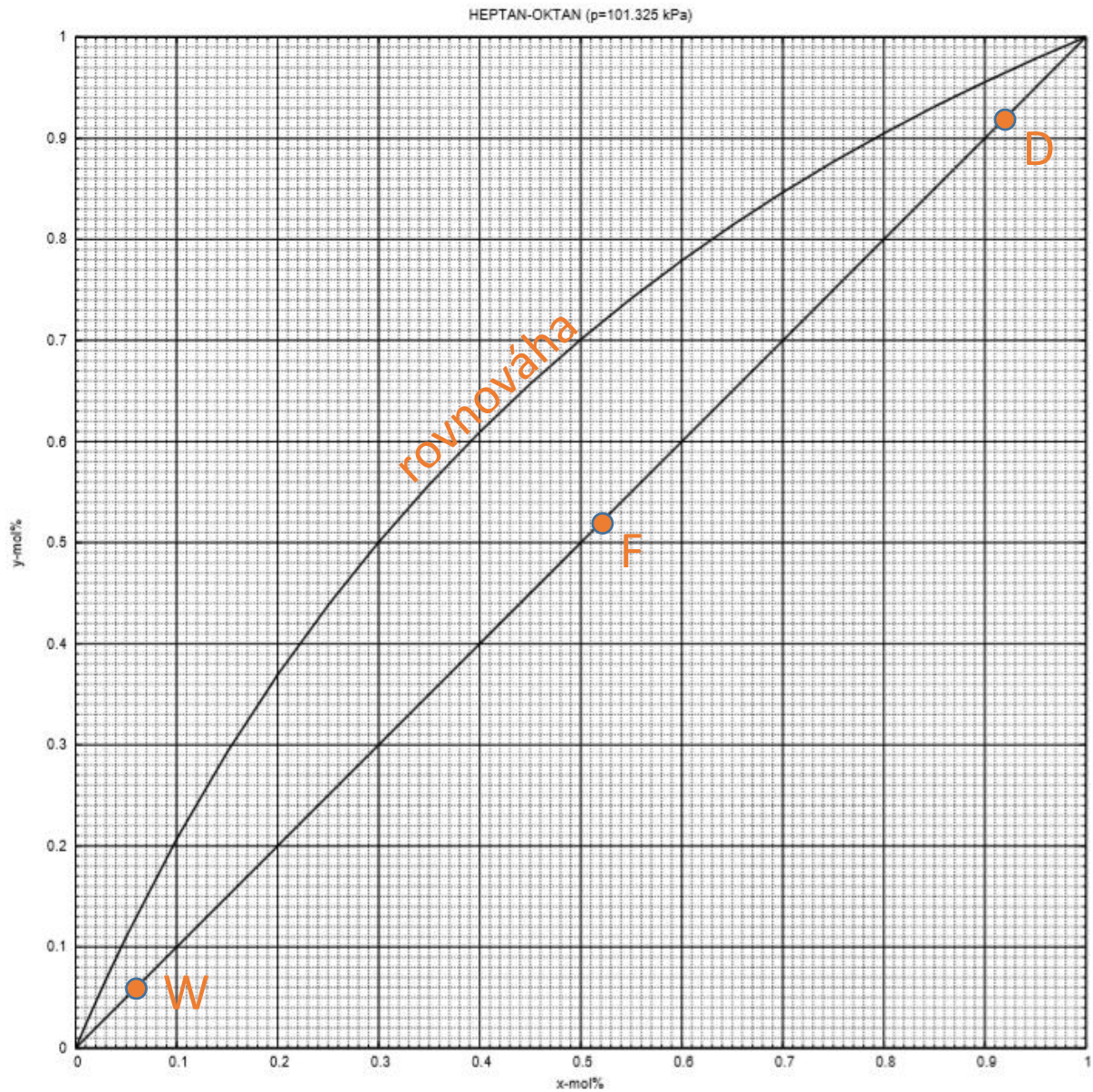
$$\frac{\text{heptan v destilátu}}{\text{heptan v nástřiku}} = \frac{5,349 \cdot 0,92}{10 \cdot 0,52} = 0,9464$$

Do destilátu tedy přejde 94,6 % heptanu.

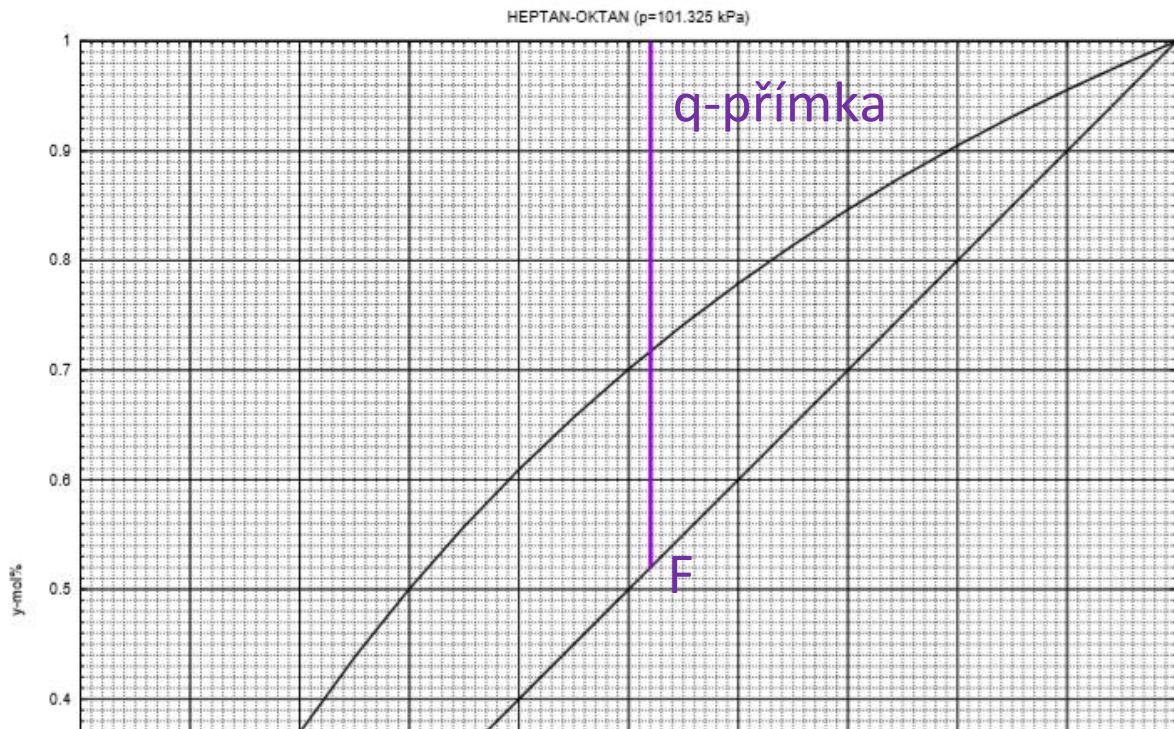
Body b) a c) vyřešíme graficky. Budete potřebovat pravítko a milimetrový papír. Rovnováhu si můžete také stáhnout [zde](#)<sup>1</sup> a vytisknout.

<sup>1</sup> <https://web.vscht.cz/~grofz/chibil/eq/hepokt.pdf>

**1. Rovnováha:** z e-tabulek (rovnováha kapalina-pára) vyneseme na milimetrový papír data z prvních dvou sloupců. Body spojíme, čímž získáme rovnováhu. Na ose x je složení kapalné fáze a na ose y je složení parní fáze (jako molární zlomek heptanu). Na diagonálu zakreslíme body F, W a D, které představují složení nástřiku [0,52; 0,52], zbytku [0,06; 0,06] a destilátu [0,92; 0,92].



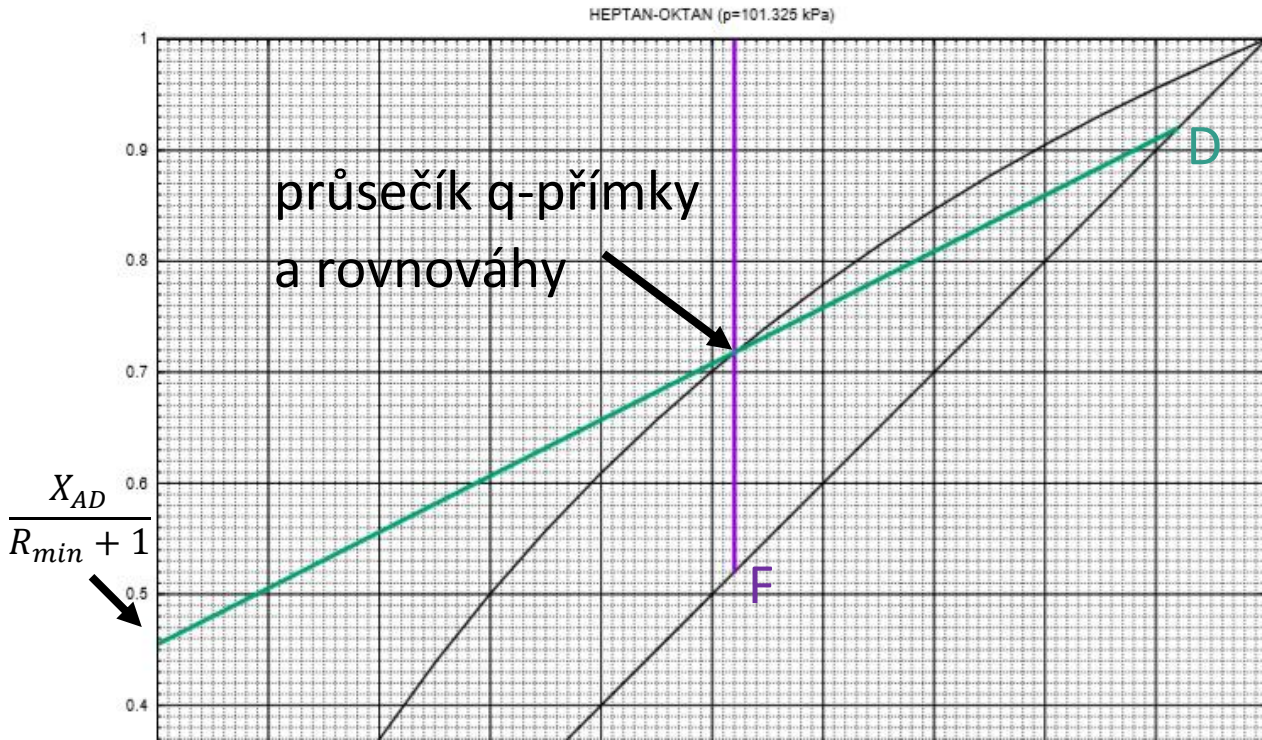
**2. Zakreslení q-přímky:** Dle zadání je stav nástřiku **kapalina při bodu varu**. Parametr  $q = 1$  a směrnice q-přímky  $q/(q-1)$  je proto nekonečno (svislice). q-přímka prochází bodem  $F = [0,52; 0,52]$ . Jak postupovat při různých stavech nástřiku je vysvětleno na Obr. 14-6 ve skriptech.



### 3. Určení minimálního poměru zpětného toku: Pracovní přímka obohacovací části

$$y_{A, i+1} = \frac{R}{R+1} x_{A, i} + \frac{x_{AD}}{R+1}$$

prochází bodem  $D = [x_{AD}; x_{AD}] = [0,92; 0,92]$  a její směrnice se mění podle poměru zpětného toku (osu  $x$  protíná v bodě  $[0; x_{AD}/(R+1)]$ ). Pro určení  $R_{min}$  vedeme přímku z bodu  $D$  přes průsečík  $q$ -přímky s rovnováhou a na ose  $x$  odečteme hodnotu  $x_{AD}/(R_{min}+1)$ .

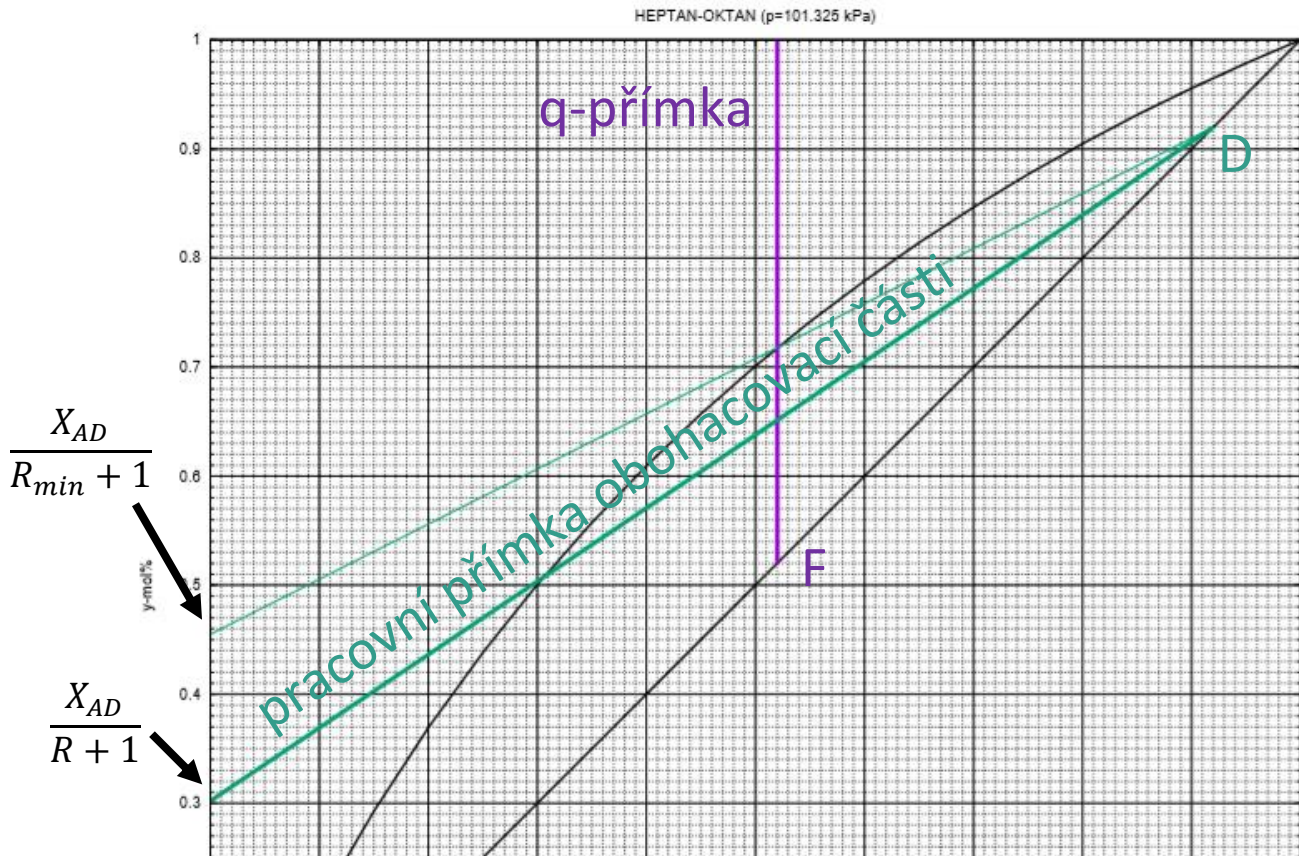


Z grafu odečteme, že přímka protne osu  $x$  v bodě  $[0; 0,455]$ . Minimální poměr zpětného toku je tedy

$$\frac{x_{AD}}{R_{min} + 1} = 0,455 \rightarrow R_{min} = \frac{0,92}{0,455} - 1 = 1,022$$

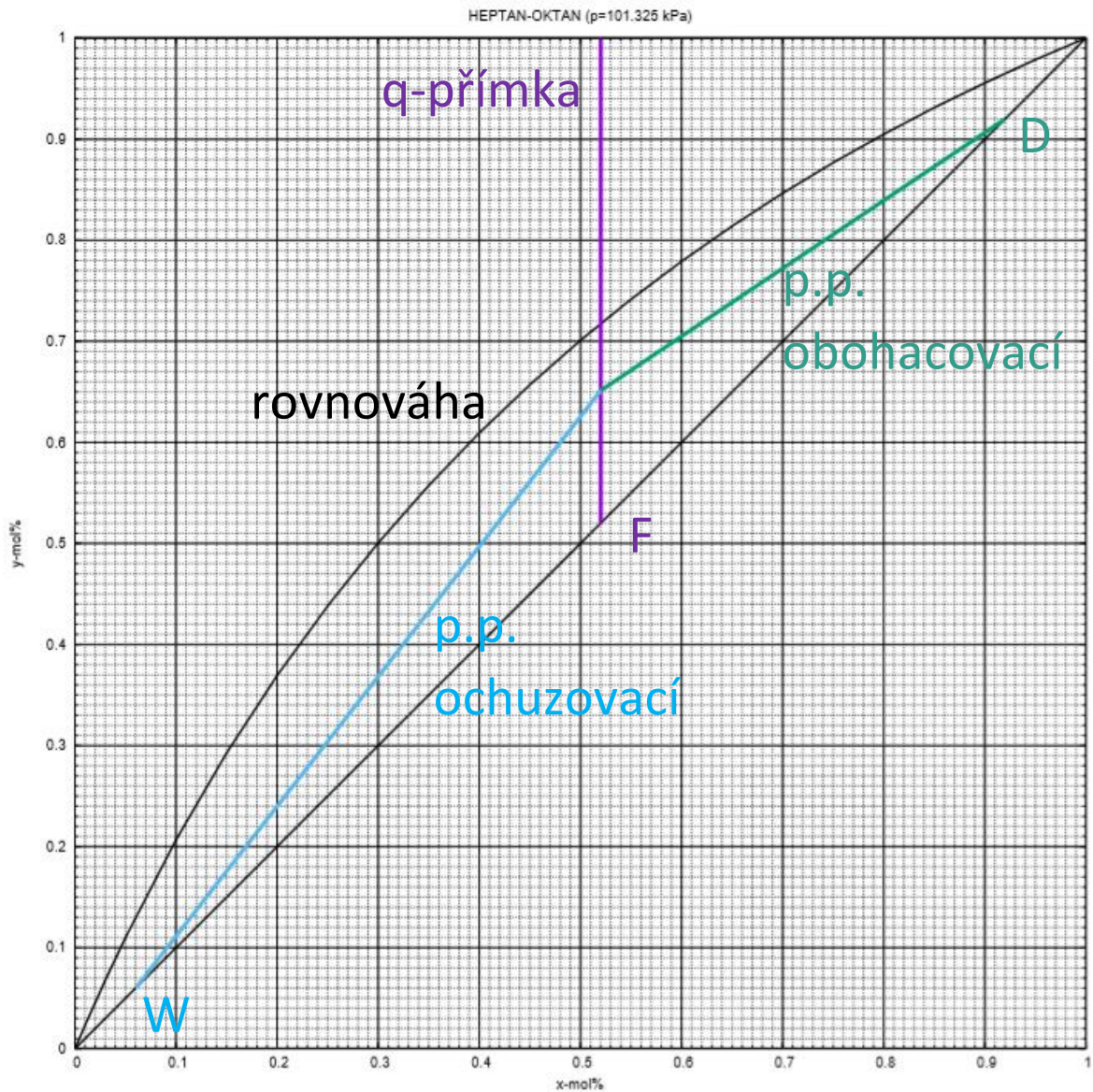
**4. Pracovní přímka obohacovací části pro  $R = 2 R_{min}$ :** Nyní nakreslíme, jak bude vypadat pracovní přímka, pokud poměr zpětného toku bude dvojnásobek  $R_{min}$ , tj pro  $R = 2 \times 1,022 = 2,044$ . Tato přímka prochází bodem  $D = [0,92; 0,92]$  a protíná osu  $x$  v místě

$$\frac{X_{AD}}{R + 1} = \frac{0,92}{2,044 + 1} = 0,30$$

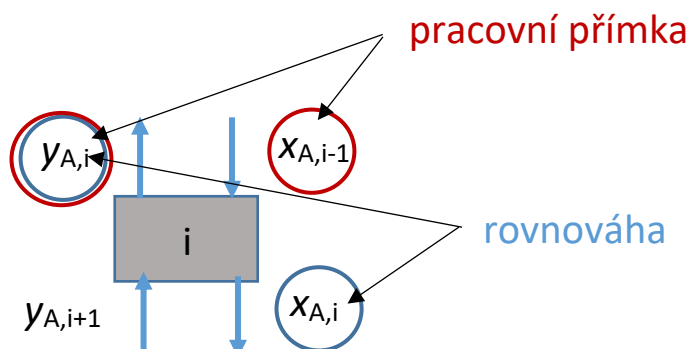


Pro další kreslení využijeme pouze část pracovní přímky obohacovací části od bodu  $D$  až k průsečíku s  $q$ -přímkou.

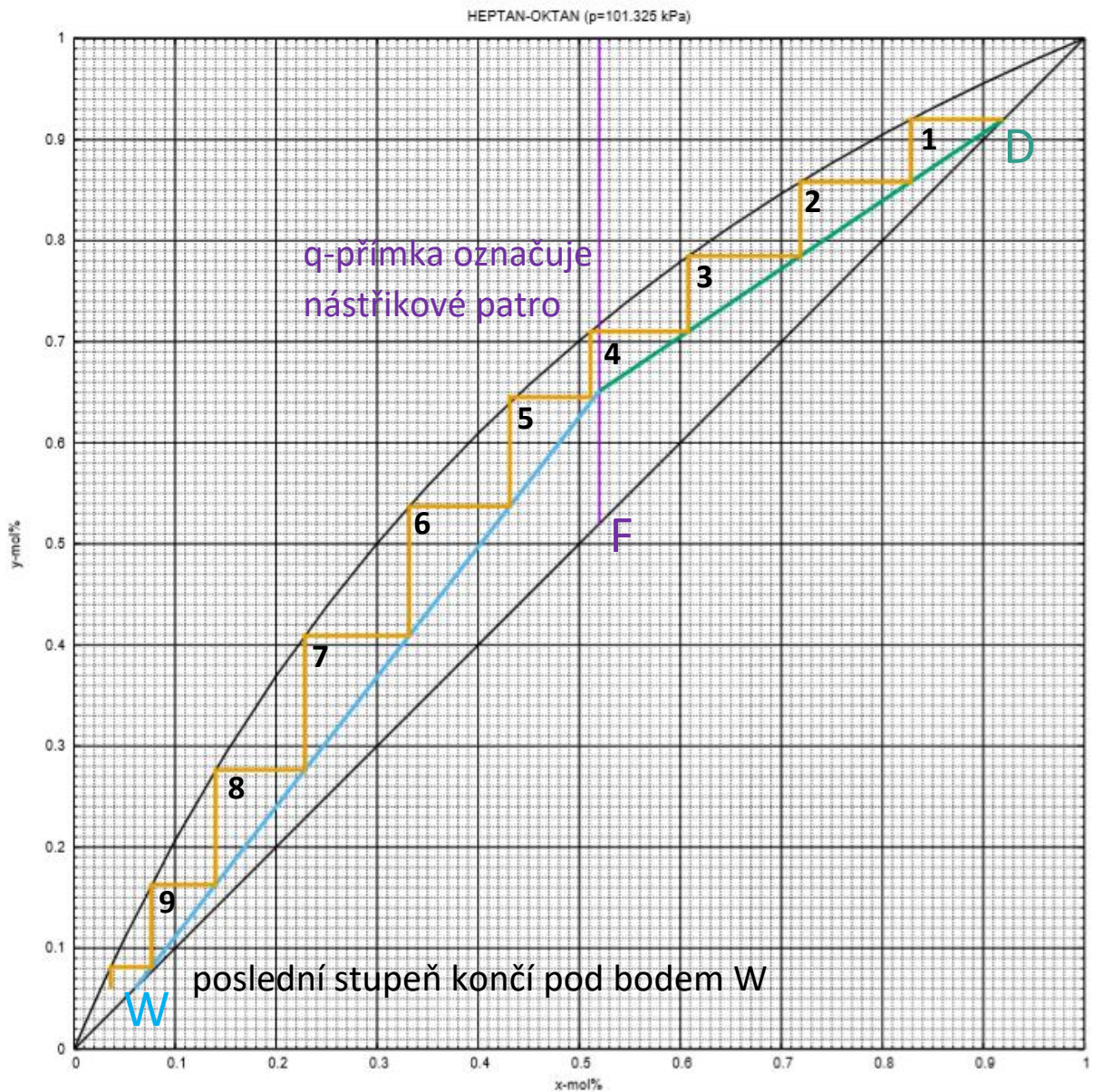
**5. Pracovní přímka ochuzovací části:** Pracovní přímku ochuzovací části kreslíme z bodu  $W = [0,06; 0,06]$  až do průsečíku pracovní přímky obohacovací části s q-přímkou. (Připomeňme si, že q-přímka je množina všech bodů, kde se protínají pracovní přímky obohacovací a ochuzovací části kolony.)



Nyní lze z grafu určit, jak se bude měnit složení ve všech stupních kolony. Složení proudů **odcházejících** z každého stupně musí ležet na křivce rovnováhy (složení kapaliny a páry vyhovují podmínce rovnováhy) a složení **sousedních** proudů leží na pracovní přímce (musí vyhovovat látkové bilanci)



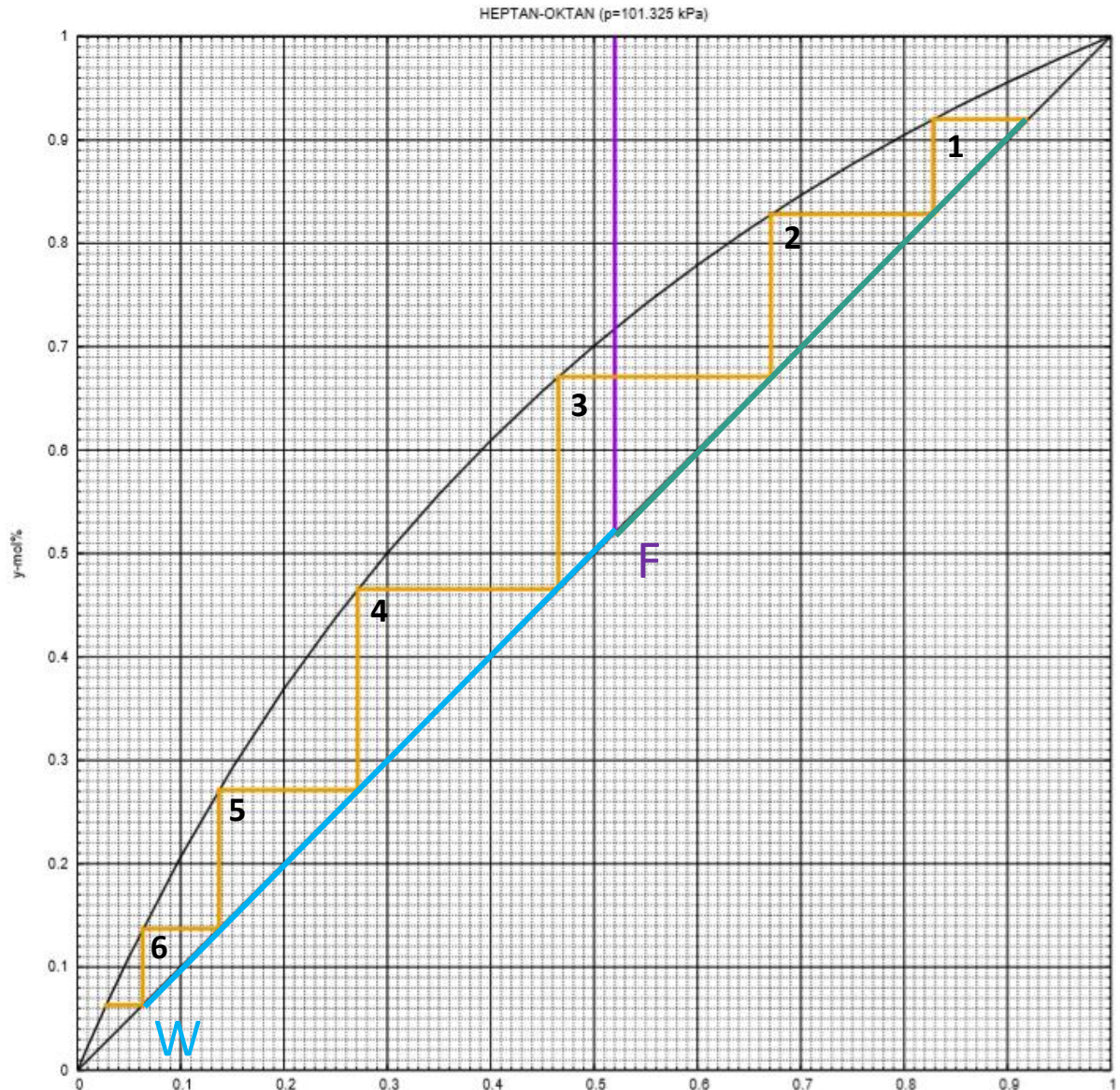
**6. Počet rovnovážných stupňů:** Kreslíme úsečku z bodu  $D = [x_0; y_1] = [0,92; 0,92]$  vodorovně vlevo k rovnováze do bodu  $[x_1; y_1]$ . Tím jsme určili složení  $x_1$ . Potom kreslíme úsečku svisle dolu k pracovní přímce do bodu  $[x_1; y_2]$ . Tím jsme určili složení  $y_2$  a zpracovali nejvyšší stupeň kolony ( $i=1$ ). Opakujeme postupně pro další stupně kolonou směrem dolů.  $q$ -přímka nám určuje místo, kde přecházíme nástřikové patro. Kreslení stupňů ukončíme když složení klesne pod složení zbytku (0,06).



Počet rovnovážných stupňů je  $9,5 = 10$ . Nástřik přivádíme do 4. stupně.

Všimněte si, jaký je vliv poměru zpětného toku ( $R$ ) na počet rovnovážných stupňů: Zmenšujeme-li  $R$ , pracovní přímky se posouvají nahoru blíže k rovnováze a počet rovnovážných stupňů poroste. Nejnižší hodnota  $R$  odpovídá situaci, kdy se pracovní přímky dotknou rovnováhy. Počet rovnovážných stupňů by v takovém případě byl nekonečný. Naopak, pokud poměr zpětného toku zvyšujeme, pracovní přímky se posouvají dolů dále od rovnováhy a počet rovnovážných stupňů klesá. Limitní hodnotou je tzv. totální reflux ( $R$  rovno nekonečnu), kdy pracovní přímky leží na diagonále a počet rovnovážných stupňů je nejmenší.

**7. Počet rovnovážných stupňů pro totální reflux:** Pokud je  $R$  rovno nekonečnu, pracovní přímky se posunou dolů na diagonálu. Opět kreslíme úsečky mezi pracovními přímkami a rovnováhou.



Počet rovnovážných stupňů při totálním refluxu (minimální počet rovnovážných stupňů) je 6.

**Závěr:**

- Do destilátu přejde 95 % heptanu z nástřiku,
- Minimální počet rovnovážných stupňů je 6, minimální poměr zpětného toku je 1,022.
- Počet rovnovážných stupňů je necelých 10, nástřik se přivádí do 4. stupně shora.