

Projekt M9121

Červenka Michal, Heger Martin, Husa Štěpán

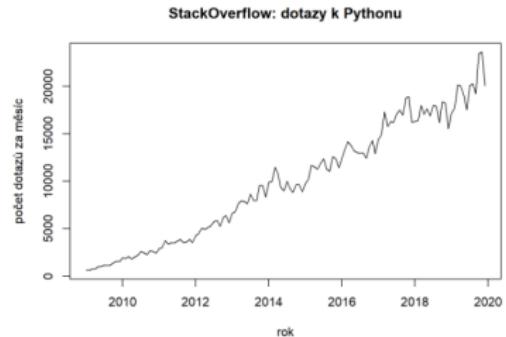
9. prosince 2025

- 1 Úvod
- 2 Náhled na časové řady
- 3 Testování stacionarity
- 4 Volba vhodných modelů
- 5 Diagnostika finálního modelu
- 6 Diagnostika finálního modelu
- 7 Predikce
- 8 Závěr

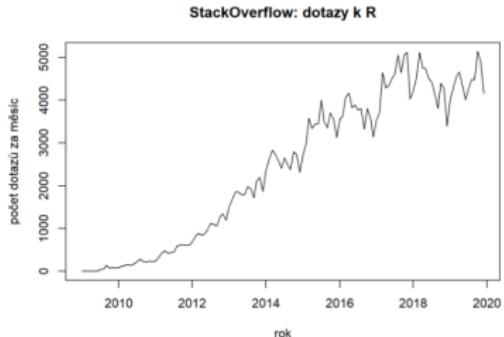
- **Popis dat:**
 - Použitý dataset dostupný zde.
 - Měsíční počty dotazů na StackOverflow od roku 2009 do roku 2020 pro různé programovací knihovny a technologie.

- **Cíl projektu:**
 - Zaměříme se pouze na dvě proměnné – Python a R.
 - Porovnání počtu dotazů k těmto programovacím jazyků v čase.
 - Následně budeme modelovat a analyzovat časovou řadu, která popisuje počet dotazů k Pythonu.

Dotazy k R a Pythonu



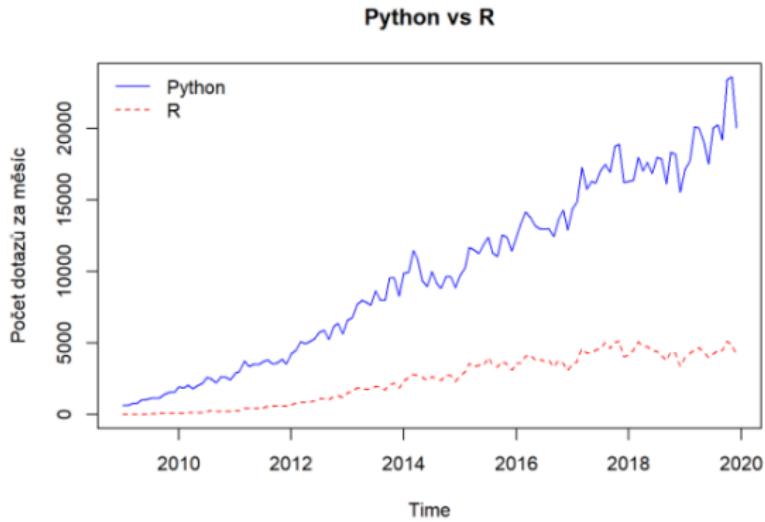
Dotazy k Pythonu



Dotazy k R

- Jasný rostoucí trend od roku 2009 do 2020.
- Postupem času narůstá i variabilita počtu dotazů.
- Vидitelné pravidelné sezónní kolísání.
- **R:** Trend také roste, ale pomaleji a méně výrazně než u Pythonu.
- **R:** Amplituda sezónnosti je menší.
- **R:** Po roce 2017 se růst zpomaluje.

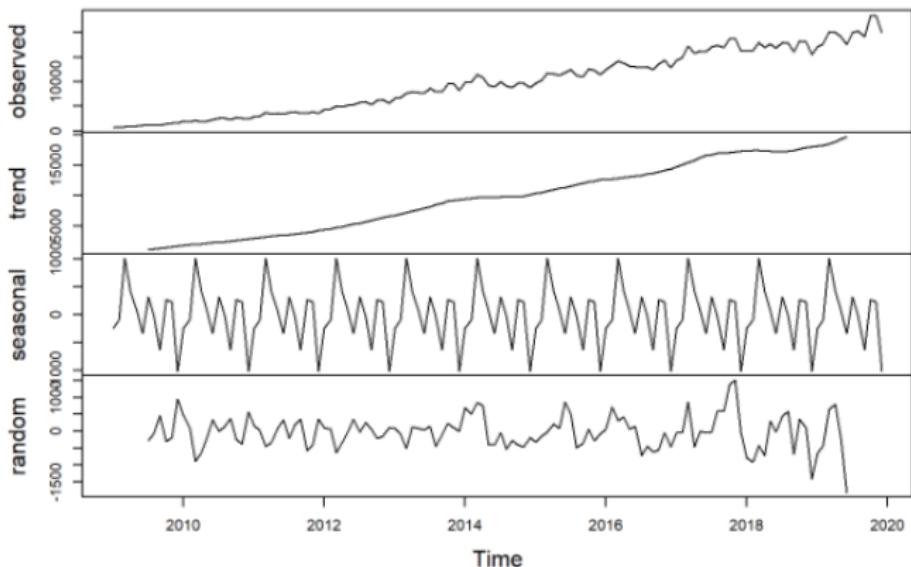
Společný graf a popisné statistiky



	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
Python	631	3744	9652	9857	15591	23602
R	2.0	608.8	2613.5	2411.9	4000.5	5138.0

Aditivní dekompozice: Python

Decomposition of additive time series



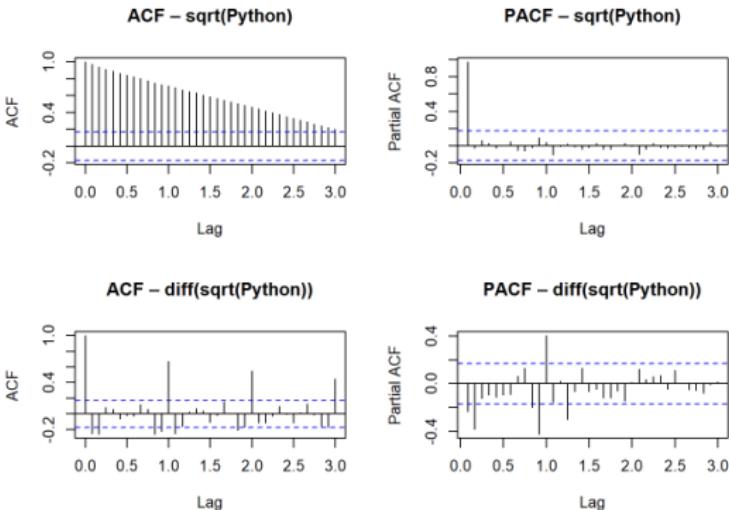
- **Trend:** silně rostoucí, plynulý.
- **Sezónnost:** pravidelná, opakující se ročně.
- **Remainder:** náhodné fluktuace bez jasné struktury.

Transformace	p-hodnota	Stacionární?
Původní řada	0.09	Ne
Odmocnina	0.48	Ne
Odmocnina + diferencování	0.01	Ano

Shrnutí:

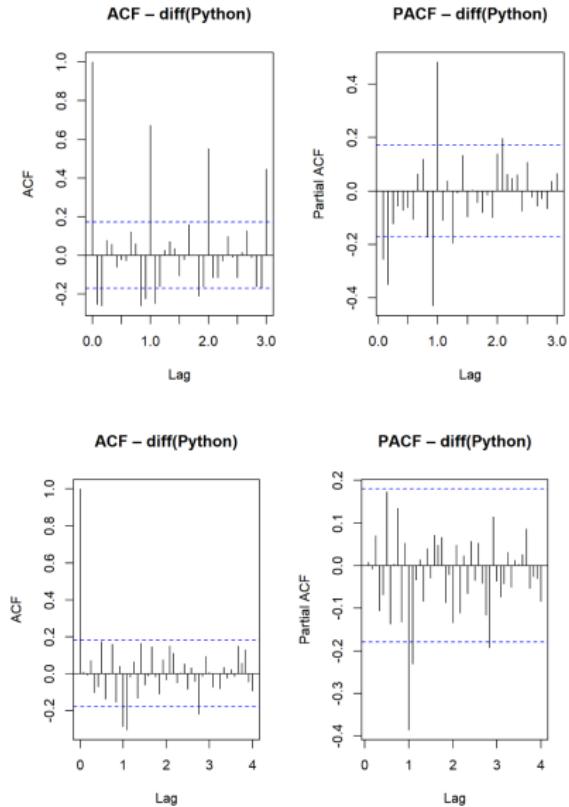
- Časová řada je v původní podobě nestacionární.
- Důvodem je rostoucí trend a možná sezónnost.
- Po jedné differenci a odmocninové transformaci se řada stává stacionární.
- Pro modelování ARIMA bude nutné diferencování (parametr $d = 1$).

Korelogramy



- exponenciální pokles acf, pacf nevýznamná po prvním lagu
– AR(1)
- řada je stacionární po první diferenci – ARIMA(1,1,0)

Analýza stacionarity: Srovnání diferencí



Vycházíme z modelu SARIMA $(p, d, q)(P, D, Q)_s$:

- **Transformace:** Odmocnina pro stabilizaci rozptylu(box.cox-lambda= 0, 42).
- **Sezónnost ($s = 12$):**
 - $D = 1$: Sezónní diference kvůli roční cykličnosti.
 - $Q = 1$: ACF na lagu 12 naznačuje SMA(1) v sezónní části.
- **Trend a nesezónní část:**
 - $d = 1$: První diference pro odstranění trendu.
 - $q = 1$: ACF ukazuje významné lag 13.
- **Výchozí model:** $SARIMA(0, 1, 1)(0, 1, 1)_{12}$

Manuální volba modelu: Respecifikace

- Model: SARIMA(0, 1, 1)(0, 1, 1)₁₂ (t-test):

Coefficients:

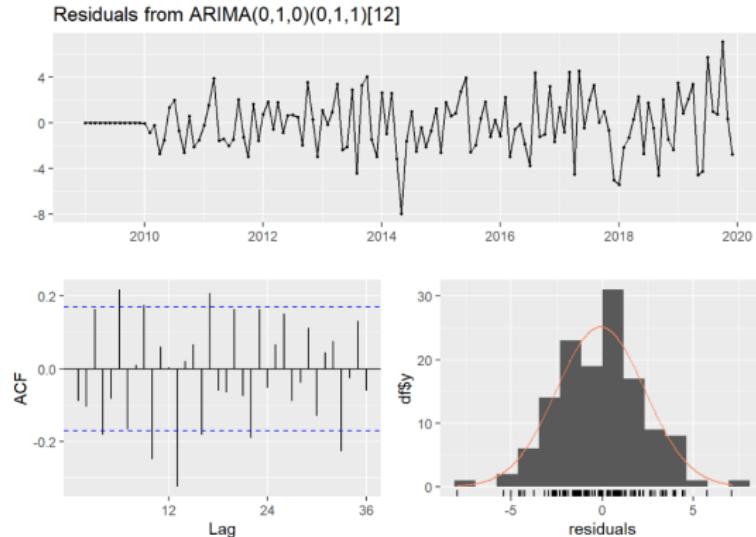
	ma1	sma1
-	-0.1103	-0.4844
s.e.	0.1001	0.1031

sigma² = 6.513: log likelihood = -280.94
AIC=567.89 AICc=568.1 BIC=576.22

► Kód

	Koeficient t_statistika	Vyznamny
ma1	ma1	-1.102125 FALSE
sma1	sma1	-4.699447 TRUE

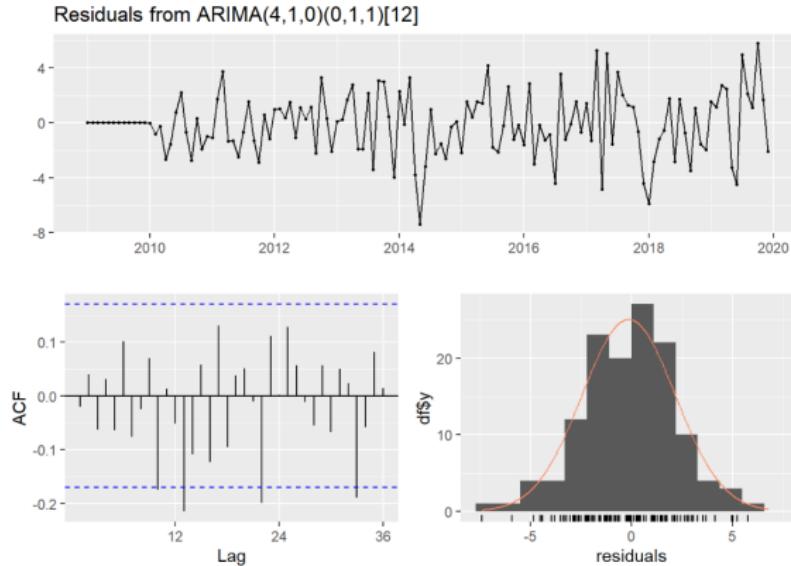
Finální manuální model: $SARIMA(0, 1, 0)(0, 1, 1)_{12}$



- **Diagnostika:** Ljung-Boxův test zamítá nezávislost reziduů
 $p\text{-value} = 1.745e - 08 < 0.05$.
- Rezidua vykazují autokorelací, ale jde o nejlepší manuální výsledek.

Sumarizace automatické volby modelu

Auto.arima model: $SARIMA(4, 1, 0)(0, 1, 1)_{12}$



- **Diagnostika:** Ljung-Boxův test zamítá nezávislost reziduí
 $p\text{-value} = 0.0185 < 0.05$.
- Rezidua vykazují autokorelací.

Algoritmus `auto.arima` (s `stepwise=FALSE`) nalezl model:

$$SARIMA(4, 1, 0)(0, 1, 1)_{12}$$

Auto.arima model:

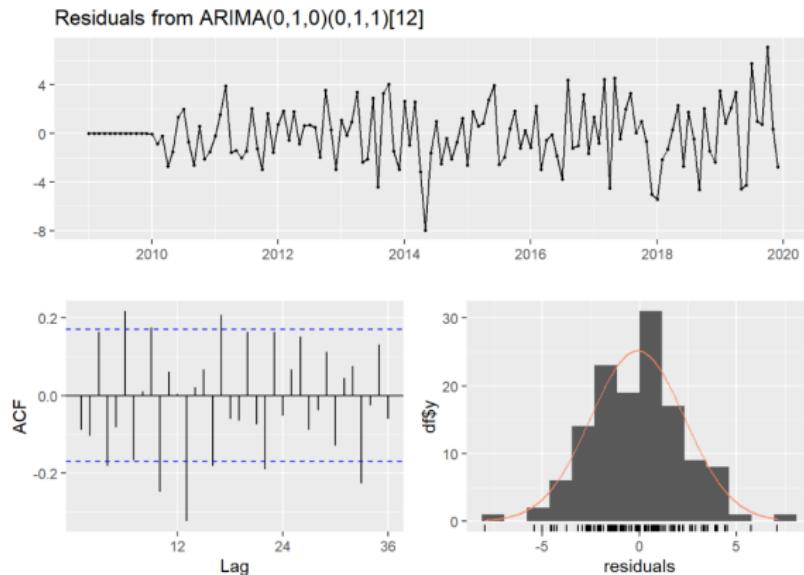
- $(4, 1, 0)(0, 1, 1)_{12}$
- AICc: **566.1312**

Manuální model (Vítěz):

- $(0, 1, 0)(0, 1, 1)_{12}$
- AICc: **567.1595**

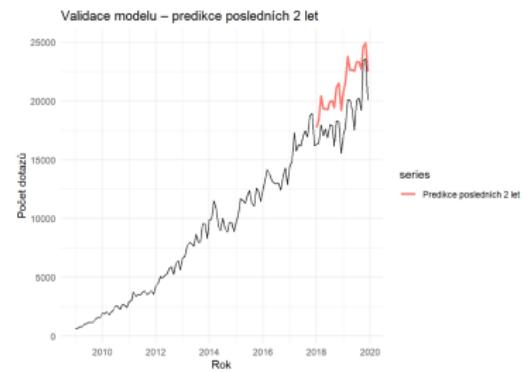
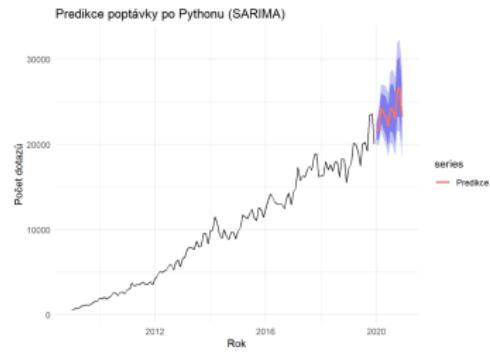
- Automatický model je nevýrazně lepší dle informačních kritérií, zato složitější.
- **Validace:** Oba přístupy měli shodu v sezonní části.

Diagnostika finálního modelu $((0, 1, 0)(0, 1, 1)_{12})$



- **Ljung-Boxův test:** $p\text{-value} = 1.745e-08 < 0.05 \rightarrow$ zamítáme H_0 .
- **Interpretace:** Model nezachytil veškerou strukturu (pravděpodobně kvůli strukturálnímu zlomu po r. 2017), ale pro predikci trendu je dostačující.

Predikce



Predikce poptávky na 12 měsíců dopředu

Validace: predikce posledních 2 let

- Analyzovali jsme vývoj popularity jazyka Python na StackOverflow.
- Zjistili jsme silný rostoucí trend a pravidelnou sezónnost.
- Odmocninová transformace a diferencování pomohly data stacionarizovat.
- Ruční analýza koeficientů a porovnání s automatická selekcí identifikovaly jako nevhodnější model SARIMA(0, 1, 0)(0, 1, 1)[12].
- Byl použit pro predikci, která očekává další růst zájmu s typickými sezónními výkyvy.

- **Omezení modelu:**

- Hlavním limitem modelu je zamítnutí hypotézy o nezávislosti reziduů (Ljung–Boxův test).
- To naznačuje, že model nedokázal plně absorbovat veškerou strukturu dat, pravděpodobně v důsledku strukturálního zlomu v popularitě Pythonu kolem roku 2017.
- Dále je přítomna heteroskedasticita (změny rozptylu), kterou odmocninová transformace odstranila jen částečně.
- Model je vhodný pro bodovou predikci trendu, ale intervaly spolehlivosti mohou být mírně podhodnocené.

- **Možnosti vylepšení:**

- Přesnost modelu by mohla být zvýšena zkrácením časové řady (např. použitím dat pouze od roku 2015), čímž by se eliminoval vliv staršího, odlišného chování trendu.
- Mohlo by být vhodné využít pokročilejší modely odolné vůči strukturálním zlomům, jako např. Prophet.
- Lze také zahrnout exogenní proměnné (např. počet pracovních dnů v měsíci).

Děkujeme za pozornost!