

Nelineární dynamika v praxi aneb kdo řídil pandemii v Čechách.

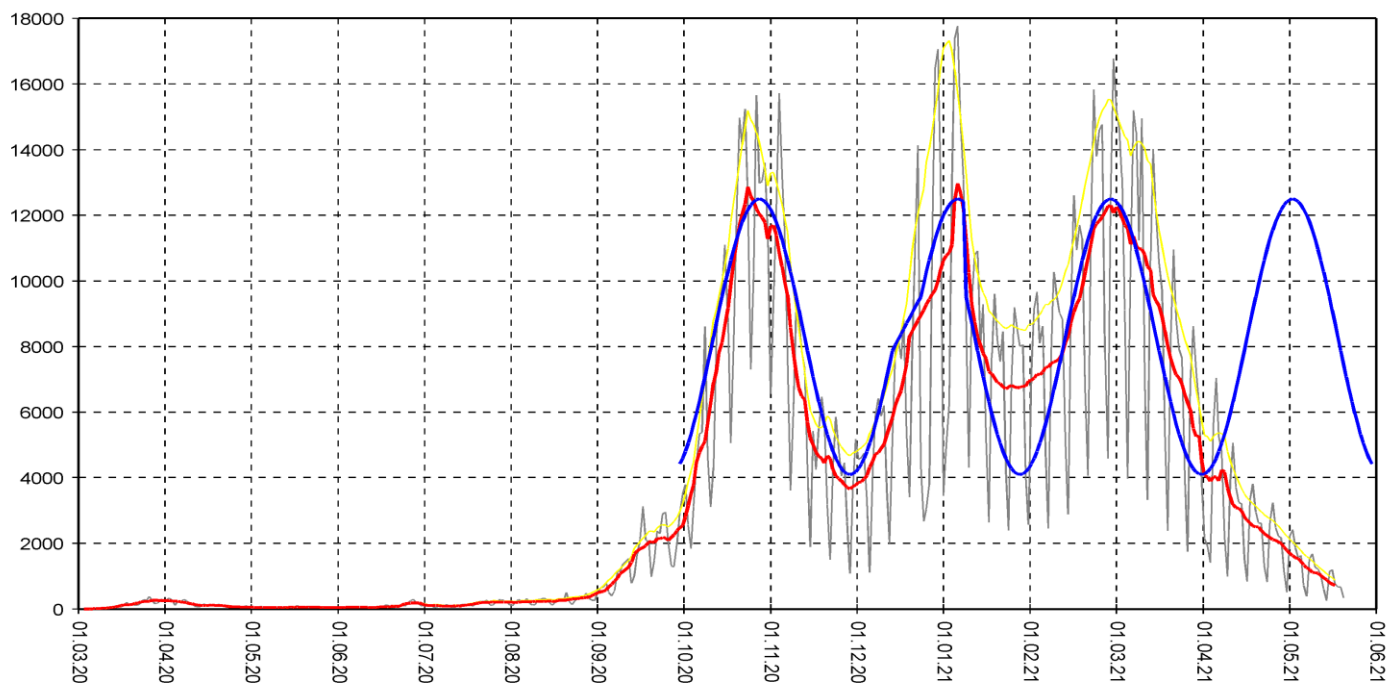
Mgr. Petr Nakládal, petr.nakladal@iex.cz

Souhrn

Na ukázce průběhu pandemie v Čechách a v zahraničí prezentuji způsob zpracování dat metodou nelineárních dynamických systémů (viz přednáška z roku 2019). Z výsledků zpracování je tak zřejmé, kdo vlastně řídil šíření viru v České republice.

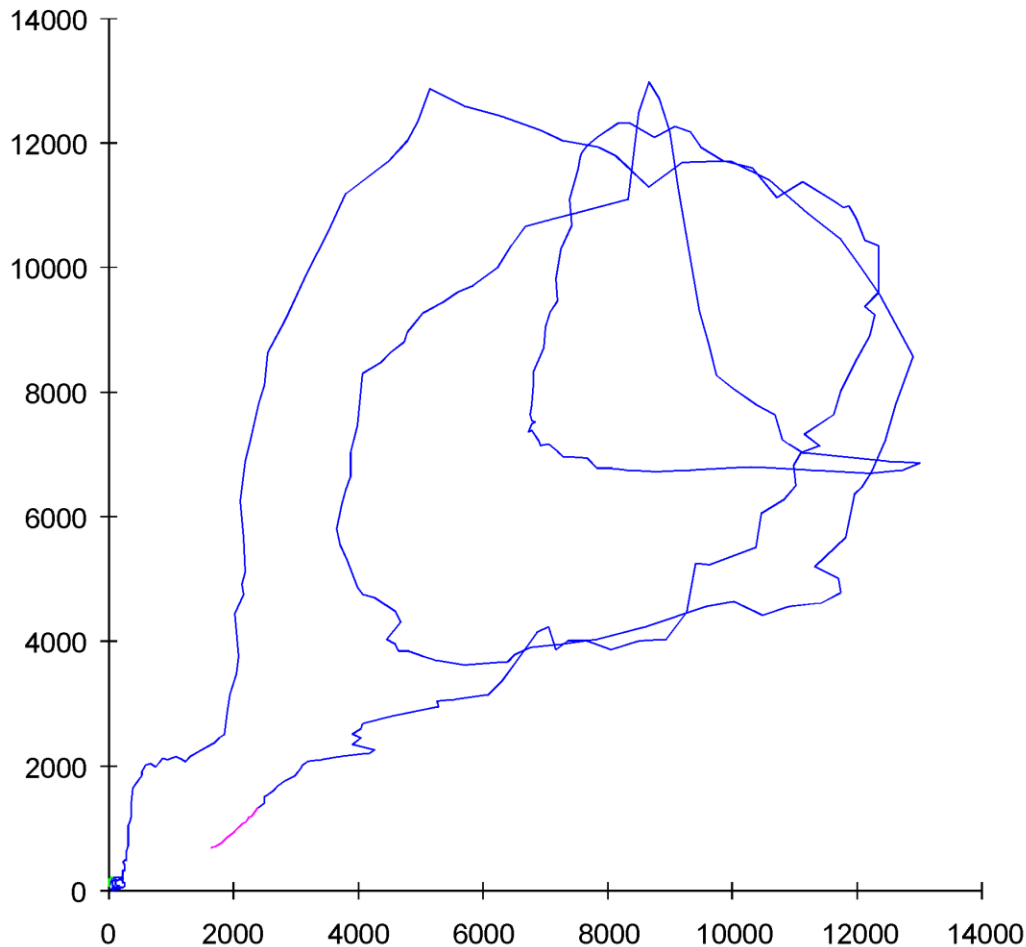
Úvod

Nejsem virolog ani epidemiolog ale ve své praxi využívám predikce klimatických výkyvů na podkladě znalostí chování nelineárních dynamických systémů (viz přednášky “Sucho z pohledu terénního hydrogeologa”, na TVIP 2018, v roce 2018 jsem předpovídal současný nástup klimaticky vlhkého a chladnějšího období a „Chaos, od hříčky matematiků po základní princip fungování Vesmíru“ na TVIP 2019). Když jsem v lednu 2021 viděl v televizi křivky denních nárůstů zachycených covid nemocných, tak jsem si chtěl ověřit, jestli se nejedná o nelineární dynamický systém s vnitřními parametry. Ověřit si to lze jednoduše a to vytvořením tzv. atraktoru, který se sestavuje zakreslením dat s fázovým posunem proti sobě (metoda zmnožení řad).



Obr. 1: Vstupní data a výsledky výpočtů (šedá křivka – znáte z televizní obrazovky).

Při analýze dat dostupných na internetových stránkách UZIS (obr. 1 šedá křivka) je zřejmé, že v sobotu a neděli jsou záchyty osob covid pozitivních minimální. Nižší záchyt je také v pondělí. Naopak záchyty v úterý, středu a čtvrtek kompenzují období s nižším testováním. Jen pro upřesnění, na grafu v obr. 1 je žlutou křivkou vyznačen mezivýpočet statistické obalové křivky maxim. Atraktor (obr. 2, osa X a Y jsou nárůsty nemocných) byl vytvořen z týdenních průměrů (na obr. 1 červená křivka). Zelená část křivky atraktoru sestaveného z dat od 01.03.2020 do 22.05.2021 je začátek, světlefialová část pak jeho konec.



Obr. 2: Atraktor sestavený metodou zmnožení řad.

Výsledky matematického modelování

V průběhu výpočtu atraktoru lze určit přibližnou periodu zkoumaného jevu. Ta je 64 dní. Z atraktoru a z grafu je vidět že v případě nárůstu detekovaných covid pozitivních se jedná o kvaziperiodický děj (periody nejsou totožné ale soběpodobné). Z fyzikální podstaty harmonických oscilátoru (např. mechanické = kyvadlo, elektrické = LC oscilátor, ale taky jsou hydromechanické oscilátory ap.) plyne, že když se obvod dostane do oscilace pak je frekvence kmitů daná jen fyzikálními parametry rezonančního obvodu (délka a hmotnost kyvadla + gravitace nebo LC členem) a ne vlastnostmi obvodu kolem (mechanika hodin, tranzistory odpory). Vlastnosti obvodů kolem rezonátoru pouze ovlivňují tvar výsledné křivky. Navíc průběh reálné křivky určuje často i řada náhodných jevů. Právě proto v reálném prostředí se často nejedná o čistě periodický jev, ale do periodicity zasahují změny vnitřních parametrů systému.

Předpokládám, že v grafu na obr. 1 jsou zachyceny jen odhalené infikované osoby (N_o). V populaci se ale pohybují lidé, co mohou nakazit okolí (N_z) ale neví se o nich (patří mezi ně i osoby zatím bez příznaků, později však oficiálně otestované jako pozitivní). Musí tak platit, že počet nakažených osob je $N = N_o + N_z$. Poměrové zastoupení nevidovaných bacilonosičů v republice je pak $L = (N - N_o)/M = N_z/M$, kde M je počet lidí v republice. Jak odhalené infikované osoby, tak neodhalené bacilonosiči roznášejí infekci podle reprodukčních čísel (R). Prakticky můžeme produkci nakažených P vyjádřit $P = N_o R_o + N_z R_z$. Předpokládám, že pokud testy detekují nakaženého člověka, tak ten je zařazen do systému a měl dodržovat nějaká opatření zamezující

šíření nákazy (karanténu). Z toho lze odvodit, že reprodukční číslo $R_0 \ll R_z$ tedy infekce je v populaci rozšířena hlavně na podkladě součinu $N_z R_z$ kde R_z nemá nic společného s oficiálním reprodukčním číslem. Vlivem časových prodlev infekce způsobené inkubační dobou t_i se v čase t projeví na nárůstu všech nemocných všechny infekční kontakty I za dobu $t' = t - 2t_i$. Můžeme tak psát, že produkce nemocných v čase $P(t) = \sum_{t'} I = \sum_{t'} N_z R_z$.

Bilanci nemocných vyplývající z křivky nárůstů lze popsat:

$$dN/dt + \int N_z R_z dt = (N - V), \text{ kde } N \text{ jsou nemocní a } V \text{ jsou vyléčení pacienti.}$$

Rovnice by se dala ještě upřesnit a rozšířit ale základní princip je už vidět z tohoto zjednodušeného vztahu. Samozřejmě někdo může uniknout ze systému. Mezi uzdravené navíc počítám i úmrtí a také neuvažuji, že po 90. ti dnech může už zase zdravý člověk nemocnět. Abych se zbavil integrálu tak rovnici zderivuji. Vyjde tak diferenciální rovnice II. řádu.

$$d^2N/dt^2 + N_z R_z t = d(N - V)/dt$$

Diferenciální rovnice druhého řádu mají neharmonické a harmonické řešení. Člen $d(N - V)/dt$ zastupuje tlumení oscilací. Pandemií vznikly harmonické kmity. Frekvenci kmitů tak lze odvodit z přibližné rovnice

$$d^2N/dt^2 + N_z R_z t = 0$$

Pro řešení netlumeného oscilátoru jsou podstatné členy $d^2N/dt^2 + N_z R_z t$. Harmonické řešení rovnice má pak tvar

$$C + K \sin(\omega t + \phi),$$

kde:

C - integrační konstanta

K - amplituda

ω - úhlová rychlost vyjádřená jako $2\pi/T$ (T - perioda)

ϕ - fázový posun

Pro zajímavost jsem graf na obr. 1 proložil funkcí sinus s periodou 64 dní získanou z výpočtu atraktoru (v grafu modře). Rozdíly mezi modelem (modře) a reálnou křivkou (červeně) spočívají hlavně ve změnách vnitřních parametrů systému. Například tvar reálné křivky kolem období vánoc bylo možné simulovat fázovým posunem (lidi raději tajně marodili doma, než aby jeli do nemocnice). V lednu jsem modelovaný fázový posun vrátil zpět (v realu prudký nárůst nemocných po novém roce). Odchylka mezi modelem a realitou pozorovatelná od poloviny ledna do poloviny února je snadno vysvětlitelná (pokud si to dobře pamatujete) navýšením kapacit testovacích zařízení. Začalo se tak více testovat a tím pádem vzrostl i počet záchytů nakažených lidí. Od cca poloviny března je možné pozorovat začátek fázového rozdílu mezi modelem a realitou. V té době se začalo s plošným testováním osob a tedy s vyhledáváním bacilonosičů. Tak došlo ke změně periody projevující se rozdílem mezi modelem a realitou. Ještě počátkem dubna to vypadalo na počátek další vlny. Nicméně vlivem významného snižování počtu bacilonosičů v populaci společně s očkováním vypadnul systém z rezonance a tak došlo k útlumu pandemie u nás.

Závěr.

Podle výsledku výpočtů byla jak periodicita vln pandemie, tak i její celý průběh v České republice podmíněn charakteristikou viru a jeho vztahem k hostitelům a okolním podmínkám a nebyl tedy regulován zásahy vlády. Pokud by pandemie byla vládou regulována tak by průběh nakažených nemohl mít matematickou funkční závislost. Ta pandemie si do března 2021 žila vlastním životem a to, co se s ní oficiálně dělalo, nemělo na její průběh významný vliv. Ověřit tento výrok je možné i jinak. K porovnání průběhu pandemie lze použít statistická data z okolních států (obr. 3 a 4). Při porovnání křivek nakažených osob

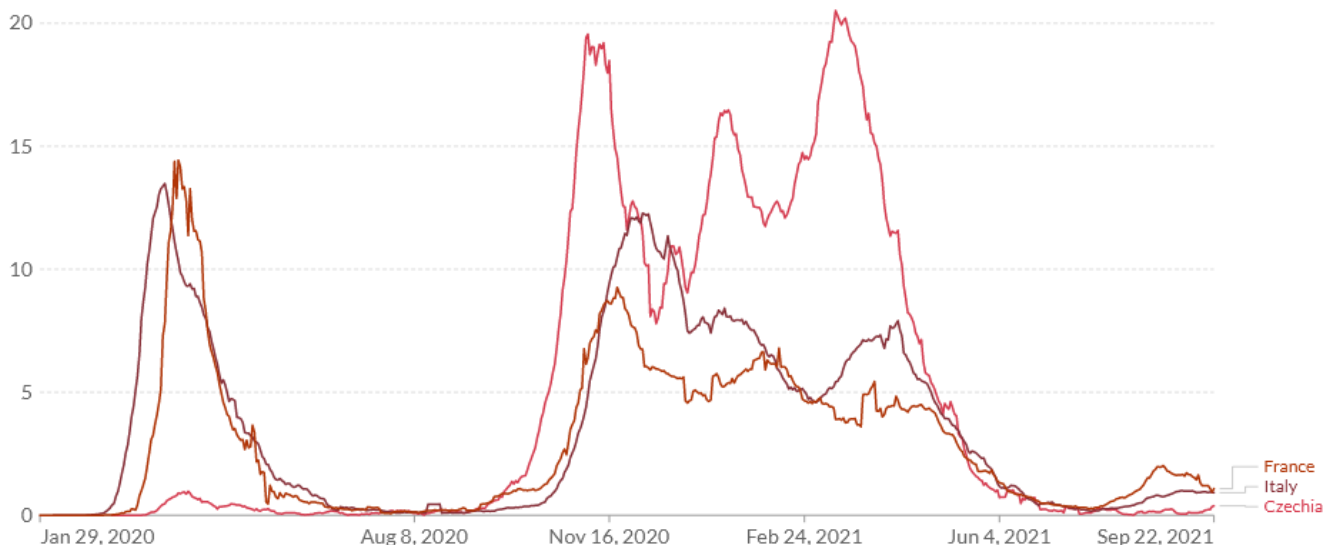
ze států s obdobným vztahem ke státní regulaci (obr. 3, Francie, Itálie) lze i zde pozorovat menší oscilace. Z obrázku 4 je zřejmý významně odlišný průběh pandemie. Je tak vidět, že v zahraničí (Německo, Rakousko, Anglie) měli lidé k viru daleko větší respekt než u nás. Podle vlastních zkušeností z terénu mohou potvrdit, že čím vláda i naprosto nesmyslně zpříšňovala protiepidemická opatření tím na ně lidi více s... píšp... ali (viz řada vtipů na toto téma).

Daily new confirmed COVID-19 deaths per million people

Shown is the rolling 7-day average. Limited testing and challenges in the attribution of the cause of death means that the number of confirmed deaths may not be an accurate count of the true number of deaths from COVID-19.



LINEAR LOG

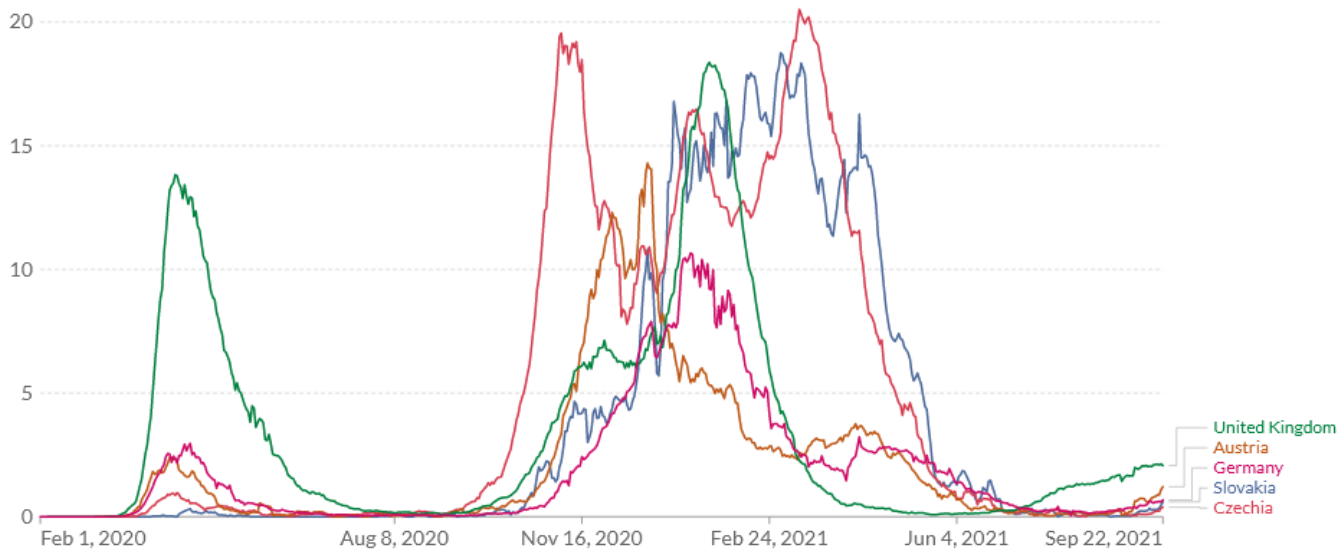


Source: Johns Hopkins University CSSE COVID-19 Data

CC BY

Obr. 3: Průběh pandemie v zemích s podobným vztahem ke státním zásahům.

LINEAR LOG



Source: Johns Hopkins University CSSE COVID-19 Data

CC BY

Obr. 3: Průběh pandemie v zemích dodržujících státní restrikce.

Problém byl i s vnímáním protiepidemických opatření hlavně starými a méně inteligentními lidmi (kdyby všichni lidé měli IQ 160 – kdo by kopal příkopy pro kanalizaci, že ano?). Například jsme s manželkou pozorovali čtveřici starších žen, co šli po prázdné ulici s respirátory nasazenými na obličej. Jak se dostali k sobě, tak respirátory sundali a na vzdálenost menší než metr si začali vzájemně povídat. Další příklad z doby vrcholící pandemie. Osobně mne v samoobsluze seřvala manipulátorka s pečivem, jak to že nemám respirátor FFP2 (nosím nanoroušku a přes ní navíc nákrčník, ověřeno praxí v silně zaprášeném prostředí) přitom vyndávala rohlíky z přenosek holou rukou. To samé mi provedla jedna starší žena, aby se potom čtvrt hodiny přehrabovala holou rukou v mandarinkách. V období pandemie a zvýšených státních restrikcí jsem pracovně navštívil několik úřadů. Tolik lidí na jednom místě tam snad nebylo ani v období před pandemií. Mnozí úředníci se na homeofficech chtěli možná blýsknout před nadřízenými a tak pracovali jako o život. To že mnozí čekající starší spoluobčané namačkaní v čekárnách na úřadech na sedačkách vedle sebe měli respirátor „na půl žerdi“ ani nebudu komentovat. Jinak mimochodem, na poště to samé. Řada lidí a to státní pracovníky nevyjímaje, nosili roušky a respirátory prořezané tak šikovně aby to nebylo vidět. To že vláda zakazovala vše možné a všichni na to kašlali, snad postřehnul každý. Zákaz přeježdění mezi obcemi se nedodržel, tedy pokud nebyly na místě kamery televizních štábů (i policie na kontrolu rezignovala). Mnohé kamenné obchody fungovaly zadním vchodem a hospody na vesnicích byly normálně v provozu (třeba v místnosti vedle). Kolega jeskyňář když šel za doby nejpřísnějších zákazů do hospody tak to komentoval slovy „*jdu se věnovat čtvrtému odboji*“.

Z výsledků výpočtů vyplývá, že hlavní problém v šíření pandemie je v samotné existenci (i malého počtu) lidí co vědomě nebo nevědomě roznášejí nákazu. Takže názory, že kvůli zjištěnému pouze jednomu procentu zachycených bacilonosičů lze již přestat testovat, jsou podle mého zcestné. Z principu harmonického oscilátoru také plyne, že když křivka nakažených stoupá tak je na jakékoli reakce už pozdě. Reagovat se musí v protifázi, tedy s předstihem před nárůstem tak, aby fázový posun působil proti periodě. Tím by zanikla i podmínka harmonického oscilátoru. Děj by tak přešel na tlumený a neharmonický, který je pro potlačení pandemie žádoucí.