



IDEA anti COVID-19 # 1

Ekonomie společenského odstupu pro každého: případ Covid 19

BŘEZEN 2020

Kevin Bryan¹

Laické shrnutí

- Větší **společenský odstup**, tedy omezení každodenních mezilidských kontaktů, doporučují epidemiologové a nařizují vlády v časech epidemií jako je současná nákaza *Covid 19*. Důvody jsou v principu zřejmé. Není ale od věci vědět více. Z dlouhé řady vědních oborů má k problematice epidemií co říci i ekonomická věda. Poznatky teorie her pomáhají odůvodnit, kdy jsou vládní omezení žádoucí, jaká a kdy nikoliv. Vedle toho ekonomie srovnává náklady a výnosy, což by mělo být jedním z podkladů každého vládního omezení.
- Obecné epidemiologické zákonitosti šíření nemocí byly matematicky popsány již skoro před sto lety jednoduchým modelem SIR, následovaným řadou modelů sofistikovanějších. Model SIR nám poslouží jako podklad pro osvětlení klíčových ekonomických principů. Hrají v něm klíčovou roli dva parametry. Prvním je **reprodukční číslo** udávající, kolik k nákaze náchylných osob se v průměru infekční osobou nakazí v případě běžného chodu života. Tento parametr je dán podstatou nemoci a bez možnosti opatření jako očkování s ním vlády těžko narychlo něco nadělají. Druhým je **intenzita společenských kontaktů**, která se může pohybovat od stavu běžného chodu společnosti až po extrémní případ absolutní izolace všech osob. O intenzitě kontaktů může rozhodovat nejen každý jednotlivec, ale i vlády. Nižší intenzita kontaktů, tedy vyšší společenská izolovanost, však pro každého představuje

¹ Text studie je se svolením autora s volným překladem blogového příspěvku kanadského ekonoma Kevina Bryana z Torontské Univerzity. Původní text v anglickém jazyce je k dispozici na: <https://afinetheorem.wordpress.com/2020/03/13/the-simple-economics-of-social-distancing-and-the-coronavirus/>. Na českém překladu a adaptaci textu se podíleli: René Levínský, Ludmila Matýšková, Daniel MÜNICH, Vladimír Novák a Jakub Steiner. Cenné připomínky poskytl Samuel Zajiček. Studie vznikla v rámci a s podporou programu Strategie AV21 Akademie věd České republiky.

dodatečné náklady – finanční či nefinanční. Tyto náklady s izolovaností rostou. Právě to většina z nás zažívá na vlastní kůži: omezené cestování, obtížné nakupování a zařizování věcí, méně setkávání se s přáteli, méně zábavy atd.

- Šíření nakažlivé nemoci jako je *Covid 19* se nakonec zastaví. Zásadní otázkou pro další úvahy je kdy a jak. Teoreticky tak, že osob, které už nemoc absolvovaly, bude tolik, že již nebude dostatek dalších roznašečů. V případě *Covid 19* by se s ohledem na jeho reprodukční číslo začalo šíření zpomalovat až po zasažení přibližně poloviny populace. Reprodukční číslo *Covid 19* je totiž zhruba 2, tedy výrazně vyšší, než 1,2 běžných chřipek. V realitě by však ke zpomalení šíření nemoci nejspíše došlo dříve, protože lidé by posléze sami od sebe ze strachu začali zvyšovat svůj společenský odstup i bez vládních omezení. Přesto by při **spontánním scénáři** došlo k nakažení výrazné části populace a obrovskými škodami ekonomickými, na zdraví a životech.
- V případě nemoci jako je *Covid 19* mohou šíření nákazy zastavit dříve vládní opatření. Jednotlivci sami od sebe totiž dobrovolně svůj společenský odstup začnou omezovat až v okamžiku, kdy je na zastavení šíření nákazy již příliš pozdě. Je to dáno tím, že v raných fázích šíření nákazy jednotlivci sice silně vnímají osobní náklady způsobené omezením společenského odstupem, ale nedostatečně vnímají náklady způsobené vlastním chováním vůči ostatním lidem. Jde o klasický ekonomický **fenomén negativních externalit**. Potýkáme se s ním běžně v případech vypouštění znečištěné vody do řek, zplodin z elektráren do ovzduší, exhalace aut, kouření v přítomnosti jiných lidí a dlouhé řady dalších.
- Ekonomie pro řešení problému negativních externalit nabízí přístupy dva: **regulaci ceny nebo množství**. Cenovou regulací by bylo zdanění chování šířícího nemoc. U *Covid 19* by to bylo opatření ve smyslu „*Můžete na ples, pokud zaplatíte daň ve výši x Kč, kde x je dostatečně vysoké k optimálnímu omezení účasti*“. Množstevní intervence by potom představovala přímé omezení účasti na plesech. Je zřejmé, že zdanění je v tomto kontextu obtížné, a proto jsou množstevní limity v případech epidemií mnohem častější. Jde typicky o zákazy akcí a činností s vyšším soustředěním osob, případně omezení pohybu na nezbytné činnosti.
- Vládní omezení uvalená na intenzitu společenských kontaktů (zvyšující společenský odstup), aby zafungovala, musí být zavedena **ve velmi rané fázi šíření nákazy**. Čím je reprodukční číslo nemoci vyšší, tím větší omezení musí na intenzitu společenských kontaktů vláda uvalit, aby se šíření nákazy podařilo zastavit hned v zárodku. Pokud se to vládě nepodaří, přijde ke slovu již zmíněný autonomní vývoj.
- **Vládní restrikce jsou na místě**, když jednotlivci neberou dostatečně v potaz (popřípadě si neuvědomují) negativní externalitu, které mají jejich společenské interakce na ostatní. Sami od sebe pak omezují své společenské kontakty pouze tak, aby pokud možno nenakazili sebe, byť svým chováním přispívají k epidemii. V případech životně vysoce nebezpečných nemocí, jako například ebola, budou dobře informovaní lidé udržovat dostatečný společenský odstup sami od sebe dobrovolně hned od počátku (jde o zjednodušení). Vláda nemusí nic nařizovat ani v opačných případech, kdy jsou osobní náklady onemocnění ve srovnání s náklady omezeného společenského odstupem nízké. Z celospolečenského pohledu nemusí být výraznější vládní regulace v takové situaci nutné. Jak v případě triviální rýmy, tak u smrtící eboly, proto vlády nesáhly po tak radikálních regulacích, jaké jsou aplikovány nyní.

- Pokud mají **různí lidé různé náklady** spojené s onemocněním, je důvod pro vládní omezení společenského odstupu ještě silnější. Například jako v případě Covid 19, kdy při stejné nakažlivosti u mladých i starých má nemoc mnohem vážnější průběh (náklady) u lidí starších. Mladí budou dobrovolně dodržovat pouze mírný společenský odstup, zatímco senioři se budou izolovat sami od sebe velmi intenzivně. Pokud se osobní náklady společenského odstupu s odstupem zvyšují více než lineárně, není ve společenském zájmu, aby se starší lidé podřizovali extrémní izolaci, zatímco mladí by se izolovali minimálně.
- Reálné lidské vztahy vykazují znaky sítě a vytváří polouzavřené „malé světy“. Vyšší míra takového **společenského shlukování** snižuje rychlost počátečního šíření nákazy v populaci a zvyšuje účinnost karantény. Kupříkladu, je-li manželka nakažena, je v první řadě vhodnější dát do karantény manžela. Je totiž mnohem pravděpodobnější, že bude nakažen on, než jiná náhodná osoba. Také je důležité přetínat kontakty spojující dvě vysoce uzavřené skupiny. Jsou totiž jediným mostem, po kterém se nemoc může rozšířit z jedné skupiny do druhé. Tento fenomén ale ospravedlňuje omezení pohybu během náběhových fází epidemií. Jakmile je již většina společenských skupin nakažena, „mosty“ mezi nimi přestávají hrát důležitou roli a omezení pohybu ztrácí na významu.

Základy epidemiologie

„Společenský odstup“, tedy omezení každodenních mezilidských kontaktů, doporučují epidemiologové a různými způsoby nařizují vlády. Detailní vysvětlení, proč je tento postup účinný, proč právě v případě šíření *Covid 19* a ne řady jiných nemocí, však zpravidla zůstává nevyřčeno. Ekonomická věda přispěla k debatě na téma obrany proti epidemiím dvěma základními poznatky. První poznatek vychází z teorie her, kde herně-teoretické modely pomáhají pochopit, kdy jsou vládní omezení potřebná a kdy nikoliv. Další poznatky jsou založeny na standardním srovnání výnosů a nákladů, respektive ztrát takových opatření, jako jsou zavírání škol, ochodů, omezování dopravy, pohybu a dalších. V ekonomických teoriích inovací a šíření informací se běžně používá jednoduchý epidemiologický model, takzvaný SIR, z dvacátých let minulého století². Nechte se tedy provést jednoduchou ekonomii epidemií a jejich regulací, kterou lze na základech tohoto modelu vystavět.

Začneme třemi předpoklady

- 1) Předpokládejme, že infikovaná osoba (v případě, že nezavedeme žádné opatření a nikdo v populaci není imunní) infikuje B dalších osob, než se sama uzdraví.
- 2) Předpokládejme, že lidé, kteří se zotaví z *Covid 19*, znovu ne onemocní (což v této chvíli vypadá jako rozumná aproximace).
- 3) Pacienti nakažení *Covid 19* jsou infekční dříve, než jsou hospitalizováni či izolováni.

Tyto předpoklady posléze rozšíříme. Nechť k značí **intenzitu společenských kontaktů**: pokud $k=1$, tak lidé žijí tak, jak jsou zvyklí. Pokud $k=0$, je každý zcela izolován, kontakty nemá a nemoc se tedy nepřenáší. Snížení intenzity kontaktů z $k=1$ je samozřejmě spojeno s osobními náklady, finančními i nefinančními. Označme celkové osobní náklady na snížení intenzity kontaktů z úrovně $k=1$ na $k<1$ jako $c(k)$. Dále

² Viz Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Compartmental_models_in_epidemiology#The_SIR_model

předpokládejme, že čím více osobě omezujeme intenzitu společenských kontaktů, tedy čím dále je od běžného života $k=1$, tím nákladnější je pro ni intenzitu kontaktů dále snižovat. Pro fanoušky matematiky lze tento předpoklad formalizovat jako

$$c(k) > 0, c'(k) < 0, c''(k) > 0.$$

V klasickém epidemiologickém SIR modelu, který pro české účely překřtíme na model NIZ, může být člověk buď **N**áchylný k infekci, **I**nfikovaný nebo **Z**otavený. Cyničtější či technicky orientovaní autoři používají místo termínu zotavený termín „odstraněný“. Označme každou ze tří skupin osob počátečním písmenem a řekněme, že N , I a Z představují podíly daných skupin v populaci v daném okamžiku t (takže $N+I+Z=1$). Infikovat se mohou pouze lidé ze skupiny N . Každá jedna infikovaná osoba nakazí $k*B*N$ lidí, kde k je již zmíněná intenzita společenských kontaktů a B je základní reprodukční číslo. To udává, kolik náchylných osob v průměru infekční osoba nakazí v případě běžného chodu života ($k=1$). Pokud infikovaná osoba interaguje s jinou infikovanou nebo již uzdravenou osobou, podruhé ji již nenakazí, anebo se aspoň její stav nezhorší.

Podobně jako je základní časovou jednotkou našich životů jeden den, v našem modelu bereme za časovou jednotku dobu, po kterou je člověk nakažlivý. Bez újmy na obecnosti a výsledcích tedy normalizujeme dobu, po kterou je osoba nakažlivá, na jedničku. Stejně tak normalizujeme na jednotku populaci, tedy $N+I+Y=1$, protože absolutní velikost populace na podstatě nic nemění. Potkávají-li se lidé v populaci náhodně, lze dovodit, že:

$$(1) \quad \frac{dN}{dt} = -k*B*N*I$$

$$(2) \quad \frac{dI}{dt} = k*B*N*I - I$$

$$(3) \quad \frac{dZ}{dt} = I$$

A toto nám ze základů epidemiologie stačí, abychom mohli zkoumat dopady epidemie na změny podílu lidí v našich třech skupinách v čase.

Co dané rovnice popisují?

Začněme například tou druhou. Ta říká, že počet nově infikovaných lidí za jednotku našeho specifického času je $k \cdot B \cdot N \cdot I$. Je tedy dán intenzitou společenského kontaktu (k), základním reprodukčním číslem té, které nemoci (B) a počtem možných setkání náchylných osob s infikovanými ($N \cdot I$) za jednotku času. Dále, za časovou jednotku přejdou dříve infikovaní ze skupiny I do skupiny zotavených Z (pamatujme, že jednotku času jsme definovali jakožto délku infekčnosti). Pokud $dI/dt > 0$, tak počet infikovaných v čase roste. Na počátku epidemie je téměř každý člověk ve skupině N (tedy N je přibližně rovno 1) a se zvyšováním společenského odstupu se ještě nezačalo (tedy $k = 1$). Podle rovnice (2) na počátku epidemie počet infekčních roste tehdy, když $I \cdot (k \cdot B \cdot N - 1) > 0$, tedy v případě, že $B > 1$, protože $N = 1$ a $k = 1$. Intuitivně je zřejmé, že k epidemii³ dochází tehdy, když jeden nemocný infikuje v průměru více než jednu další osobu. Abychom epidemii zastavili, musíme přenos zpomalit natolik, aby $dI/dt < 0$. Klíčovou roli zde hraje naše reprodukční číslo B , často označované jako „ R_0 “, které je v případě *Covidu 19* B zdá se rovno přibližně dvěma.

Jak tedy zastavit epidemii? Cesty jsou v principu dvě

- Epidemie může zmizet díky tzv. „imunitě stáda“. To znamená, že počet lidí ve skupině zotavených Z – těch, kteří byli infikováni již dříve – dosáhne takového podílu, že infikovaní se již setkávají s natolik malým počtem náchylných N , že nemoc postupně odeznívá. Při $B = 2$ a bez omezení intenzity sociálních kontaktů ($k = 1$) by k zastavení epidemie s autonomním volným průběhem došlo za situace, kdy:

$$dI/dt = (k \cdot B \cdot N - 1) \cdot I = (2 \cdot N - 1) \cdot I < 0 \text{ neboli } N > 0,5.$$

³ Epidemii zde máme na mysli jakýkoliv vývoj onemocnění v populaci.

- Počet nově nakažených by se tedy začal snižovat poté, co by se nakazila polovina populace. **Předpovědi, že Covid 19 infikuje „70 %“ společnosti, které jste možná zaznamenali v médiích, jsou založeny právě na tomto výpočtu. Reálně by k tomu ale nedošlo, protože lidé by dobrovolně dramaticky začali omezovat intenzitu společenských kontaktů (k) mnohem dříve, než by se nákaza dotkla poloviny populace ($N=0,5$).**
- Druhou možností je omezit intenzitu společenských kontaktů. Omezením rozumíme libovolnou regulaci snižující přenos infekce: karanténu, vyhýbání se velkým skupinám, mytí rukou atd. Matematika toho je jednoduchá. Pracujme s reprodukčním číslem Covid 19 $B=2$. Abychom předešli rozsáhlé nákaze (za rozsáhlou považujeme takovou, kdy se nakazí deset procent populace), potřebujeme hned v jejím počátku zajistit $(k*B*N-1)*I = (2*k*N-1)* I < 0$. Na počátku epidemie, kdy je N zhruba rovné 1 (rozdíl mezi $N=0,9$ a $N=1$ zde není důležitý) tedy potřebujeme snížit intenzitu společenských kontaktů na $k < 1/2$.⁴ Musíme tedy snížit průměrný počet nakažených jedním infekčním člověkem alespoň na polovinu běžné situace. Časté mytí rukou k tomu může přispět asi 20 %, i když s obrovským rozptylem. To znamená, že epidemii Covid 19 mohou zastavit jen dodatečné, osobně a společensky nákladné zásahy, jako je zákaz společenských akcí, uzavření škol, omezení prodeje, nařízení práce z domova atp. Tradiční chřipka má $B = 1,2$, tedy výrazně nižší než Covid 19. Proto i poměrně malé omezení intenzity sociálních kontaktů, jako je vyležení chřipky nebo pokles interakcí s lidmi v uzavřených místnostech (v létě), může šíření chřipkové epidemie zastavit. Na Covid 19 s $B=2$ to nestačí, alespoň podle dosavadních poznatků o jeho chování.

Až dosud to byla velmi zjednodušená epidemiologická matematika. Teď ji doplníme o ekonomické pohledy.

⁴ Pokud by šlo o jinou nemoc s $B=3$ resp. $B=4$, museli bychom k snížit na $1/3$ resp. $1/4$ atd.

Co říká teorie her

Zajímají nás dvě otázky: **(i)** Nakolik omezí své společenské kontakty během epidemie jednotlivci sami od sebe dobrovolně a **(ii)** k čemu musí jednotlivce společnost, respektive vlády přimět?

První otázka vede ke zkoumání matematické funkce $k(s, z, t)$ v Nashově rovnovážném stavu epidemiologické „hry“.⁵ Zde s značí stav člověka (je-li nemocný, náchylný, či zotavený), z je stav společnosti (tj. poměr nemocných a náchylných v populaci) a t je čas měřený od vypuknutí nákazy. Při hledání řešení hraje zásadní roli přítomnost **negativní externality**, tedy negativních dopadů chování jednotlivce na jednotlivce ostatní. Většinu jednotlivců totiž zajímá spíše, aby sám neonemocněl, než to, jak sám přispívá k šíření nemoci. Prevence epidemie je tedy klasickým ekonomickým problémem negativních externalit, jak se s nimi potýkáme v případech vypouštění znečištěné vody do řeky, zplodin z elektráren či aut, kouření ve společnosti jiných lidí a řady dalších.

Jako řešení ekonomie klasicky nabízí dva přístupy: regulaci ceny nebo množství. Cenovou intervencí by bylo zdanění chování šířící nemoci. U Covid 19 by to bylo něco jako „*Můžete na ples, pokud zaplatíte daň ve výši x Kč, kde x je dostatečně vysoké k optimálnímu omezení účasti*“. Množstevní intervence by potom představovala přímé omezení účasti na plesech. Je zřejmé, že zdanění je v tomto kontextu obtížné, a proto jsou množstevní limity v případě epidemií běžnější. Jde typicky o zákazy akcí s větším počtem účastníků.

Nalézt Nashovu rovnováhu této epidemiologické hry je složité a není na to vzoreček. Několik důležitých věcí však víme. Nechť m jsou mezní osobní náklady dodatečného omezení intenzity společenského kontaktu v limitní situaci, kdy už žádný kontakt neprobíhá ($k=0$). Normalizujme náklady na cenu infekce $m = -c'(k) / C$ pro $k = 0$, kde C je společenská škoda způsobená nakažením dalšího jednotlivce. Pokud není společenské

⁵ Teorie her označuje každou strategickou interakci za hru, dokonce i ty nepříjemné, jakou jsou epidemie. Nashova rovnováha v tomto kontextu představuje stav, kdy každý hráč používá strategii, jenž je nejlepší odpovědí na strategii adoptované ostatními hráči. V dynamickém kontextu, jako je epidemie, se předpokládá, že hráči předvídají příští vývoj a optimálně na něj reagují s předstihem. Kupříkladu vyrazí na větší nákup v počátku epidemie, dokud to není příliš nebezpečné. Je to totiž pro ně individuálně optimální, až tím sami k šíření epidemie zrychlují.

distancování příliš účinné (m je nízké), nebo je-li B jen o něco málo vyšší než 1, pak se v *Nashově* rovnováze zpočátku nikdo nebude dobrovolně společensky distancovat a k epidemii dojde. Lidé se zpočátku společensky nedistancují, protože jimi vnímané náklady z omezení kontaktů jsou výrazně vyšší než osobní přínosy kontaktů. Prostě řečeno, jedinec maximalizující pouze svůj vlastní užitek začne omezovat kontakty až ve chvíli, kdy epidemie pokročí a omezování kontaktů se pro něj osobně stane dostatečně výhodné.

Kdy je tedy (vládou) vnucený společenský odstup žádoucí?

Vládní restrikce jsou na místě v případě, kdy lidé nedostatečně berou v potaz (popřípadě si neuvědomují) negativní externality, které mají jejich společenské interakce na ostatní. Tedy v situacích, kdy sami od sebe omezují své společenské kontakty pouze natolik, aby nenakazili sami sebe, a kdy toto chování vede k epidemii. Pouze v případech, kdy je určitá nemoc vysoce nebezpečná,⁶ budou lidé udržovat dostatečný odstup od ostatních sami od sebe dobrovolně hned od počátku. Vládou nařizovaný společenský odstup v takových případech nemusí být někdy nutný. Povinný společenský odstup není užitečný také v případech, kdy jsou náklady onemocnění ve srovnání s náklady na společenský odstup naopak nízké. Z celospolečenského pohledu je v takové situaci lepší nic nezakazovat a riskovat, že se někteří lidé nakazí. Děje se tak například v případech běžné rýmy, kdy se přenosu nákazy brání zpravidla jen zakrýváním si úst.

Nucený společenský odstup může být optimální v momentě, kdy reprodukční číslo B není příliš vysoké a zároveň osobní náklady onemocnění sice převyšují náklady společenského odstupu, ovšem ne dost na to, aby lidé udržovali společenský odstup dobrovolně sami od sebe. Už víme, že v případě *Covidu 19* potřebujeme dosáhnout $k < 1/2$. Protože někteří lidé, například lékaři a jiní, svůj společenský kontakt omezit nemohou, je snížení intenzity

⁶ Za vysoce nebezpečnou lze považovat nemoc s vysokými osobními náklady danými vysokou úmrtností (např. ebola) nebo nemoc s vysokým B , jako je například stoprocentní nakažení po styku s nemocným.

kontaktů na ostatních. Prostě je třeba snížit počet kontaktů za jednotku času na méně než polovinu běžné situace. To mimochodem u většiny z nás představuje významnější snížení kontaktů, než odpovídá rozdílu mezi nedělí a běžným pracovním dnem!

Pokud dokážeme rozpoznat nakažené dříve, než jsou infekční, je poměrně snadné snížit k karanténou. Představte si nemoc, která člověka zbarví do modra a následně může člověk další nakazit až po dvou dnech. Snadný způsob prevence epidemie je potom izolace modrých lidí! Ebola a malomocenství nejsou daleko od tohoto případu. Užitečná vlastnost SARS spočívala v tom, že lidé onemocněli mnohem dříve, než začali být infekční. U *Covid 19* se naopak zdá, že člověk je nakažlivý několik dní dříve, než nemoc u sebe sám zjistí. Proto pouhé testování a případná karanténa neovlivní parametr společenského odstupu k natolik, aby se dostatečně snížil počet infekcí způsobených nemocnou osobou. Platí to zejména tehdy, když je počet infikovaných už příliš velký na to, aby bylo možné vysledovat všechny kontakty infikované osoby a otestovat každého, kdo přišel do styku s nakaženým dříve, než se sám stane infekčním.

Pokud mají různí lidé různé náklady spojené s onemocněním (finanční i jiné), je důvod pro vládní omezení společenského odstupu ještě silnější. Předpokládejme, že při stejné nakažlivosti u mladých i starých má nemoc mnohem vážnější průběh (náklady) u lidí starších. V rovnovážném stavu budou mladí dobrovolně dodržovat pouze mírný společenský odstup, zatímco senioři se budou izolovat velmi intenzivně. Pokud jsou celkové osobní náklady na izolaci $c(k)$ konvexní funkcí společenského odstupu k , tak není v společenském zájmu, a ani to není rovnovážným stavem, aby se starší lidé podřizovali extrémní izolaci, zatímco mladí by se izolovali minimálně. Konvexnost izolačních nákladů, tedy zrychlující růst osobních nákladů způsobených rostoucí izolací, tedy vládní omezení dále ospravedlňuje.

Nakonec se podívejme na realističtější model zahrnující síť osobních kontaktů. V realitě totiž mívají společenské kontakty člověka vlastnost „malého světa“. To znamená, že všichni jsme propojeni s určitou skupinou lidí, v níž se všichni znají, a kde se tedy nejedná o náhodně vybrané jedince. Vysoká míra takového shlukování snižuje rychlost

počátečního šíření nákazy a zvyšuje účinnost karantény. Kupříkladu, je-li manželka nakažena, je v první řadě vhodné dát do karantény manžela, protože je mnohem pravděpodobnější, že bude nakažen on, než jiná náhodná osoba. Také je důležité přetrnout kontakty spojující dvě vysoce uzavřené skupiny. Jsou totiž mostem, po kterém se nemoc může rozšířit z jedné skupiny do druhé. Tento fenomén ospravedlňuje omezení pohybu během náběhových fází epidemií. Jakmile je již většina společenských skupin nakažena, „mosty“ mezi nimi přestávají hrát důležitou roli a omezení pohybu ztrácí na významu.

Reference a doporučená literatura

- Aiello, Allison E., et al. "Effect of hand hygiene on infectious disease risk in the community setting: a meta-analysis." *American journal of public health* 98.8 (2008): 1372-1381.
- Aparicio, Juan Pablo, and Mercedes Pascual. "Building epidemiological models from R 0: an implicit treatment of transmission in networks." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 274.1609 (2007): 505-512.
- Auld, M. Christopher. "Choices, beliefs, and infectious disease dynamics." *Journal of health economics* 22.3 (2003): 361-377.
- Francis, Peter J. "Optimal tax/subsidy combinations for the flu season." *Journal of Economic Dynamics and Control* 28.10 (2004): 2037-2054.
- Geoffard, Pierre-Yves, and Tomas Philipson. "Rational epidemics and their public control." *International economic review* (1996): 603-624.
- Gersovitz, Mark, and Jeffrey S. Hammer. "The economical control of infectious diseases." *The Economic Journal* 114.492 (2004): 1-27.
- Kremer, Michael. "Integrating behavioral choice into epidemiological models of AIDS." *The Quarterly Journal of Economics* 111.2 (1996): 549-573.
- Reluga, Timothy C. "An SIS epidemiology game with two subpopulations." *Journal of Biological Dynamics* 3.5 (2009): 515-531.
- Reluga, Timothy C. "Game theory of social distancing in response to an epidemic." *PLoS computational biology* 6.5 (2010).
- Sethi, Suresh P. "Optimal quarantine programmes for controlling an epidemic spread." *Journal of the Operational Research Society* 29.3 (1978): 265-268.
- Toxvaerd, Flavio. "Rational disinhibition and externalities in prevention." *International Economic Review* 60.4 (2019): 1737-1755.
- Weitzman, Martin L. "Prices vs. quantities." *The review of economic studies* 41.4 (1974): 477-491.
- Zhang, Sheng, et al. "Estimation of the reproductive number of Novel Coronavirus (COVID-19) and the probable outbreak size on the Diamond Princess cruise ship: A data-driven analysis." *International Journal of Infectious Diseases* (2020).