

# UČINKOVITOST MOBILNE APLIKACIJE #OSTANIZDRAV

PRIMOŽ LUKŠIČ

Abelium, d. o. o., Ljubljana

Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko, Ljubljana

Math. Subj. Class. (2010): 92D30

Mobilna aplikacija #OstaniZdrav predstavlja del prizadevanj za obvladovanje epidemije virusa SARS-CoV-2. Namenjena je beleženju stikov med ljudmi s ciljem anonimnega opozarjanja uporabnikov, ki so bili izpostavljeni rizičnim stikom. Ker pa je uporaba aplikacije prostovoljna, se pojavljajo dvomi o njeni učinkovitosti. Kljub kompleksnosti procesa širjenja okužb lahko ob določenih predpostavkah izračunamo, s kolikšno verjetnostjo bo aplikacija okuženo osebo obvestila o povečanem tveganju za okužbo in kolikšno verjetnost za okužbo imajo uporabniki, ki jih aplikacija obvesti o majhnem tveganju za okužbo, v primerjavi z osebami, ki aplikacije ne uporabljajo. Na podlagi dobljenih rezultatov pa nato ocenimo potreben delež uporabe aplikacije, ki bi imel resen vpliv na epidemijo, pod pogojem, da bi se vse osebe, ki jih aplikacija obvesti o povečanem tveganju za okužbo, samoizolirale.

## THE EFFECTIVENESS OF #OSTANIZDRAV MOBILE APPLICATION

The #OstaniZdrav (#StayHealthy) mobile application is part of an effort to control the SARS-CoV-2 virus epidemic. Its purpose is to record contacts among people with the goal of anonymously alerting users who have been in contact with an infected person. However, as the use of the application is voluntary, doubts have arisen about its effectiveness. Although the process of infection spreading is complex, we can calculate, under certain assumptions, how likely it is that the app warns an infected person about an increased risk of infection, and how high is the probability of infection for app users who receive a message indicating a lower risk of infection compared to non-users. Based on the obtained results, we then estimate the required share of application use that would have a serious impact on the epidemic, provided that all persons who were warned about an increased risk of infection self-isolate themselves.

Eden od ukrepov za zaježitev širjenja virusa SARS-CoV-2 je tudi mobilna aplikacija #OstaniZdrav, ki sta jo pripravila Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ) in Ministrstvo za javno upravo. Namenjena je beleženju stikov med osebami za potrebe obveščanja o tveganju za okužbo z virusom. Naprave z nameščeno (in vklopljeno) aplikacijo z uporabo tehnologije Bluetooth neprestano oddajajo naključno ustvarjene oddajne kode in hkrati sprejemajo tovrstne kode od drugih naprav v bližini. Prejete kode se hranijo 14 dni, skupaj s podatkom o trajanju stika in oceno razdalje med napravama med trajanjem stika. Oseba, ki ji potrdijo okužbo s koronavirusom, prejme od NIJZ t. i. kodo TAN, ki jo lahko vnese v aplikacijo. S tem sporoči svojo okuženost v osrednji strežnik, ta pa informacijo posreduje naprej drugim uporabnikom aplikacije. Če uporabnik hrani oddajne kode

okužene osebe, mu aplikacija na podlagi dolžine trajanja stika, razdalje med napravama in števila pretečenih dni od stika izračuna tveganje za okužbo (majhno ali večje). Gre sicer za poenostavljen opis za potrebe prispevka, delovanje aplikacije je podrobneje opisano v [1, 2, 5, 8].

Osnovni namen aplikacije je torej obveščanje o povečanem tveganju za okužbo, hkrati pa nudi tudi dodaten občutek varnosti, če nas obvesti, da je naše tveganje za okužbo majhno. Ker pa je število uporabnikov aplikacije precej nizko,<sup>1</sup> se zastavlja vprašanje, koliko nam prejete informacije sploh koristijo.

V prispevku zato odgovorimo na naslednja vprašanja:

1. Kolikšna je verjetnost za okužbo ob stiku z naključnimi osebami (če ne uporabljamo aplikacije)?
2. Za koliko se verjetnost okužbe zmanjša zaradi uporabe aplikacije, če nas ta obvesti o majhnem tveganju za okužbo?
3. Kolikšen del okužene populacije aplikacija prepozna (tj., ga obvesti o povečanem tveganju za okužbo) in kolikšen vpliv na epidemijo bi imela samoizolacija teh oseb?

### Verjetnost okužbe

Na verjetnost okužbe z virusom, kot je SARS-CoV-2, vpliva veliko dejavnikov, npr. s koliko osebami smo bili v stiku, v kakšnih prostorih, koliko časa, ali smo uporabljali zaščitna sredstva, ali so bili naši stiki okuženi, kako dovzetni smo za okužbo, kužnost samega virusa idr. Posledično je dinamika širjenja okužb precej kompleksna, zato bomo za namen lažjega izračuna privzeli nekaj poenostavitev.

Najprej privzemimo, da so srečanja s posameznimi osebami (z vidika prenosa okužbe) med seboj neodvisna in da je verjetnost za prenos okužbe ob stiku z okuženo osebo vedno enaka. Slednje seveda na splošno ne drži, če pa se omejimo na *tvegane stike* (tj., brez uporabe zaščitnih sredstev na razdalji manj kot 1,5 metra za vsaj 15 minut), je lahko verjetnost prenosa precej podobna.

Privzemimo tudi, da so okužene osebe enakomerno porazdeljene po populaciji. Posledično je verjetnost, da je naključna oseba okužena, enaka deležu trenutno okuženih oseb v populaciji.

---

<sup>1</sup>Do 28. 7. 2021 beležijo cca. 384 tisoč prenosov aplikacije [5], a je pričakovati, da se na redni osnovi uporablja v precej manjšem obsegu zaradi namestitvev iz radovednosti in nedosledne uporabe.

In zadnje, osredotočili se bomo na stike v preteklih 14 dneh, saj študije kažejo, da kužnost po tem obdobju v večini primerov preneha [3], prav tako pa se na tej podlagi izračunata število trenutno okuženih oseb [4] kot tudi obdobje tveganih stikov v aplikaciji [1, 2].

Iz navedenih predpostavk sledi, da je verjetnost okužbe odvisna od treh dejavnikov:

- števila stikov, ki smo jih imeli v preteklih 14 dneh (označimo ga z  $n$ ),
- verjetnosti, da je bila oseba, s katero smo bili v stiku, okužena (označimo jo s  $p$ ), in
- verjetnosti za prenos okužbe ob stiku z okuženo osebo (označimo jo z  $x$ ).

Dogodek, da se ob stiku s posamezno osebo okužimo, se zgodi, kadar je bila ta oseba okužena in je hkrati prišlo do prenosa okužbe, za kar je verjetnost  $xp$ . Verjetnost nasprotnega dogodka, tj. da se ob stiku z naključno osebo ne okužimo, je zato enaka  $1 - xp$ . Ker smo privzeli, da so dogajanja, ki se nanašajo na srečanje s posamezno osebo, med seboj neodvisna, je verjetnost, da se ne okužimo ob stiku z  $n$  osebami, enaka  $(1 - xp)^n$ . Verjetnost okužbe ob stiku z  $n$  osebami je tako enaka

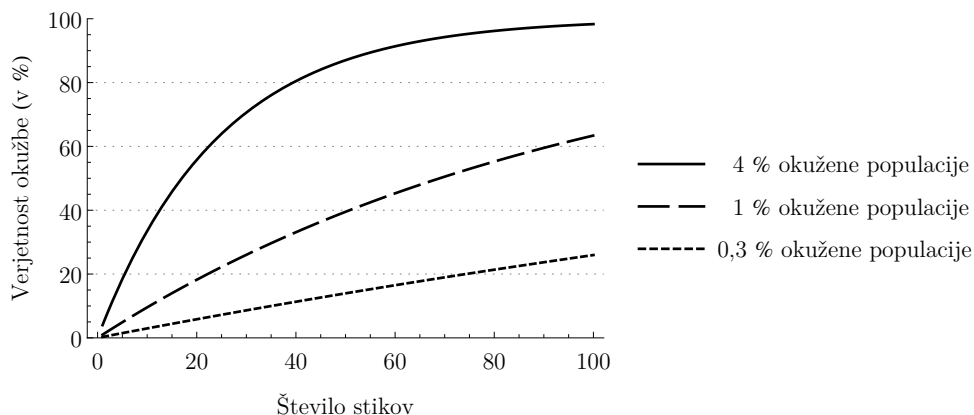
$$P(\text{Poz}) = 1 - (1 - xp)^n. \quad (1)$$

Kot je razvidno iz formule (1), parametra  $x$  in  $p$  enakovredno vplivata na prenos okužbe, zato polovica manjša verjetnost za prenos okužbe pomeni enako kot polovica manjša verjetnost, da srečamo okuženo osebo. Po drugi strani pa se v primeru večjega deleža okužb v populaciji ( $p$ ) z večanjem števila stikov ( $n$ ) hitro povečuje tudi verjetnost, da se okužimo.

**Primer 1.** Denimo, da se ob stiku z okuženo osebo vedno okužimo ( $x = 1$ ). Na sliki 1 je prikazano, kako se z večanjem števila stikov povečuje verjetnost okužbe glede na različen delež okuženih oseb v populaciji.

Vrednosti parametra  $p$  niso izbrane naključno, saj je bilo v Sloveniji na vrhuncu epidemije v začetku 2021 uradno povprečno odstotek okuženih oseb. Po drugi strani pa je bilo stanje okužb po občinah precej različno. Nekaterne so imele v določenem obdobju tudi več kot 4 % okuženih prebivalcev (Kuzma, Velika Polana, Kobilje), medtem ko so imele druge tudi v najslabših razmerah manj kot odstotek okuženih prebivalcev, v povprečju pa okoli 0,3 % (Piran, Kobarid) [6].

Če ste se v obdobju 14 dni srečali s 17 naključnimi osebami v občinah, ki so imele 4 % okuženih prebivalcev, ste s tem prevzeli 50 % tveganje, da



**Slika 1.** Verjetnost za okužbo v odvisnosti od števila stikov glede na različne deleže okuženosti populacije, pri čemer privzamemo, da se ob stiku z okuženo osebo vedno okužimo.

se okužite (*bi si upali vreči kovanec, kjer bi cifra pomenila, da se prostovoljno okužite?*). Po drugi strani pa bi v občinah z 0,3 % okuženih prebivalcev tolikšno verjetnost okužbe dosegli šele ob srečanju z 230 osebami. Število potrebnih srečanj je namreč približno obratno sorazmerno z deležem okuženih oseb, kar sledi iz rešitve enačbe  $1 - (1 - xp)^n = 1/2$ , ki znaša  $n = -\ln(2)/\ln(1 - xp)$  in je za majhne vrednosti produkta  $xp$  približno enaka  $\ln(2)/xp$ .

Predpostavka, da se okužba ob stiku z okuženo osebo vedno prenese, v resnici ni tako problematična. Ocenjuje se namreč, da je dejansko okuženih oseb dva do trikrat toliko, kot je uradno potrjenih [4]. Ker smo upoštevali uradne številke, bi dobili enak rezultat, če bi vzeli npr.  $x = 0,5$  in dvakrat večjo vrednost parametra  $p$ .

### Vpliv uporabe aplikacije na zmanjšanje verjetnosti za okužbo

Aplikacija #OstaniZdrav prikaže uporabnikom dve možni tveganji za okužbo z virusom SARS-CoV-2:

- Če uporabnik ni bil v stiku z nobeno od oseb, ki so v preteklih 14 dneh sporočile okužbo v aplikacijo, bo njegovo tveganje označeno kot majhno.
- Če je bil uporabnik v stiku z osebami, ki so v preteklih 14 dneh sporočile okužbo v aplikacijo, vendar so bili vsi stiki na večji razdalji oziroma kratkotrajni,<sup>2</sup> bo njegovo tveganje še vedno označeno kot majhno.

<sup>2</sup>Aplikacija izračuna tveganje tako, da obdobje od stika, razdaljo med stikom in čas

- Če pa je bil uporabnik v stiku z vsaj eno osebo, ki je v preteklih 14 dneh sporočila okužbo v aplikacijo, in je ta stik trajal dlje časa ter bil na manjši razdalji, bo njegovo tveganje označeno kot večje.

Zaradi poenostavitve izračuna privzemimo, da so vsi stiki *tvegani* (tj., da trajajo dlje časa in so na manjši razdalji) in da so osebe, ki so sporočile okužbo v aplikacijo, imele to ves čas vklopljeno ter so enakomerno porazdeljene po populaciji. Oglejmo si, kolikšna je (pogojna) verjetnost, da smo se okužili, čeprav nam aplikacija kaže majhno tveganje za okužbo.

Da lahko to izračunamo, moramo najprej ugotoviti verjetnost, da nas aplikacija obvesti o majhnem tveganju za okužbo. Definirajmo parameter  $a$ , ki naj predstavlja verjetnost, da naključna oseba s potrjeno okužbo to informacijo sporoči v aplikacijo.<sup>3</sup> Zaradi privzete enakomerne porazdelitve ga lahko izračunamo kot kvocient števila vnesenih kod TAN v aplikacijo in števila novookuženih v določenem obdobju. Dogodek, da nas po stiku s posamezno osebo aplikacija obvesti o povečanem tveganju za okužbo, se zgodi, kadar je bila ta oseba okužena in je okužbo sporočila v aplikacijo, za kar je verjetnost  $ap$ . Po analogiji izračuna verjetnosti iz prejšnjega razdelka (le da namesto okužbe posamezniki prenašajo informacijo o okuženosti) dobimo verjetnost, da nas aplikacija po stiku z  $n$  osebami obvesti o majhnem tveganju za okužbo:

$$P(A_{\text{neg}}) = (1 - ap)^n.$$

Potrebovali bomo tudi verjetnost, da se ne okužimo ob stiku z  $n$  osebami, hkrati pa nas aplikacija obvesti o majhnem tveganju za okužbo. Dogodek, da se ob stiku s posamezno osebo ne okužimo, aplikacija pa nas obvesti o majhnem tveganju za okužbo, se zgodi, če oseba bodisi ni bila okužena bodisi je bila okužena, a tega ni sporočila v aplikacijo, hkrati pa se okužba ni prenesla. Verjetnost za ta dogodek je enaka  $(1-p) + (1-a)(1-x)p = 1 - (a+x-ax)p$ , saj je smiselno privzeti, da je prenos okužbe neodvisen od poročanja okužbe v aplikacijo.<sup>4</sup> Podobno kot zgoraj upoštevamo neodvisnost srečanj z osebami, zato je iskana verjetnost enaka

$$P(\text{Neg} \cap A_{\text{neg}}) = (1 - (a + x - ax)p)^n.$$

---

trajanja stika razdeli na intervale, vsakemu od njih dodeli utež, nato pa te uteži zmnoži in preveri, ali rezultat preseže določeno vrednost.

<sup>3</sup>To sugerira, da bi okužena oseba morala imeti nameščeno aplikacijo. Vendar je za izračun ekvivalentno, če oseba aplikacije ne uporablja, kot če bi jo uporabljala, a vanjo ne bi vnesla kode TAN, ki jo dobi po potrditvi okužbe.

<sup>4</sup>Točneje je reči, da sta dogodek, da se je okužba prenesla od posamezne osebe, in dogodek, da je ta oseba okužbo sporočila v aplikacijo, pogojno neodvisna glede na dogodek, da je ta oseba okužena.

Sedaj lahko izračunamo verjetnost okužbe pod pogojem, da nam aplikacija kaže majhno tveganje za okužbo:

$$\begin{aligned} P(\text{Poz} \mid A_{\text{neg}}) &= 1 - P(\text{Neg} \mid A_{\text{neg}}) = 1 - \frac{P(\text{Neg} \cap A_{\text{neg}})}{P(A_{\text{neg}})} \\ &= 1 - \left( \frac{1 - (a + x - ax)p}{1 - ap} \right)^n \\ &= 1 - \left( 1 - \frac{(1 - a)xp}{1 - ap} \right)^n. \end{aligned} \quad (2)$$

Pri tem izpustimo primer, kjer gornji izraz ni definiran ( $a = p = 1$  in  $n > 0$ ), saj nas tedaj aplikacija vedno obvesti o povečanem tveganju.

Za primerjavo formul (1) in (2) uporabimo binomsko aproksimacijo, ki pravi, da je izraz  $(1 + y)^n$  približno enak  $1 + yn$ , pod pogojem, da je  $|yn| \ll 1$ . Tako za majhne vrednosti produkta  $xpn$  sledi

$$P(\text{Poz} \mid A_{\text{neg}}) \approx \frac{(1 - a)xp n}{1 - ap} \quad \text{in} \quad P(\text{Poz}) \approx xpn,$$

iz tega pa

$$P(\text{Poz} \mid A_{\text{neg}}) \approx \frac{1 - a}{1 - ap} P(\text{Poz}).$$

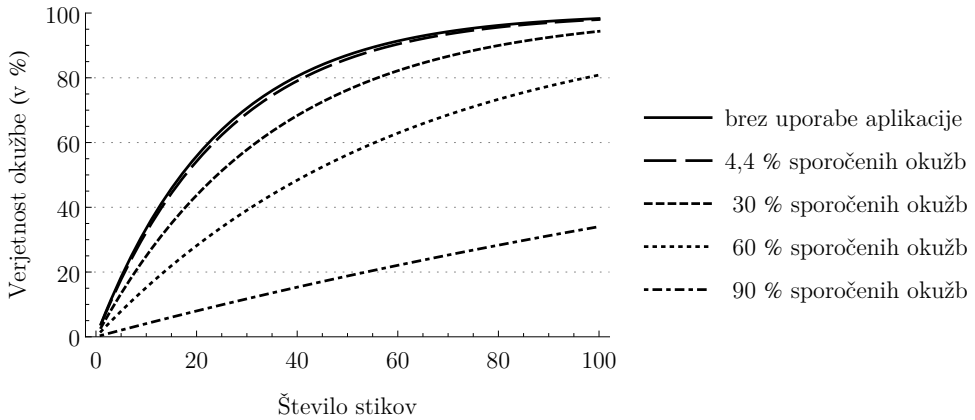
Pri tem opazimo, da približne formule predstavljajo posplošitev eksaktnih formul, ki veljajo v primeru  $n = 1$ .

Kadar je tudi produkt  $ap$  majhen, je razmerje med pogojno in brezpogojno verjetnostjo za okužbo približno enako  $1 - a$ . To pomeni, da se pri enakem številu stikov pogojna verjetnost okužbe zmanjša za približno toliko odstotkov, kot znaša delež sporočenih okužb v aplikacijo.

**Primer 2.** Zopet bomo privzeli, da se okužba ob stiku vedno prenese,<sup>5</sup> okužene pa naj bo 4 % populacije. Oglejmo si (pogojne) verjetnosti okužbe za različne vrednosti parametra  $a$ , kadar aplikacija vrne majhno tveganje za okužbo, v primerjavi z verjetnostjo okužbe pri neuporabi aplikacije (slika 2). Najbolj zanimivo vrednost parametra  $a$  predstavlja dejanski delež okuženih oseb, ki sporočijo okužbo v aplikacijo. Trenutno je ta okoli 4,4 % ([4, 9]; podatki med 7. 4. 2021 in 18. 7. 2021).

<sup>5</sup>Če v formuli (2) zmanjšamo  $x$  in hkrati za enak faktor povečamo  $p$ , izraz sicer ne ostane enak, kot se zgodi v formuli (1), vendar je sprememba kvocienta  $1 - ap$  v  $1 - 2ap$  dovolj majhna, da nima večjega vpliva na rezultat.

## Učinkovitost mobilne aplikacije #OstaniZdrav



**Slika 2.** Verjetnost za okužbo v primeru neuporabe aplikacije v primerjavi s (pogojnimi) verjetnostmi okužbe pri uporabi aplikacije, kadar nas ta obvesti o majhnem tveganju za okužbo, glede na različne deleže sporočenih okužb v aplikacijo ( $p = 0,04$  in  $x = 1$ ).

### Vpliv uporabe aplikacije na zmanjšanje števila okužb

V tem razdelku si oglejmo, kako lahko uporaba aplikacije koristi, če se osebe, ki jih obvesti o povečanem tveganju za okužbo, samoizolirajo in s tem preprečijo širjenje okužb. Najprej nas zanima, koliko okuženih oseb bo aplikacija obvestila o povečanem tveganju za okužbo, kar po analogiji z diagnostičnimi testi imenujemo tudi *občutljivost*.

$$\begin{aligned}
 P(A_{\text{poz}} | \text{Poz}) &= 1 - P(A_{\text{neg}} | \text{Poz}) = 1 - \frac{P(A_{\text{neg}} \cap \text{Poz})}{P(\text{Poz})} \\
 &= 1 - \frac{P(A_{\text{neg}}) - P(A_{\text{neg}} \cap \text{Neg})}{P(\text{Poz})} \\
 &= 1 - \frac{(1 - ap)^n - (1 - (a + x - ax)p)^n}{1 - (1 - xp)^n}. \quad (3)
 \end{aligned}$$

Pri tem izpustimo posebne primere  $x = 0$ ,  $p = 0$  ali  $n = 0$ , saj tedaj ni možnosti za prenos okužbe.

Pri  $n = 1$  opazimo, da je občutljivost aplikacije kar enaka  $a$ . Pri manjšem številu stikov pa si lahko, podobno kot v prejšnjem razdelku, pomagamo z aproksimacijo:

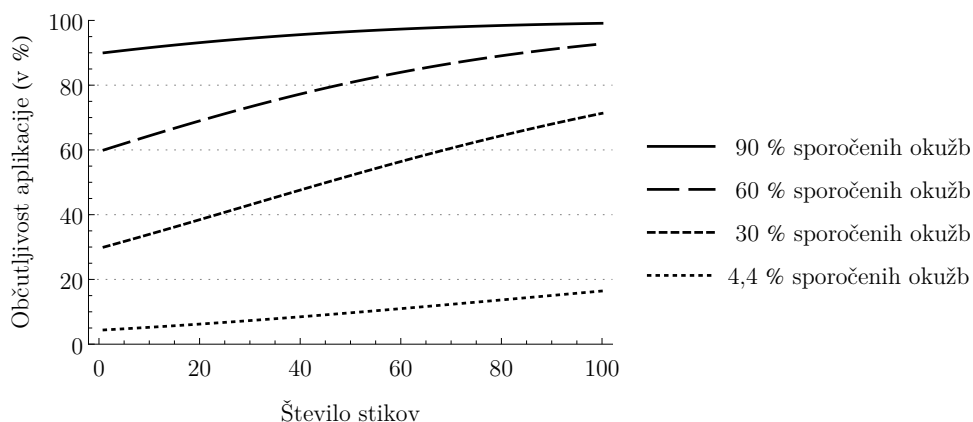
$$P(A_{\text{poz}} | \text{Poz}) \approx 1 - \frac{1 - apn - (1 - (a + x - ax)pn)}{xpn} = a.$$

To pomeni, da je (pogojna) verjetnost, da okužena oseba prejme obvestilo o povečanem tveganju, približno enaka (pogojni) verjetnosti, da oseba

s potrjeno okužbo to sporoči v aplikacijo. Torej je neodvisna od deleža okužene populacije in verjetnosti za prenos okužbe, če le velja  $xpn \ll 1$  in  $apn \ll 1$ .

Obnašanje občutljivosti pri večjem številu stikov pa si je najlažje ogledati na primeru  $x = 1$ , ko postane formula (3) enaka  $\frac{1-(1-ap)^n}{1-(1-p)^n}$ . Ta izraz se z večanjem števila stikov bliža vrednosti 1, hitrost približevanja pa je odvisna od parametra  $p$ .

**Primer 3.** Primerjajmo občutljivost aplikacije v odvisnosti od števila stikov in deleža sporočenih okužb v aplikacijo (slika 3), pri čemer naj bo okužene 4 % populacije, okužba naj se ob stiku vedno prenese.



**Slika 3.** Primerjava občutljivosti aplikacije v odvisnosti od števila stikov glede na različne deleže sporočenih okužb v aplikacijo ( $p = 0,04$  in  $x = 1$ ).

Poglejmo, kako bi lahko vplivali na razvoj epidemije, če bi se vse osebe, ki bi jih aplikacija obvestila o povečanem tveganju, samoizolirale in s tem preprečile širjenje okužbe. Pri tem moramo upoštevati, da rezultat iz formule (3) velja le za uporabnike aplikacije. Označimo, da je delež teh v populaciji enak  $d$ , hkrati pa privzemimo, da so uporabniki aplikacije tako okužene kot neokužene osebe (v enakem razmerju kot v populaciji). Verjetnost, da okužena oseba uporablja aplikacijo in prejme obvestilo o povečanem tveganju, je tako enaka  $dP(A_{\text{poz}} | \text{Poz})$ .

Vpeljimo preprost model rasti, pri katerem je število novih okužb po  $k$  generacijah prenosov enako  $N(k) = N(0)R_0^k$ , kjer je  $N(0)$  število okuženih oseb na začetku in  $R_0$  reprodukcijsko število (tj. povprečno število ljudi, ki jih ena oseba okuži v času svoje kužnosti). Če se osebe, ki dobijo obvestilo



o povečanem tveganju, samoizolirajo, ne prenesejo okužbe naprej in s tem vplivajo na zmanjšanje reprodukcijskega števila, ki postane enako

$$\tilde{R}_0 = (1 - dP(A_{\text{poz}} | \text{Poz}))R_0.$$

Za upad širjenja bolezni je potrebno, da je  $\tilde{R}_0 < 1$ , vendar je treba upoštevati, da se aplikacija že uporablja, zato ravnanja uporabnikov vplivajo na trenutno vrednost  $R_0$ . Denimo, da vse osebe, ki dobijo obvestilo o povečanem tveganju, ravnajo odgovorno in se samoizolirajo. Naj bodo  $a^*$ ,  $d^*$  in  $R_0^*$  trenutni delež sporočenih okužb v aplikacijo, trenutni delež uporabe aplikacije in trenutno reprodukcijsko število. Če je  $n$  dovolj majhen, da lahko  $P(A_{\text{poz}} | \text{Poz})$  aproksimiramo z  $a^*$ , velja  $R_0^* \approx (1 - d^*a^*)R_0$ . Zato je pogoj za upad širjenja bolezni, upoštevajoč trenutne podatke, enak

$$(1 - da) \frac{R_0^*}{1 - d^*a^*} < 1, \quad \text{oziroma} \quad da > 1 - \frac{1 - d^*a^*}{R_0^*}. \quad (4)$$

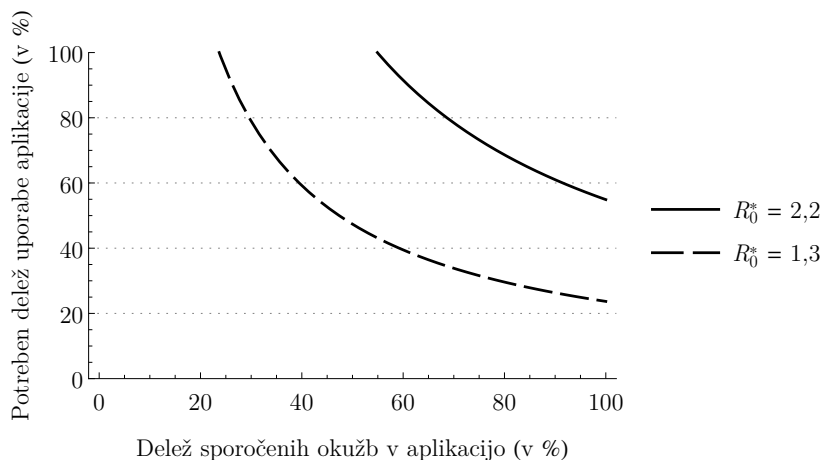
**Primer 4.** Tako trenutni podatki (z dne 12. 7. 2021) kot podatki iz začetka oktobra 2020 (tik preden je epidemija dobila zagon), ocenjujejo reprodukcijsko število na približno 1,3, medtem ko je najvišjo vrednost 2,2 doseglo konec oktobra 2020 [7]. Vzemimo ti dve vrednosti za  $R_0^*$ ,  $a^*$  naj bo 4,4 % in privzemimo, da je  $P(A_{\text{poz}} | \text{Poz}) \approx a^*$  (oziroma približno  $a$  v prihodnosti). Za uporabo neenakosti (4) je treba ugotoviti še trenutni delež uporabnikov aplikacije. Zanj vzemimo kar zgornjo oceno, izhajajočo iz števila vseh prenosov aplikacije (tj.  $d^* = 0,18$  [5]). S tem dobimo malo strožje pogoje, a tudi če bi člen  $d^*a^*$  v neenakosti (4) zanemarili, bi rezultati glede na izbrani vrednosti  $R_0^*$  odstopali za največ dve odstotni točki.

S slike 4 je razvidno, da bi bila v trenutnih razmerah potrebna vsaj 50-odstotna uporaba aplikacije in podoben odstotek sporočenih okužb v aplikacijo, da bi dosegli zmanjšanje širjenja okužb. Pozneje, ko epidemija dobi zagon, pa se potreben odstotek uporabe občutno poveča.

### Zavajajoči učinki aplikacije

Do zdaj smo navajali le pozitivne učinke aplikacije, zato omenimo še potencialno negativne posledice njene uporabe. Kot prvo, določenega deleža okuženih oseb, ki uporabljajo aplikacijo, ne opozori o povečanem tveganju za okužbo. Gre za komplement verjetnosti iz formule (3):

$$P(A_{\text{neg}} | \text{Poz}) = 1 - P(A_{\text{poz}} | \text{Poz}) = \frac{(1 - ap)^n - (1 - (a + x - ax)p)^n}{1 - (1 - xp)^n}.$$



**Slika 4.** Primerjava potrebnega deleža uporabe aplikacije, ki bi povzročila upad števila novih okužb, v odvisnosti od deleža sporočenih okužb v aplikacijo glede na različne vrednosti  $R_0^*$  ( $a^* = 0,044$ ,  $d^* = 0,18$ ,  $P(A_{\text{poz}} | \text{Poz}) \approx a^*$ ).

Pri majhnem deležu sporočenih okužb v aplikacijo je lahko ta verjetnost precej visoka (celo do  $1 - a$ ). Po drugi strani pa aplikacija ne predstavlja nadomestka za diagnostični test, zato se ne pričakuje, da bi ji uporabniki slepo zaupali, ampak bi se v primeru znakov okužbe samoizolirali in testirali.

Drugi potencialno zavajajoči učinek aplikacije pa je, da lahko o povečanem tveganju za okužbo obvesti tudi neokužene osebe. Čeprav je priporočljivo, da osebe, ki jih aplikacija obvesti o povečanem tveganju, izvedejo diagnostični test in s tem zmanjšajo morebiten zavajajoči učinek aplikacije, vseeno preverimo, kolikšna je verjetnost za ta dogodek. Dobimo jo lahko iz formule (2), če med seboj zamenjamo dogodek, da nas oseba ob stiku okuži, in dogodek, da oseba svojo okužbo sporoči v aplikacijo (tj.  $a \Leftrightarrow x$ ). Zato je

$$P(A_{\text{poz}} | \text{Neg}) = 1 - \left(1 - \frac{(1-x)ap}{1-xp}\right)^n.$$

### Zaključek

V prispevku smo pokazali, da uporaba aplikacije #OstaniZdrav pomaga tako pri zmanjšanju verjetnosti za okužbo kot pri identifikaciji okuženih oseb, a je v obeh primerih učinkovitost aplikacije neposredno povezana z deležem sporočenih okužb v aplikacijo.

Uporaba aplikacije sicer pripomore tudi k zmanjšanju novih okužb, a resni učinki, ki bi lahko obrnili smer epidemije, nastopijo šele z redno uporabo

s strani vsaj polovice populacije, in to že v začetni fazi epidemije. Zaradi določenih poenostavitev procesa širjenja okužb in drugih posebnosti epidemije (npr. asimptomatskih prenašalcev okužbe), pa se lahko zgodi, da tudi upoštevanje izračunanih pogojev ne bi nujno privedlo do želenih rezultatov.

K sreči pa aplikacija ni edino orodje v boju proti koronavirusu, ampak služi kot pomoč, ki ob pravilni uporabi predvsem zmanjšuje tveganje za prenos okužbe na druge.

### LITERATURA

- [1] *Aplikacija #OstaniZdrav*, Sledilnik.org, dostopno na [covid-19.sledilnik.org/sl/ostanizdrav](https://covid-19.sledilnik.org/sl/ostanizdrav), ogled 28. 5. 2021.
- [2] *Corona-Warn-App: Documentation*, Deutsche Telekom AG in SAP SE, dostopno na [github.com/corona-warn-app/cwa-documentation](https://github.com/corona-warn-app/cwa-documentation), ogled 28. 5. 2021.
- [3] *Coronavirus disease 2019 (COVID-19) in the EU/EEA and the UK – ninth update*, European Centre for Disease Prevention and Control, 23. 4. 2020, dostopno na [www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/rapid-risk-assessment-coronavirus-disease-2019-covid-19-pandemic-ninth-update](https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/rapid-risk-assessment-coronavirus-disease-2019-covid-19-pandemic-ninth-update), ogled 28. 5. 2021.
- [4] *Dnevno spremljanje okužb s SARS-CoV-2 (COVID-19)*, Nacionalni inštitut za javno zdravje, dostopno na [www.nijz.si/sl/dnevno-spremljanje-okuzb-s-sars-cov-2-covid-19](https://www.nijz.si/sl/dnevno-spremljanje-okuzb-s-sars-cov-2-covid-19), ogled 19. 7. 2021.
- [5] *Mobilna aplikacija #OstaniZdrav*, Urad Vlade Republike Slovenije za komuniciranje, dostopno na [www.gov.si teme/koronavirus-sars-cov-2/mobilna-aplikacija-ostanizdrav](https://www.gov.si teme/koronavirus-sars-cov-2/mobilna-aplikacija-ostanizdrav), ogled 28. 7. 2021.
- [6] *Podatki*, Sledilnik.org, dostopno na [covid-19.sledilnik.org/sl/data](https://covid-19.sledilnik.org/sl/data), ogled 25. 5. 2021.
- [7] *Projekcije širjenja COVID-19 v Sloveniji*, Institut Jožef Stefan, Odsek za reaktorsko tehniko, dostopno na [r4.ijs.si/COVID19](https://r4.ijs.si/COVID19), ogled 15. 7. 2021.
- [8] *Skrivnosti aplikacije #OstaniZdrav*, Sledilnik.org, 28. 10. 2020, dostopno na [medium.com/sledilnik/vse-kar-ste-si-vedno-%C5%BEeleli-vedeti-o-aplikaciji-ostanizdrav-in-%C5%A1e-malo-ve%C4%8D-82352674e9ad](https://medium.com/sledilnik/vse-kar-ste-si-vedno-%C5%BEeleli-vedeti-o-aplikaciji-ostanizdrav-in-%C5%A1e-malo-ve%C4%8D-82352674e9ad), ogled 28. 5. 2021.
- [9] *Statistični podatki aplikacije #OstaniZdrav*, Nacionalni inštitut za javno zdravje, dostopno na [podatki.gov.si/dataset/statisticni-podatki-aplikacije-ostanizdrav](https://podatki.gov.si/dataset/statisticni-podatki-aplikacije-ostanizdrav), ogled 19. 7. 2021.

<http://www.dmfa-zaloznistvo.si/>