

Modeliranje čakalnih vrst in uspešnosti presaditev organov

David Blazheski, Teodora Trajkova, Ivana Kerkez

Fakulteta za elektrotehniko, I letnik MAG, Smer: Avtomatika in informatika

Povzetek

Presaditev ledvice je ključnega pomena za bolnike s kronično ledvično odpovedjo, ki potrebujejo trajno rešitev za izboljšanje kakovosti življenja. Zaradi omejenega števila darovalcev so čakalne liste za presaditve dolge, kar zahteva učinkovito upravljanje in razumevanje dinamike sprememb. V tem projektu smo razvili dva dinamična modela v orodju AnyLogic, s katerima smo analizirali vpliv različnih dejavnikov na čakalno listo in število izvedenih presaditev ledvic v Evropi.

Prvi model opisuje spremembe čakalne liste glede na prehajanje oseb med različnimi stanji (npr. aktivno čakanje, neprimernost, presaditev). Drugi model analizira vpliv števila darovalcev in presaditev na spremembe dolžine čakalne liste. Oba modela temeljita na matematičnih enačbah in zgodovinskih podatkih, rezultati simulacij pa so predstavljeni z generiranimi grafi.

1 Uvod

Presaditev organov je eden največjih dosežkov sodobne medicine, ki omogoča podaljšanje in izboljšanje kakovosti življenja številnim bolnikom po vsem svetu. Kljub velikemu medicinskemu napredku pa ostaja proces presaditve izjemno kompleksen in odvisen od številnih dejavnikov, kot so razpoložljivost organov, združljivost med darovalcem in prejemnikom ter zdravstveno stanje pacienta.

Ljudje potrebujejo presaditev organov iz različnih razlogov, najpogosteje zaradi odpovedi vitalnih organov, ki jih ni mogoče več zdraviti z drugimi metodami. Kronične bolezni, kot so srčno popuščanje, ledvična odpoved, ciroza jeter ali huda pljučna bolezen, lahko močno poslabšajo kakovost življenja in so v mnogih primerih smrtonosne, če pacient pravočasno ne prejme novega organa. Pri nekaterih bolnikih je presaditev edina možnost za preživetje.

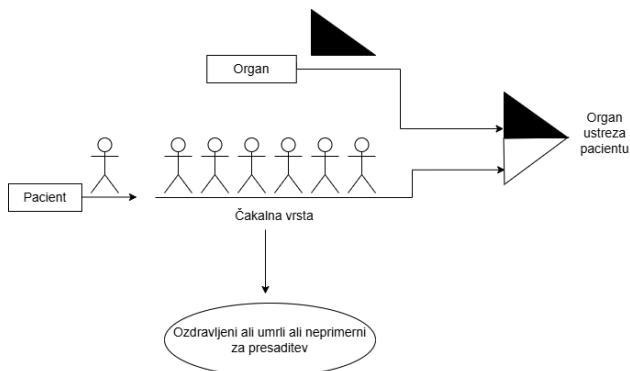
Kljub visoki potrebi po organih pa razpoložljivost darovalcev ostaja omejena, kar povzroča dolge čakalne dobe. Zaradi tega je ključno, da se organi razdelijo na najbolj učinkovit način ter da se presaditve izvajajo z največjo možno stopnjo uspešnosti. Prav tu pridejo v ospredje matematični modeli, ki pomagajo pri ocenjevanju primernosti organov, napovedovanju izida presaditve in optimizaciji čakalnih seznamov.

V tem poročilu bomo obravnavali dva dinamična modela, ki prikazujeta delovanje in spremembe čakalne liste

za presaditev ledvic v Evropi. Prvi model se osredotoča na prehajanje pacientov med različnimi kategorijami na čakalni listi, kot so aktivni čakajoči, prejemniki presaditve, neprimerni kandidati in umrli. Drugi model preučuje vpliv števila darovalcev in opravljenih presaditev na skupno dolžino čakalne liste. S pomočjo pridobljenih rezultatov bomo analizirali, kako se čakalna doba spreminja glede na razpoložljivost organov ter kateri dejavniki imajo največji vpliv na zmanjšanje števila čakajočih.

2 Sprememba čakalne vrste

Čakalna lista za presaditev organov je dinamična in se stalno spreminja glede na različne dejavnike. Slika 1 predstavlja proces dodeljevanja ledvic pacientom, ki se nahajajo na čakali vrsti. Diagram prikazuje ključne faze tega postopka, od uvrstitve pacienta na seznam do končne dodelitve organa ali izločitve pacienta iz čakalne vrste.



Slika 1: Diagram poteka spremembe statusa čakalne vrste.

Postopek presaditve organov se začne s pacientom, ki potrebuje presaditev. Tak pacient je uvrščen na čakalno listo, kjer čaka na razpoložljiv organ. Ko postane organ na voljo, se izvede postopek preverjanja in dodelitve. Če organ ustreza določenemu pacientu, se izvede presaditev.

Medtem lahko pacienti čakalno vrsto zapustijo iz različnih razlogov, kot so: uspešno zdravljenje, smrt, ali pa, postanejo neprimerni za presaditev zaradi poslabšanja zdravstvenega stanja.

2.1 Matematični model

Matematični model spremembe čakalne vrste opisujejo naslednje diferencialne enačbe, ki so pretoki med stanji skozi čas:

$$\frac{dL_{\text{aktivni}}}{dt} = -r_{\text{smrti}}L_{\text{aktivni}} - r_{\text{neprimerni}}L_{\text{aktivni}} - r_{\text{presajeni}}L_{\text{aktivni}} - r_{\text{okrevanje}}L_{\text{aktivni}} - r_{\text{drugo}}L_{\text{aktivni}}$$

$$\frac{dL_{\text{umrli}}}{dt} = r_{\text{smrti}}L_{\text{aktivni}}$$

$$\frac{dL_{\text{neprimerni}}}{dt} = r_{\text{neprimernost}}L_{\text{aktivni}}$$

$$\frac{dL_{\text{presajeni}}}{dt} = r_{\text{presaditev}}L_{\text{aktivni}}$$

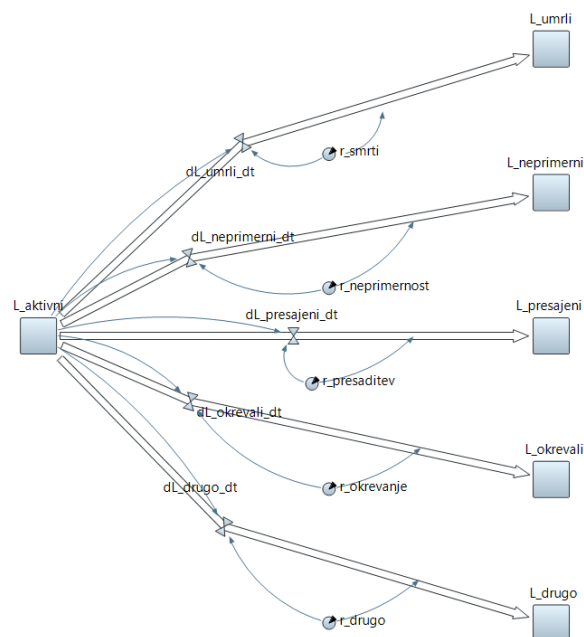
$$\frac{dL_{\text{okrevali}}}{dt} = r_{\text{okrevanje}}L_{\text{aktivni}}$$

$$\frac{dL_{\text{drugo}}}{dt} = r_{\text{drugo}}L_{\text{aktivni}}$$

Kjer so bolniki na čakalni listi razvrščeni v več skupin glede na njihov status:

- $L_{\text{aktivni}}(t)$: Število oseb aktivno na čakalni vrsti
- $L_{\text{umrli}}(t)$: Število oseb, ki so umrle med čakanjem
- $L_{\text{neprimerni}}(t)$: Število oseb, ki niso več primerni za presaditev
- $L_{\text{presajeni}}(t)$: Število oseb, ki so bili presajeni
- $L_{\text{okrevali}}(t)$: Število oseb, ki so se okrevali in ne potrebujejo več presaditve
- $L_{\text{drugo}}(t)$: Število oseb, ki so zapustile listo iz drugih razlogov (npr. prostovoljni odstop, selitev itd.)

Prehodi med stanji so definirani s stopenjskimi parametri, kot so umrljivost r_{smrti} , stopnja presaditev $r_{\text{presaditev}}$, stopnja okrevanja $r_{\text{okrevanje}}$, itd. Stopnje prehoda (r) smo določili na podlagi zgodovinskih podatkov v določenem obdobju. Na sliki 2 je prikazana shema spremembe čakalne vrste, ki smo jo modelirali v programskem okolju AnyLogic.

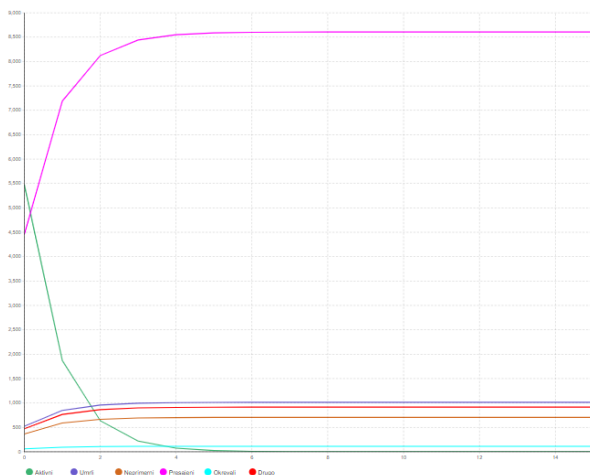


Slika 2: Shema spremembe čakalne vrste modelirana v AnyLogic.

Status	Začetna vrednost	Stopenjski parameter
Aktivni	5472	
Umrli	525	0.09594
Neprimerni	365	0.06670
Presajeni	4458	0.81469
Okrevali	58	0.01059

Tabela 1: Začetne vrednosti posameznih skupin pacientov in vrednosti različnih stopenjskih parametrov:

Graf, na sliki 3 prikazuje dinamiko različnih skupin pacientov v čakalni vrsti za presaditev ledvic, skozi čas.



Slika 3: Dinamika različnih skupin pacientov v čakalni vrsti.

Na začetku je število aktivnih pacientov (zeleno krivulja) visoko, nato pa hitro upade, kar pomeni, da se bodisi presaditve uspešno izvajajo ali pa pacienti prehajajo v druge kategorije (npr. umrli ali neprimerni). Oranžna krivulja je relativno stabilna, kar nakazuje, da se manjši delež pacientov skozi čas izloči iz čakalne vrste zaradi neustreznosti ledvice. Lahko vidimo da vijolična krivulja narašča in se stabilizira, kar kaže na uspešne presaditve in okrevanje pacientov.

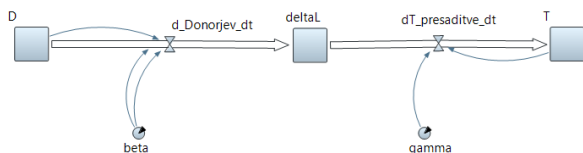
2.2 Model vpliva donorjev in presaditev

Matematični model za oceno vpliva števila darovalcev (D) in števila presaditev (T) na spremembe dolžine čakalne vrste je izražen kot:

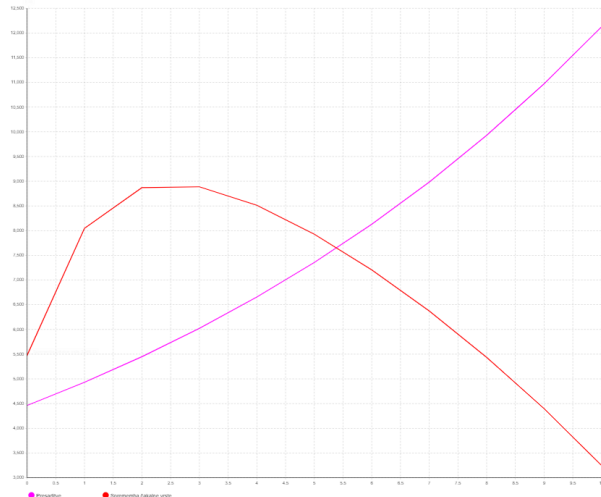
$$\Delta L = \beta dD - \gamma dT$$

Pri tem je L sprememba dolžine čakalne vrste, stopnja spremembe čakalne vrste glede na število donorjev, stopnja zmanjšanja čakalne vrste glede na presaditve.

Shema modela izdelana v AnyLogic je prikazana na sliki 4.



Slika 4: Shema spreembe čakalne vrste glede na število donorjev in presaditev modelirana v AnyLogic.



Slika 5: Dinamika spremembe čakalne vrste glede na število donorjev in presaditev.

Graf na sliki 5 prikazuje dinamiko presajenih pacientov in spremembo čakalne vrste skozi čas. Vijolična krivulja (presajeni) stalno raste, kar kaže, da se transplantacije izvajajo neprekinjeno in pacienti prejemajo ledvice. Po uspešni presaditvi se čakalna vrsta zmanjšuje.

Zaključek

Rezultati simulacije kažejo, da je število darovalcev ključen dejavnik pri upravljanju čakalne liste za presaditev ledvic. Večje število razpoložljivih organov bi bistveno skrajšalo čakalne dobe in zmanjšalo umrljivost pacientov. Prav tako je jasno, da bi izboljšanje ujemanja med darovalcem in prejemnikom ter optimizacija dodeljevanja organov lahko dodatno izboljšala izide presaditev.