

Riigikogu valimiste ringkonnad

Dokumentatsioon

28.06.2024

Jesús Alva-Samos, Ariana Cortés Ángel, Annegrete Molloka (annegrete.molloka@ut.ee)

1 Lähteülesanne

Eesmärk on simuleerida Riigikogu valimiste valimisringkondade piire. Ringkondade leidmisel peab järgima järgmised tingimusi:

- **Terviklikkus:** Iga haldusüksus peaks kuuluma täpselt ühte ringkonda (v.a Tallinn).
- **Tasakaal:** Ringkondades peaks olema (ligikaudu) sama arv valijaid.
- **Pidevus:** Iga omavalitsus antud ringkonnas peab olema ühendatud teiste omavalitsustega antud ringkonnas.
- **Kompaktsus:** Ringkonnad minimeerivad näiteks ringi raadiust, mille sisse kogu ringkond mahub.
- **Hääle kaalu tasakaal:** Valija hääle kaal peaks olema ringkondade vahel võimalikult sarnane.

Algparameetrid

- **Omavalitsuste arv:** Eestis on 79 omavalitsust.
- **Mandaadid:** Riigikogus on 101 mandaati.
- **Ringkonnad:** Kogu riigis peaks ringkondade arv olema vahemikus 6 kuni 16.
 - ◇ Ringkondade mandaatide arv peaks olema ligikaudu sama, maksimaalne erinevus peaks olema ± 2 (v.a Tallinn).
 - ◇ Ringkondade valijatel peaks olema ligikaudu sama hääle kaal, kus

$$\text{hääle kaal} = \frac{\text{mandaatide arv}}{\text{valijate arvuga}},$$

aluseks on võetud 2023. aasta Riigikogu valimiste valimisõiguslike inimeste arvud.

Erandid

1. **Tallinn.** Tulenevalt selle suurusest ja halduslikest omadustest käsitletakse Tallinna eraldi:
 - Tallinnas on 30,2% valijatest ja see koosneb 8 linnaosast, mis moodustavad oma ringkonnad (2-5 ringkonda).
 - Tallinn saab 30 mandaati, ülejäänud Eestile jääb 71 mandaati.
 - Tallinna ringkondadele ei kehti ± 2 mandaatide arvu erinevus.
2. **Tartu.** Suuremate ringkondade arvu korral käsitletakse Tartut eraldi ringkonnana:
 - Tartus on 7,6% valijatest.
 - Tartu saab 8 mandaati, ülejäänud Eestile jääb 63 mandaati (Tallinn välja arvatud).

Valimisringkondade jaotumine

Järgmine tabel näitab, kuidas tuleb kokku k ringkonda, kus $6 \leq k \leq 16$ ja arvestades Tallinnas, Tartus ja ülejäänud Eestis olevat valijate arvu.

Tabel 1: Ringkondade arv piirkondade kaupa, kus k on kogu ringkondade arv Eestis.

k	Tallinn	Tartu	Ülejäänud Eesti
6	2	0	4
7	2	0	5
8	2	0	6
9	3	0	6
10	3	0	7
11	3	0	8
11	3	1	7
12	4	0	8
13	4	1	8
14	4	1	9
15	4	1	10
16	5	1	10

2 Eeltöö

Analüüsi aluseks on 2023. aasta Riigikogu valimiste valijate arvud, Eesti kaardi andmed ja 2023. aasta detailsed valimistulemused.

2023. aasta valijate arvude tabelis oli igas ringkonnas ka välisriigis elavad valijad. Need valijad jaotati antud ringkonna omavalitsuste vahel proportsionaalselt. Detailsed valimistulemused sisaldavad iga kandidaadi saadud hääli igas omavalitsuses.

Eesti kaardi andmed on võetud Maa-ameti lehelt ¹. Kaardiandmete (OV merepiirini faili) põhjal leiti igale omavalitsusele naabrid. Osasid merepiire ei arvestata naabrite leidmiseks. Me ei loe järgnevaid omavalitusi naabriteks, kuigi neil on merepiir:

- Tartu vald ja Räpina vald,
- Räpina vald ja Peipsiääre vald,
- Hiiumaa vald ja Lääne-Nigula vald,
- Haapsalu linn ja Lääneranna vald,
- Saaremaa vald ja Lääneranna vald,

¹<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Haldus-ja-asustusjaotus-p119.html> failid "Omavalitsus SHP" ja "OV merepiirini SHP" (31.01.2024)

- Kihnu vald ja Lääneranna vald.

Analüüsi lihtsustamiseks on osad omavalitsuses naabriga kokku pandud ning Tallinn ja Tartu on eraldi vaadatud. Näiteks väiksemad saared on ühendatud loogiliste naabritega ja omavalitsused, kellel oli ainult 1 naaber, on ühendatud oma ainsa naabriga.

Tabel 2: Nimekiri omavalitsustest, mis on erandid analüüsis.

* Tartu on eraldiseisev suuremate ringkondade arvude korral.

Omavalitsus	Eraldi/ühendatud	Põhjus
Tallinn	Eraldi	
Tartu linn	Eraldi*	
Muhu vald	Ühendatud Saaremaa vallaga	Väike saar
Ruhnu vald	Ühendatud Saaremaa vallaga	Väike saar
Vormsi vald	Ühendatud Haapsalu linnaga	Väike saar
Kihnu vald	Ühendatud Pärnu linnaga	Väike saar
Loksa linn	Ühendatud Kuusalu vallaga	Ainus naaber
Narva linn	Ühendatud Narva-Jõesuu linnaga	Ainus naaber
Viljandi linn	Ühendatud Viljandi vallaga	Ainus naaber
Võru linn	Ühendatud Võru vallaga	Ainus naaber
Maardu linn	Ühendatud Jõelähtme vallaga	Ainus naaber, kui Tallinn väljas
Viimsi vald	Ühendatud Jõelähtme vallaga	Ainus naaber, kui Tallinn väljas

Järele jääb 68 omavalitsust väiksemate ringkondade arvu korral ja 67 omavalitsust suuremate ringkondade arvu korral.

Võimalikud lähenemised

Esimene meetod lahenduste leidmiseks on vaadata läbi kõik võimalikud jaotused, kus omavalitsused jaotatakse k ringkonda, ja seejärel kontrollida, millised neist jaotustest vastavad probleemi kirjelduses seatud tingimustele.

Allpool olev Tabel 3 näitab Tallinnale ja ülejäänud Eestile sobivate k -jaotuste koguarvu, arvestades, et Tallinnas on 8 linnaosa ja ülejäänud Eestis on 67 või 68 omavalitsust.

Tabel 3: K -jaotuste koguarv, kus k on ringkondade arv piirkonna kohta. Vasak tabel on Tallinna jaoks, keskmine tabel on ülejäänud Eesti jaoks, sealhulgas Tartu, ja parem tabel on ülejäänud Eesti jaoks, välja arvatud Tartu.

Tallinn		Ülejäänud Eesti Tartuga		Ülejäänud Eesti Tartuta	
k	Kombinatsioonide arv	k	Kombinatsioonide arv	k	Kombinatsioonide arv
2	127	4	3.62×10^{39}	4	9.07×10^{38}
3	966	5	2.82×10^{45}	5	5.64×10^{44}
4	1700	6	1.14×10^{50}	6	1.90×10^{49}
5	1050	7	5.80×10^{53}	7	8.29×10^{52}
		8	6.37×10^{56}	8	7.96×10^{55}
		9	2.12×10^{59}	9	2.36×10^{58}
		10	2.73×10^{61}	10	2.73×10^{60}

Nendest tabeli väärtustest on selge, et mainitud lähenemist saab tõepoolest rakendada lahenduste leidmiseks Tallinna puhul. Tallinna puhul on leitud kõik võimalikud kombinatsioonid, nendest on valitud valikud, kus ringkonnad on pidevad (ringkonda kuulusid ainult naabrid). Järgmiseks on arvutatud igale ringkonnale valijate arv, mandaatide arv ja valijate arvud mandaadi kohta ning valitud jaotused, kus need on kõige sarnasemad.

Isegi pärast algse probleemi vähendamist 79 omavalitsuselt 68 või 67 omavalitsusele, on siiski võimatu kontrollida, kas iga 67 omavalitsuse võimalik jaotus k ringkonnaks, kus $4 \leq k \leq 10$, vastab seatud tingimustele. See on võimatu, kuna jaotuste arv on suurem kui universumi algusest möödunud sekundite arv, mis on umbes $\approx 4.36 \times 10^{17}$ sekundit.

See muudab võimatuks lahendada ülejäänud Eesti probleemi kasutades jõumeetodit. Seetõttu on vaja välja töötada heuristiline meetod, mis suudab genereerida lahenduste kogumi, mis vastavad seatud kriteeriumidele, isegi kui need erinevad optimaalsest lahendusest.

3 Graafimudel

Graaf või *võrgustik* G on järjestatud paar eristuvatest hulkadest (V, E) , kus V on graafi G tippude hulk ja E on graafi G servade hulk. Iga serv hulgas E on moodustatud paari tippudega hulgas V . Graafi kujutatakse tavaliselt diagrammina, kus iga tipp hulgas V vastab unikaalsele punktile tasandil, ja iga serv on esitatud joonena, mille otspunktideks on kaks tippu, mis on antud servas kaasatud.

Meie probleemi puhul ehitatakse kaalutud graaf, kus iga omavalitsus on üks tipp, ja serv kahe tipu vahel lisatakse graafi ainult siis, kui vastavad omavalitsused on naabrid. Samuti, tipu kaal on võrdne vastava omavalitsuse valijate arvuga. Seega on probleemiks leida graafi n tipu tasakaalustatud ühendatud k -jaotus. Sellise jaotuse leidmine on teadaolevalt kõrge keerukusega, kuna n kasvades kasvab arvutuste keerukus eksponentsiaalselt.

Algoritm

Selles töös välja töötatud algoritm põhineb laiushõlvsuse (Breadth-First Search, BFS) algoritmil, kuid meie puhul valitakse mitu alguspunkti, erinevalt unikaalsest tipust, mida kasutatakse BFS-is. BFS-ist pärit struktuur teenib kahte eesmärki. Esiteks tagab see, et iga loodud ringkond on ühendatud, ja teiseks, et ringkonnad moodustatakse nii kompaktselt kui graafi tingimused seda võimaldavad.

Kui oleks võimalik leida täiuslikult tasakaalustatud jaotus, oleks iga ringkonna valijate arv võrdne kogu valijate arvu jagamisega ringkondade arvuga. Kuna aritmeetiliselt on võimatu leida sellist jaotust, on mõnedel ringkondadel vähem kui optimaalne valijate arv ja teistel rohkem. Seda silmas pidades lisasime algoritmi valijate piiri kasutamise, et vältida liiga suurte ringkondade moodustamist, mis on defineeritud järgmiselt:

$$\text{valijate piir} = \frac{\text{kogu valijate hulk}}{\text{ringkondade arv}} + \text{varu}$$

Esimene element selles summas on optimaalne ringkonna valijate arv, samas kui teine element - *varu* - on lisakogus, mis arvestab lubatud üleliigset valijate arvu, mis mõnedel ringkondadel võib olla. Meie puhul määrasime varu ligikaudu sama suureks kui mandaadi kvoot, st kogu elanikkond jagatud mandaatide arvuga.

Kuna selle algoritmi peamine eesmärk on genereerida tasakaalustatud ühendatud k -jaotus graafi tippudest, alustame k tipu valimisega, mida nimetame juurteks. Iga k erinev ringkond kasvab nende juurte ümber algoritmi jooksul. Ringkondade kasvades jälgib algoritm iga ringkonna valijate arvu igas iteratsioonis, et tagada, et ükski ringkond ei ületa valijate piiri.

Samuti jälgib algoritm iga ringkonna jaoks *järjekorda*, mis toimib ooteloendina tippudest, mis on võimalikud kandidaadid igasse ringkonda lisamiseks. Need järjekorrad uuendatakse igas iteratsioonis ja võivad kasvada või väheneda sõltuvalt teatud tingimustest. Kui lisame iga juure vastavasse ringkonda, lisatakse iga juure naabertipud vastavatesse järjekordadesse. Pange tähele, et tipud võivad olla korraga mitmes järjekorras. Näiteks, kui tipu naaber on kahe juurega, lisatakse see tipp mõlemasse järjekorda.

Igas iteratsioonis kontrollib algoritm, kas üheski järjekorras on elemente. Kui kõik järjekorrad on tühjad, tähendab see, et pole rohkem tippe, mida võiks potentsiaalselt lisada ühtegi ringkonda. Sel juhul algoritm peatub ja saame tulemuseks loodud jaotuse. Vastasel juhul tuleb määrata *top tippude* komplekt. Iga järjekorra kohta valitakse maksimaalselt üks tipp kui tipp. Selleks skaneeritakse iga järjekord tipp-tipu kaupa, kuni leitakse tipp. See määratakse järgmiste kontrollide kaudu:

- Kui tipp on juba määratud mõnele ringkonnale, eemaldatakse see järjekorrast ja liigutakse järgmise tipu juurde järjekorras.
- Kui ringkonna praegune elanikkond koos tipu elanikkonnaga ületab elanike piiri, eemaldatakse tipp järjekorrast ja liigutakse järgmise tipu juurde järjekorras. Vastasel juhul on tipp järjekorra tipus ja lisatakse komplekti.

Kui kõik tippud on leitud, valitakse suurima valijate arvuga tipp. See tipp lisatakse vastavasse ringkonda, mis vastab järjekorrale, kust tipp valiti, ja ringkonna valijate arvu uuendatakse. Samuti eemaldatakse tipp järjekorrast ja selle naabrid lisatakse samasse järjekorda. Iteratsioon lõppeb ja algoritm jätkub. Algoritmi pseudokood on lisas.

Iga ringkondade arvu korral võeti juhuslik valim võimalikest juurte kombinatsioonidest. Valimi suuruseks oli 10% kõigist valikutest või 1 miljon kombinatsiooni, valides neist väiksem. Tulemustest

eemaldati valikud, kus mõni tipp jäi ringkonnata või ringkondade valijate arvude vahe oli liiga suur (lubatud vahe oli kuni 15 000 valijat). Ülejäänutest võeti ainult unikaalsed tulemused. Iga ringkonna arvu korral jäi valikusse 984 kuni 9424 jaotust.

4 Järelanalüüs

Kõigist leitud kombinatsioonidest on valitud top 50 kõige tasukaalukamat valikut põhinedes häälekaalul, kui mandaati arv ei erine rohkem kui 2 võrra. Nendele 50 valikule on arvutatud keskmine ringkonna kompaktsus, kui keskmine ringi, mille sisse ringkond ära mahub, raadius kui

$$\text{keskmine raadius} = \frac{\sum_{i=0}^k \text{kaugus ringkonna } \textit{centroidi} \text{ ja kaugeima piiripunkti vahel (km)}}{k}.$$

Need kaardi arvutused põhinevad failile Omavalitsus SHP. Neist on välja visatud väikesaared, mille pindala on väiksem kui 1 ruutkilomeeter. Lisaks arvutuste kiirendamiseks on piirjooni veidi silutud.

Arvestades arvutatuid näitaid ja ringkondade kaarte, valiti koostöös Valimisteenistusega välja lõppraporti valikud. Igale valikule lisati Tallinna ja Tartu, kui Tartu oli eraldi, ringkonnad. Lõppvalikule arvutati ka valimistulemus, mis oleks olnud 2023. aasta valimistel.

Me eeldame valimistulemuste genereerimisel, et uued ringkonnad ei muuda valijate käitumist ja nad oleks samamoodi hääletanud. 2023. aasta Riigikogu valimistel ei saanud ükski üksikkandidaat ega väikeste erakondade kandidaadid isikumandaati täis, seega uute valimistulemuste genereerimisel ei saa ka need kandidaadid mandaati. 101 mandaati jaotatakse Riigikokku pääsenud erakondade vahel.

Valimistulemuste genereerimisel ei arvestata isikumandaate. Igale ringkonnale arvutatakse ringkonnakvoot, kui

$$\text{ringkonnakvoot} = \frac{\text{hääletanute arv ringkonnas}}{\text{mandaatide arv ringkonnas}}.$$

Erakond saab nii mitu mandaati, kui mitu korda ületab summeeritud häälte arv ringkonnakvooti. Kui erakond kogub ringkonnas hääli vähemalt 75% ringkonnakvoodist, või kui erakonna häälte jääk pärast ringkonnamandaatide jaotamist on suurem kui 75% ringkonnakvoodist, saab erakond selle eest ühe ringkonnamandaadi. Kõik kasutamata mandaadid lähevad kompensatsioonimandaatideks. d'Hondti jagajate meetodi järgi arvutatud võrdlusarvude alusel jaotatakse kompensatsioonimandaadid.

Lõppraportis "Riigikogu uute valimisringkondade valikud" on 38 valikut. Iga valiku kohta on kaart ja täpsem ringkonna info. Iga ringkonna kohta on välja toodud:

- omavalitused antud ringkonnas,
- valijate arv 2023. aasta valimiste ajal,
- mandaatide arv,
- valijaid mandaadi kohta,
- genereeritud valimistulemus.

Lisa

Algoritmi pseudokood

Algorithm Algoritm: Tasakaalustatud ühendatud k -jaotuse genereerimise algoritm.

Input: Kaalutud graaf G koos n tipuga.

Tippude komplekt $R = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}$, kust jaotus algab. Neid tippe nimetatakse juurteks.

Arv t , mis näitab maksimaalset lubatud valijate arvu ringkonnas.

Output: V jaotus k või $k + 1$ peresse (kus R_0 võib olla tühi).

```
for  $v \in V$  do
    ringkond( $v$ )  $\leftarrow 0$ 
end for
for  $i \in \{1, 2, \dots, k\}$  do
    ringkond( $r_i$ )  $\leftarrow i$ 
     $R_i \leftarrow \{r_i\}$ 
     $V_i \leftarrow \text{valijaid}(r_i)$ 
     $Q_i \leftarrow [N(r_i)]$ 
end for
while  $\bigcup_{i=1}^k Q_i \neq \emptyset$  do
     $H \leftarrow \{\}$ 
    for  $i \in \{1, 2, \dots, k\}$  do
        while  $Q_i \neq \emptyset$  do
            if ringkond(head( $Q_i$ ))  $\neq 0$  or valijaid(head( $Q_i$ )) +  $V_i > t$  then
                dequeue( $Q_i$ )
            else
                 $H \leftarrow H \cup \{(\text{head}(Q_i), i)\}$ 
            end if
        end while
    end for
    if  $H \neq \emptyset$  then
         $(u, p) \leftarrow \max\{\text{valijaid}(w) \mid (w, q) \in H\}$ 
        ringkond( $u$ )  $\leftarrow p$ 
         $R_p \leftarrow R_p + \{u\}$ 
         $V_p \leftarrow V_p + \text{valijaid}(u)$ 
        enqueue( $Q_p, N(u)$ )
        dequeue( $Q_p$ )
    end if
end while
 $R_0 \leftarrow \{v \in V \mid \text{ringkond}(v) = 0\}$ 
return ( $R_0, R_1, R_2, \dots, R_k$ )
```

▷ Kõikide tippude v puhul hulgas V tee
▷ 0 tähendab, et tipul v pole määratud ringkonda
▷ Iga ringkonna korral
▷ Määrake tipule v ringkond
▷ Ringkonna i praegused elemendid
▷ Ringkonna i praegune valijate arv
▷ Ringkonna i järjekord
▷ Kuni vähemalt üks Q_i pole tühi tee
▷ Tühjendage H komplekt
▷ Iga ringkonna korral
▷ Kuni Q_i pole tühi tee
▷ Eemaldage tipp järjekorrast
▷ Vastasel juhul
▷ Lisage tipp komplekti H
▷ Kui H pole tühi, siis
▷ Valige suurima elanikkonnaga tipp
▷ Määrake tipule ringkond
▷ Lisage tipp ringkonna p elementide hulka
▷ Uuendage ringkonna p valijate arvu
▷ Lisage tipu naabrid ringkonna p järjekorda
▷ Eemaldage tipp järjekorrast
▷ Tipud, millel pole määratud ringkonda
▷ Tagasta ($R_0, R_1, R_2, \dots, R_k$)
