

# Toteutusdokumentaatio: Tietorakenteiden ja algoritmien harjoitustyö

Aika: Periodi 3, kevät 2018

Tekijä: Oskari Koskinen

Opiskelijanumero: 014708767

## 1.0 Johdanto

Tämän ohjelmistoprojektin tarkoitus oli tehdä yksinkertaistettu versio Carcassonne -lautapelistä ja kaksi erilaista tekoälyä siihen. Peli on yksinkertaistettu alkuperäisestä siten, että siinä on vain linna- ja peltolaattoja. Peltolaatat ovat myös kaikki identtisiä toisiinsa verrattuna. Pelaajat saavat pisteitä valtaamalla linnoja asettamalla niihin seuraajiaan. Kuten alkuperäisessä pelissä, myös tässä versiossa seuraajan voi asettaa vain linnaan, jossa ei ole jo lainkaan seuraajia.

Tekoälyt ovat toiminnaltaan suunniteltu erilaisiksi. Ensimmäinen peliin tehty tekoäly on nopea ja keskittyy pelin välittömän tilanteen arviointiin, kutsun tätä tekoälyä jatkossa deterministiseksi tekoälyksi. Pelitilanteen se arvioi omien laskukaavojensa perusteella, joissa se ottaa huomioon eri linnojen koon, linnoissa olevien omien seuraajien määrät ja linnoissa olevien vastustajien seuraajien määrät. Tämä tekoäly ei osaa ennustaa pelin kulkua eteenpäin, jonka vuoksi se tekee mahdollisesti huonompia päätöksiä. Sen etu on kuitenkin huomattava nopeus. Tämän tekoällyn suunnittelussa pyrin siihen, että sen aikavaativuus olisi korkeintaan polynominen.

Viimeisenä tehty tekoäly osaa laskea peliä eteenpäin ja määrittää kuinka paljon pisteitä se voi potentiaalisesti saada tai menettää tekemällä jonkin mielivaltaisen siirron. Tämä tekoäly on ainakin teoriassa älykkäämpi kuin deterministinen tekoäly, mutta tämä oletus voidaan osoittaa vain tekoälyjen keskinäisellä kilpailulla. Tekoällyn heikkous on se, että se kuluttaa selvästi enemmän aikaa, koska pelitilanne voi haarautua eksponentiaalisesti useisiin eri suuntiin.

## 1.1 Pelin Säännöt

Pelilauta on ruudukko, jonka koon voi määritellä vapaasti. Jokainen ruutu on aluksi tyhjä, paitsi pelilaudan keskimmaisessa ruudussa on aluksi linnalaatta. Pelissä käytettävien laattojen määrän voi määritellä vapaasti, kunhan se ei ole suurempi kuin pelissä olevien ruutujen määrä. Pelin aluksi pakkaan arvotaan haluttu määrä peltolaattoja ja linnalaattoja. Molempien laattojen todennäköisyys päätyä pakkaan on 50%. Jokainen pelaaja nostaa vuorollaan laatan, joka voi olla joko pelto, eli numeroarvo yksi, tai linna, jota kuvaa numeroarvo kaksi. Vuorollaan pelaaja saa asettaa laatan mihin tahansa

tyhjään ruutuun. Jos laatta on linna pelaaja voi tietyin ehdoin asettaa sinne seuraajansa. Pelaajia pelissä voi olla yhdestä neljään.

Samaksi linnaksi lasketaan kaikki linnalaatat, joiden viereisissä ruuduissa vasemmalla, oikealla, alhaalla ja ylhäällä on myös linna laatta. Jos pelaaja haluaa asettaa seuraajansa linnaan, tässä linnassa ei saa olla yhtään seuraajaa joka kuuluisi pelaajalle itselleen tai jollekin toiselle pelaajalle. Linnoissa olevia seuraajia merkitsevät numerot kolme, neljä, viisi ja kuusi, jotka ovat myös pelaajien numeroita.

Pisteitä saa linnoista, jotka ovat pelaajan hallinnassa. Jos kahdella tai useammalla pelaajalla on sama määrä seuraajia, kaikki saavat pisteitä linnan koon mukaan. Jos yhdellä pelaajalla on seuraajia enemmän kuin muilla, saa vain tämä yksi pelaaja linnasta pisteet. Seuraajia on rajallinen määrä, aluksi jokaisella pelaajalla on kymmenen. Seuraajan asettaminen linnaan kuluttaa yhden seuraajan. Seuraajia ei voi enää asettaa, jos niitä on nolla. Seuraajat vapautuvat, kun linna on valmis. Linna lasketaan valmiiksi sitten, kun se on kokonaan peltolaattojen ympäröimä, eli jokaisen linnalaatan vasemmalla, oikealla, ala ja yläpuolella pitää olla peltolaatta, eli numeroarvo yksi tai toinen linnalaatta. Pelin aikana valmiiksi tulleista linnoista saa pisteitä. Pelin lopuksi pisteytetään linnat, jotka eivät ole valmiita. Pelin voittaa eniten pisteitä kerännyt pelaaja.

## **1.2 Determistinen tekoöly**

Determistisellä tekoölyllä on eri strategiat pelto- ja linnalaattojen pelaamiseen. Molempien laattojen pelaamiseen se laskee jokaiselle vapaalle ruudulle arvon, joka perustuu siihen, kuinka monta linnaa ruudun vieressä ja/tai kulmissa on, sekä siihen montako vastustajien ja tekoölyn omaa seuraajaa niissä on. Kun jokaisen vapaan ruudun arvo on laskettu, tekoöly sijoittaa vuorossa olevan laatan ruutuun, jonka arvo on korkein. Sekä linnan että pellon pelaamisen tulisi toimia korkeintaan toisen asteen polynomin aikavaativuudella.

Peltolaattoja käytetään pelissä kahteen tarkoitukseen: Linnat saadaan valmiiksi niiden avulla, jonka seurauksena myös niissä olevan seuraajat vapautuvat. Niillä voidaan myös suojata omia linnoja, koska toisten pelaajien linnoja on mahdollista yrittää vallata asettamalla uusi linnalaatta ja seuraaja jonkin olemassa olevan linnan kulmaan, koska kulmittain olevia linnoja ei lasketa samaksi linnaksi. Peltolaattaa pelatessaan deterministentekoöly antaa suurimman painoarvon omien linnojensa suojelulle, eli linnojen kulmiin peltojen pelaamiselle. Mitä suurempi linna on kyseessä, sitä tärkeämpänä tekoöly pitää tämän linnan suojelua. Vasta toiseksi tärkein tavoite on saattaa linna valmiiksi lisäämällä peltoja sen ympärille.

Linnalaatan pelaamisessa deterministentekoöly pyrkii ensisijaisesti vahvistamaan omien linnojensa dominanssia pelaamalla omien linnojensa kulmiin uusia linnalaattoja ja asettamalla näihin seuraajiaan. Vasta tämän prioriteetin jälkeen se pyrkii laajentamaan omia linnojaan lisäämällä niihin laattoja. Tämä tekoöly ei ole kiinnostunut linnoista joissa sillä ei ole seuraajia.

### **1.3 Pelipuutekoöly**

Pelipuutekoöly osaa laskea pelin kulkua eteenpäin pelin sääntöjen mukaan. Pelin eteenpäin laskeminen on tässä rajattu viiteen siirtoon, mutta sen muuttaminen koodista ei ole kovin suuri työ. Koodiin on kommentoitu mitä rivejä pitää muuttaa, jos laskettujen siirtojen määrää haluaa kasvattaa tai vähentää. Päätöksen laatan sijoittamisesta tämä tekoöly tekee potentiaalisten pisteiden saamisen tai menettämisen perusteella. Tekoöly laskee peliä siirto kerrallaan eteenpäin, jokaisen siirron jälkeen se laskee, montako pistettä se on mahdollisesti tienannut tai menettänyt, jonka jälkeen se vertaa tätä lukua eniten pisteitä keränneeseen pelaajaan. Tätä piste-erotusta laskettaessa otetaan huomioon pisteet, jotka voidaan tienata, koska valmiista linnoista saatuja pisteitä ei voi enää ottaa pelaajilta pois.

Tekoöly käsittelee vain ruutuja, joiden vieressä tai kulmassa on linna. Tämän tarkoitus on nopeuttaa tekoölyn toimintaa, koska varsinkin pelin alussa tyhjiä ruutuja on paljon, jolloin ei ole tarvetta käsitellä niitä kaikkia viittä siirtoa eteenpäin. Lisäksi tekoöly jatkaa pelin laskemista eteenpäin vain kahdessa tapauksessa: Jos se onnistuu löytämään pelipuun haaran, jossa lopputulos on sen kannalta negatiivisempi kuin aikaisemmin tunnettu tulos. Toisessa tapauksessa peliä lasketaan eteenpäin vain, jos löytyy tulos, joka on parempi kuin aikaisempi paras tulos. Tekoöly käy kaikki tyhjät ruudut läpi ja asettaa itseisarvoltaan paremman arvon tyhjään ruutuun. Eli esimerkiksi, jos tekoöly on havainnut, että mielivaltaiseen ruutuun peltolaatan pelaamalla voidaan viiden vuoron päästä tienata kymmenen pistettä tai menettää 15 pistettä, tekoöly antaa tälle tyhjälle ruudulle arvon -15. Tekoöly siis keskittyy vain parhaan ja pahimman tapauksen etsimiseen. Aikavaativuuden voi olettaa olevan pahimmillaan eksponentiaalinen.

### **1.4 Tekoölyjen suoritusten vertailu.**

Vertailin deterministisen- ja pelipuutekoölyn suoriutumista toisiaan vastaan pelissä. Tässä vertailussa pelilaudan koko on 10x10, laattojen määrä on 99 ja aloittava pelaaja on deterministentekoöly. Peli on tässä asetettu siten, että ruudukon keskellä on yksi ruutu, joka on tyhjä linna. Tein myös toisen

vertailun samoilla asetuksilla, mutta pelipuutekoäly oli aloittava pelaaja. Tulokset ovat taulukoissa 1 ja 2.

<b>Pelin numero</b>	<b>Pisteet</b> <b>deterministinen</b>	<b>Pisteet pelipuu</b>	<b>Käytetty aika</b> <b>yhteensä</b>	<b>Käytetty aika</b> <b>laattaa</b> <b>kohden</b>
1.	21	27	1 m 3 s	0.63 s
2.	10	50	1m 2 s	0.62 s
3.	23	23	52 s	0.52 s
4.	24	28	48 s	0.48 s
5.	25	31	27 s	0.27 s
Keskiarvo	20.6	31.8	50.4 s	0.504 s

*Taulukko 1. Tekoälyjen vertailu, kun deterministinen tekoäly on aloittaja. Pelilaudan koko on 10x10 ruutua ja laattoja on 99 kappaletta.*

Taulukosta 1 voidaan todeta, että pelipuutekoäly voittaa deterministisen melko varmasti näillä asetuksilla. Pisteiden ero pelipuutekoälyn eduksi on keskiarvojen perusteella varsin suuri. Neljä peleistä pelipuutekoäly onnistui voittamaan ja yhdestä tuli tasapeli. Käytetty aika -sarake kertoo kauanko peli kesti yhteensä, eli siinä on molempien tekoälyjen käyttämä aika ilman erittelyä. Käytetty aika laattaa kohden on yksinkertaisesti käytetty aika jaettuna laattojen määrällä.

<b>Pelin numero</b>	<b>Pisteet</b> <b>deterministinen</b>	<b>Pisteet pelipuu</b>	<b>Käytetty aika</b> <b>yhteensä</b>	<b>Käytetty aika</b> <b>laattaa</b> <b>kohden</b>
1.	21	23	47 s	0.47 s
2.	28	19	52 s	0.52 s
3.	17	27	48 s	0.48 s
4.	23	23	43 s	0.43 s
5.	26	29	30 s	0.30 s
Keskiarvo	23	24.2	44 s	0.44 s

*Taulukko 2. Tekoälyjen vertailu, kun pelipuutekoäly on aloittaja. Pelilaudan koko on 10x10 ruutua ja laattoja on 99 kappaletta.*

Taulukosta 2 voidaan todeta, että aloittajan vaihtaminen jopa heikentää vahvemman pelipuutekoälyn suoritusta. Keskiarvojen ero on todella pieni taulukon 2 peleissä. Taulukoiden 1 ja 2 perusteella pelipuutekoälyn voiton todennäköisyys on suuri, mutta pisteiden erotus ei silti ole kovinkaan

merkittävä. Voidaan olettaa, että tuuri laattojen suhteen jakautuu melko tasaisesti, kun toistoja on paljon. Mitä enemmän pelissä on laattoja, sitä pienempi on tuurin merkitys. Kymmenessä pelissä tuurin vaikutus tuloksiin on jo varsin hyvin hallittu.

Tutkin muuttuuko tekoälyjen suoritusero, kun pelilaudan kooksi otetaan 20x20 ja laattojen määräksi 399. Tulokset on esitetty taulukossa 3. Huomion arvoista on, että pelin kesto kasvoi todella paljon. Tämä ei ole lainkaan yllättävää, sillä molemmilla tekoälyillä on huomattavasti enemmän ruutuja läpikäytävänä. Kiinnostavaa on myös havaita, että pelin kestossa ja tekoälyjen pisteissä näyttää olevan suurta vaihtelua, kun laudan kokoa on kasvatettu.

<b>Pelin numero</b>	<b>Pisteet</b>	<b>Pisteet pelipuu</b>	<b>Käytetty aika</b>	<b>Käytetty aika</b>
	<b>deterministinen</b>		<b>yhteensä</b>	<b>laattaa kohden</b>
1.	87	120	18 m 0 s	2.7 s
2.	142	66	1 h 29 m 24 s	13.4 s
3.	134	81	8 h 15 m 37 s	1 m 14.5 s
4.	87	105	14 m 32 s	2.2 s
5.	98	107	1 h 20 m 56 s	12.1 s
Keskiarvo	109.6	98.5	2 h 16 m 13 s	20,9 s

*Taulukko 3. Tekoälyjen vertailu, kun deterministinen tekoäly on aloittaja. Pelilaudan koko on 20x20 ruutua ja laattoja on 399 kappaletta.*

Taulukosta 3 voidaan todeta, että tekoälyjen suoriutuminen toisiaan vastaan ei enää mene kuten pienemmässä pelissä. Deterministentekoäly onnistuu voittamaan useampaan kertaan pelipuutekoälyn. Kun tarkastellaan pisteiden erotuksia, havaitaan että kun deterministentekoäly voittaa, sen etumatka pelipuutekoälyyn on suurempi verrattuna tilanteeseen, jossa pelipuutekoäly voittaa. Keskiarvot pelien pisteistä ovat melko selvästi deterministentekoälyn eduksi, joka on vastoin oletuksia. Pelipuutekoäly pystyy ennustamaan pelin kulkua, eli toimimaan ”älykkäämmin” kuin deterministentekoäly, mutta silti se näyttää häviävän. Jokseenkin outoa on myös se, että peliin käytetty aika kasvaa huomattavasti peleissä, jotka pelipuutekoäly on hävinnyt. Peli sujuu kohtuullisessa ajassa ilmeisesti niin kauan, kun pelipuutekoäly on voitolla, mutta kun se alkaa häviämään, peli hidastuu. Tähän en osaa keksiä selitystä, sillä pelipuutekoälyn pitäisi olla kiinnostunut vain pahimmista ja parhaista tapauksista, jolloin pistetilanteen ei pitäisi vaikuttaa päätösnopeuteen. Pelin kolme aika saattaa olla mittausvirhe, koska se on mitattu yön aikana ilman valvontaa, jolloin kone on saattanut mennä lepotilaan, mutta ajan laskeminen on silti jatkunut.

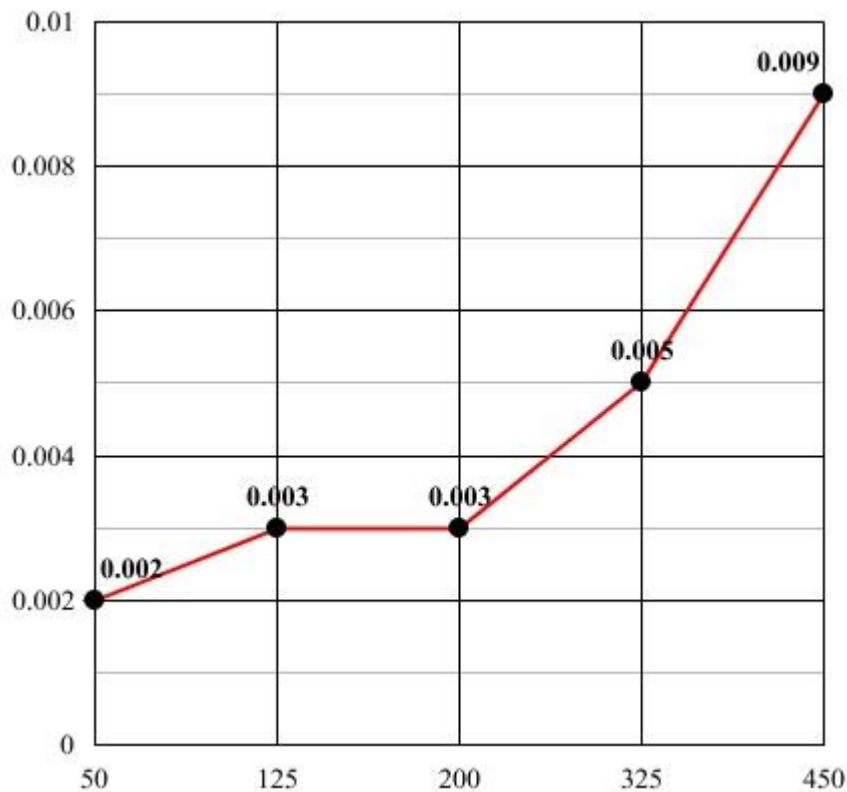
## 1.5 Aikavaativuudet

Tässä tutkin kauanko eri tekoälyillä kestää tehdä päätös riippuen laudan koosta ja pelattujen laattojen määrästä. Taulukossa 4 esitetään kauanko molemmilla tekoälyillä kestää sijoittaa linnalaatta erikokoisiin peleihin. Jokaisella pelitilanteella oli uniikki laudan koko. Laattoja oli pelattu kaikissa tilanteissa noin puolet kaikista saatavilla olevista laatoista. Jokaisessa pelissä pelasivat vastakkain deterministinen- ja pelipuutekoäly. Jokainen tutkittu tilanne on siis todellinen pelitilanne, johon tekoälyt ovat päätyneet pelaamalla annetun määrän laattoja. Jokainen aika on kymmenen toiston keskiarvo. Tulokset on esitetty taulukossa 4. Deterministentekoäly oli kaikissa aloittaja.

Pelin numero	Pelin koko	Laattojen määrä	Pelattujen laattojen määrä	Deterministisen tekoälyn aika	Pelipuutekoälyn aika
1.	10	100	50	0.002 s	2.079 s
2.	15	225	125	0.003 s	14.102 s
3.	20	400	200	0.003 s	8.747 s
4.	25	625	325	0.005 s	1 m 6.256 s
5.	30	900	450	0.009 s	4 m 41.373 s
Keskiarvo					

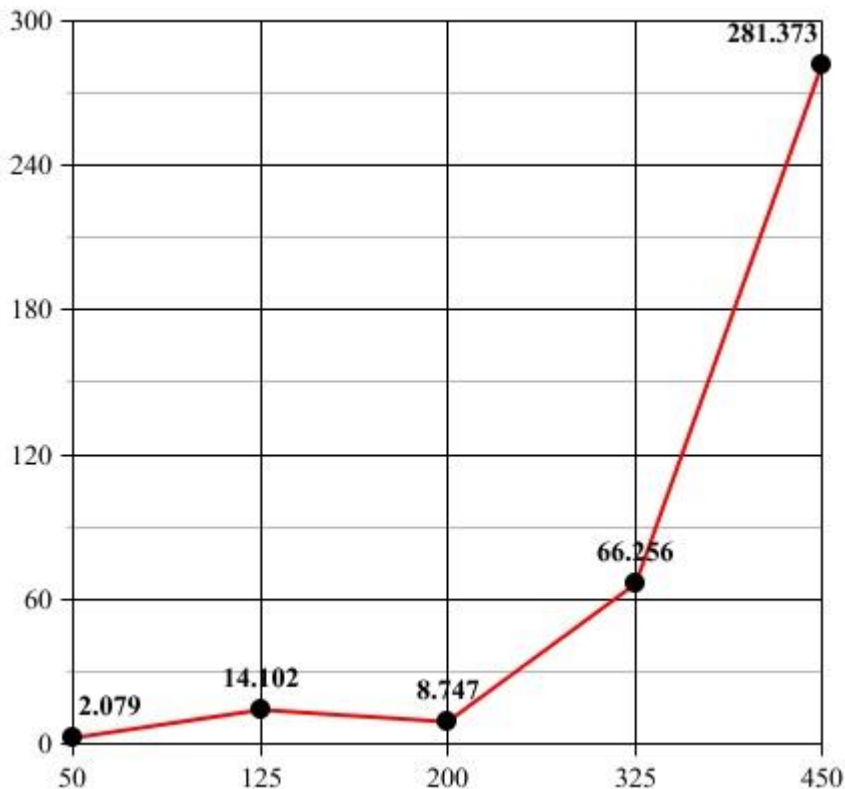
*Taulukko 4. Tekoälyjen ajan käytön vertailu linnan sijoittamisessa todellisissa pelitilanteissa.*

Deterministentekoälyn linnansijoituksen aikavaativuus näyttäisi taulukossa olevien lukujen perusteella olevan korkeintaan toisen asteen polynomin tasoinen. Käytännössä deterministinen tekoäly käy läpi vain ruudut, joiden vieressä ja/tai kulmassa on linnoja. Tästä seuraa se, että deterministinen tekoäly ei käytännössä koskaan käy läpi koko pelilautaa. Käytännössä peliä tuskin pelataan niin suurilla laudoilla, että deterministentekoälyn käyttämä aika muodostuisi ongelmaksi. Kuvassa 1 on esitetty vielä taulukon 4 tilanne viivadiagrammina. Viivadiagrammissa jäljellä olevien laattojen määrä on suunnilleen kaksi kertaa pelattujen laattojen määrä taulukon 4 mukaisesti. Deterministisen tekoälyn pellonsijoitusoperaatiot toimivat laskennallisesti samalla tavalla kuin linnansijoituksessakin, vain kertoimet ovat eri, joten on turvallista olettaa aikavaativuuden olevan samaa luokkaa. Kuvan 1 perusteella ajankulutus on toisen asteen polynomin mukaan kasvava.



*Kuva 1: Deterministisenteokoälyn linnan sijoittamiseen käyttämä aika. Pystyakselilla on käytetty aika sekunteina ja vaaka-akselilla on pelattujen laattojen määrä.*

Taulukosta 4 voidaan myös todeta, että pelipuutekoälyn linnansijoitukseen käyttämä aika kasvaa eksponentiaalisesti. Tekoälylle suoritettut optimoinnit eivät siis muuta käytännössä tekoälyn linnansijoitusfunktion aikavaativuusluokkaa. Pelipuutekoälystä oli olemassa varhainen optimoimaton versio, joka kävi kaikki mahdolliset ruudut ja tapaukset läpi. Tällä versiolla kesti jopa tunteja saada sijoitettua linnalaatta lautaan, johon optimoitu versio sijoittaa sen sekunneissa. Käytännössä pelipuutekoäly toimii riittävän hyvin, koska peliä tuskin pelataan laudoilla, joiden koko olisi edes 20x20. Taulukossa 4 oleva tieto aikavaativuudesta on vielä esitetty pelipuutekoälylle kuvassa 2. Tässäkin jäljellä olevien laattojen määrä on suunnilleen kaksi kertaa pelattujen laattojen määrä taulukon 4 mukaisesti. Esimerkiksi tilanteessa jossa 450 laattaa on pelattu, jäljellä on vielä toiset 450 laattaa. Pellon sijoittamisessa pelipuutekoäly tekee laskennallisesti samat operaatiot, joten on turvallista olettaa, että aikavaativuus on samaa luokkaa.



Kuva 2: Pelipuutekoälyn linnan sijoittamiseen käyttämä aika. Pystyakselilla on käytetty aika sekunteina ja vaaka-akselilla on pelattujen laattojen määrä.

### 1.8 Mahdolliset puutteet ja korjausehdotukset.

Peli itsessään toimii omasta mielestäni juuri niin kuin haluan sen toimivan. Koodissa ei testien perusteella ole vikaa. Pelin toimintojen oikeellisuus on myös todettu peliä itse pelaamalla. Pelin suurin puutteellisuus on pelitilanteiden hankala tulkinta. Kokonaislukuruudukko ei ole kaikista informatiivisen tapa esittää peliä. Käyttäjän mukavuuden kannalta graafinen käyttöliittymä olisi ollut ehdottomasti positiivinen asia. Sitä en ajan loppumisen vuoksi ehtinyt tekemään. Pelin testauksessa on sen verran puutteita, että kokonaista peliä ja syötteitä haluavia funktioita ei ole testattu automaattisilla JUnit-testeillä. Näitä yritin tehdä, mutta en saanut ohjelmaa vastaanottamaan syötteitä. Tämän seurauksena testaus oli tehtävä itse kaikkia mahdollisia vaihtoehtoja itse kokeilemalla.

Deterministentekoäly on turhan yksinkertainen ja sille voisi ohjelmoida lisää mahdollisia tapauksia, joiden perusteella se voisi arvionsa tehdä. Nyt se ei esimerkiksi osaa arvioida kuinka kannattaa on aloittaa uusi linna tyhjään tilaan, jos vahvoja linnoja on vielä kesken. Pelipuutekoäly kaipaa lisää optimointia. Vähintäänkin sille voisi ohjelmoida ominaisuuden, jolla se muistaa vapaista ruuduista pahimman ja lopettaa sellaisten haarojen laskemisen, jotka eivät johda kaikkien vapaiden ruutujen joukossa olevasta pahimmasta tapauksesta kehnompaan tilanteeseen.