



Ohjelmosti 4
Harjoitustyöselostus (Ryhä 26)

Oulun yliopisto
Tietojenkäsittelytieteen
Harjoitustyöselostus
Joni Korpela
Henri Launonen
08.04.2024

Tiivistelmä

Tämän harjoituistyön tarkoituksena on suunnitella piirisimulaattori.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	2
Sisällysluettelo	3
1. Vaatimusmäärittely	4
2. Toiminnallisuuden määrittely	5
2.1. Käyttäjäryhmien identifiointi	5
2.1.1. Esimerkkikäyttäjän 1 kuvaus	5
2.1.2. Esimerkkikäyttäjän 2 kuvaus	5
2.1.3. Esimerkkikäyttäjän 3 kuvaus	5
2.1.4. Esimerkkikäyttäjän N kuvaus.....	Error! Bookmark not defined.
2.2. Käytön kontekstien määrittely.....	6
2.2.1. Fyysisen konteksti.....	6
2.2.2. Sosiaalinen konteksti.....	6
2.2.3. Organisatorinen konteksti	6
2.2.4. Toiminnallinen konteksti.....	6
2.2.5. Tekninen konteksti	6
3. Käyttöliittymäkonseptit.....	6
3.1. Konsepti 1.....	7
3.2. Konsepti 2.....	8
3.3. Konsepti 3.....	Error! Bookmark not defined.
3.4. Konsepti N.....	Error! Bookmark not defined.
4. Käyttöliittymän prototypointi.....	11
5. Käyttöliittymän evaluointi.....	24
5.1. Heuristinen evaluointi.....	24
5.2. Kognitiivinen läpikäynti	25
5.3. Skenaariopohjainen evaluointi	25
5.4. Käyttäjätestaus	25
5.5. Vertaisarvioinnit	27
5.6. Evaluointien löydökset ja vaikutukset suunnittelun	27
6. Viimeistely suunnitelma käyttöliittymästä.....	28
7. Käyttöohje	36
8. Poikkeamat suunnitelmasta	36
9. Testausraportti	37
10. Harjoitustyön tekijöiden palautustiedot	37

1. Vaatimusmäärittely

Tarkoituksena on toteuttaa piirisimulaattori Java-kehitysympäristössä. Piirisimulaattori on työpöytäsovellus. Järjestelmällä voidaan kuvata RLC-piirin toimintaa. Järjestelmä kykenee laskemaan AC ja DC steady-state tilanteet. Järjestelmästä nähdään piirin komponenttien virrat ja jännitteet. Järjestelmällä mallinnetut piirit on mahdollista tallentaa ja ladata järjestelmään.

2. Toiminnallisuuden määrittely

Järjestelmällä mallinnetaan RLC-piirejä.

Käyttäjä voi graafisen käyttöliittymän avustamana lisätä ruudulle virta- tai jännitelähteen sekä virtamittareita, jännitemittareita, vastuksia, keloja ja kondensaattoreita, ja kytkeä nämä toisiinsa johtimilla. Järjestelmä sallii ainoastaan yhden teholähteen olemassaolon. Piirin toimintaa voidaan simuloida joko AC- tai DC-herätteellä. Järjestelmä laskee yksittäisten komponenttien jännitteet, virrat ja näiden vaiheet. Käyttäjä voi lisätä piiriin solmupisteen, josta järjestelmä laskee jännitteen ja virran suhteessa maahan (probing). Käyttäjän tulee voida mitata vapaasti solmupisteiden, sekä komponenttien välisiä jännitteitä.

2.1. Käyttäjäryhmien identifiointi

Tärkeimpänä ja ainoana suunniteltuna käyttäjäryhmänä toimii Oulun yliopistossa elektroniikan tutkinto-ohjelmaa suorittavat kandidaattiopiskelijat ja vaihto-opiskelijat, jotka osallistuvat ko. tutkinto-ohjelmaan. Käyttäjäryhmällä on takana vähintään parin vuoden verran aineopintoja tai tätä vastaavat taidot. Käyttäjäryhmän englannin kielen taito on vähintään tyydyttävällä tasolla ja heillä on aikaisempaa kokemusta piirisimulaattoreista. Käyttäjäryhmä on tottunut käyttämään Windows-käyttöjärjestelmää, sekä heillä on normaali kyky käyttää tietokonetta (ei esteitä esim. hiiren tai näppäimistön käytössä). Käyttäjäryhmällä on tarve löytää visualinen RLC-simulaattori, jota voisi käyttää opiskelun tukena.

2.1.1. Esimerkkikäyttäjän 1 kuvaus

Mikko on 24-vuotias yliopisto-opiskelija, joka on opiskelun ohessa vakituiseksi kokopäivätyössä. Mikko ei osallistu siis päivisin opetuksen, vaan suorittaa opiskelut lähtökohtaisesti etänä. Mikko asuu yksin vuokralla kaksiossa, jossa hänellä on erillinen työhuone, josta löytyy opiskelun kannalta optimaalinen ympäristö. Mikko suorittaa parhaillaan piiriteoriaa käsittelyvää kursisia, jossa hänen tulee opettelu laskemaan sähköisten piirien steady-state tiloja. Hän on eräänä iltana laskenut työhuoneessaan tähän kurssiin liittyvän kotitehtävän paperille, mutta haluaisi vielä tarkistaa laskunsa piirisimulaattorin avulla. Hän on tutustunut yleisimpiin työpöytäpohjaisiin työkaluihin, mm. LTspice:iin. Tätä hän pitää kuitenkin käytettäväyydeltään köykäisenä ja vanhanaikaisena, ja haluaisi tarkastaa laskunsa jollakin käyttäjäystävällisemmällä ratkaisulla. Mikolla on työpöydällään käytössä suoristuskyvyltään hyvä kannettava tietokone, jonka näytön resoluutio 1920x1080. Mikko käyttää tietokonettaan siinä olevan näppäimistön, sekä touchpadin avulla.

2.1.2. Esimerkkikäyttäjän 2 kuvaus

Hans on saksalainen 22-vuotias vaihto-opiskelija Oulun yliopistossa. Hänen opintokielenään toimii englanti. Hän on opiskellut piiriteoriaa saksassa, mutta hänen laskutaitonsa on ruosteessa. Hän haluaa kerrata piiriteorian laskuja ennen suodattimien kurssia, jossa piiriteorian tuntemusta tarvitaan, ja kaipaisi tähän jotakin yksinkertaista apuvälinettä.

2.1.3. Esimerkkikäyttäjän 3 kuvaus

Mari on 40-vuotias elektroniikan 2. vuoden opiskelija, jolla on hyvä kielitaito ja jonkin verran kokemusta tietokoneista, lähinnä Windowsista. Hän säikähti piiriteorian kurssilla LTspice-piirisimulaattoria sen käyttäjäepäystävällisyden vuoksi, ja haluaisi kokeilla jotakin muuta simulaattoria. Mari on myös innokas esittämään osaamistaan muille.

2.1.4. Esimerkkikäyttäjän 4 kuvaus

Jarkko on 22-vuotias elektroniikan opiskelija. Hän on elektroniikan mittaustekniikan laboratorioharjoituksessa tekemässä kytkentöjä. Hänen tehtävänään on ensin simuloida kytkentä, ja mitata tämän jälkeen jännitteet oikeasta kytkennästä. Simuloitavat piirit ovat yksinkertaisia ja nopeita rakentaa. Jarkko on kyllästynyt hänen mielestään hitaan ja kömpelöön LTspicen käytöön.

2.2. Käytön kontekstien määrittely

2.2.1. Fyysinen konteksti

Sovellus on suunniteltu piiriopin opiskelun tueksi, jolloin sovellusta käytetään lähtökohtaisesti samanlaisessa ympäristössä, missä käyttäjäryhmän mukainen henkilö opiskelisi ko. aihetta. Sovellusta voidaan siis katsoa todennäköisemmin käytettäväksi lämpimässä sisältilassa, missä on mahdollisuus käyttää sovellusta ergonomisen tuolin, sekä pöydän ääressä. Sisätila, jossa sovellusta käytetään on siis ensisijaisesti typiltään esim. luokkahuone tai käyttäjän koti tai muun toimistotilan tapainen ympäristö. Tilan ilmanlaatu on oletusarvoaltaan hyvä. Valaistus voi vaihdella täysin pimeästä lähemmäksi 1000 luxia (normaalin sisävalaistuksen yläraja). Melutaso voi, myös vaihdella aina täysin hiljaisesta noin 70 desibeliin (Voimakas puhe). Toinen mahdollinen fyysinen ympäristö voisi olla elektroniikan laboratorio, missä sovellusta käytettäisiin yhtä aikaan, kun todellista piiriä testataisiin tai valmistettaisiin. Tällöin ympäristö poikkeaisi, merkittävästi aikaisemmin mainitusta työhuoneen mukaisesta ympäristöstä. Nyt tilan lämpötila ja melutaso voi vaihdella suuremmalla skaalalla esim. johtuen muista laboratorio tilassa olevista laitteista. Myös ergonomia on oletusarvoisesti huonompi johtuen yleensä laboratorio tiloissa ilmeneväästää pöytätilan puutteesta ja ei niin hyvistä istuinvalinnoista. Valaistuksen laboratoriossa voidaan katsoa olevan luokkaa normaalilla sisävalaistus tai sitä hiukan kirkkaampi. Vuorostaan ilmanlaatu on todennäköisesti toimistotilaan heikompi johtuen mahdollisesta elektroniikan juottamisesta. Käytäessä sovellusta kotona tai laboratoriossa on, myös ympäristön muunlainen hektisyys mahdollista esim. ruuhkaisessa laboratorio tilassa voi sovelluksen käytämistä haitata tarve väistää muita laboratoriota työskenteleviä.

2.2.2. Sosiaalinen konteksti

Sovellus on suunniteltu lähtökohtaisesti yksinkäytettäväksi. Sovellusta voidaan kuitenkin käyttää ympäristössä, missä voi olla muita sovelluksesta hyötyviä varsinaisen sovelluksen käyttäjän lisäksi. Tällainen tilanne voi ilmetä esim. tapauksessa, jossa ryhmä elektroniikan opiskelijoita laskee piiriteorian harjoitustehtäviä ja haluaa tarkistaa laskun tulokset ohjelman avulla. Tällöin yksittäinen käyttäjä riittää tarkistamaan laskutulokset koko ryhmälle. Sovelluksessa on myös mahdollista tallentaa, sekä ladata luotuja piirejä mikä mahdollistaa sovelluksen käyttäjiä jakamaan luomiaan piirejä keskenään.

2.2.3. Organisatorinen konteksti

Sovellus on teknisesti katsoen stand-alone ohjelma, eikä tukeudu suoraan muihin järjestelmiin, kuin ainoastaan käyttöjärjestelmään, jolle tulee olla implementoituna Java versioita 21 tukava java virtuaalikone. Sovellus voi kuitenkin joissakin tilanteissa tukeutua epäsuorasti Oulun yliopiston moodle järjestelmään, sillä kursseihin liittyvät harjoitukset on yleensä julkaistu tälle alustalle. Mikäli käyttäjä haluaa käyttää sovellusta oppimisen tukena jollakin kurssilla, tulee käyttäjällä olla pääsy moodle järjestelmään.

2.2.4. Toiminnallinen konteksti

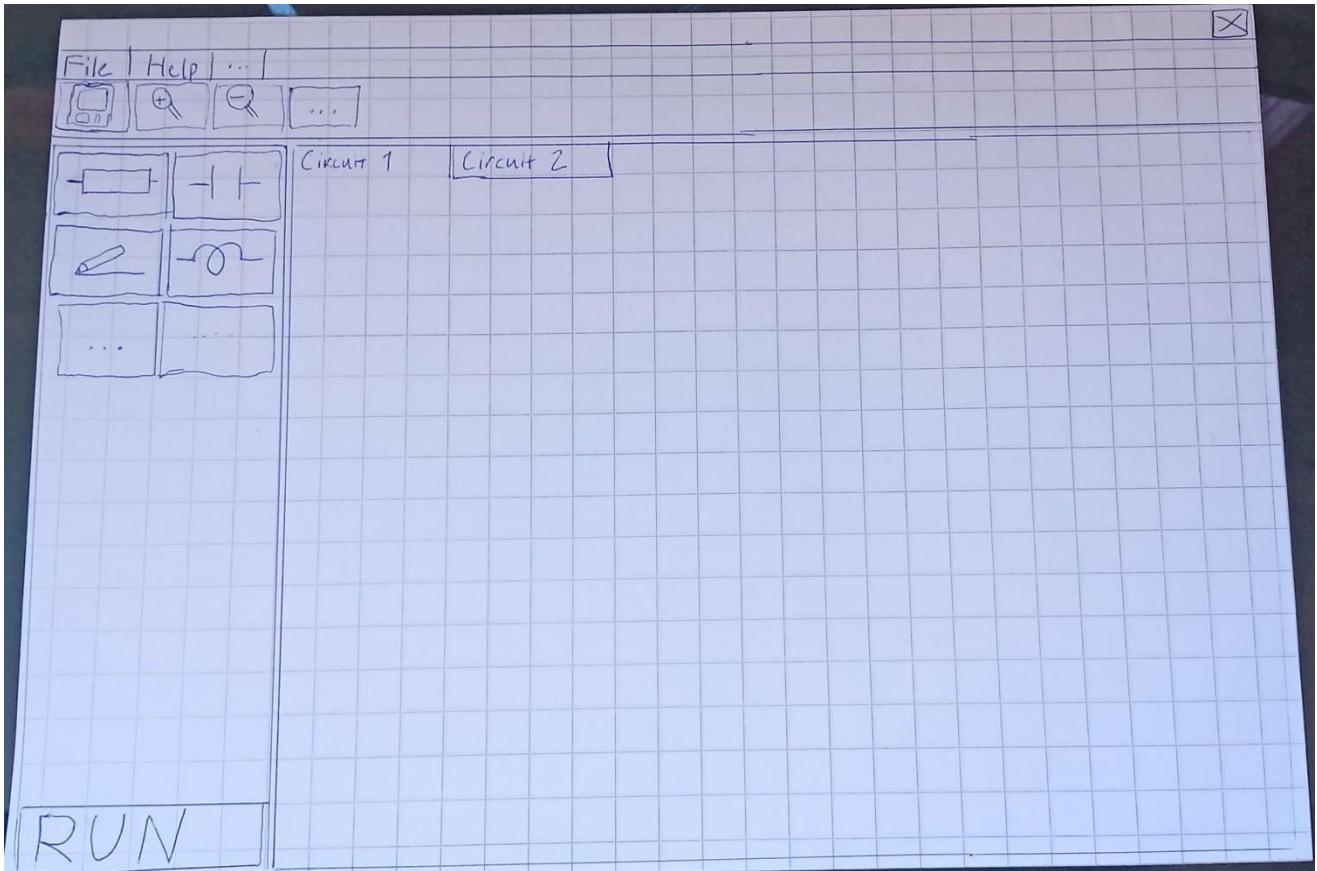
Sovellusta käytetään ennen kaikkea Oulun yliopiston elektroniikan tutkinto-ohjelman suorittamisen tukena. Näin ollen ohjelman käytämiseen tarvittava tieto piiriteoriasta tulee ko. koulutuksen kautta. Käyttäjä voi käyttää sovellusta apuna kaikilla kursseilla, missä ilmenee tarve laskea tai opiskella RLC-piirien toimintaa. Sovelluksen käyttöön soveltuvat tehtävät ovat mm. luentoharjoitukset, laskuharjoitukset, kotitehtävät ja laboratorioharjoitukset. Sovellusta voi toki käyttää opiskelun ulkopuolisessa kontekstissa, mutta tällöin sovelluksen tarjoamat ominaisuudet ovat varsin rajalliset.

2.2.5. Tekninen konteksti

Sovellus on tarkoitettu, joko työpöytätietokoneella tai kannettavalla tietokoneella käytettäväksi työpöytäsovellukseksi. Koska käyttäjäryhmä koostuu opiskelijoista, on suurimalla osalla käytössä kannettava tietokone, jota kannetaan mukana koululla. Sovellusta käytetään hiirellä/touchpadilla ja näppäimistöllä. Sovellus on kehitetty ensisijaisesti toimivaksi Windows-10 alustalla, mutta sovellusta tulisi voida ajaa missä tahansa alustalle, jolle on implementoitu java virtuaalikone. Sovellus on toteutettu käytäen java versio 21. Käyttö ei vaadi internetyhteyttä. Sovellus on graafinen, eli siinä on pääasiassa kuvakeelliset painikkeet, mikä tarkoittaa sitä, että sovellusta voidaan käyttää pääasiassa osoittimella, mutta edistyneemmät käyttäjät voivat käyttää myös pikänäppäimiä. Näytön koon oletetaan olevan noin 13-25 tuumaa, ja resoluution noin 1920x1080 pikseliä.

3. Käyttöliittymäkonseptit

3.1. Konsepti 1



Konsepti sivupalkilla. Palkissa komponenttivalikko, ja suoritus/pysäytysnappi.

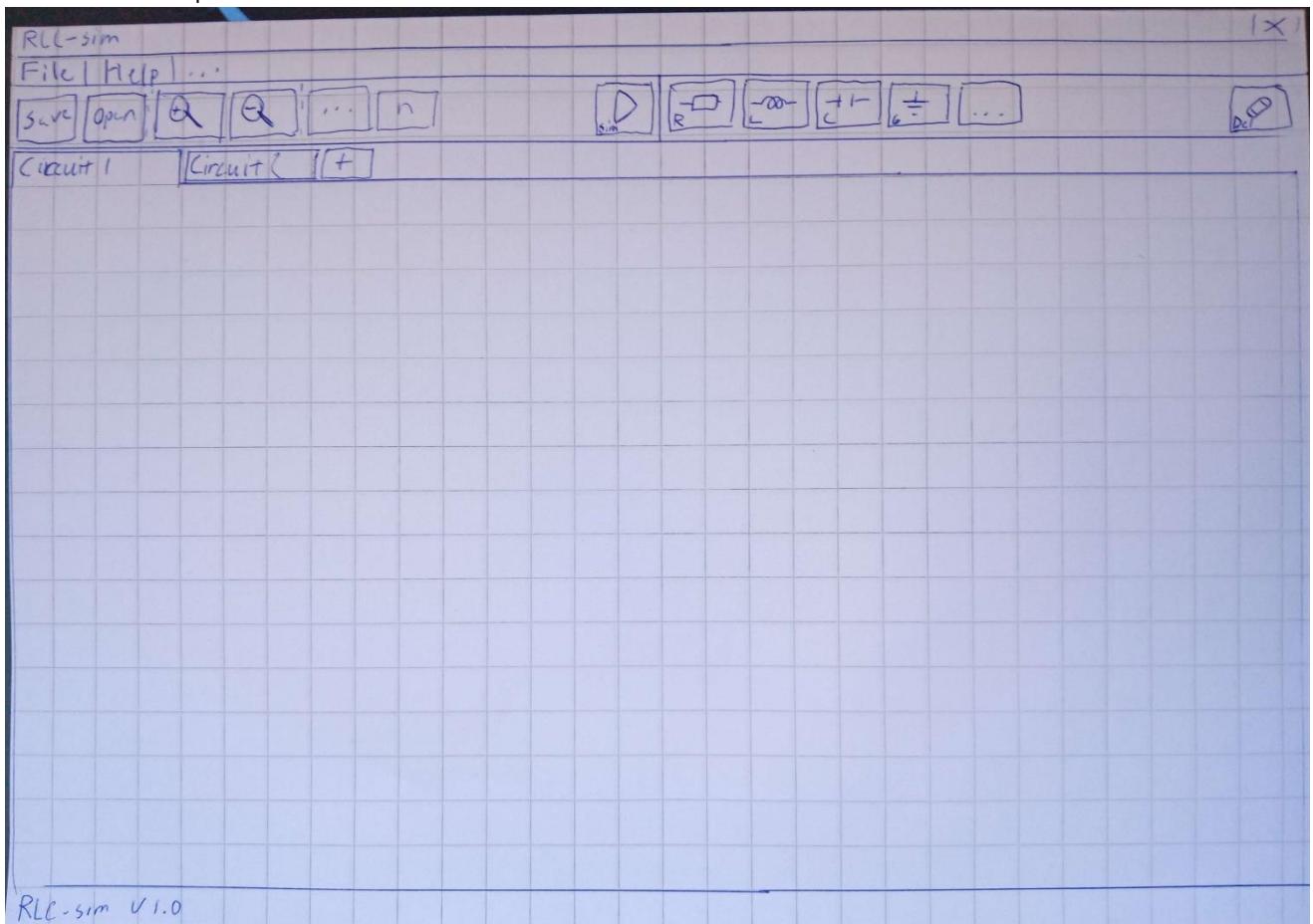
+ Mahdollisesti selkeämpi, sillä komponentteille on oma valikko ja tämä valikko on eroteltu muuten ohjelmaan hallintaan liittyvistä valikoista.

+ Kenties modernimpi lähestymistapa? Opiskelijat ovat pääasiassa nuoria, ja iso osa työpöytäsovelluksista noudattaa tällaista layoutia.

- Vähemmän piirtoilaa piirille.

- Vähemmän suosituin LTspiceen kaltainen kuin sivupalkiton konsepti, mikä voi vaikeuttaa joillekin ko. ohjelmaan tottuneille tämän konseptin käyttöä.

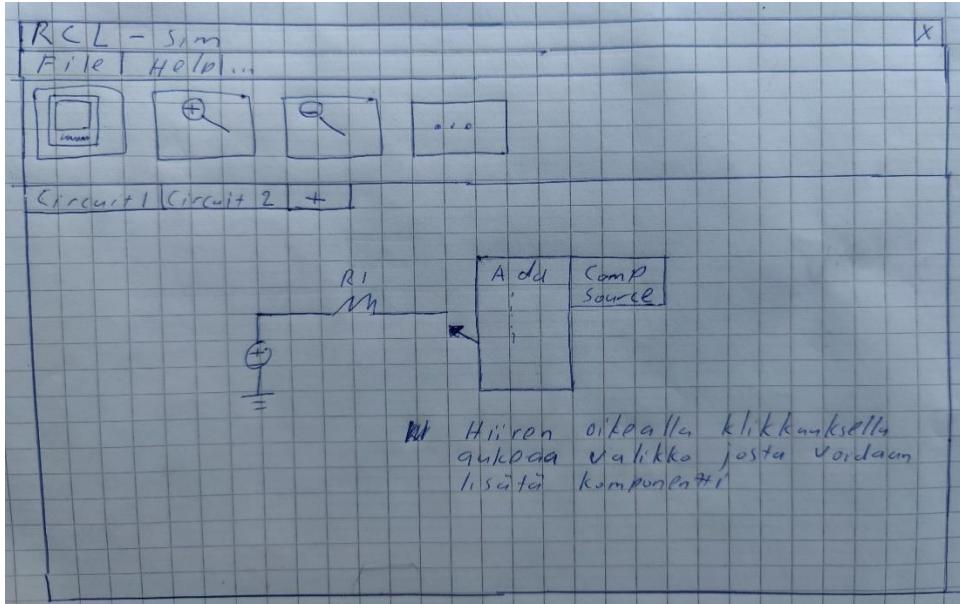
3.2. Konsepti 2



Sivupalkiton konsepti. Kaikki napit yläpalkissa.

- + Enemmän piirtotilaan piirille.
- + Yksinkertaisempi siinä mielessä, että napit ovat kaikki samassa paikassa.
- Yläpalkissa liikaa elementtejä? Yläpalkki voi ruuhkautua nappien määristä.

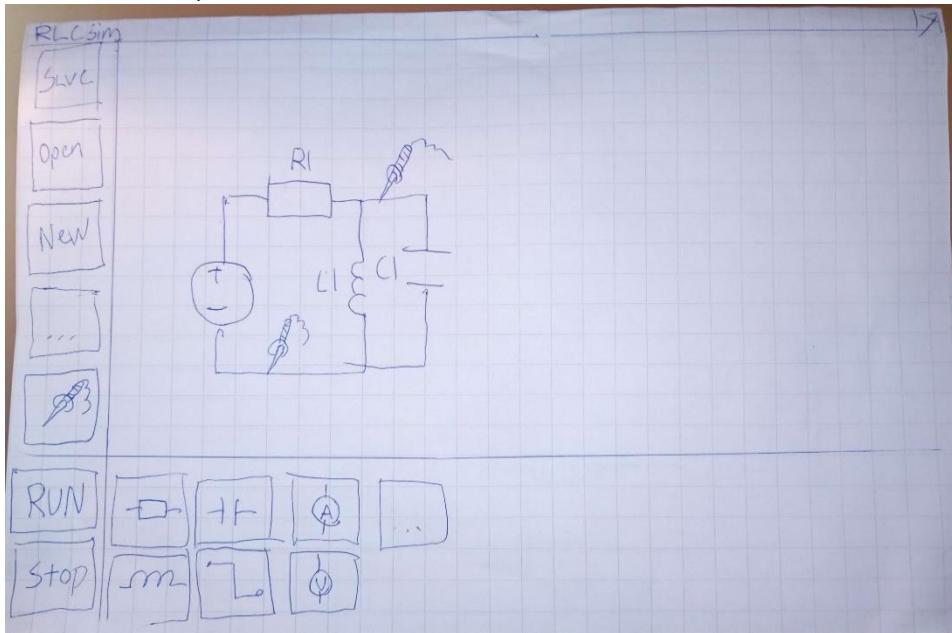
3.3. Konsepti 3



Komponenttien lisääminen suoritetaan klikkaamalla piirtoalueita ja valitsemalla lisättävä komponentti.

- + Piirtoalueita on vieläkin enemmän.
- Lisättävät komponentit ei niin helposti saatavilla.

3.4. Konsepti 4



Komponenttivalikko alhaalla, ohjauspaneeli vasemmalla. Ei mahdollisuutta usealle avonaiselle piirikaaviolle.

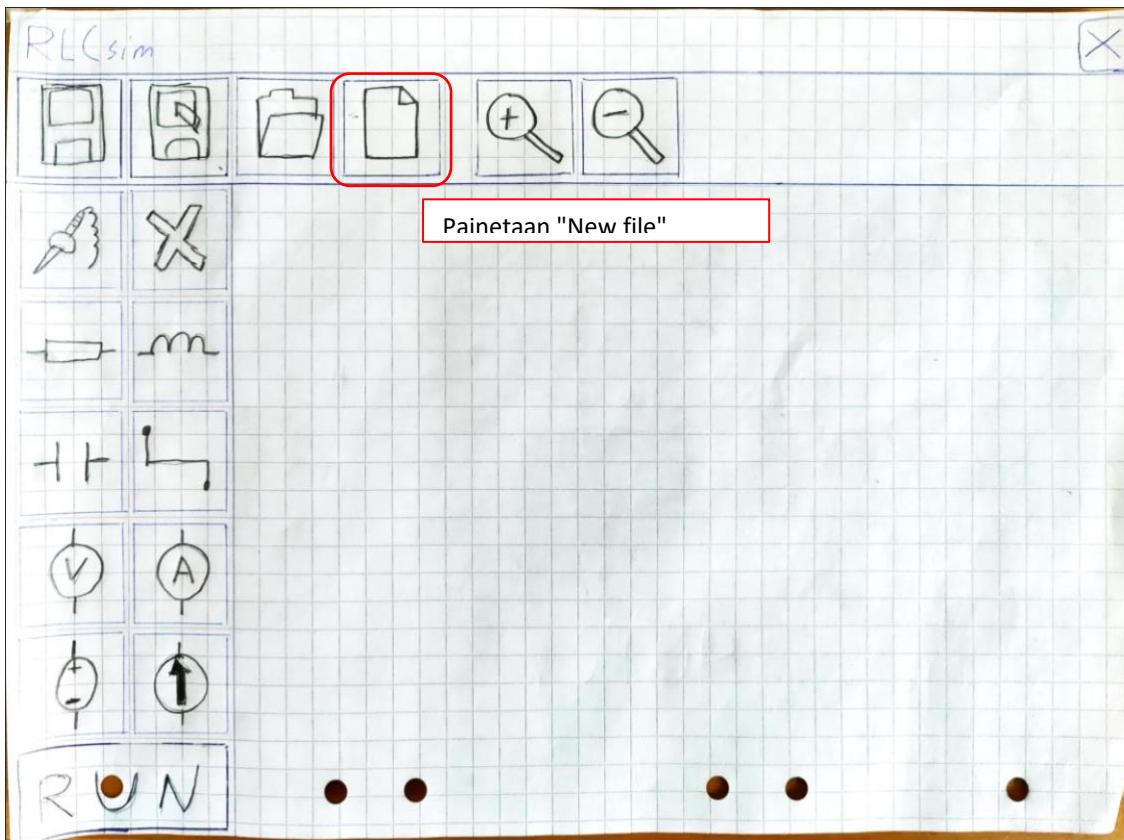
- + Aloittelijalle helpompi hahmottaa yksi ainoa aukinainen tehtävä.
- Ei mahdollisuutta työstää useaa tehtävää rinnakkain, kuten laskuharjoituksissa monesti tehdään

Käyttöliittymän prototypointiin valittiin konseptin 1 mukainen asetelma. Tämän konseptin painopiste on vasemmassa yläkulmassa, mihin kohderyhmän edustajan katse hakeutuu ensimmäisenä. Vasemmalla sijaitseva komponenttivalikko noudattaa nykysovelluksille yleistä asemointia, mikä on etu, kun ohjelmisto tavoittelee pääasiassa nuoria ihmisiä, opiskelijoita. Piirit sijaitsevat välilehdillä, mikä mahdollistaa sujuvan työskentelyn monen piirin parissa. Hahmolakien kannalta ajateltuna läheisyyden ja samankaltaisuksien lait voidaan toteuttaa hienosti konseptin 1 kanssa, sillä komponenttit ovat omassa paikassaan erillään tallennus/latauspainikkeista ja lähennys/loitonuspainikkeista.

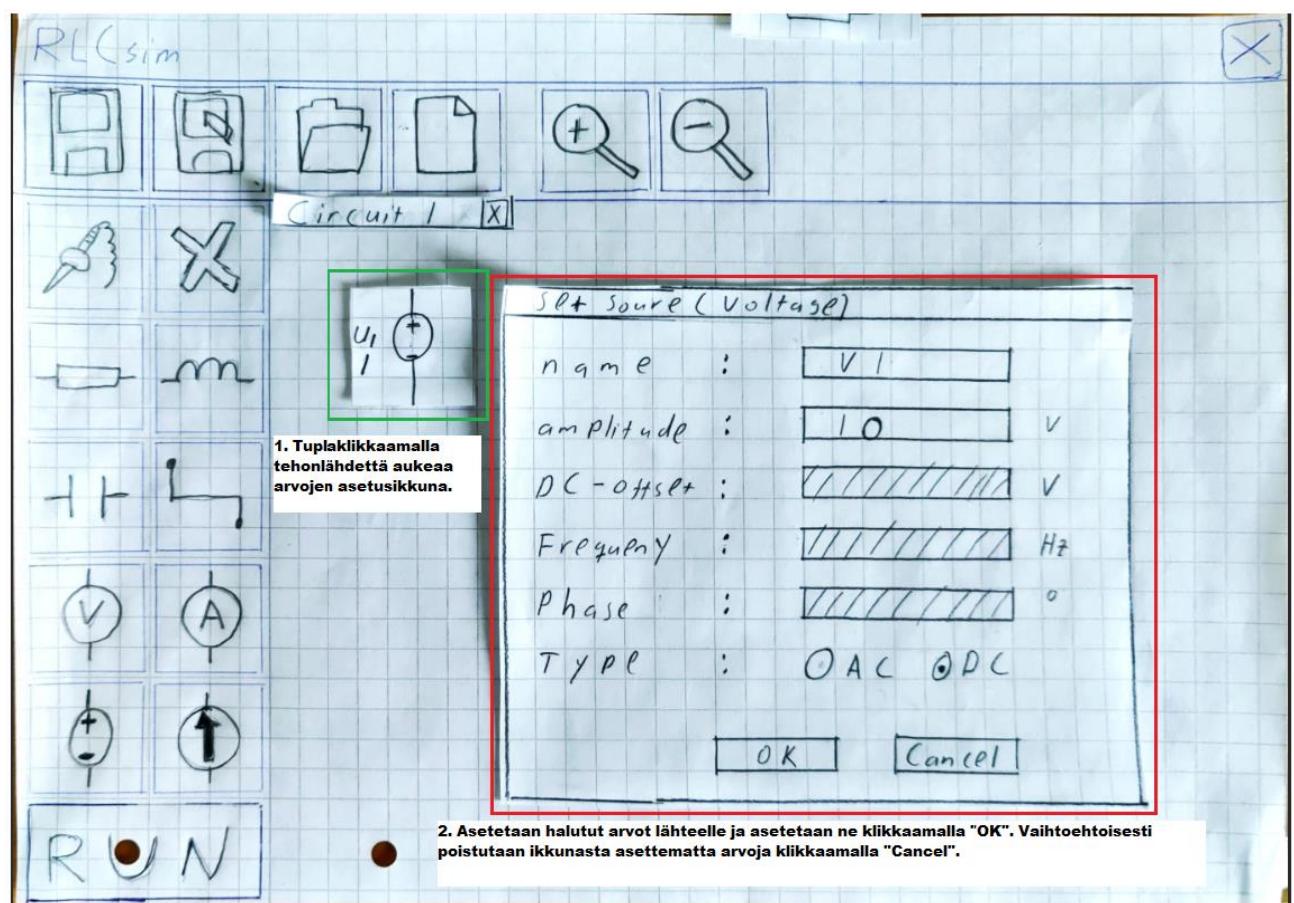
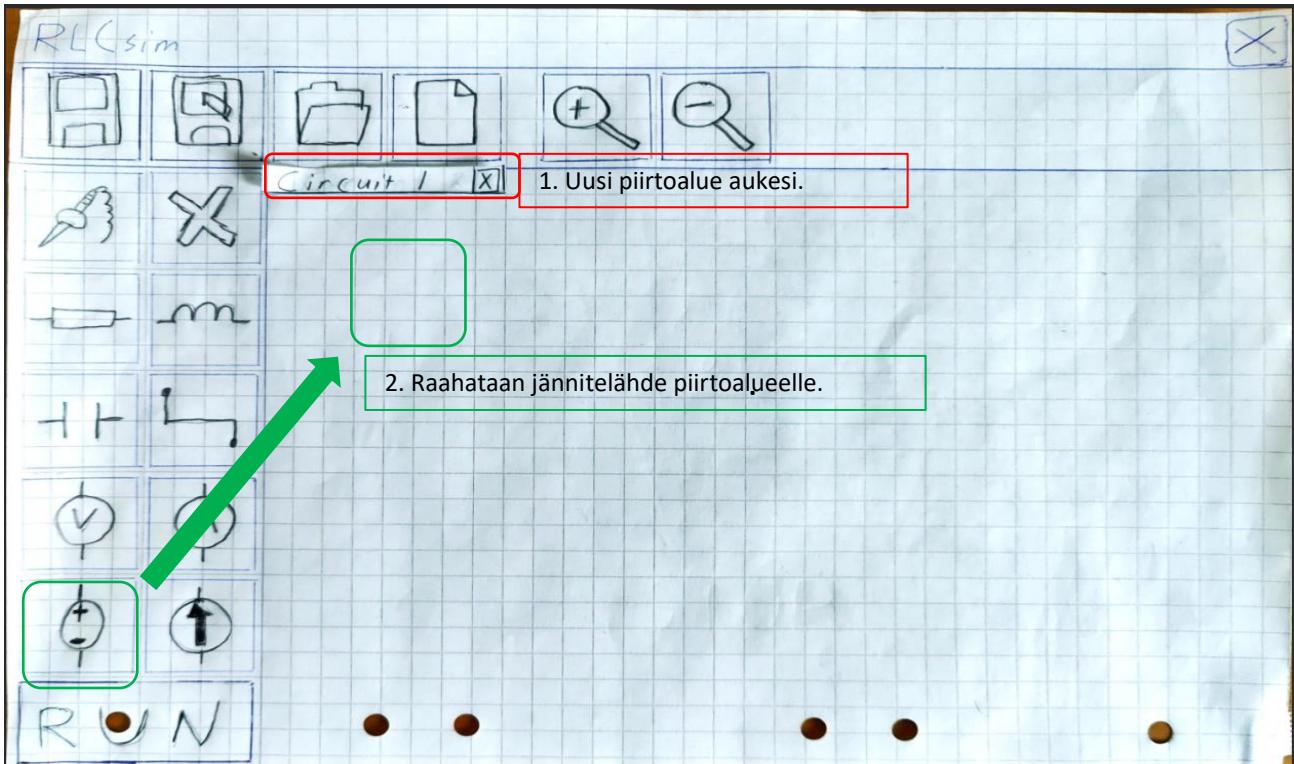
4. Käyttöliittymän prototypointi

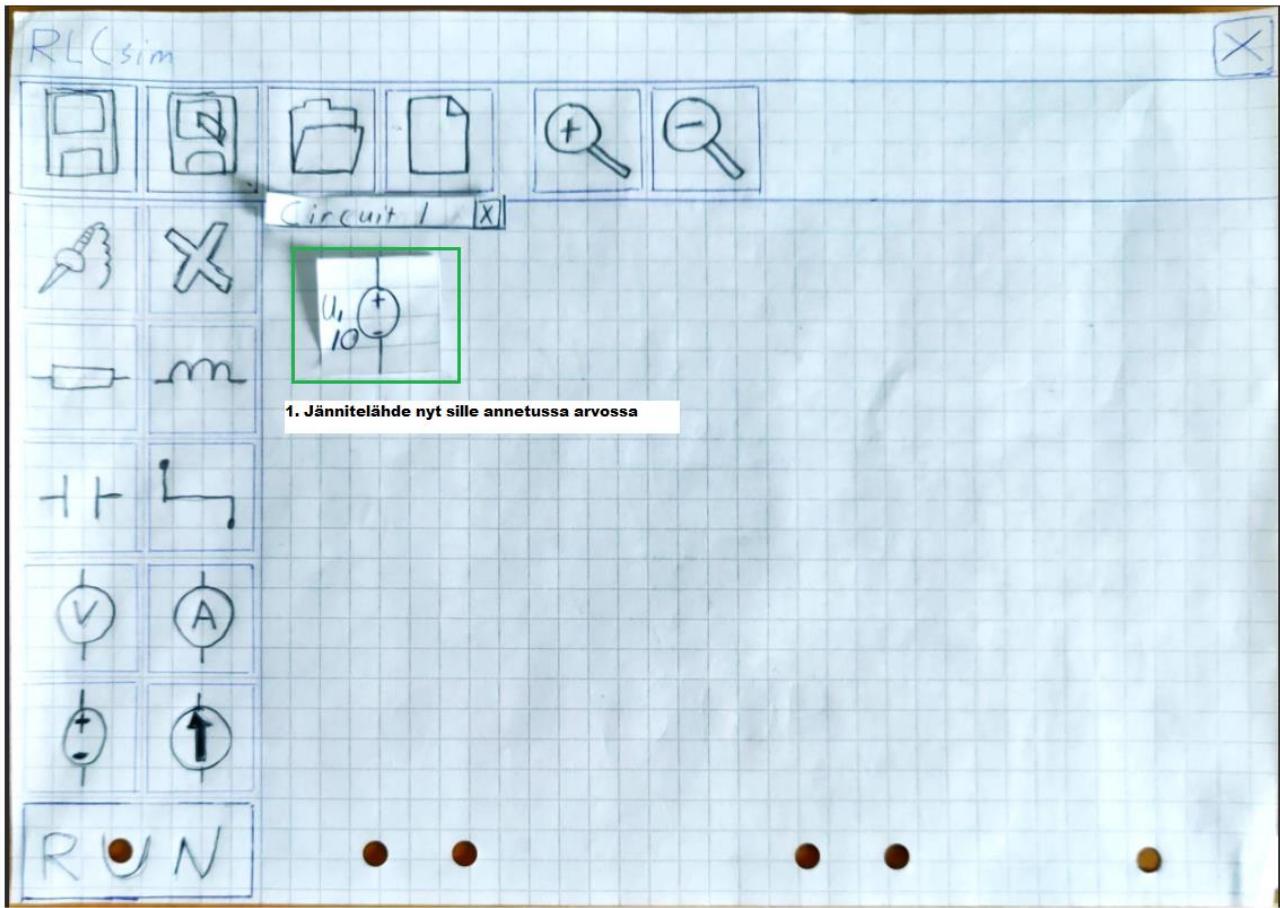
4.1 Käyttöliittymän käyttöesimerkki

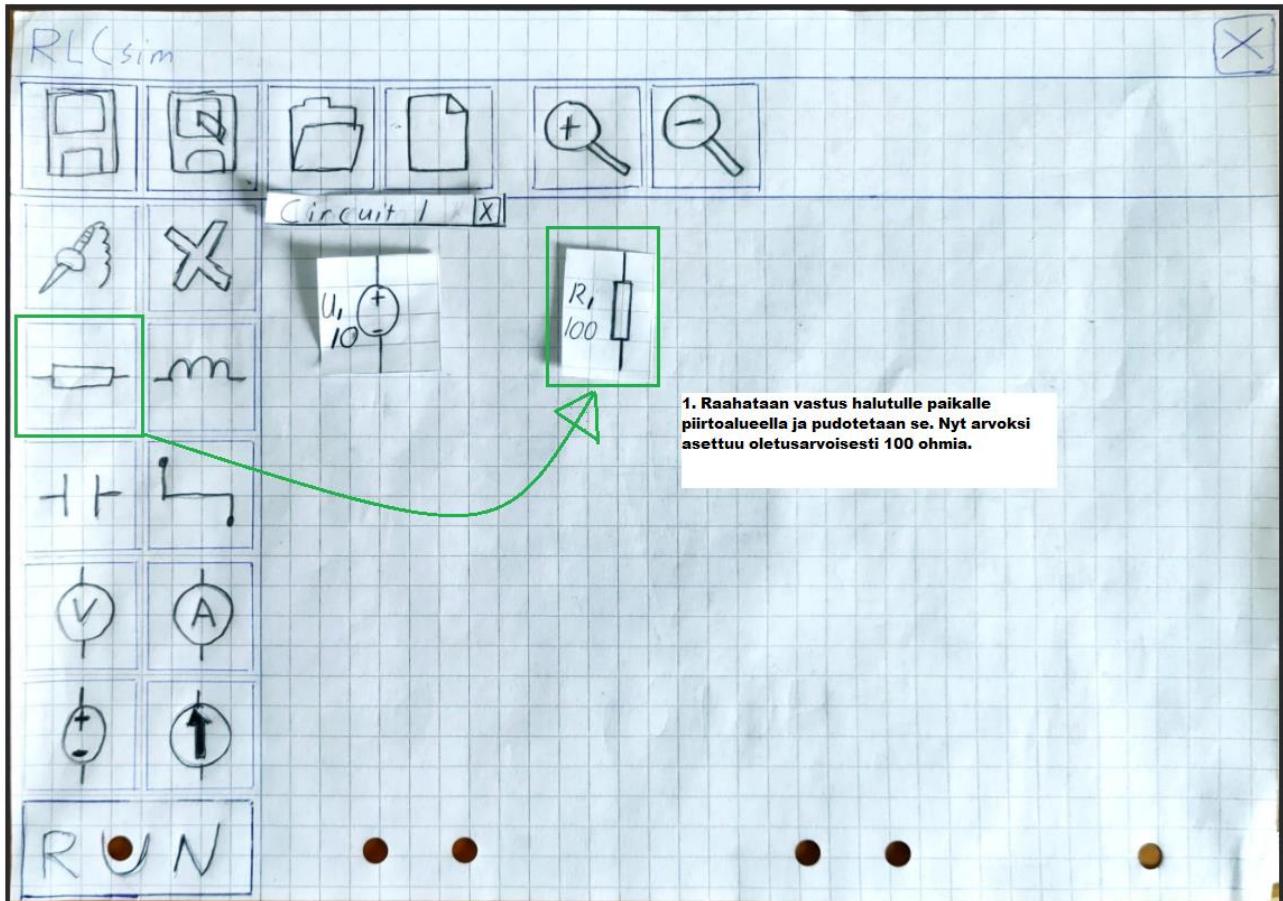
4.1.1 Pirin luominen ja sen simulointi

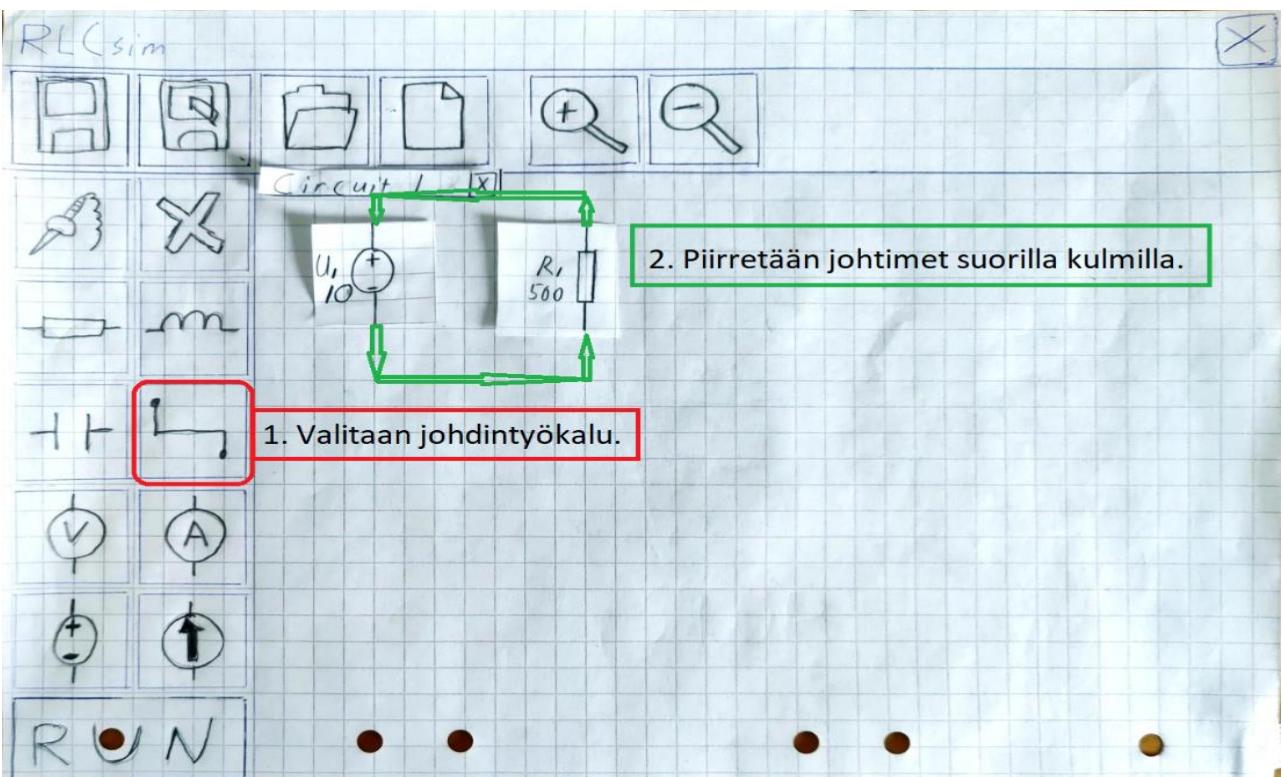
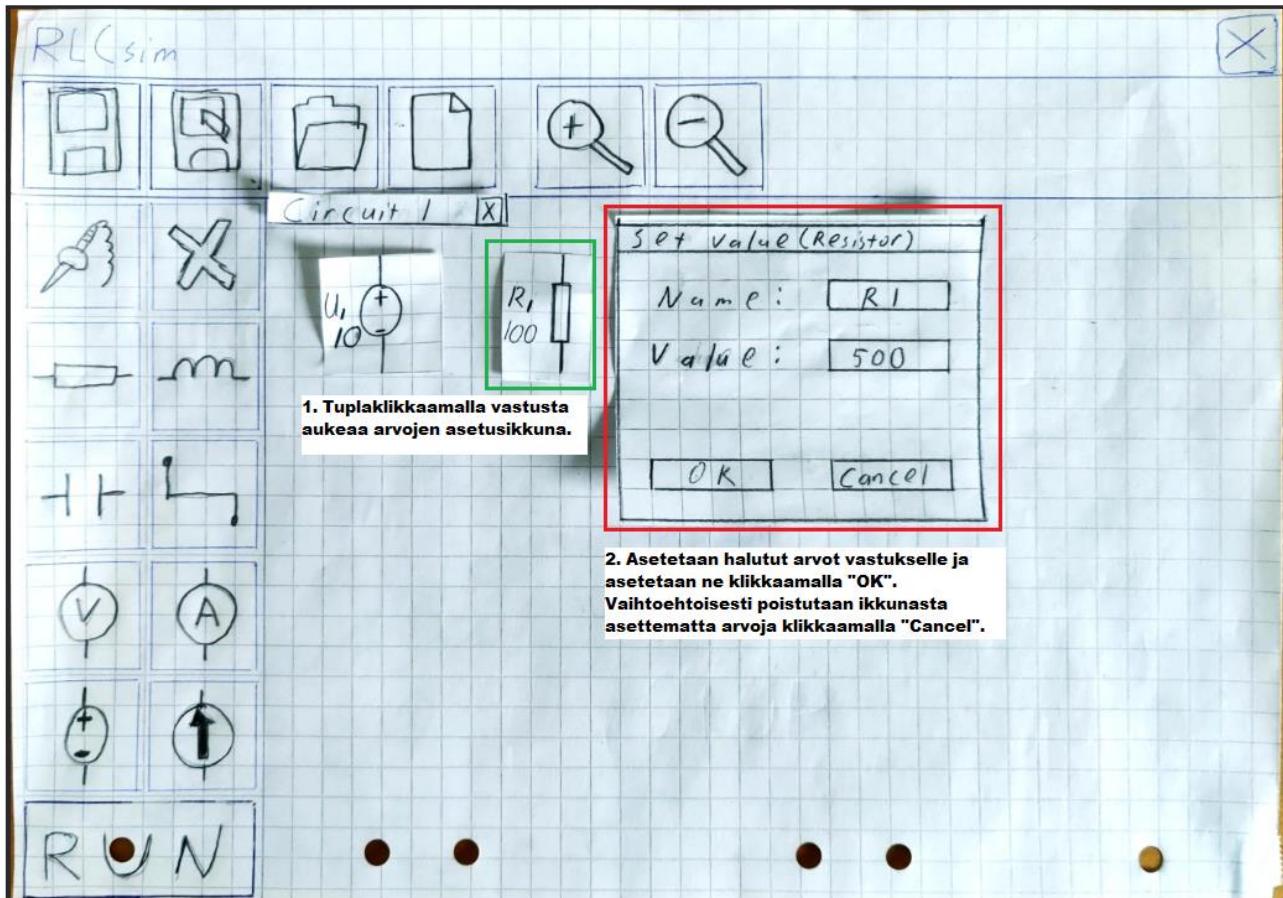


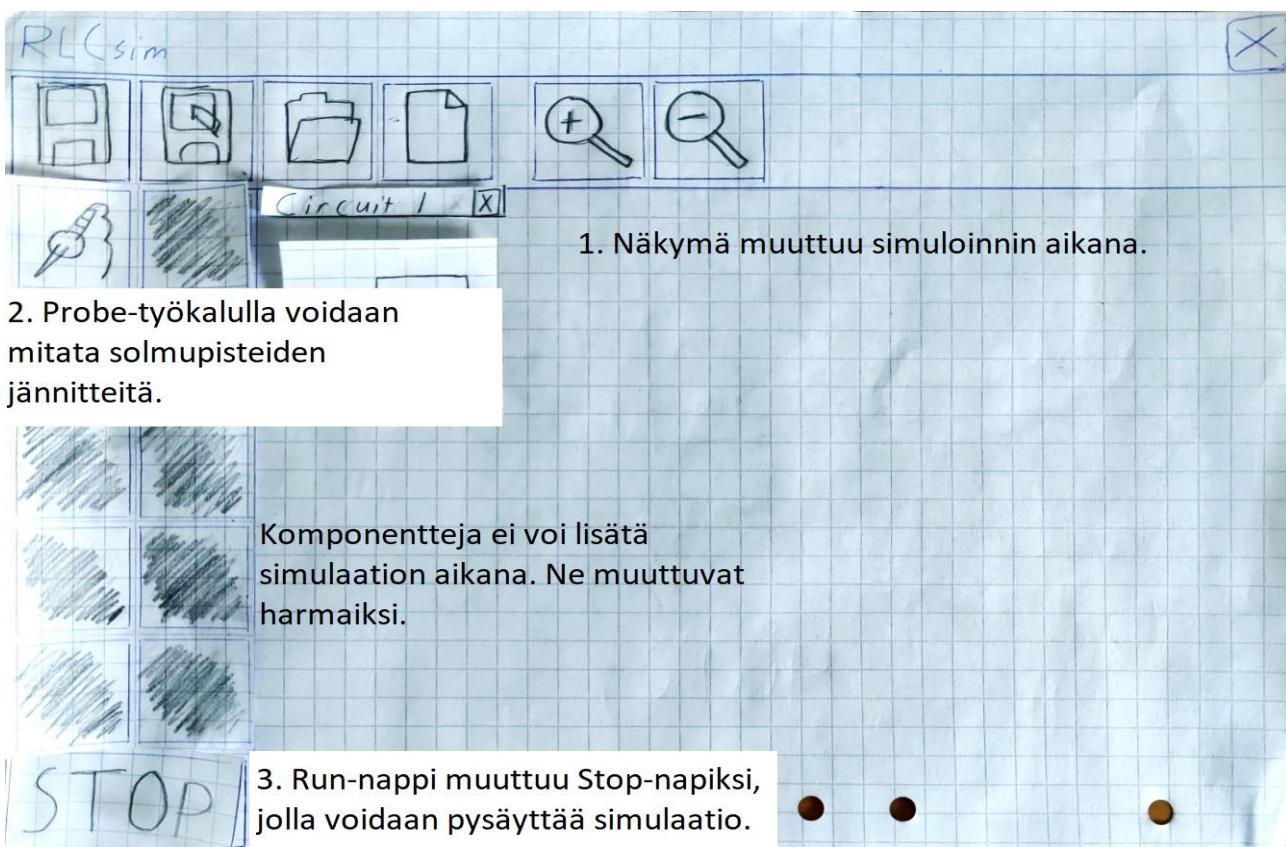
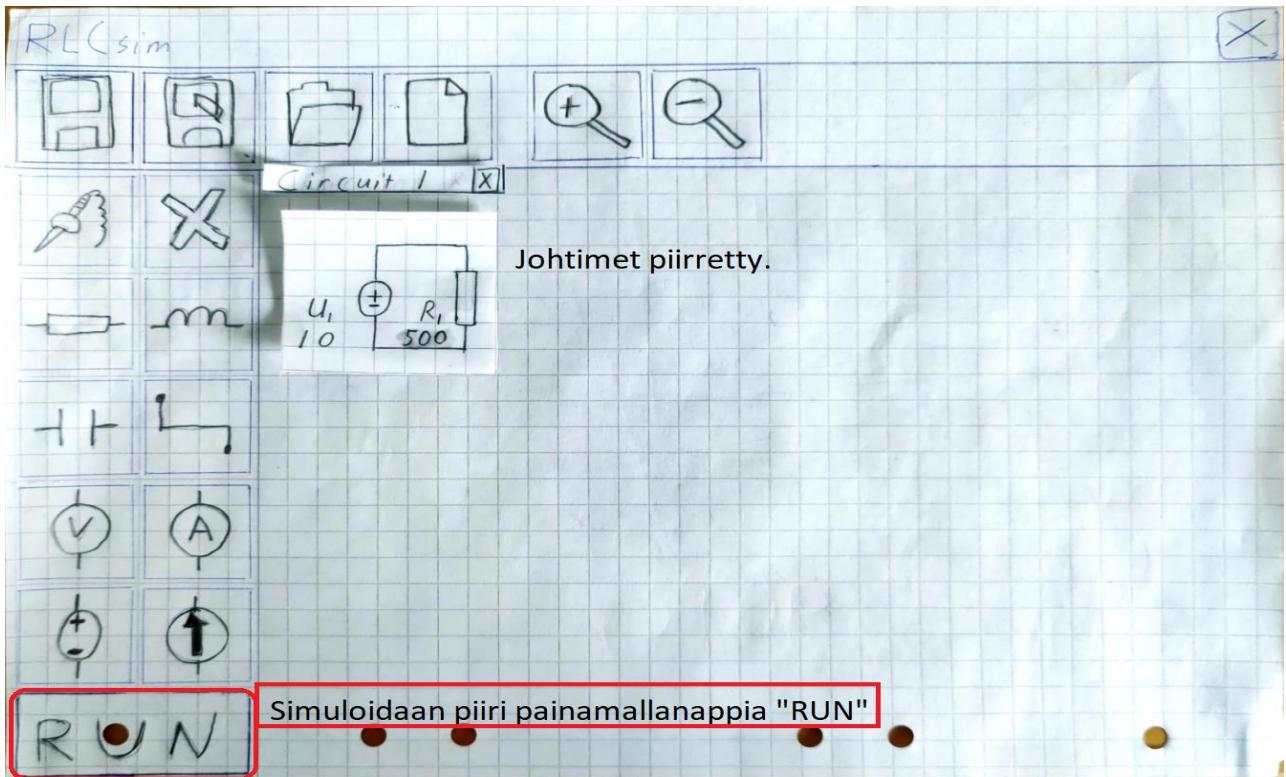
Käyttöliittymän pää näkymä.

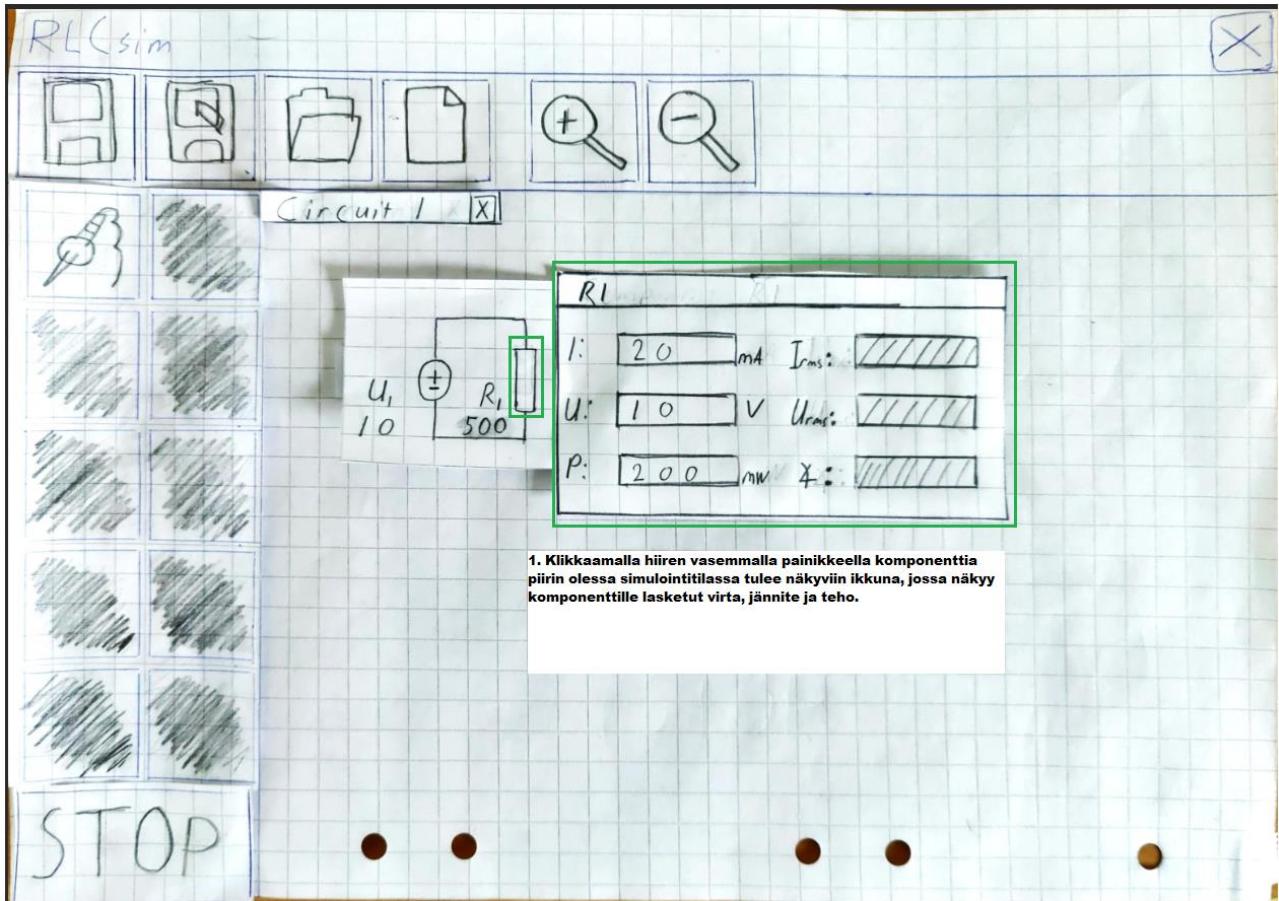




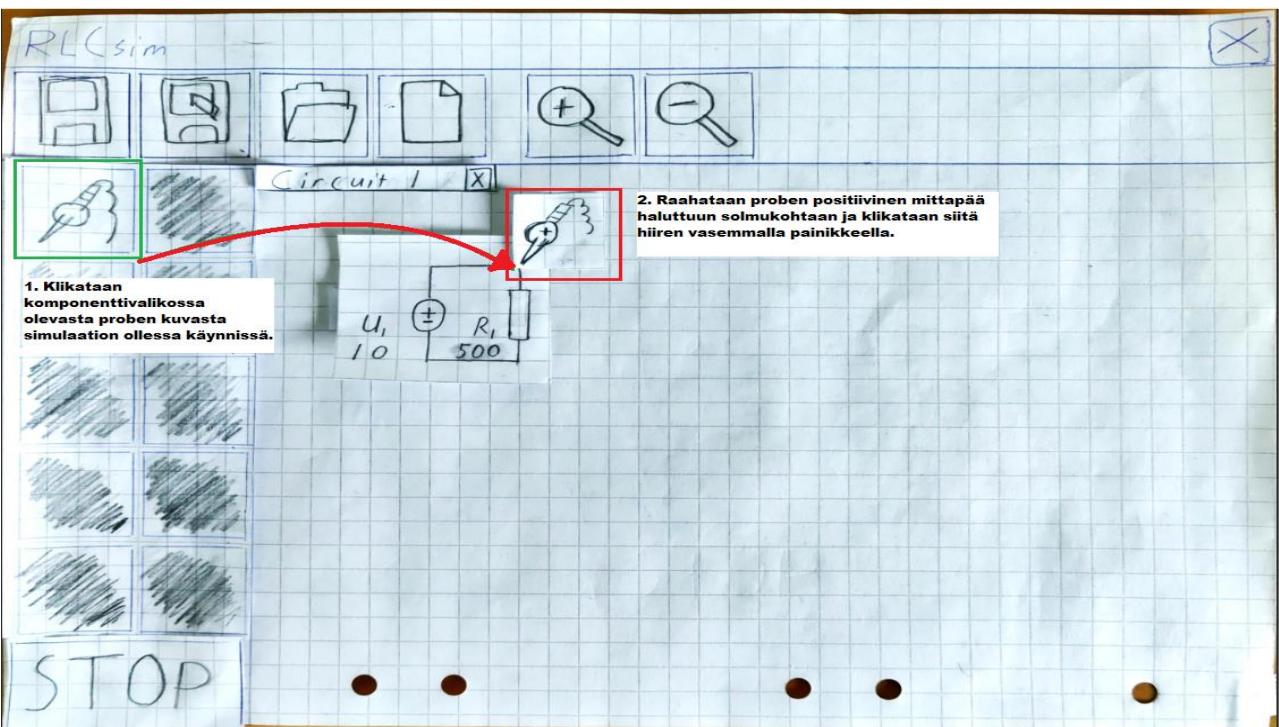


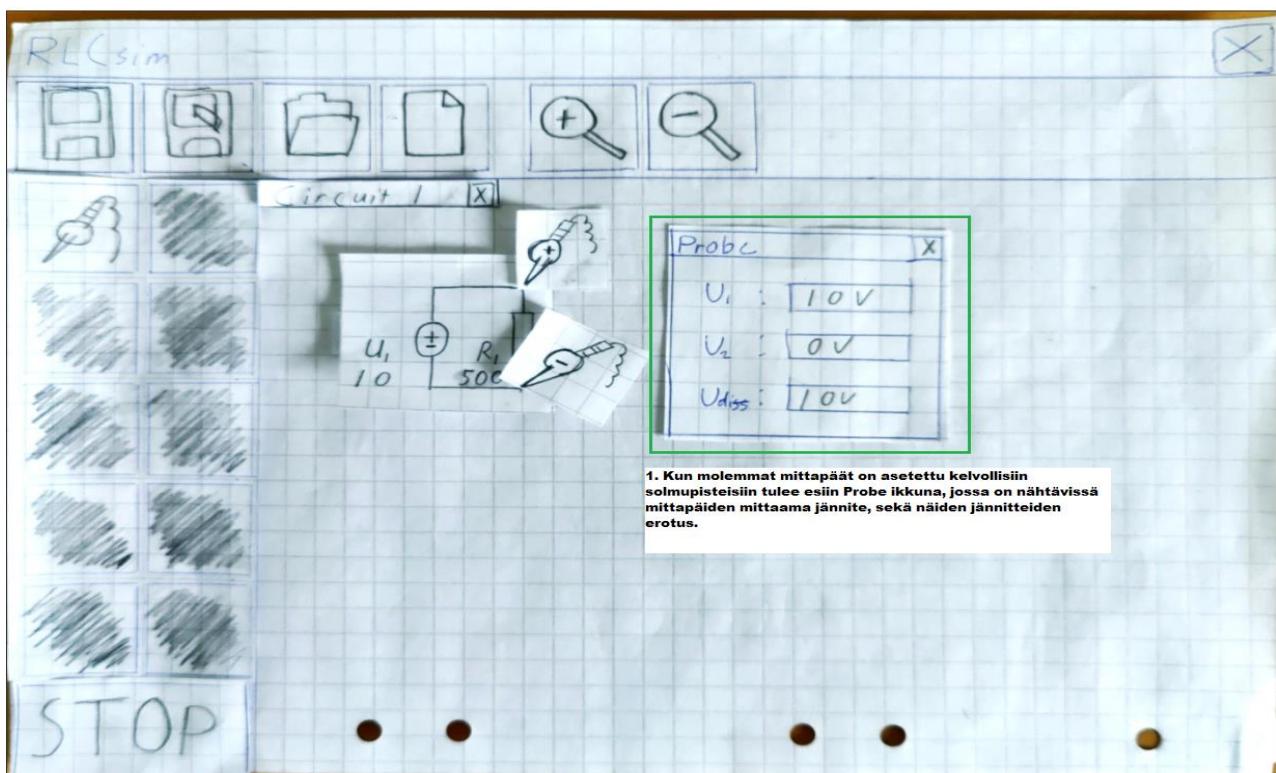
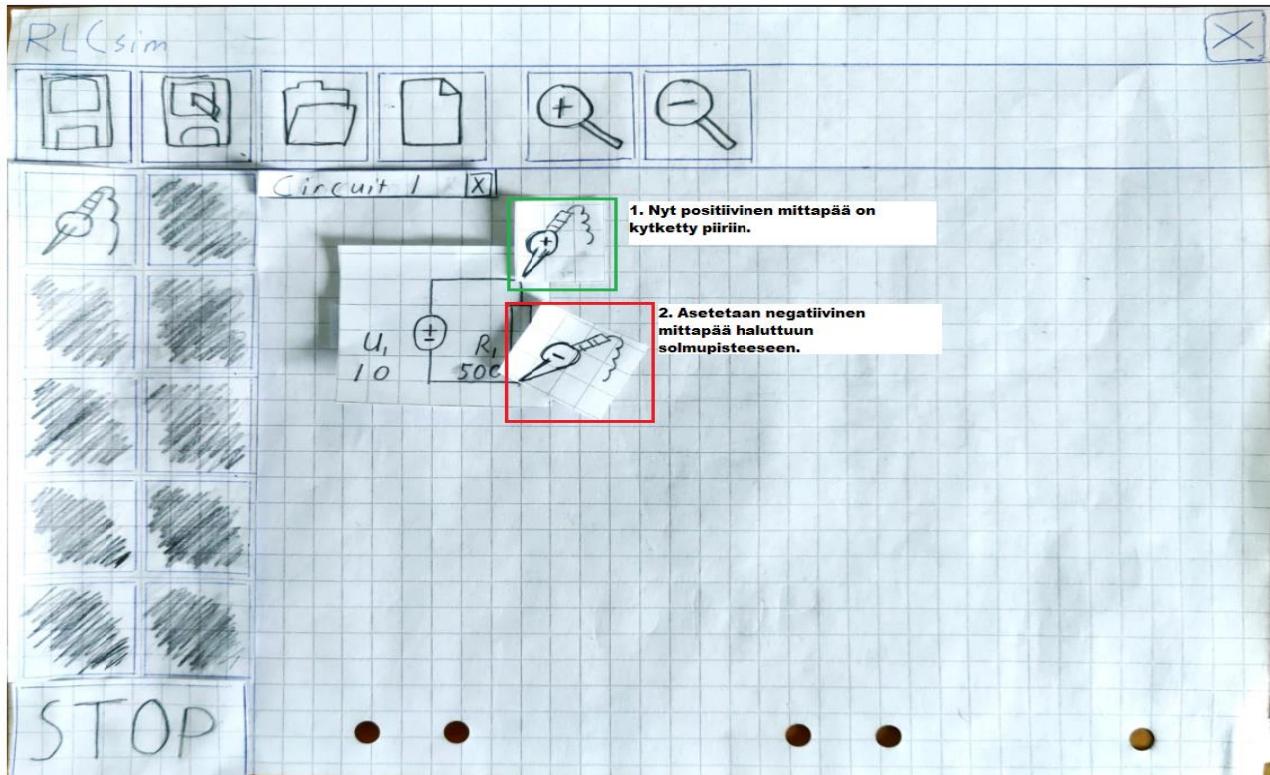




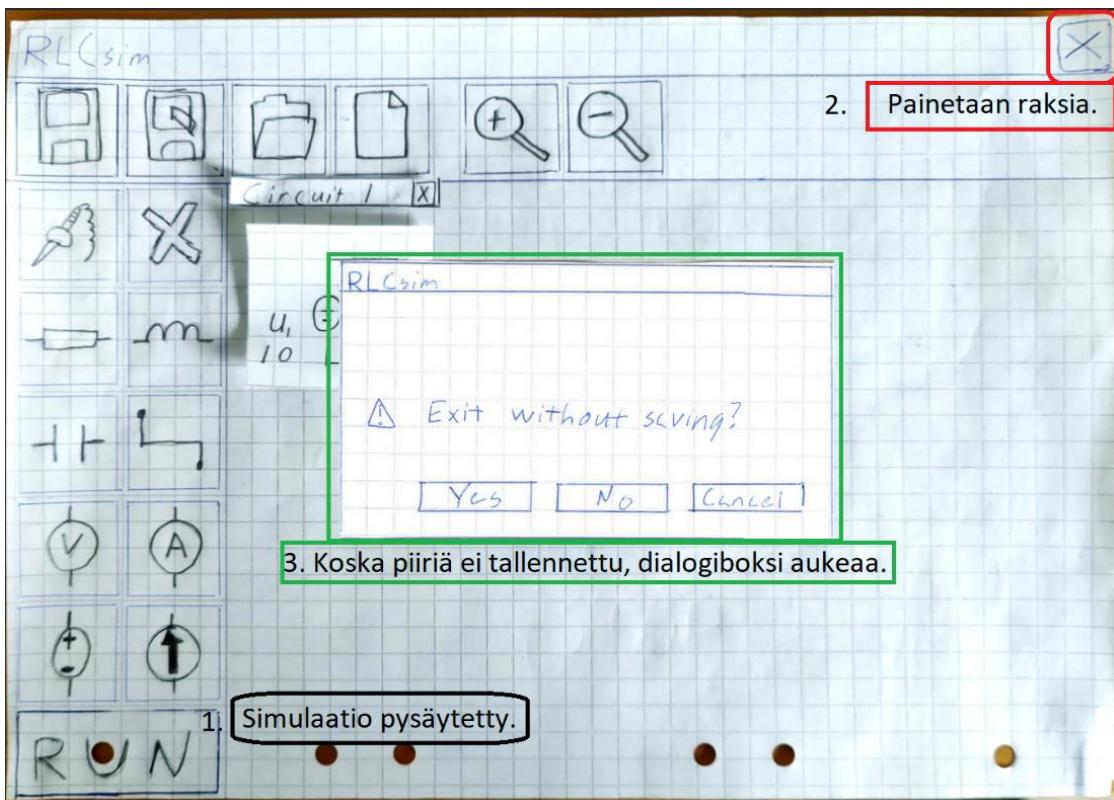


4.1.2 Proben käyttö

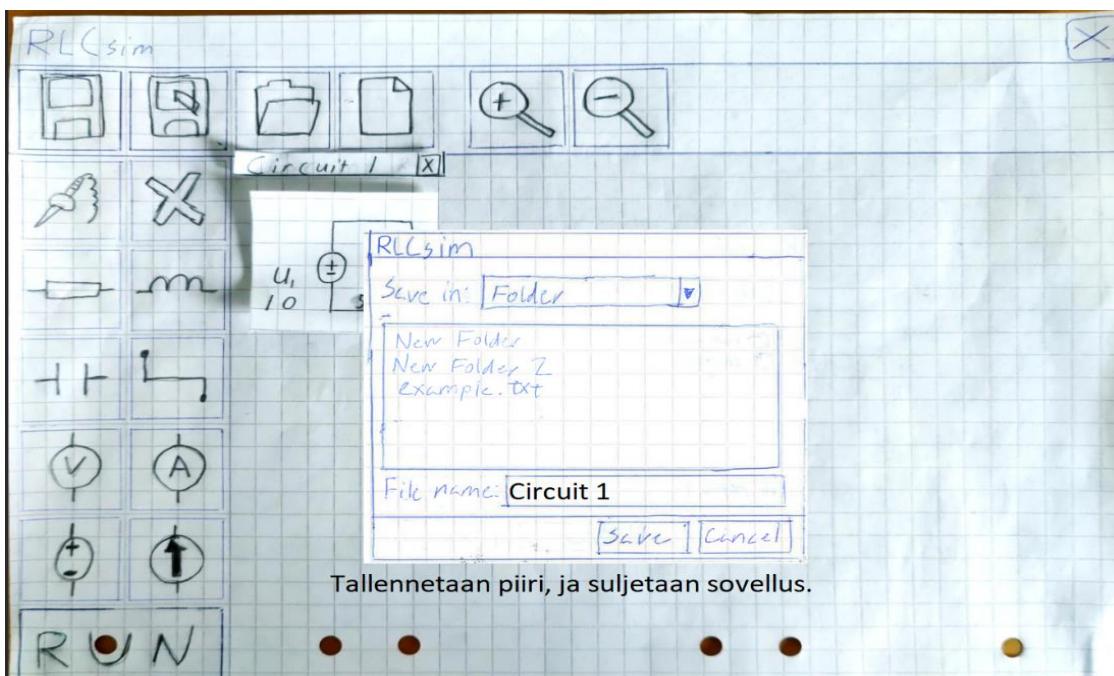


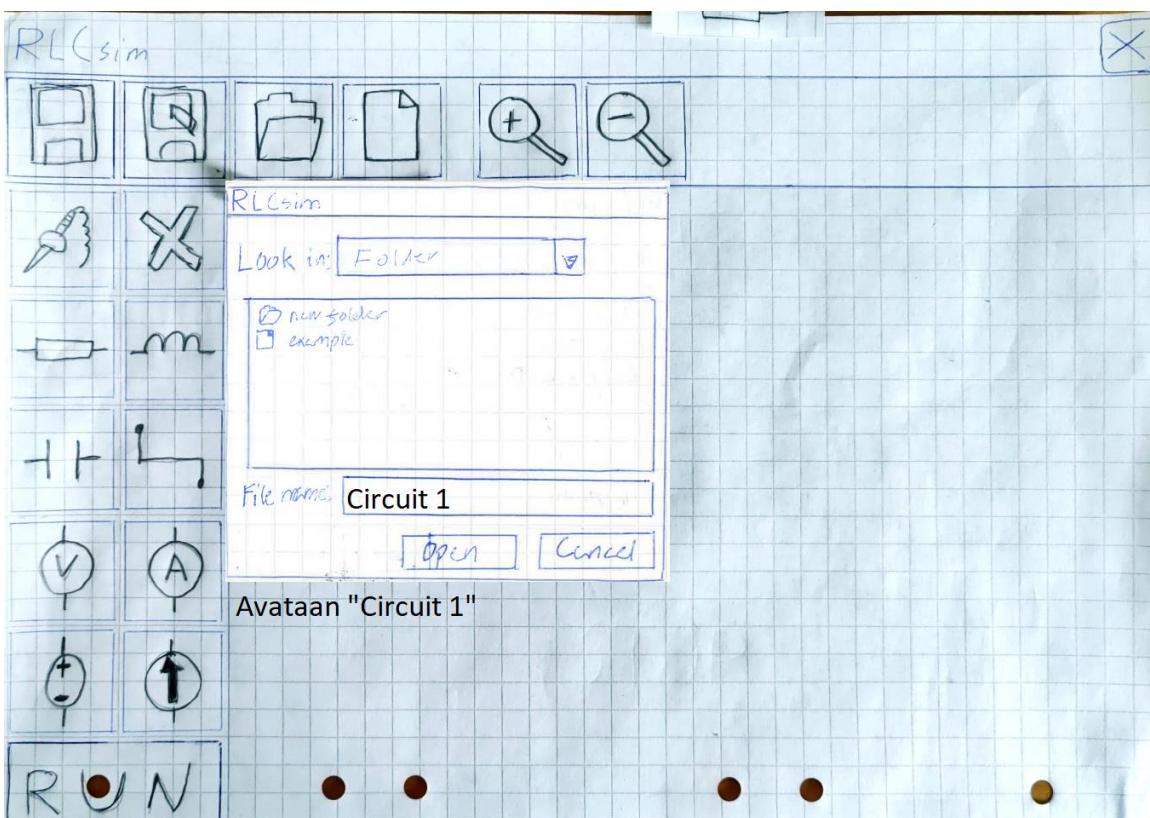
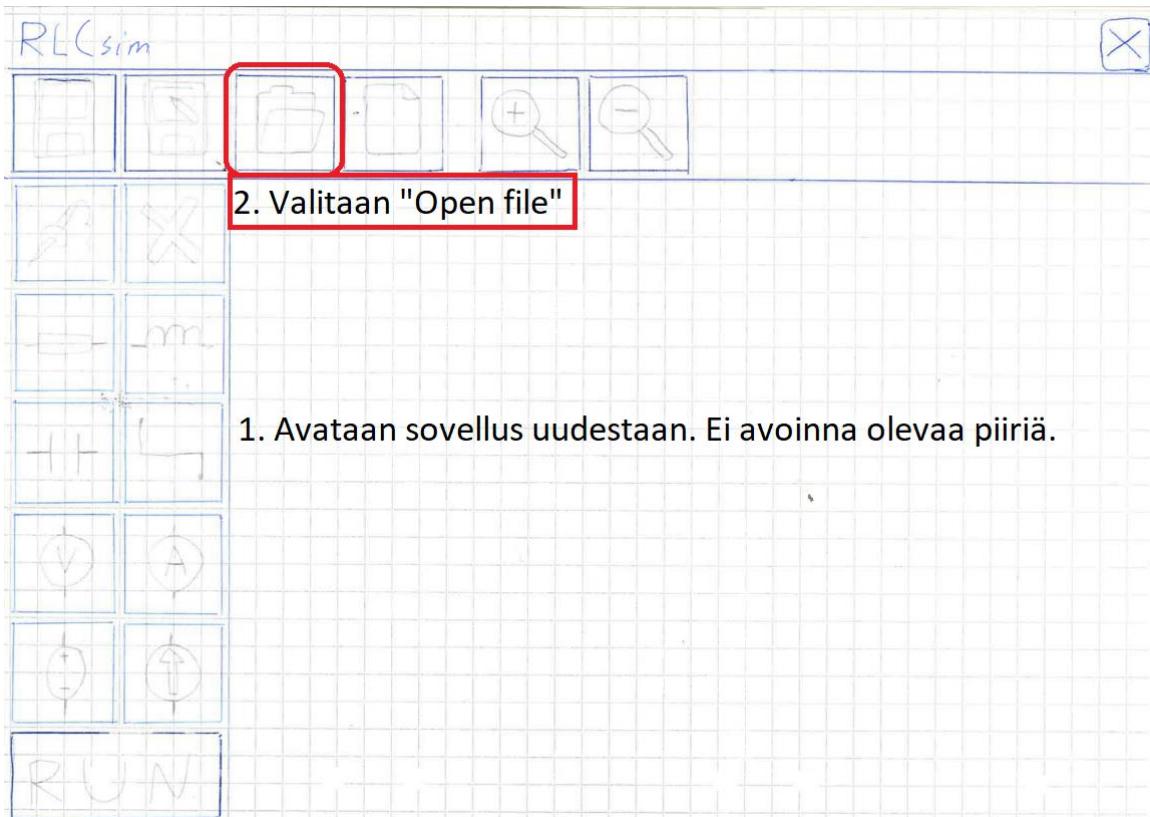


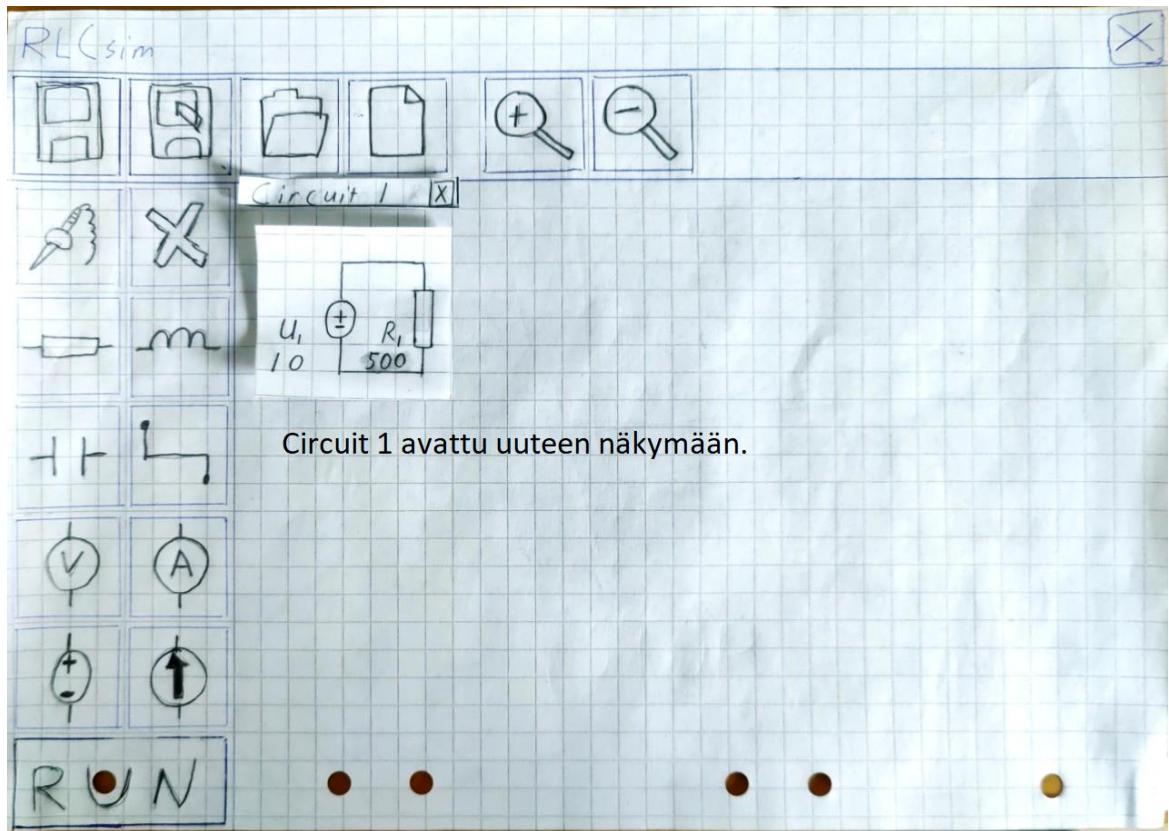
4.1.3 Piirin tallentaminen ja avaaminen



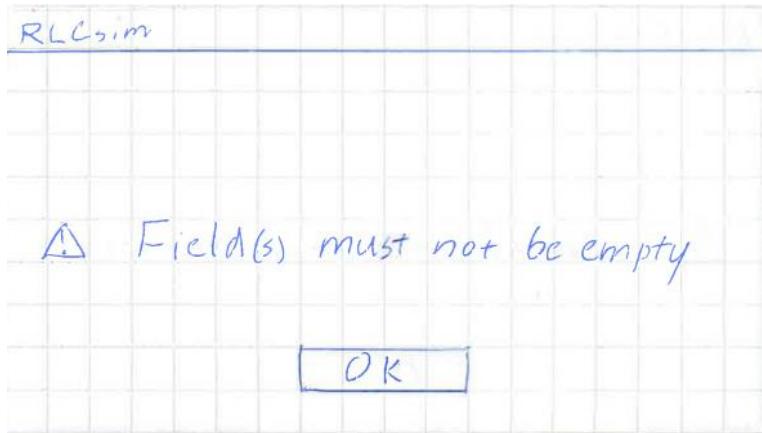
HUOM! Piiri voidaan tietenkin myös tallentaa suoraan tallennusnapista vasemmasta yläkulmasta savesta tai save-napista.







4.2 Muut ikkunat



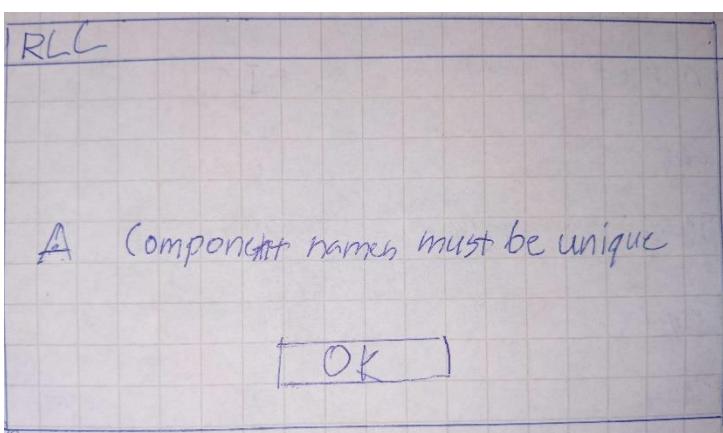
Virhe, joka annetaan jos komponentille yritetään antaa tyhjä arvo.



Virhe, joka aiheutuu jos tiedosto, jota avataan on virheellinen.



Virhe, joka annetaan jos tiedoston tallentaminen ei onnistu.



Virhe, joka annetaan jos kahdelle komponentille annetaan sama nimi.

RLC-sim

⚠️ Unable to simulate circuit

Virhe, joka annetaan jos simulaatiota ei kyötä suorittamaan.

Set value

Name :

Value :

Geneerinen R/L/C arvoasetusikkuna. Mukautetaan komponentin mukaan.

Set source (voltage)

Name :

amplitude : V

DC-offset : V

Frequency : Hz

Phase : °

Type : AC DC

Jännitelähteen arvoasetusikkuna AC-virralle. Vaihtovirtaominaisuudet avautuneet säädetäviksi.

Set source (Current)		
Name :	<input type="text" value="I1"/>	
Amplitude :	<input type="text" value="1"/>	A
DC-offset :	<input type="text" value="0"/>	A
Frequency :	<input type="text" value="1"/>	Hz
Phase :	<input type="text" value="0"/>	°
Type:	<input checked="" type="radio"/> AC <input type="radio"/> DC	
		<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>

Virtalähteen arvoasetusikkuna AC-virralle. DC-virran tapauksessa offset, frequency ja phase poissa käytöstä

RLCsim		
<input checked="" type="checkbox"/> Close without saving		
<input type="button" value="Yes"/>	<input type="button" value="No"/>	<input type="button" value="Cancel"/>

Dialogiboksi, joka annetaan jos piirinäkymää koetetaan sulkea tallentamatta ensin.

5. Käyttöliittymän evaluointi

5.1. Heuristinen evaluointi

Heuristiseen evaluointiin käytettiin Ben Shneidermannin kahdeksaa kultaista säätöä liittyen käyttöliittymän suunniteltuun.

Heuristisessa evaluoinnissa havaittiin ongelma oikoteiden puutteellisuudesta sovellusta käyttäessä. Käyttäjäryhmä on varsin kokenut elektroniikan kannalta ja näin ollen he voisivat kaivata netlist tyypistä ratkaisua piirin komponenttien arvojen syöttämiseen. Käyttäjäryhmä on, myös tottunut Windows ympäristöistä tutuihin pikanäppäimiin, kuten "Ctrl+s", jolloin näiden lisääminen käyttäjälle olisi suotavaa. Käyttäjäryhmästä valtaosa on opiskellessaan tottunut käyttämään piirisimulaattoria LtSpice, jolloin kyseistä ympäristöstä tutut pikanäppäimet olisivat, myös hyödyllisiä käyttäjän kannalta esim. komponentin lisääminen painamalla näppäintä "R" sen sijaan, että komponentti tarvitsee aina valita erillisestä valikosta.

Puutteita havaittiin käyttäjälle tarjottavan informaation suhteen. Etenkin sovelluksen yrittäessä simuloida piiriä, jos simulointi ei onnistu, ei käyttäjää informoida syystä mikä estää simuloinnin. Tämän informaation esittäminen olisi oleellista, jos tarkastellaan sovelluksen toiminnallista kontekstia. Sovelluksen tarkoitus on ennen kaikkea toimia oppimisen tukena, jolloin kaikki informaatio liittyen piirin toimintaan sähköpililisesta näkökulmasta olisi hyvä tarjota käyttäjälle.

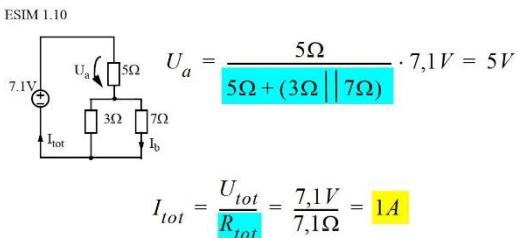
Ongelmaa ilmeni, myös virheenkäsittelyssä, sekä mahdollisuksissa peruttaa toimintoja. Esimerkiksi käyttäjän poistaessa väärä komponentti piirtoalustalta, ei ole työkalua, jolla voitaisiin peruttaa suoritettu toiminto. Käyttäjän syöttämän toiminnon peruttaminen on monesta ympäristöstä käyttäjäryhmälle tuttu ja näin ollen varmasti odotettu ominaisuus.

Käyttäjäryhmän kannalta merkittävin ongelma sovelluksen käytössä liittyy käyttäjän saamaan kontrolliin. Sovellus rajoittaa piirin lisättävän tehonlähteen yhteen kappaleeseen per piiri. Tämä voi haitata monessa tapauksessa sovelluksen käytämistä opiskelun ohessa, sillä monet piirit, joita koulutöissä ilmenee sisältävät useampia tehonlähteitä. Käyttöliittymässä on, myös rajallinen kontrolli käyttöliittymän teemojen suhteiden esim. käyttäjä voi fyysisen kontekstin kuvaukseen perusteella käyttää sovellusta pimeässä huoneessa, jolloin tumma teema voisi olla tarpeellista toteuttaa.

Heuristicsissa evaluoinnissa havaittiin, myös tarpeelliseksi mahdollista SI-yksiköiden käyttö. SI-yksiköiden käyttö on oleellinen osa käyttäjäryhmän koulutusta ja näiden käyttö tulisi mahdollistaa sovelluksen käytössä.

5.2. Skenaariopohjainen evaluointi

1. Skenaario: AC-DC mittaus rinnakkaisesta RLC-piiristä.
Piirretään rinnakkainen RLC-piiri, ja simuloidaan se sekä AC- että DC-jännitteellä.
2. Skenaario: Mittaus RLC-sarjapiiristä.
Sama kuin edellä, mutta sarjapiirillä.
3. Mari on saanut tehtäväksi laskea liitteenä olevan piirin arvoja. Hän haluaa tarkistaa laskunsa simuloimalla piirin, ja tallentaa piirin. Hän lupasi auttaa kurssikaveriaan tehtävässä, ja aikoo jakaa valmiin piirin tälle.



$$I_b = \frac{\frac{1}{7}S}{\frac{1}{3}S + \frac{1}{7}S} \cdot I_{tot} = \frac{3\Omega}{3\Omega + 7\Omega} \cdot 1A = 0,3A$$

b) $U_a = 5\cos(2t)$ V; $I_b = 0,3\cos(2t)$ A

Skenaario 1: AC-DC mittaus rinnakkaisesta RLC-piiristä

1. Mikko avaa softan
2. Mikko avaa uuden työalueen
3. Mikko vetää vastuksen, kelan ja kondensaattorin työalueelle, ja asettaa näille arvot 500 ohm, 100 mH ja 10 nF
4. Mikko vetää jännitelähteen piirille, ja asettaa talle arvon 10 V DC
5. Mikko johdottaa piirin rinnankytkenäksi
6. Mikko painaa simulointinappia. Simulointi ei onnistu, koska piiri on oikosulussa.
7. Mikko asettaa jännitelähteelle arvot 10 V AC, 1 kHz
8. Mikko painaa simulointinappia. Simulaatio suoritetaan.
9. Mikko avaa vastuksen arvovalikon. I=20 mA, U=10 V, P=200 mW, Irms = 14,1 mA, Urms = 7,07 V vaihe=0 deg
10. Mikko pysäyttää simulaation.

11. Mikko vaihtaa jännitelähteen virtalähteeseen, ja asettaa arvot 1 A DC
12. Mikko painaa simulointinappia. Simulointi epäonnistuu, koska piiri on oikosulussa.
13. Mikko asettaa virtalähteen arvoiksi 1 A AC, 1 kHz
14. Mikko painaa simulointinappia. Simulointi onnistuu. Mikko pysäyttää simulaation.

Tämä skenaario onnistui käyttäjältä. Ainoa huomionarvoinen asia oli se, että teholähteiden tiedot olisi hyvä saada näkyviin myös piirtoalueelle komponentin viereen jotta arvoikkuna ei tarvitse avata

Skenaario 2: AC-DC-mittaus RLC-sarjapiirillä

1. Mikko käyttää edellisen skenaarion piiriä pohjana.
2. Mikko poistaa johtimet.
3. Mikko siirtää komponentit sopiviin paikkoihin. Mikko haluaa kääntää komponenttia, mutta tälläistä toiminnallisuutta ei ole.
5. Mikko johdottaa piirin sarjakytkenäksi
6. Mikko asettaa virtalähteen arvoiksi 1 A DC
7. Mikko painaa simulointinappia. Simulointi ei onnistu, koska piirissä on kelliava solmukohta. (Kondensaattori ja AC-virtalähde) Virheilmoituksessa tästä ei lue.
8. Mikko asettaa jännitelähteelle arvot 10 V AC, 1 kHz
9. Mikko painaa simulointinappia. Simulaatio suoritetaan. Mikko pysäyttää simulaation.
10. Mikko tekee samat jännitelähteillä. Ei enempää ongelmia.

Tässä skenaariossa nousi esiin ongelmia. Komponenttien kääntäminen ei onnistu, vaikka se on perusominaisuus kaikissa vastaanlaisissa sovelluksissa, ja sille selkeästi on tarve. Tarve vikadialogille kondensaattori-DC-virta-tilanteessa tuli myös esiin.

Skenaario 3: Piritehtävä

1. Mari avaa simulaattorin läppärillä laskuharjoituksissa.
2. Mari lisää piirtoalueelle jännitelähteen (7.1 V DC), ja kolme vastusta (5 ohm, 3 ohm ja 7 ohm).
3. Johtuen läppärin huonosta kosketuslevystä Mari lisää vahingossa piirtoalueelle vastuksen sijaan kelan.
4. Mari yrittää käyttää undo-työkalua, mutta sellaista ei ole. Mari poistaa kelan manuaalisesti.
5. Mari lisää onnistuneesti oikean komponentin piirtoalueelle.
3. Mari kytkee johtimet. R2 ja R3 tulevat rinnan.
4. Mari simuloi piirin.
5. Mari tallentaa piirin tekstitiedostoon save-as-painikkeesta.
6. Mari siirtää tiedoston OneDrive:iin, ja jakaa sen kaverilleen.

Tässä havaittiin, että drag-and-drop tyylinen ratkaisu on käyttäjäepäystävällinen. On paljon helpompaa ja vähemmän riskiallista voida lisätä useita komponentteja yhdellä komponenttivalikon painalluksella. Käyttökonteksti on läppärillä,

mitä ei ole otettu käyttöliittymän suunnittelussa huomioon. Drag-and-drop on oikeastaan käytökelvoton läppärin kosketuslevyllä.

5.3. Vertaisarvioinnit

Vertaisarvioinnissa ilmeni tarve osoitinaktivoidulle infolaatikolle piirisymboleiden päällä. Käyttäjäryhmän tarpeiden kannalta tätä ei kuitenkaan nähdä ensisijaisena prioriteettina, sillä voidaan olettaa, että käyttäjä tuntee piirisymbolit. Tämä voidaan kuitenkin implementoida, jos aikaa on. Toinen arvioija kysyi kuinka useammat avoimet piirit ilmaistaan. Tämä toimii samaan tapaan kuin verkkoselaimen välilehdet, eli piirtoalueen yläreunaan tulee palkkeja sitä mukaa kuin piirejä avataan. Tämä näkyy selkeämmästi valmiissa sovelluksessa, kuin paperiprotossa. Tunnistetaan tämä huomio, ja kiinnitetään siihen huomiota, jotta navigointi ei jää epäselväksi näköiseksi. Yksi skenaarioevaluaatiossa esille tullut ongelma oli se, että montako välilehteä voidaan pitää auki. Tämä rajoitetaan yksinkertaisuuden vuoksi viiteen.

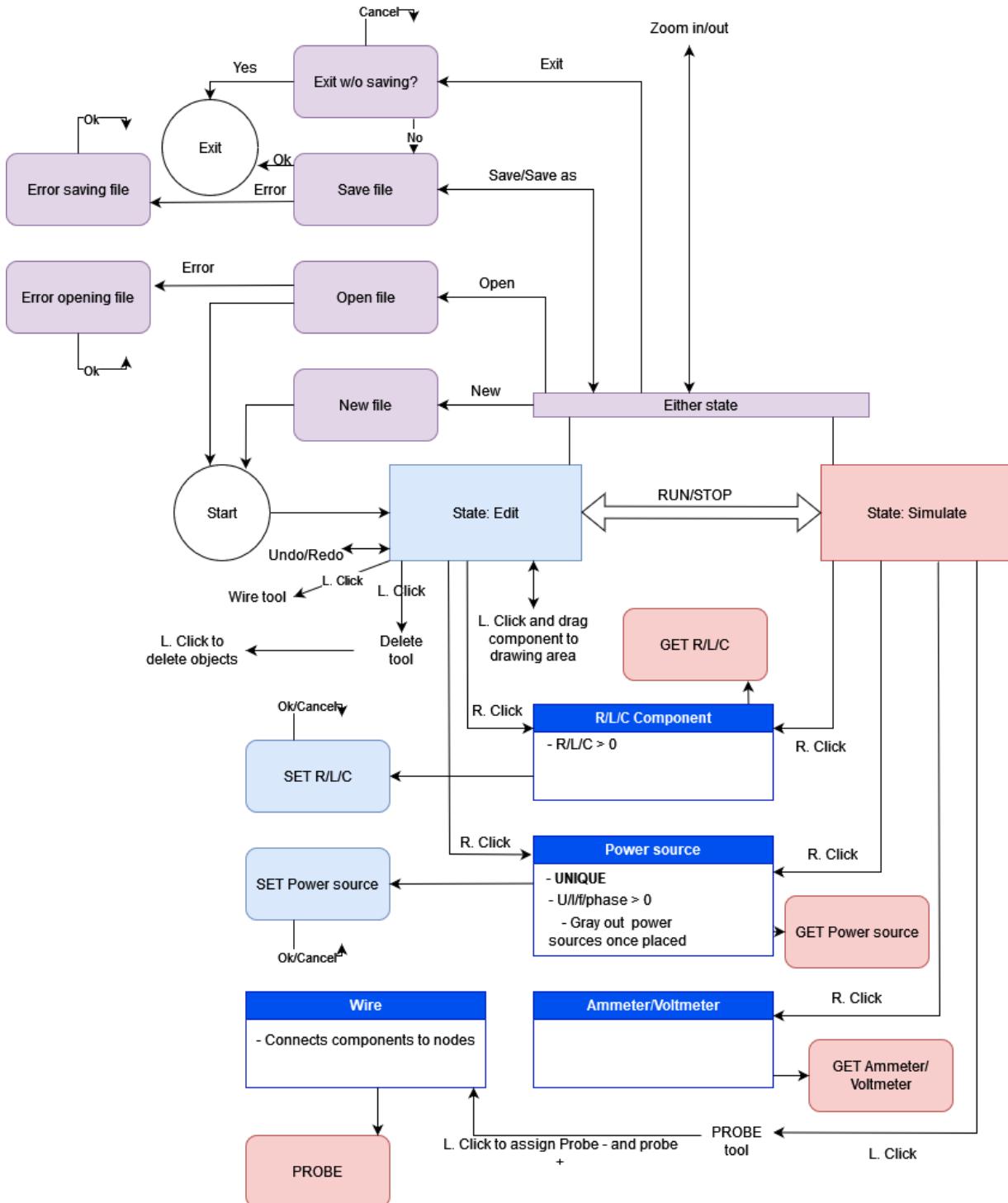
5.4. Evaluointien löydökset ja vaikutukset suunnittelun

Skenaariopohjaiset evaluoinnin, sekä heuristisen evaluoinnin pohjalta nousi tarve korjata seuraavat puutteet: Tehonlähteen arvoja ei ollut merkattu piirtosymbolin viereen, vaan tehonlähteen arvojen tarkastamiseksi tuli avata erillinen arvoasetusikkuna. Tämä korjataan lisäämällä tehonlähteen arvot piirtoalustalle piirrossymbolin viereen. Dialogi-ikkunoihin täytyy saada enemmän informaatiota. SI-kerrannaisyksiköiden etuliitteet tulee ehdottomasti sisällyttää sovellukseen, sillä niiden käyttö on opettettu käyttäjäryhmälle, ja ilman niitä (tai eksponenttimerkintää) olisi liki mahdotonta ilmaista pieniä, esimerkiksi nanofaradien kokoluokassa olevia arvoja. Skenaariossa 3 ilmeni tarve komponenttien käännytelylle. Tämä tukee käyttäjän tunnetta kontrollista olennaisesti, joten tämä sisällytetään ohjelman ominaisuuksiin. Undo- ja redo-painikkeet lisätään myös, koska käyttäjä voi tehdä virheen vaikkapa luennolla, jossa tahti on nopea, eikä aikaa virheiden korjaamiseen liemäälti ole. Probe-painike poistetaan näkymästä, kun ohjelma on editointitilassa, koska sillä ei ole silloin toiminnallisutta.

Sovellukseen ei nähty tarpeelliseksi lisätä heuristisessa evaluoinnissa esitettyä netlist oikotietä. Tähän päätökseen johti se, että yleensä kursseilla olevat harjoitukset joihin sovellusta voisi käyttää ovat kooltaan suhteellisen pieniä, jolloin komponenttien arvojen asettaminen yksitellen klikkaamalla on vielä ongelmatonta. Myöskään tummaa teemaa ei päätetty lisätä sillä valtaosa käytämisestä tapahtuu oletettavasti valaistussa tilassa.

Vertaisarvioinnista tuli ilmi tarve osoitinaktivoidulle infolaatikolle. Tämä päättiin mouse hover toiminnolla

6. Viimeistelty suunnitelma käyttöliittymästä



Diagrammi sovelluksen toiminnasta.

7.4. Muokkaus: Evaluatiossa todettiin drag-and-drop-ratkaisun komponenttien asettelemiseksi olevan vaikeakäytöinen. Tämä vahdetaan siihen, että komponentti valitaan valikosta painamalla vasenta hiiren näppäintä, jonka jälkeen komponentti asetetaan piirtoalueelle painamalla haluttua kohtaa.

8.5. Muokkaus: Evaluatiossa todettiin, että käyttän pitää voida kääntää komponentteja. Tähän tarkoitukseen lisätään painikkeet ja pikänäppäimet.

Kuten diagrammista näkyy, käyttöliittymän on ajateltu pääpirteiltään olevan tilakone, jossa on kaksi tilaa: edit ja simulate. Edit-tilassa voidaan tuoda piirtoalustalle komponentteja valitsemalla ja sijoittamalla niitä käyttöliittymän vasemmassa reunassa sijaitsevasta komponenttivalikosta piirtoalueelle hiiren vasemmalla painikkeella. Tämä havaittiin heuristisessa evaluoinnissa tehokkaammaksi tavaksi siinä tapauksessa, että komponentteja on useampia. Käyttäjäryhmä joutuukin usein lisäämään piiriin esim. monta vastusta, kuten skenaariossa 3 tapahtui. Komponentteja voidaan kääntää niiden sijoittamisvaiheessa. Tälle lisätään painike komponenttivalikkoon, ja pikänäppäin CTRL+R. Komponentteille alustetaan vakioarvot niitä luotaessa. Komponenttien arvoja on mahdollista säätää painamalla komponenttia oikealla hiiren painikkeella, jolloin arvovalikko aukeaa.

Simulate-tilassa komponentteja ei voida muokata, vaan sen sijaan oikeasta hiiren painikkeesta aukeaa valikko, josta nähdään simulaationaikaisia mitta-arvoja. Käytettäväissä on myös probe-työkalu, jolla voi mitata solmupisteiden jännyitteitä ja niiden eroja. Probe on toiminnallisuudeltaan samankaltainen yleismittarin kanssa, minkä käyttöön käyttäjäryhmä on perehdynyt.

RLC-komponenttien ja johtimien lisäksi palkissa sijaitsevat teholähteet ja virta- sekä jännitemittarit. Virta- ja jännitemittarit eivät sinänsä ole ehdottomia ohjelman toiminnallisuden kannalta, mutta ne ovat intuitiivisia käyttää käyttäjäryhmälle. Palkissa on myös poistotyökalu, jota painettuaan käyttäjä voi poistaa komponentteja vasemmalla hiiren painikkeella. Liittyen edelliseen, heuristisessa evaluatiossa todettiin tarpeelliseksi lisätä undo- ja redo-painikkeet vahinkopainalluksia varten. Edit-tilassa probe-työkalulla ei ole toiminnallisuutta, joten se on poissa käytöstä.

Johdonmukaisen käytettävyyden nimissä oikea hiiren näppäin on varattu arvoikkunoiden avaamiseen, ja vasen näppäin on varattu painikkeiden painamiseen sekä komponenttien lisäämiseen ja siirtämiseen.

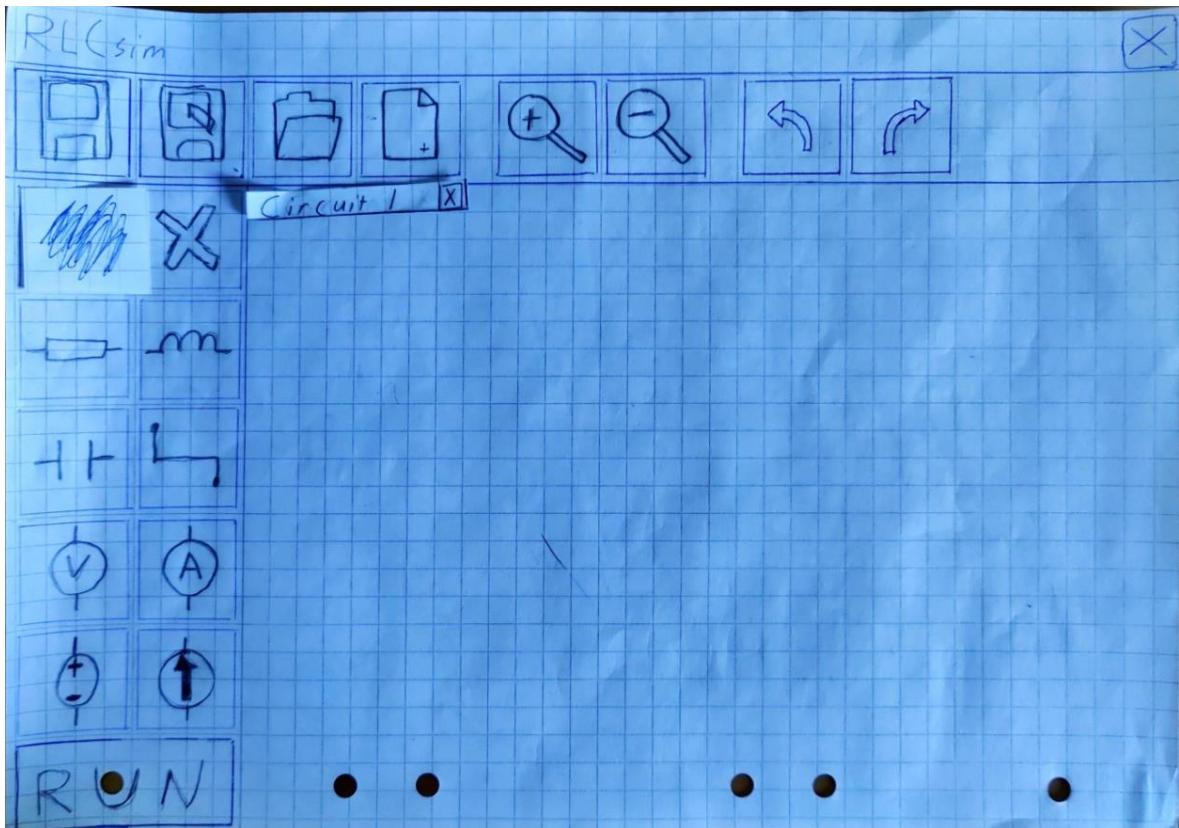
Sovelluksen ulkoasu on vaalea. Tämä valinta tehtiin siksi, että sovelluksen fyysinen käyttöpaikka on yleensä hyvin valaistu, ja vaalea käyttöliittymä on siksi parempi silmille. Komponenttivalikon painikkeet, kuten myös ylhäällä sijaitsevan hallintavalikon painikkeet, ovat suurehkoja. Tämä sen vuoksi, että kohderyhmän ajateltiin käytävän sovellusta yleensä kannettavalla tietokoneella, jonka näyttötila on rajallinen.

Piirtoalueita on mahdollista pitää avoина useita. Tähän tarkoitukseen piirtoalueen ylälaidassa on palkki, josta aktiivinen piirtoalue on nettiselaimen välilehtien tapaisesti valittavissa. Tämän ajateltiin myös palvelevan kohderyhmän tarpeita, sillä kurssitehtäviä tehtäessä joutuu joskus palaamaan edelliseen tehtävään. Nämä piirit ovat helposti saatavilla jokaiselle Internetin käyttäjälle tuttuun tyyliin.

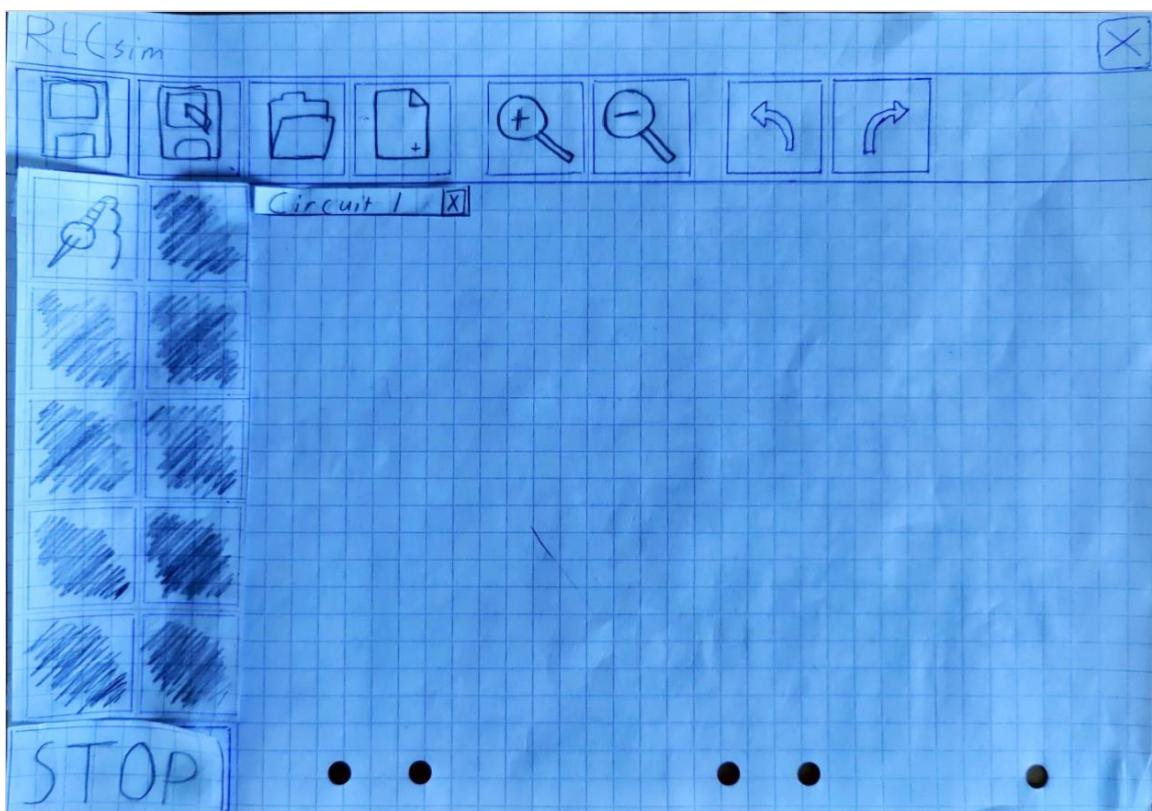
Tiedostonhallintaa varten ovat hallintavalikossa sijaitsevat save-, save as-, open- ja new-painikkeet. Tallennus tapahtuu aina auki olevalle piirtoalueelle. Open-painikkeesta voidaan valita ja avata aiemmin tallennettu tiedosto. Tiedosto aukeaa uudelle välilehdelle. Myös Open-painike avaa uuden, tyhjän piirtoalueen uudelle välilehdelle. Välilehti suljetaan välilehtiotsikon oikeassa laidassa sijaitsevasta ruksista. Mikäli välilehti tai koko sovellus yritetään sulkea, eikä piiriä ole tallennettu, kysyy sovellus käyttäjältä, haluaako tämä sulkea välilehden/sovelluksen tallentamatta. Näistä jälkimmäisessä tapauksessa tallennetaan/tallennetaan nimellä jokainen avoinna oleva tallentamatona piiri.

Hallintavalikossa sijaitsevat myös zoom in- ja zoom out-painikkeet. Nämä painikkeet löytyvät oletuksena lähes kaikista vastaanlaisista sovelluksista, joten näiden on käyttäjän kannalta hyvä olla olemassa.

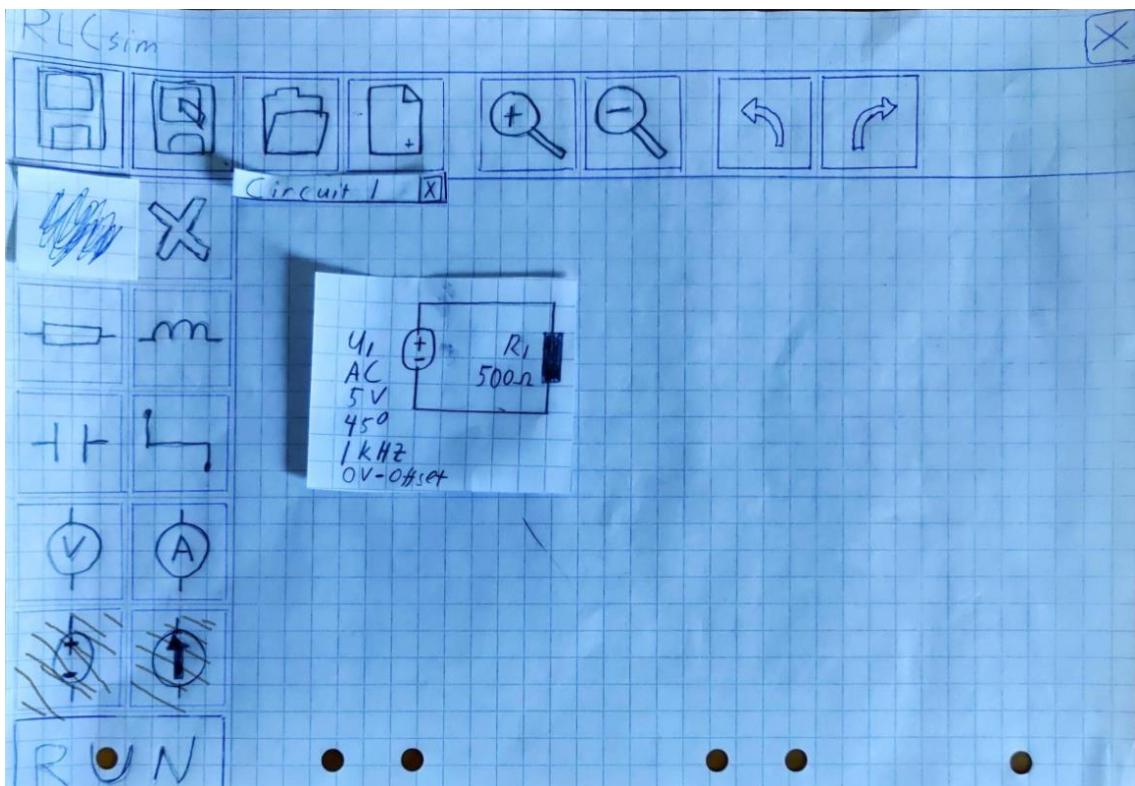
Seuraa kuvia käyttöliittymäsuunnitelmasta.



Pää näkymä edit-tilassa. Probe-näppäin on poistettu käytöstä. Tilasiirtymä simulate-tilaan napista RUN.



Pää näkymä simulate-tilassa. Tilasiirtymä edit-tilaan STOP-napista. Komponenttipainikkeet ovat pois käytöstä.



Komponentit lisätty piirtonäkymään. Huomaa informaatio, joka näkyy komponenttien vierellä.

Set source (Voltage)	
name :	<input type="text" value="V1"/>
amplitude :	<input type="text" value="10"/> V
DC-offset :	<input type="text" value="0"/> V
Frequency :	<input type="text" value="1000"/> Hz
Phase :	<input type="text" value="0"/> °
Type :	<input checked="" type="radio"/> AC <input type="radio"/> DC
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	
Set source (Voltage)	
name :	<input type="text" value="V1"/>
amplitude :	<input type="text" value="10"/> V
DC-offset :	<input type="text" value="0"/> V
Frequency:	<input type="text" value="1k"/> Hz
Phase :	<input type="text" value="0"/> °
Type :	<input checked="" type="radio"/> AC <input type="radio"/> DC
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Set Source (Current)	
name :	I1
amplitude :	1 A
DC-offset :	/ / / / / / / A
Frequency :	/ / / / / Hz
Phase :	/ / / / / °
Type :	○ AC ○ DC
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Set source (Current)	
name :	I1
amplitude :	1 A
DC-offset :	0 A
Frequency :	1 Hz
Phase :	0 °
Type:	○ AC ○ DC
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Source (Voltage)		X		RR Source (current)		X	
name	: <input type="text" value="V1"/>			name	:	<input type="text"/>	.
amplitude	: <input type="text" value="10 mV"/>	V		amplitude	:	<input type="text"/>	A
DC-offset	: <input type="text" value="0 mV"/>	V		DC-offset	:	<input type="text"/>	A
Frequency	: <input type="text" value="1000 Hz"/>	Hz		Frequency	:	<input type="text"/>	Hz
Phase	: <input type="text" value="0°"/>	°		Phase	:	<input type="text"/>	°
Type	: <input checked="" type="radio"/> AC <input checked="" type="radio"/> DC			Type	:	<input type="radio"/> AC <input checked="" type="radio"/> DC	

Teholähdeikkunat. Yllä olevat neljä aukeavat edit-tilassa (diagrammissa SET Power source) ja alla olevat kaksi simulate-tilassa (GET Power source), painamalla teholähdetä oikealla hiiren painikkeella. Huomaa jälkimmäisessä tilassa Ok ja Cancel-nappien poissaolo. Ideana on, että käyttäjä voi haluta simulaatiotilassa tarkastella lähteelle antamiaan arvoja vain luku-tilassa. Tällöin sarakkeet ja valintanappi ovat poissa käytöstä, ja ikkuna suljetaan ruksista.

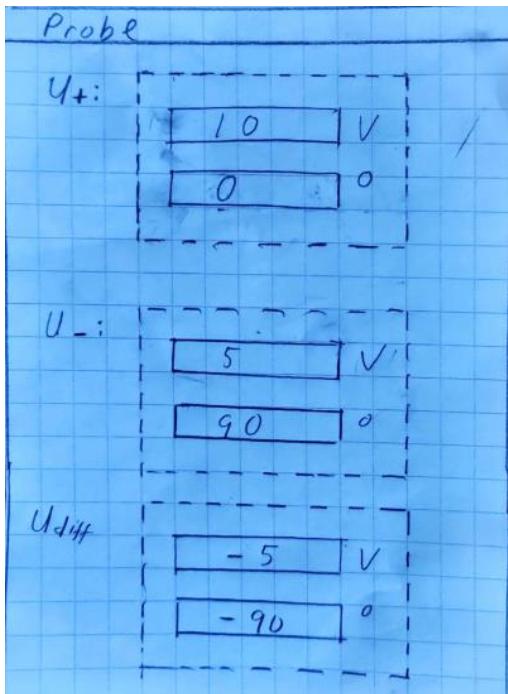
Kerrannaisyksiköt käsittelevät siten, että käyttäjä kirjoittaa arvokenttään lukuarvon perään kerrannaisyksikön kirjaimen.

<u>Set value (Resistor)</u>	<u>Set value (inductor)</u>
Name: <input type="text" value="R1"/>	Name: <input type="text" value="L1"/>
Value: <input type="text" value="500 Ω"/>	Value: <input type="text" value="100m H"/>
<input type="button" value="OK"/>	<input type="button" value="Cancel"/>
<u>Set Value (Capacitor)</u>	
Name: <input type="text" value="C1"/>	
Value: <input type="text" value="110n F"/>	
<input type="button" value="OK"/>	<input type="button" value="Cancel"/>

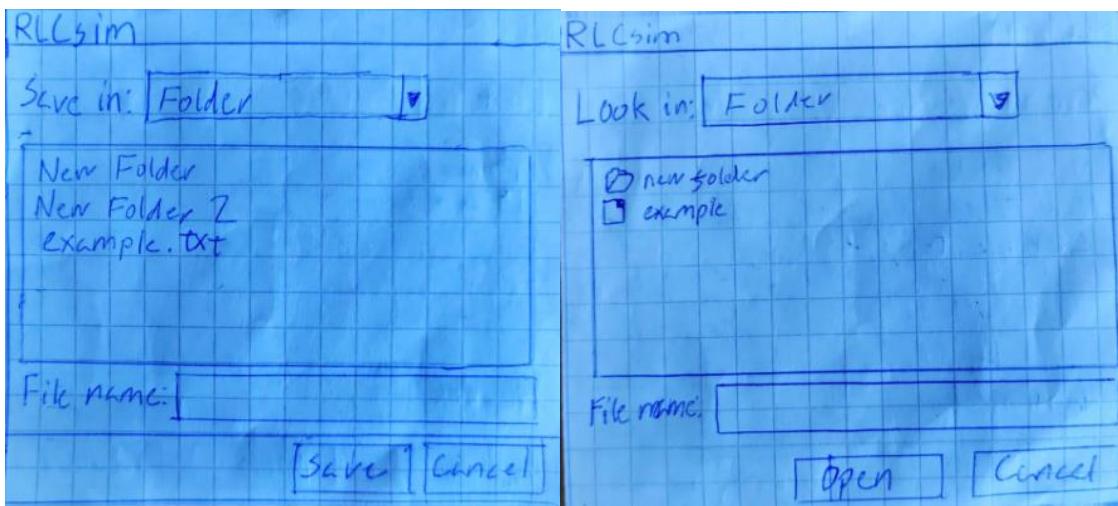
RLC-komponenttien arvoasetusikkunat. Nämä aukeavat edit-tilassa oikeasta hiiren painikkeesta (SET R/L/C). Samat arvot tulevat näkyviin piirtoalueelle, joten ei nähty tarpeelliseksi tehdä näille ikkunoille vastinetta simulate-tilaan.

RI	
I: <input type="text" value="20 mA"/>	I _{rms} : <input type="text" value=" "/>
U: <input type="text" value="10 V"/>	U _{rms} : <input type="text" value=" "/>
P: <input type="text" value="200 mW"/>	Y: <input type="text" value=" "/>

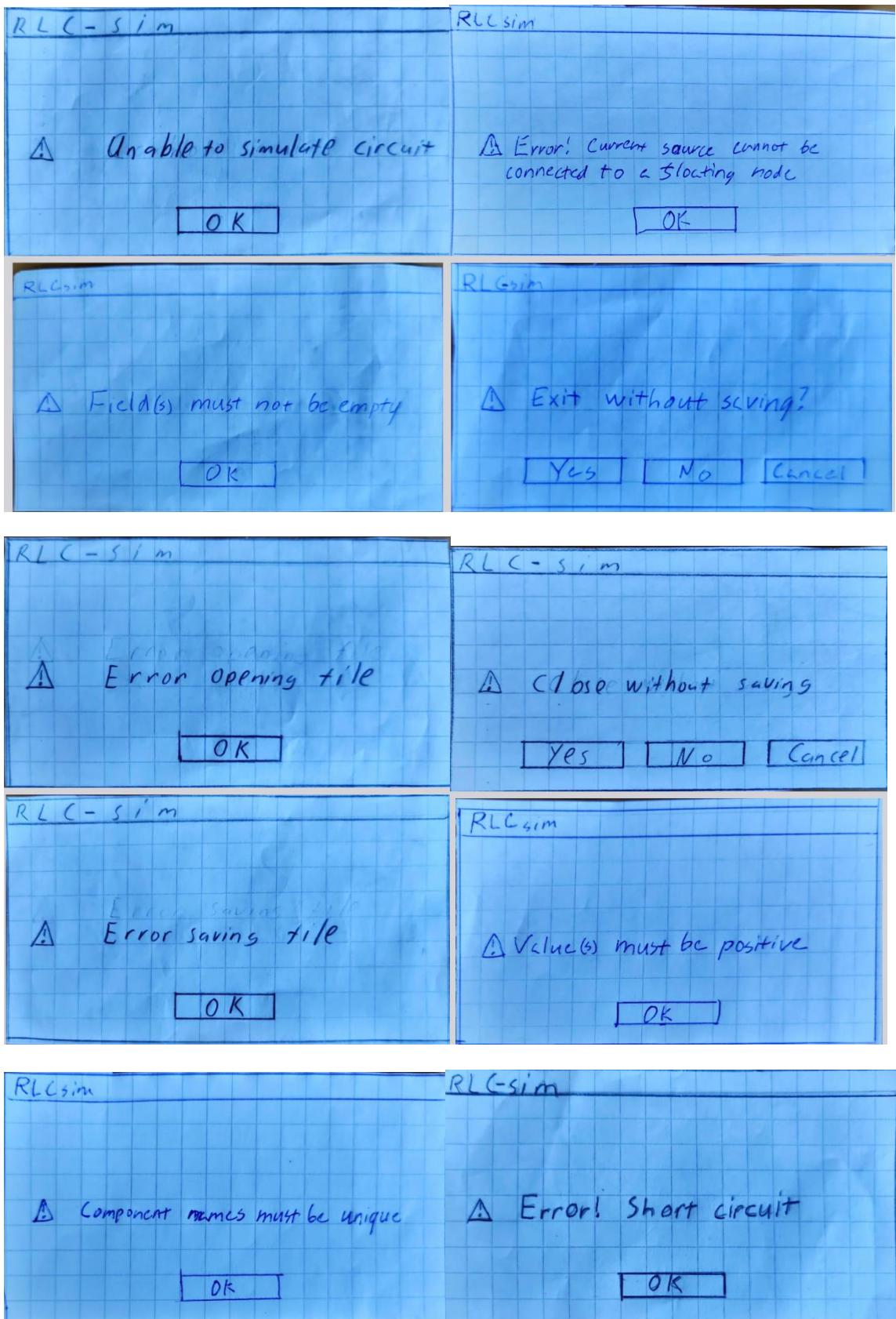
RLC-komponenttien arvoikkuna. Tämä aukeaa simulate-tilassa painamalla RLC-komponenttia oikeasta hiiren painikkeesta (GET R/L/C). Ilmoitettu vaihe riippuu käytetyn lähteen tyypistä. Tehollisarvot näytetään luonnollisesti vain AC-virralle.



Probe-ikkuna. Tämä aukeaa vain simulate-tilassa. U_+ ja U_- asetetaan valitsemalla probe-työkalu, ja painamalla halutusta solmupisteestä.



Tallennus- ja avausikkunat. Nämä aukeavat kummassakin tilassa. Ladattu ikkuna ja uusi ikkuna aukeavat uuteen välilehteen.



Dialogi-ikkunat.

7. Käyttöohje

Sovelluksen käynnistäminen:

1. Pura Harjoitustyö.zip.
2. Avaa Harjoitustyö-kansio komentokehoteessa/PowerShellissä
3. Suorita komento “java -cp rlcsim-1.0-SNAPSHOT.jar com.rlcsim.Main”

Sovelluksen käytöö:

Piirin muokkaus:

Nyt sovellus on piirinmuokkaustilassa. Vasemmasta paneelista voi valita komponentteja, joita voi lisätä piirtoalueelle. Pitämällä hiirtä painikkeen päällä saa lisätietoa painikkeesta, ja näkee painikkeen pikanäppäimen. Teholähteitä (alimmat kaksi komponenttia) voi lisätä vain yhden, jonka jälkeen niiden painikkeet poistuvat käytöstä. Komponentit kytketään toisiinsa johtimilla (keskimmäinen painike oikealla). Poistotyökalulla voi poistaa kaikkia komponentteja piirtoalueelta (yläoikea painike). Kaikista paneelin tiloista pääsee pois painamalla oikeaa hiiren näppäintä tai Esc-painikkeella. Piiriä voi zoomata ylhäällä olevasta hallintpaneelistasta tai pikanäppäimistä + ja -, ja pannata painamalla ja siirtämällä piiriä. Käytämällä F11 näppäintä voi piilottaa piirtoalueen yläpuolisen paneelin antaen lisää piirtotilaan käytettäväksi.

Arvojen asetus:

Piirtoalueelle asetettujen komponenttien arvoja voidaan säättää painamalla haluttua komponenttia oikealla hiiren näppäimellä, jolloin aukeaa arvoasetusvalikko. Nämä ovat erilaisia RLC-komponenteille ja teholähteille. RLC-komponenteille voidaan määrittää nimi (täytyy olla unikki & ei tyhjä) ja arvo (täytyy olla positiivinen luku). Teholähteiden arvovalikon arvokentät ovat riippuvaisia siitä, onko teholähde AC- vai DC-tilassa (oleetus DC). Tätä tilaa voi vaihtaa valikossa sijaitsevasta radionapista. DC-tilassa voidaan muokata nimeä (ei tyhjä) ja amplitudia (positiivinen luku). AC-tilassa aukeavat säädetäviksi DC-offset (positiivinen luku), taajuus (positiivinen luku) ja vaihe (luku).

Piirin simulointi:

Piirin simulointi vaatii, että piirtoalueella on teholähde, ja siihen on kytketty johtimet. Piiri simuloidaan painamalla RUN-painiketta tai välilyöntiä. Simulaatiotilassa piiriä ei voi muokata, mutta uusi työkalu ilmestyy käytettäväksi komponenttipaneelin yläosaan. Probe-työkalulla voi asettaa kaksi mittapäätä U+ ja U- piirin johtimille. Tällöin aukeaa Probe-ikkuna, jossa nähdään jännitteet mittapäiden kohdalla, sekä näiden erotus. Probe-tilasta pääsee pois oikealla hiiren näppäimellä tai Esc-painikkeella. Komponenttien simulaationaikaisia arvoja voi tarkastella painamalla komponenttia oikealla hiiren näppäimellä. Simulaatiotilasta palataan muokkaustilaan Stop-painikkeella tai välilyönnillä.

Piirin tallennus/avaus:

Piiri voidaan tallentaa painamalla save-painiketta (CTRL + S) tai save as-painiketta (F12). Ensimmäistä kertaa savea painettaessa aukeaa tiedostonvalitsin, jossa voidaan valita kansio ja sen tiedoston nimi, johon tallennetaan. Tämän jälkeen piiri tallennetaan aina tähän tiedostoon, ellei valita save as, jolloin voidaan valita uusi tallennustiedosto. Open file-painikkeella (CTRL + O) voidaan vastaavasti avata tiedosto, johon aiemmin on tallennettu. New file-painikkeella (CTRL + N) avataan uusi piiri. Nyt tiedosto, johon halutaan tallentaa, on valittava uudelleen save-painiketta painettaessa. Uuden tiedoston luomisen, tiedoston avaamisen ja ikkunan sulkemisen yhteydessä sovellus kysyy halutaanko piiri tallentaa ennen edellä mainittuja toimenpiteitä. Tallennuksen tila näkyy sovelluksen vasemmassa alareunassa.

8. Poikkeamat suunnitelmasta

Ohjelmaan lisättiin pikanäppäin ”F11”, jolla käyttäjä voi halutessaan pilottaa piirtoalustan yläpuolisen paneelin, jolloin käyttäjällä on mahdollisuus hyödyntää suurempaa piirtotilaan. Ohjelmaan lisättiin alapalkki, jossa näkyy tallennuksen tila. Tämä antaa käyttäjälle reaalialkaista palautetta ohjelman tilasta.

Undo- ja redo-painikkeita ei kyetty toteuttamaan ajanpuutteen vuoksi, vaikka idea tämän toteutustavasta olikin. Käyttöliittymän käytettävyys ei tästä kuitenkaan merkittävästi huonone, sillä kerralla ei voida poistaa kuin yksi komponentti/johdin.

Jännite- ja virtamittareita ei toteutettu kunnolla, jälleen ajan puutteen vuoksi. Ne käyttävät samoja ikkunoita kuin RLC-komponentit. Tämä on tienkin käyttäjän kannalta huono asia.

Välilehdet jäivät toteuttamatta. Tämä oli liian monimutkainen asia toteuttaa.

Komponentteja ei voida siirtää piirtoalueella ajanpuutteen vuoksi. Tämä ei ole iso ongelma, sillä komponentteja on helppo poistaa ja lisätä uudelleen.

9. Testausraportti

Suunnitelmassa pysyttiin hyvin. Suurin osa käyttöliittymän elementeistä ja toiminnallisuudesta saatiin toteutettua suunnitelman mukaisesti. Uupumaan jäi Undo/Redo ominaisuus, jännite- ja virtamittarien toiminnallisuus sekä varsinaisen laskenta. Työ ei ollut helppo, ja aikaa kului paljon piirtoalustan toiminnallisuuden ohjelointiin.

Paneelien asettelu onnistui hyvin tavoiteresoluutiolle 1920x1080. Painikkeet ovat sopusuhtaisia, ja yleisilme on siisti. Ikkunan skaalaus toimii myös hyvin. Skaalaus olisi voinut rajoittaa johonkin pisteeseen, sillä tarpeeksi pieneksi skaalattaaessa painikkeita häviää. Toisaalta näin pieneksi skaalattuna sovellusta olisi muutenkin liki mahdotonta käyttää, joten tämä ei haitanne käyttäjää.

Piirtoalueen toteutus onnistui hienosti. Piirtoaluetta on miellyttävä käyttää, ja sitä voi zoomata ja pannata. Komponentteja ja johtoja on miellyttävä lisätä piirtoalueelle. Pieniä puutteita on, kuten se, että piirtoaluetta ei voi siirtää origosta vasemmalle tai ylös, ja se, että komponenttia ei voi siirtää piirtoalueella.

Virheviesteistä toteutettiin kaikki ne, jotka tällä toiminnallisuudella ylipäättään oli mahdollista toteuttaa. Vain simulaatioon laskennallisesti liittyvät virheviestit jäivät toteuttamatta.

Välilehtiä ei kyetty toteuttamaan. Tämä oli liian monimutkainen ominaisuus toteuttaa tässä aikaikkunassa. Välilehtien toteutus olisi vaatinut staattisuutta painikepaneeleilta, ja instansseja piirtoalueesta.

Ohjelmiston arkkitehtuuria mietittiin alkuvaiheessa paljonkin, mutta Swing ja AWT olivat molemmille ennalta tuntemattomia kirjastoja. Tämä johti siihen, että varsinkin loppuvaiheessa jouduttiin tekemään paljon ad hoc-ratkaisuja, mitkä rikkoivat hyviä ohjelmostikäytäntöjä. Algoritmi ja tietorakenteiden kannalta koodi on heikkoa. Monet silmukat ovat monimutkaisia, ja niitä joudutaan kutsumaan ehkä useammin kuin olisi tarpeellista. Olisi ollut perusteltua luoda tarkistusmetodeja, joihin tarkistuksia olisi voitu keskittää tehokkaammin. Komponentti- ja johtolistoille olisi pitänyt luoda oma tietorakenne, sillä ArrayListit ovat todella raskaita ja vaikeita käsittelä.

Pellin alla koodi on muutenkin paikoin erittäin heikkolaatuista. Etenkin DrawPanel-luokka on kuin pommin jäljiltä. Tämä johtuu siitä, että se tekee liikaa asioita. Ei onnistuttu erottelemaan graafisia toiminnallisuuksia laskennasta ja tilankäsittelystä riittävän hyvin.

Piirien laskentaa ei toteutettu koska siihen ei ollut aikaa, ja laskenta ei ollut prioriteetti tässä työssä. Laskennan sijaan piirin komponentteille arvotaan arvot.

10. Harjoitustyön tekijöiden palautustiedot

Tekijän/tekijöiden tiedot:

Nimi	Henri Launonen
Hetu / op.numero	Y43810592
Tiedekunta ja tutkinto-ohjelma (Aloitusvuosi)	TST, Elektroniikka ja tietoliikennetekniikka 2016
Sähköpostiosoite	henri.launonen@hotmail.com

Nimi	Joni Korpela
Hetu / op.numero	2207652
Tiedekunta ja tutkinto-ohjelma (Aloitusvuosi)	TST, Elektroniikka ja tietoliikennetekniikka 2022
Sähköpostiosoite	joni.korpela@student.oulu.fi